



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**Avaliação da degradação de pelargonidina durante a secagem de
morangos**

Gaspar Venencio

Porto Alegre
2010

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**Avaliação da degradação de pelargonidina durante a secagem de
morangos**

Gaspar Venencio

Monografia apresentada ao Curso de
Engenharia de Alimentos para a obtenção do
Título de Engenheiro de Alimentos.

Orientadora: Rosane Rech

Co-orientador: Alessandro de Oliveira Rios

Porto Alegre

2010

Avaliação da degradação de pelargonidina durante a secagem de morangos

Gaspar Venencio

Aprovada em: 06/12/2010

BANCA EXAMINADORA

Rosane Rech
Doutor em Ciências
ICTA/UFRGS

Ligia Damasceno Ferreira Marczak
Doutora em Engenharia Mecânica
DEQUI/UFRGS

Roberta Cruz Silveira Thys Muccillo
Doutora em Engenharia Química
ICTA/UFRGS

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus pais, Ana Maria e Jesús, por sempre me apoiar, ensinar a não baixar os braços e a lutar com todas as minhas forças. A meus irmãos Alejo e Juan Cruz, por me ensinar a compartilhar as coisas simples e a valorar a amizade. Em geral agradeço, a toda minha família por entender o porquê de eu estar ausente em muitos momentos familiares.

Agradeço à Lígia, por dar seu amor e fazer meus dias mais felizes.

Agradeço a meus amigos, parceiros de luta e colegas pelo tempo, experiências e sorrisos que tivemos juntos.

Agradeço a UNER, especialmente a Professora Liliana Lound, que me orientou na distância, e a Professora Beatriz Gómez, que possibilitou a minha estada no Brasil.

Agradeço a UFRGS, em especial ao ICTA por permitir a realização deste trabalho. Agradeço ao Professor Alessandro de Oliveira Rios e a Professora Rosane Rech, por me orientarem e me incentivarem a continuar pesquisando.

RESUMO

O morango tem uma composição química rica em vitaminas e minerais essenciais para o corpo humano, e também proporciona compostos minoritários de enorme importância na saúde, como são as antocianinas.

As antocianinas têm sido estudadas devido ao seu provável papel na redução das doenças coronarianas, câncer, diabetes, efeitos anti-inflamatórios, melhoramento da acuidade visual e comportamento cognitivo. Contudo, estes compostos são sensíveis ao calor e a luz ultravioleta.

Na indústria do morango, a secagem é utilizada para prolongar a vida de prateleira, assim como diminuir o risco de doenças alimentares, agregar valor e conservar o produto sem a necessidade de tecnologias de frio. Entretanto, esse processo pode provocar alterações indesejáveis no fruto, como a degradação de antocianinas.

O seguinte trabalho estudou a degradação de antocianinas em morangos durante o processo de secagem a temperaturas de 50, 60 e 65°C, apresentando uma correlação com os modelos matemáticos, logarítmico (50 e 65°C) e de dois termos exponenciais (60°C).

A antocianina presente em maior quantidade no fruto é a pelargonidina-3-glicose.

Durante o processo se observou uma degradação de pelargonidina em torno de 40% nas temperaturas de 60 e 65°C, com uma constante cinética de degradação de 0,00129 min⁻¹ para 60°C e de 0,00199 min⁻¹ para 65°C.

Palavras-chaves: Antocianinas, secagem, morango, degradação.

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
SUMÁRIO.....	6
LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE TABELAS.....	9
1. Introdução.....	10
2. Revisão Bibliográfica.....	12
2.1. Morango: Características Gerais.....	12
2.2. Panorama Internacional.....	14
2.3. Produção no Brasil.....	14
2.4. Produção na Argentina.....	15
2.5. Compostos Bioativos.....	16
2.6. Fitoquímicos nos Vegetais.....	17
2.7. Importância das Antocianinas.....	18
2.7.1. As Antocianinas como Corantes Naturais.....	19
2.7.2 Estrutura das Antocianinas e Cor.....	19
2.7.3 Biossíntese das Antocianinas.....	20
2.7.4. Antocianinas em Morangos.....	22
2.7.5. Influência da Temperatura sobre as Antocianinas.....	23
2.8 Secagem e Desidratação.....	26
2.8.1. Curvas de Secagem.....	29
2.8.2. Modelagem de Curvas de Secagem.....	31
3. Materiais e Métodos.....	34
3.1. Morangos.....	34
3.2. Determinação da Umidade das Amostras.....	34
3.3. Secagem.....	35
3.4. Modelagem Matemática das Curvas de Secagem.....	35
3.5. Extração e Identificação das Antocianinas.....	36

4. Resultados e Discussão	37
4.1. Secagem.....	37
4.1.1 Umidade das Amostras.....	37
4.1.2 Curvas de secagem.....	37
4.1.3. Modelos Empíricos.....	37
4.2. Degradação de Pelargonidina.....	43
5. Conclusão.....	46
6. Perspectivas.....	47
7. Referências Bibliográficas.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cati3n flavilium. R1 e R2 s3o H, OH, ou OCH ₃ ; R3 3 glicosil ou H e R4 3 OH ou glicosil (KONG et al., 2003).....	20
Figura 2 Bioss3ntese das antocianinas (GARZON, 2008).....	21
Figura 3: Degrada33o de antocianinas (PATRAS et al., 2010).....	25
Figura 4: Curvas de secagem de um alimento: a) taxa de secagem em fun33o de teor de umidade, b) teor de umidade em base seca em fun33o do tempo. (Fellows, 2000).....	30
Figura 5: Curvas de secagem do morango: varia33o do teor de umidade (kg 3gua/kg s3lido seco) em fun33o do tempo de secagem (minutos)	39
Figura 6: Curvas de secagem do morango: taxa de secagem (kg 3gua/kg s3lido seco x min.) em fun33o do teor de umidade (X).....	39
Figura 7: Representa33o gr3fica dos valores preditos e experimentais de acordo com o modelo logar3tmico, para temperatura de 50°C.....	42
Figura 8: Representa33o gr3fica dos valores preditos e experimentais de acordo com o modelo dois termos exponenciais, para temperatura de 60°C..	42
Figura 9: Representa33o gr3fica dos valores preditos e experimentais de acordo com o modelo logar3tmico, para temperatura de 65°C.....	43
Figura 10: Degrada33o de pelargonidina em morangos a 60°C (280 min.) e 65°C (240 min.) durante o processo de desidrata33o.	44
Figura 11: Compara33o entre as constantes de degrada33o calculadas neste trabalho e as obtidas por Verbeyst et al. (2010) atrav3s da cin3tica de Arrhenius.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição centesimal do morango fresco.....	13
Tabela 2: Produção internacional de morangos.....	14
Tabela 3: Modelos de curvas de secagem para uma camada fina de produto..	32
Tabela 4: Parâmetros da secagem do morango "in natura" a 50, 60 e 65°C.....	39
Tabela 5: Constantes cinéticas de degradação da pelargonidina.....	44

1. Introdução

O morango é um fruto apreciado e valorizado pelos consumidores devido às suas características organolépticas únicas, como produto de alimentação funcional, qualidade dos frutos para a industrialização ou possibilidade de aplicação em vários processos industriais. Além disto, é um fruto que faz jus ao valor agregado, o que permite um desenvolvimento econômico-social sustentável com a implementação de diversas tecnologias, como agro-insumo, tecnologia de irrigação, frio, embalagem, serviços de marketing, etc.

Nutricionalmente, o morango é admirado pelo conteúdo elevado de compostos bioativos, vitaminas, minerais e polifenóis. Dentre as substâncias encontradas no fruto, os flavonóides, sobretudo as antocianinas, possuem potencial para regular o metabolismo humano, prevenindo tumores e outras doenças. Tais fitoquímicos são responsáveis pela cor do fruto e possuem diferentes funções na planta, como a atração de polinizadores para a posterior dispersão das sementes, proteção da fruta contra os efeitos da radiação ultravioleta, contaminação viral e microbiana.

Entre os processos comumente usados na indústria do morango, se encontra a desidratação, cujo objetivo é de eliminar a maior quantidade possível da água presente no alimento, por meio de calor, para reduzir a atividade de água do mesmo, evitando assim a proliferação de microrganismos que degradam o fruto e podem ser prejudiciais para a saúde, além de possibilitar um maior tempo de conservação. Além disso, a desidratação modifica quimicamente a composição do morango, propiciando reações químicas internas, como caramelização dos açúcares, gelatinização de polissacarídeos como a pectina, modificação e destruição de proteínas, redução da atividade enzimática de enzimas, como a polifenoloxidase e reações de escurecimento. Se o processo não é bem aplicado, pode haver destruição significativa de substâncias benéficas para a saúde, como é o caso das antocianinas. Para a correta aplicação dos processos de desidratação, é necessário desenvolver pesquisas, controlar e avaliar as características de cada desidratador e conhecer profundamente as velocidades de degradação das substâncias que se pretende conservar.

As antocianinas, em especial, são sensíveis à luz ultravioleta e ao calor, ou seja, para obter um produto de uma qualidade nutricional aceitável, o morango precisa ser tratado com um rigoroso controle de processo, onde intervenham esses fatores. Na literatura são poucas as informações sobre os mecanismos que regulam a degradação das antocianinas pelo calor.

Este trabalho objetivou vislumbrar aspectos da desidratação de morangos, com referência à degradação da pelargonidina, e também servir como ferramenta à indústria para o melhoramento dos processos.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Morango: Características Gerais

O morango (*Fragaria spp.*) é um fruto conhecido no mundo por suas características organolépticas únicas, sendo um alimento apreciado pelos paladares mais delicados. Por esse motivo, é muito procurado pela indústria de alimentos. Segundo Saccone (2008), o morango é conhecido no mundo inteiro, apresentando diferentes nomes: *fresa* ou *frutilla* em espanhol, *fragola* em latim, *morango* em português, *fraise* em francês, *strawberry* em inglês e *terdbeere* em alemão.

A fruta pertence à família das Rosáceas, subfamília Rosoidiae, tribo Potentillae, subtribo Fragariinae, gênero *Fragaria* (DUCHESNE et al., 2006). Morfológicamente, Dansa et al. (2008) descrevem o morango como um fruto agregado, formado por um receptáculo muito desenvolvido, sendo esta a parte comestível, que sustenta os verdadeiros frutos chamados de aquênios.

Quanto à produção e cultura, o sol em abundância e água são componentes-chaves para a obtenção do fruto de alta qualidade, sendo que sua maturidade ocorre em um curto período de tempo (20-40 dias após a polinização). Os morangos possuem sistemas de raízes superficiais (estolonífero), sendo a luz e a gestão de água essenciais para a obtenção de um alto rendimento e qualidade do fruto (LI et al., 2010).

O morango ocupa a terceira posição na demanda mundial de frutos, depois da cereja e da uva (FREIHEIT et al., 2008). A espécie mais produzida e consumida no mundo (*Fragaria x Ananassa*) é um híbrido de duas espécies octoplóides variáveis (LI et al., 2010), a *F. chiloensis* e *F. virginiana* (DUCHESNE et al., 2006), sendo essencialmente um cultivo de pequenos frutos que se adaptou artificialmente a diferentes condições ambientais (LI et al., 2010).

Segundo Santos (2005), os principais cultivares plantados no Brasil encontram-se divididos em dois grupos, segundo as finalidades para indústria ou para consumo “in natura”. Os principais cultivares com destino à indústria são Santa Clara, Burlkey e Dover. Para consumo “in natura” destacam-se o Tangi, Campinas, Osogrande, Tudla, Selva e Seascape. O cultivar Vila Nova pode ser utilizado tanto na indústria quanto para consumo direto. Segundo Dansa et al. (2008) na Argentina os cultivares mais importantes são: Sweet Charlie, Tioga, Chandler, Diamante,

Giavota, Camarosa, Pájaro ou Pássaro, Seascape, Aromas, Pacific, Tudla, Cartujo, Cambridge Favourite, Surprise des Halles, Gorella, Senga Gitana ou Senga Cigana, Senga Precosa.

Do ponto de vista econômico-regional é muito importante pelo valor agregado que pode adquirir devido às suas qualidades para a industrialização e exportação. Além da grande quantidade de insumos que utiliza, permite o desenvolvimento de numerosas atividades ao seu redor: agro-insumos, tecnologia de irrigação, frio, embalagem, serviços de marketing, etc (DANSA et al., 2008).

O morango é um fruto de excepcionais características, que se consome de forma fresca, desidratada, congelada ou em conserva. A tabela 1 apresenta a composição centesimal de morangos segundo Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2006).

Tabela 1: Composição centesimal do morango fresco.

Umidade	91,5%
Energia	30 kcal ou 126 kJ
Proteína	0,9 g
Lipídeos	0,3 g
Colesterol	Não aplicável
Carboidrato	6,8 g
Fibra alimentar	1,7 g
Cinzas	0,5 g
Cálcio	11 mg
Magnésio	10 mg
Manganês	0,33 mg
Fósforo	22 mg
Ferro	0,3 mg
Sódio	Traço
Potássio	184 mg
Cobre	0,06 mg
Zinco	0,2 mg
Retinol	Não aplicável
Tiamina	Traço
Riboflavina	0,03 mg
Piridoxina	0,03 mg
Niacina	As análises estão sendo reavaliadas
Vitamina C	63,6 mg

Além dos compostos acima, os morangos contêm outros componentes naturais benéficos à saúde, como o ácido elágico e as antocianinas, importantes fitoquímicos naturais que estão sendo estudados pelas suas propriedades

anticancerígenas (CHEPLICK et al., 2010). Por este motivo enquadra-se nos produtos de alimentação funcional e as vantagens são maiores quando consumido de forma fresca ou natural (FERRARI et al., 2003).

2.2. Panorama Internacional

Os morangos correspondem a 62% da produção mundial de *berries* (Rosídeas), superando, nos últimos anos, 4 milhões de toneladas (tn). Segundo a *Food and Agricultural Organization* apud Dansa, 2008, 80% da produção mundial está concentrada em 10 países. A tabela 2 apresenta os principais países produtores (DANSA et al., 2008).

Tabela 2: Produção internacional de morangos.

País	Produção (tn)
Estados Unidos	1.259.449
Espanha	333.500
Federação Russa	235.000
Turquia	211.127
Coreia	205.307

2.3. Produção no Brasil

O início do cultivo do morangueiro no Brasil não é bem conhecido (CAMARGO e PASSOS, 1993 apud ANTUNES e FILHO, 2005). Entretanto, a cultura começou a expandir-se em 1960, com o lançamento do cultivar Campinas (PASSOS, 1997 apud ANTUNES e FILHO, 2005). Hoje é cultivado nos estados do Rio Grande do Sul, São Paulo e Minas Gerais, e também em regiões de diferentes solos e climas, como Goiás, Santa Catarina, Espírito Santo e Distrito Federal (ANTUNES e FILHO, 2005).

Segundo Antunes et al. (2007), estima-se que a área cultivada seja de 3.500 hectares, visando atender o mercado “in natura” e a industrialização. A produção nacional de morangos é de aproximadamente 114.450 tn. A produtividade média por Estado é de 32,7 tn/ha no Rio Grande do Sul; 21,3 tn/ha no Paraná; 25,2 tn/ha em

Minas Gerais; e 34 tn/ha no Espírito Santo e em São Paulo (ANTUNES e FILHO, 2005).

No Rio Grande do Sul, o Vale do Rio Caí é o principal produtor de morangos de mesa, seguido das cidades de Caxias do Sul e Farroupilha. A cidade de Pelotas e municípios vizinhos se destacam na produção de morango destinado para a indústria (ANTUNES e FILHO, 2005).

No Estado de Minas Gerais, o morango foi introduzido no município de Cambuí, no Vale do Peixe, por volta de 1958. Hoje, está presente na maioria dos municípios do extremo Sul do Estado, onde os municípios de Pouso Alegre e Estiva são os maiores produtores na região da Mantiqueira, e na região dos Campos das Vertentes destacam-se Barbacena e municípios vizinhos (ANTUNES e FILHO, 2005).

Em São Paulo a produção está concentrada nos municípios de Campinas, Jundiaí e Atibaia, sendo que esta última representa 60% da área cultivada (ANTUNES e FILHO, 2005).

A cultura é realizada por pequenos produtores rurais que utilizam a mão-de-obra familiar durante todo o ciclo da cultura, sendo a maior parte da produção destinada ao mercado "in natura" (ANTUNES e FILHO, 2005).

Na última década, verificou-se um interesse crescente pela implantação da cultura do morango, justificado, segundo Ronque (1998) apud Antunes e Filho (2005), pela grande rentabilidade (224%), quando comparada a outros cultivos, como, por exemplo, o milho (72%).

2.4. Produção na Argentina

Argentina possui 1.400 ha cultivados com rendimentos entre 15.000 a 40.000 kg/ha. A produção é de aproximadamente 35.000 tn, estendendo-se ao longo do ano e concentrando-se nas províncias de Santa Fé, na cidade de Coronda, com 460 ha; em Buenos Aires com 210 ha e Tucumán com 500 ha.

Na Argentina podem ser estabelecidas três zonas de produção com características bem definidas:

- Zona Norte: abrange as regiões de Tucumán, Coronda e Corrientes. Sua produção é durante o inverno e primavera.

- Zona Central: localiza-se em La Plata, Grande Buenos Aires e Mar del Plata. Sua produção ocorre do verão a primavera.
- Zona Sul: contempla Mendoza, Neuquén, La Pampa e as províncias patagônicas. Seu período de produção ocorre no verão e no outono.

A superfície total cultivada nos últimos 10 anos aumentou 50%, devido ao uso da irrigação e do surgimento de novas plantações.

Nestas zonas, especificamente encontram-se dois tipos de plantio: Plantio Frigo e Plantio Fresco. O fruto do primeiro diferencia-se porque uma vez colhido, entre os meses de junho e julho, é conservado em câmaras frigoríficas até a plantação, que ocorrerá de fevereiro a março. Por sua vez, o Plantio Fresco depois de ser retirado dos viveiros, entre os meses de março a maio, é plantado imediatamente no lote de produção nas zonas de multiplicação de plantas Mendoza, Neuquén e Rio Negro (DANSA et al., 2008).

2.5. Compostos Bioativos

Existem diferentes definições para os compostos bioativos, dentre estas, a mais usual e de certa forma contemporânea, é a do *23º Consenso Hohenheim de Alimentação* da Universidade de Hohenheim, em Stuttgart, na qual os compostos bioativos são tidos como compostos essenciais ou não essenciais, vitaminas e polifenóis, que são parte dos alimentos de forma natural e que podem demonstrar um efeito favorável na saúde humana (BIESALSKI et al., 2009).

Todos os alimentos que apresentam uma ou mais substâncias com funções fisiológicas e bioquímicas, benéficas à saúde humana, são considerados como produtos de alimentação funcional (FERRARI et al., 2003).

Ferrari et al. (2003) relataram que a *American Dietetic Association* produziu um dicionário de definições nutricionais básicas relacionadas com alimentos, são eles: Agente quimiopreventivo: substância nutritiva ou composto de um alimento que cientificamente esta sendo investigado como um inibidor potencial de carcinogênese; Alimento projetado (*designed food*): produtos alimentícios processados que são complementados com ingredientes de alimentos, naturalmente ricos nas substâncias que previnem doenças; Alimento funcional: qualquer alimento ou ingrediente modificado que pode trazer um efeito benéfico, além possuir substâncias nutritivas comuns; Farma alimento: alimento ou substância nutritiva com

emprego potencial na saúde ou de uso médico, incluindo prevenção e tratamento de doenças; Fitoquímicos: substâncias encontradas em frutas e verduras que podem ser ingeridas diariamente (em gramas) e aqueles que expõem um potencial para regular o metabolismo humano favorecendo a prevenção de câncer e outras doenças; Nutracêuticos: substância, alimento ou uma parte dele que favorece a saúde ou traz vantagens médicas, incluindo a prevenção e o tratamento de doenças. Também é definido como um produto de alimentação consumido ou administrado enteralmente, com supervisão médica baseada na avaliação com uma dieta específica para a doença.

2.6. Fitoquímicos nos Vegetais

As frutas e as verduras são os componentes fundamentais de uma dieta bem equilibrada e saudável. Elas contêm uma grande variedade de fitoquímicos fenólicos protetores. Estes compostos fazem uma contribuição significativa ao papel de frutas e verduras como produtos alimentares que promovem a saúde. Numerosos estudos apoiam o potencial antioxidante destes fitoquímicos. Compostos fenólicos, incluindo ácidos fenólicos e flavonóides, também são reconhecidos por possuírem características para prevenir doenças com propriedades antimicrobianas, anticancerígenas e efeitos benéficos para o sistema cardiovascular (CHEPLICK et al., 2010).

Da mesma maneira, certos produtos alimentícios têm evidenciado um efeito terapêutico na hipertensão e isto pode ser devido à presença de inibidores da enzima de conversão angiotensina-1 (ECA). Algumas proteínas de alimentos contêm peptídeos inibidores de ECA incluindo proteínas da semente de soja e do leite. Alimentos ricos em flavonóides, incluindo framboesa vermelha, morango e cacau, também têm sido citados por sua vantagem cardiovascular para regular a hipertensão (CHEPLICK et al., 2010).

Fitoquímicos fenólicos são apontados por controlar tanto hiperglicemia como hipertensão associada à diabetes tipo 2. Também, podem ser recomendados contra complicações microvasculares do estresse oxidativo, doenças renais e em problemas de cicatrização (CHEPLICK et al., 2010).

As Rosídeas contêm quantidades significativas de fitoquímicos fenólicos com potenciais benéficos para a saúde. O mirtilo e a amora têm altos níveis de

procianidinas com atividade antimicrobiana contra *Escherichia coli* e infecções do trato urinário. Os extratos fenólicos de morango e framboesa, com altos níveis de ácido elágico e outros fitoquímicos, têm sido estudados pelas suas propriedades anticancerígenas (CHEPLICK et al., 2010).

O conteúdo fenólico pode ser diferente entre plantas de uma mesma colheita de Rosídea, incluindo o morango, a framboesa e a amora. As vantagens funcionais relevantes para a saúde da população humana podem variar de acordo com as diferenças do conteúdo fenólico que existem entre diferentes Rosídeas (CHEPLICK et al., 2010).

2.7. Importância das Antocianinas

Dentre os compostos bioativos as antocianinas representam o grupo mais importante de pigmentos hidrossolúveis detectáveis no espectro visível pelo olho humano. Estes pigmentos responsáveis pela gama de cores abrangem do vermelho até o azul em várias frutas, vegetais e cereais, e são acumulados nos vacúolos das células (GARZÓN, 2008).

As antocianinas possuem diferentes funções na planta como a atração de polinizadores para a posterior dispersão das sementes e a proteção da fruta contra os efeitos da radiação ultravioleta, contaminação viral e microbiana (GARZÓN, 2008).

O interesse pelos pigmentos antociânicos e a pesquisa científica tem aumentado nos últimos anos, devido, não somente à cor que concede aos produtos que as contêm, mais também ao seu provável papel na redução das doenças coronarianas, câncer, diabetes, efeitos anti-inflamatórios e melhoramento da acuidade visual e comportamento cognitivo. Portanto, além de seu papel funcional como corante, as antocianinas são agentes potenciais na obtenção de produtos com valores agregados para o consumo humano. Apesar das vantagens que oferecem as antocianinas como substitutos potenciais dos corantes artificiais, fatores como, sua baixa estabilidade e a escassez de disponibilidade de material vegetal limitam a sua aplicação comercial (GARZÓN, 2008).

2.7.1. As Antocianinas como Corantes Naturais

Nos últimos tempos tem aumentado a preocupação com a utilização de corantes artificiais na indústria de alimentos, devido principalmente ao fato de que não há certeza se tais compostos podem ocasionar doenças relacionadas com o câncer (GARZÓN, 2008).

Devido à crescente preocupação do uso de corantes sintéticos em alimentos, cosméticos e produtos farmacêuticos a sua toxicidade tem sido pesquisada por diversos autores. Segundo Hallagan (1991) e Lauro (1991) apud Garzón (2008), os corantes vermelho N°2 e N°40 têm seu uso proibido na Áustria, Japão, Noruega e Suécia, mas o vermelho N°40 ainda está em estudo nos Estados Unidos da América.

Os estudos com corantes artificiais têm sido relacionados com hiperatividade em crianças em idade escolar, a qual pode ser considerada um mal neuronal agudo (BREAKEY et al., 2007 apud GARZÓN, 2008). Tais pesquisas são indícios suficientes para diminuir a demanda de corantes artificiais a favor do consumo generalizado de corantes naturais como as antocianinas (GARZÓN, 2008).

As políticas regulatórias no uso de corantes derivados das antocianinas variam de país para país. Os Estados Unidos da América é o país mais restritivo ao uso das antocianinas como corantes naturais. Nele, apenas quatro dos vinte e seis corantes que estão isentos de certificação e aprovados para o uso nos alimentos derivam-se da casca da uva, do extrato da uva, do suco de vegetais e de sucos de frutas (GARZÓN, 2008). Em contraste, na União Européia, Chile, Colômbia, Irã, Israel, Coréia do Sul, Malta, Peru, Arábia Saudita e Emirados Árabes, todos os corantes derivados das antocianinas são reconhecidos como naturais (GARZÓN, 2008).

2.7.2 Estrutura das Antocianinas e Cor

As antocianinas são glicosídeos de antocianidinas, pertencentes à família dos flavonóides (GARZÓN, 2008). Mais precisamente, segundo Kong et al. (2003), são glicosídeos de polihidroxi e polimetóxi derivados de 2-fenilbenzopirilium ou sais de flavilium (Figura 1).

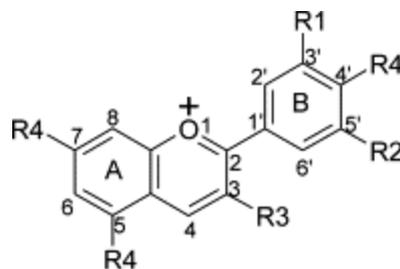


Figura 1: Cati3n flavilium. R1 e R2 s3o H, OH, ou OCH₃; R3 3 glicosil ou H e R4 3 OH ou glicosil (KONG et al., 2003).

As antocianinas s3o compostas por dois an3is arom3ticos A e B unidos por uma cadeia de tr3s carbonos. Varia33es estruturais do anel B resultam em seis antocianidinas conhecidas. A cor das antocianinas depende do n3mero e orienta33o dos grupos hidroxil e metoxil da mol3cula. Aumentos na quantidade de hidroxila33es produzem deslocamentos para tonalidades azuis enquanto que das metoxila33es produzem colora33es vermelhas (GARZ3N, 2008).

Na natureza, as antocianinas sempre apresentam substitui33es glicos3dicas nas posi33es tr3s e/ou cinco com mono, di ou trissacar3deos que aumentam sua solubilidade. Entre os sacar3deos que participam de tais liga33es encontram-se a glicose, galactose, xilose, ramnose, arabinose, rutinose, soforose, sambubiose e gentobiose (GARZ3N, 2008).

Outra poss3vel varia33o na estrutura 3 a acila33o dos res3duos de a33u3ares da mol3cula com 3cidos org3nicos. Os 3cidos org3nicos podem ser alif3ticos como mal3nico, ac3tico, m3lico, succ3nico, ox3lico ou ainda arom3ticos como *p*-coum3rico, caf3ico, fer3lico, sin3pico, g3lico ou *p*-hidrobenz3ico (GARZ3N, 2008).

Stitzing et al. (2002) apud Garz3n, (2008) demonstraram que o tipo de substitui33o glicos3dica e de acila33o produzem efeitos na tonalidade das antocianinas. Deste modo substitui33es glicos3dicas na posi33o cinco iguais 3s acila33es arom3ticas produzem deslocamentos para as tonalidades p3rpuras.

2.7.3 Bioss3ntese das Antocianinas

Os precursores das antocianinas s3o bem conhecidos (SPRINGOB et al., 2003 apud GARZ3N, 2008). Tem-se estabelecido experimentalmente que o anel A

das antocianinas sintetiza-se pela rota do ácido malônico com a condensação de três moléculas de malonil-CoA. No entanto, o anel B sintetiza-se pela rota do ácido xiquímico. O ácido xiquímico cede a fenilalanina por ação de uma fenilalanina-amônia-liase (PAL), e depois da perda NH_3 converte-se em ácido *p*-cumárico. O *p*-cumaril-CoA participa em uma reação de condensação com as três moléculas de malonil-CoA para formar uma chalcona de 15 carbonos mediada por uma chalcona-sintetase. Este composto intermediário de 15 carbonos é transformado em uma flavonona em uma reação catalisada por uma chalcona-isomerase. Finalmente, a flavonona é transformada na correspondente antocianidina por uma reação de hidroxilação no carbono 3, seguida por uma desidratação (Figura 2). A molécula de antocianidina estabiliza por glicosilação do heterociclo, reação na qual intervém uma glicosil-transferase e posteriores possíveis reações de metilação das hidroxilas seguidas de acilações (GARZÓN, 2008).

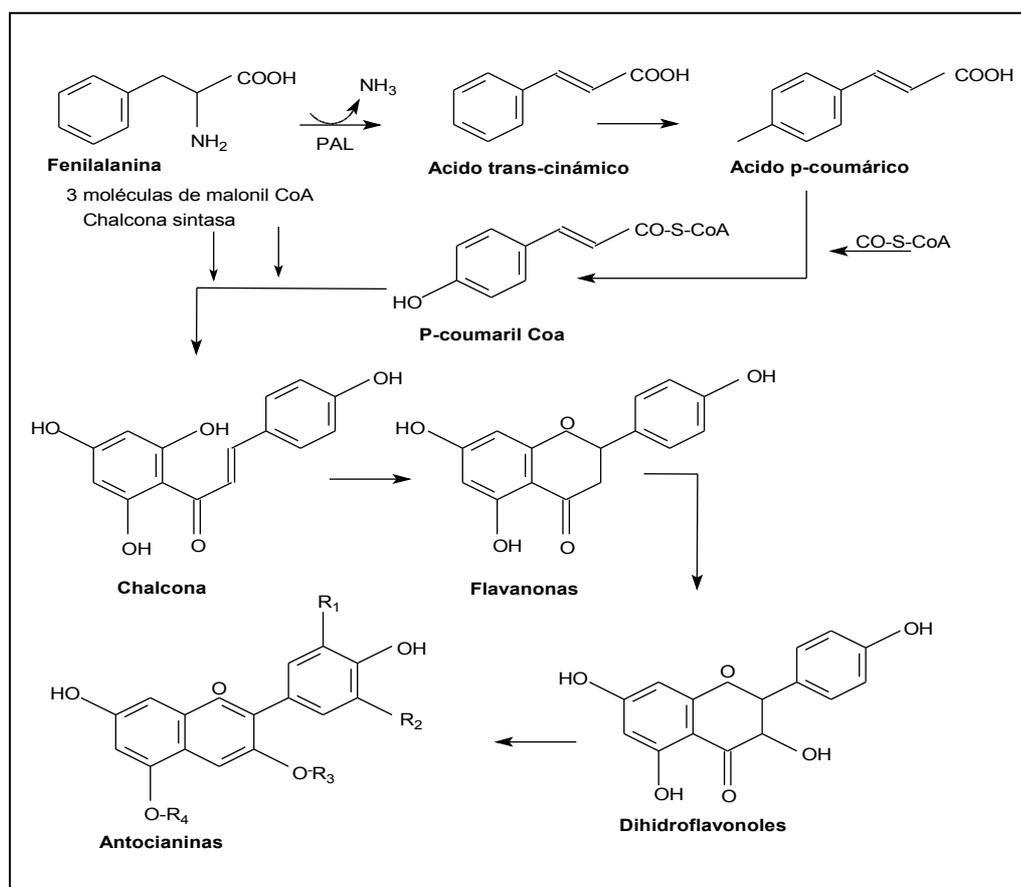


Figura 2 Biossíntese das antocianinas (GARZON, 2008).

2.7.4. Antocianinas em Morangos

Morangos (*Fragaria x Ananassa* Duch.) têm mostrado possuir alta atividade antioxidante *in vitro* que tem sido relacionada positivamente com o conteúdo de compostos polifenólicos e mais especificamente com as antocianinas, como sendo o tipo de polifenóis quantitativamente mais importantes no fruto (SILVA et al., 2007). A composição de antocianina neste fruto tem sido objeto de vários estudos, mas ainda não é totalmente caracterizada quanto aos pigmentos minoritários (SILVA et al., 2007).

As antocianinas do morango derivam de pelargonidina (Pg) e cianidina (Cy) agliconas. A principal antocianina nos frutos é a Pg 3-glicosídeo (Pg 3-gluc), a primeira identificada por Robinson e Robinson (1931) apud Silva et al., (2007).

Embora em pequenas quantidades a Cy 3-glicosídeo (Cy 3-gluc) parece também constante em todas as variedades e a Pg 3-rutinosídeo (Pg 3- rut) também é comumente encontrada. A Pg 3-arabinosídeo e a Cy 3-rutinosídeos têm sido citadas em algumas variedades de morango, assim como várias antocianinas aciladas (Lopes da Silva, et. Al., 2007).

Mais especificamente a Pg 3-(6-malonilglicosídeo) foi identificada por Tamura, Takada e Yoshida (1995) apud Silva et al., (2007) e indicada como um dos principais pigmentos em várias plantações de morangos no Japão, compreendendo de 5-30% do total do conteúdo de antocianinas.

Outras antocianinas aciladas também já foram relatadas em morango: Pg 3-acetilglicosídeo e Pg succinilglicosídeo (SILVA et al., 2007).

Em morangos *cv Camarosa* estudos realizados com Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) acoplada à espectroscopia de massa com eletrospray ionizante (ESI-MS) relataram a presença de Pg 3-acetilglicosídeo, Cy 3-rutinosídeo, Pg 3-malilglicosídeo, Pg diglicosídeo, e Cy 3-malonilglicosídeo-5-glicosídeo, a terceira destas sem ser descrita antes (SILVA et al., 2007).

Recentemente, pequenas quantidades de alguns pigmentos relacionados com antocianinas também tem sido descobertos e identificados em morango, incluindo 5-carboxipiranopelargonidina 3-glicosídeo e quatro complexos púrpuras antocianina-flavanol que consistem em pelargonidina 3-glicosídeo C-C vinculados a metades (epi)catequina e (epi)afzelequina (SILVA et al., 2007).

Em variedades diferentes de morango já foram identificados 25 pigmentos antocianicos diferentes (SILVA et al., 2007).

2.7.5. Influência da Temperatura sobre as Antocianinas

Além dos estudos sobre degradação térmica das antocianinas, existe pouca informação na literatura sobre os mecanismos físico-químicos que regem esta degradação.

Muitos alimentos que contêm antocianinas são processados termicamente antes do consumo e este processo pode influir significativamente no conteúdo das mesmas no produto final. O tratamento térmico de alimentos implica no aquecimento a temperaturas de 50 a 150 °C, dependendo do produto, do pH e vida-de-prateleira desejada (PATRAS et al., 2010).

A estabilidade química das antocianinas é o principal foco de muitos estudos recentes devido às suas aplicações potenciais, seus efeitos benéficos e seu emprego como alternativa aos corantes artificiais. De acordo com tais estudos, a estabilidade das antocianinas não se deve simplesmente à temperatura final do processo, mas também a influência das propriedades intrínsecas do produto e do processo como o pH, a temperatura de armazenagem, a estrutura química e a concentração das antocianinas presentes, luz, oxigênio, a presença de enzimas, proteínas e íons metálicos (PATRAS et al., 2010).

Devido a mecanismos de co-pigmentação as piroantocianinas são estáveis e intactas em flores, frutas e verduras. A magnitude e duração do aquecimento tem uma influência forte sobre a estabilidade das antocianinas. No estudo de Sadilova, Stintzing e Carle (2006) apud Patras et al. (2010), foi observado que o conteúdo das antocianinas no fruto do sabugueiro (*Sambucus nigra*) era muito sensível ao tratamento térmico. Depois de três horas de aquecimento, somente 50% dos seus pigmentos foi conservado à 95°C.

Vários estudos relataram um curso logarítmico de degradação das antocianinas com um aumento aritmético da temperatura. As altas temperaturas de branqueamento (95°C/3 minutos) na combinação com pasteurização no tratamento de purês de mirtilo causaram a perda de 43% do total das antocianinas monoméricas, comparado com os níveis encontrados no fruto fresco. Isto sugere que o calor pode acelerar a destruição dos pigmentos das antocianinas e também

fornece um forte apoio da hipótese que enzimas endógenas em frutos causam a destruição do pigmento no tratamento do suco (PATRAS et al., 2010).

Perdas similares em purês de framboesa foram relatadas por Ochoa, Kessler, Vullioud e Lozano (1999).

Viguera e Zafrilla (2001) apud Patras et al. (2010), relataram que a fabricação de marmelada causou perdas das antocianinas nos limites de 10% a 80% durante o aquecimento em tempos variáveis (de 10 à 15 minutos).

Viguera et al. (1999) apud Patras et al. (2010), relataram que a temperatura de armazenamento tem papel crítico para a perda das antocianinas. Tais autores observaram uma degradação muito lenta a 20°C comparada com 37°C. Assim, a estabilidade das antocianinas é fortemente influenciada pela temperatura (JACKMAN e SMITH, 1996 apud PATRAS et al., 2010).

Uma combinação de operações unitárias que implicam no uso de calor como branqueamento e a pasteurização, e também durante o armazenamento pode afetar notavelmente o conteúdo das antocianinas de frutas e verduras. Por exemplo, Volden et al. (2008), recentemente relataram que o branqueamento e o cozimento causam perdas de 59 % e 41 % respectivamente, no conteúdo das antocianinas do repolho roxo. Resultados similares foram relatados para mirtilo (LEE et al., 2002 ; SRIVASTAVA et al., 2007 apud PATRAS et al., 2010).

Kirca, O Zkan e Cemeroglu (2006), relataram que as antocianinas da cenoura preta foram razoavelmente estáveis durante o aquecimento a 70-80°C, resultados que estão de acordo com dados cinéticos apresentados por Rhim (2002) apud Patras et al. (2010), sobre a estabilidade térmica das antocianinas de cenoura preta entre 70 e 90°C.

Hager et al. (2008) apud Patras et al. (2010), encontraram que o tratamento de Rosídeas enlatadas em água ou xarope conduz a perdas das antocianinas de 42% e 51%, respectivamente. Recentemente Patras, Brunton, Da Pieve e Butler (2009) demonstraram que as antocianinas (cianindina-3-glicosídeo e pelargonidina-3-glicosídeo) em amora, Rosídeas e purê de morango foram afetados consideravelmente pelos tratamentos de processos térmicos de 70°C durante um tempo de exposição de 2 minutos.

Comumente a outros polifenóis, as antocianinas são degradadas enzimaticamente na presença de polifenoloxidase. Esta enzima pode ser inativada pelo aquecimento suave e, portanto alguns autores têm relatado que o

branqueamento (aquecimento a aproximadamente a 50°C) pode ter um efeito positivo sobre a retenção das antocianinas. Por exemplo, Skrede, Wrolstad e Durst (2000) apud Patras et al. (2010) relataram que a adição ao suco de mirtilo de um extrato de polpa de mirtilo branqueado não causou nenhuma degradação das antocianinas, entretanto a adição de um extrato não branqueado causou uma perda de 50 % das antocianinas, dando as enzimas um importante papel na degradação destes compostos.

Rossi et al. (2003) apud Patras et al. (2010), sugeriram que um branqueamento adicional no tratamento de suco pode ser vital com efeitos benéficos para a saúde, para inativar a polifenoloxidase.

A co-pigmentação também parece desempenhar um papel na estabilidade das antocianinas. Em um estudo conduzido por Dyrby, Westergaard e Stapelfeldt (2001), os autores relataram uma maior estabilidade térmica de antocianinas no repolho roxo comparada à groselha negra e em antocianinas da casca de uva e a amora em refrescos, devido à proteção do sistema flavilium pela co-pigmentação.

Na figura 3 pode-se observar o mecanismo proposto por Patras et al. (2010) para explicar a degradação de antocianinas pelo calor.

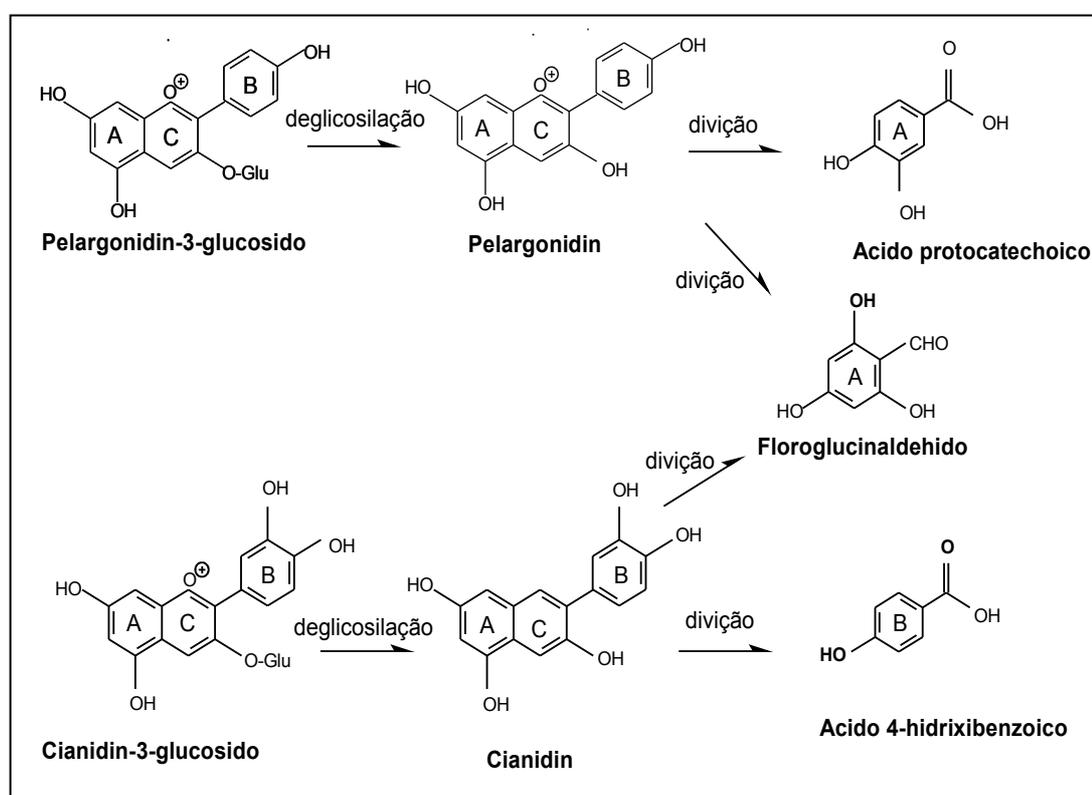


Figura 3: Degradação de antocianinas (PATRAS et al., 2010).

2.7.6. Cinética de Degradação de Antocianina em Tratamentos com Calor

Estudos prévios mostraram que a degradação de antocianinas acontece numa reação de primeira ordem. Este tipo de reações cinéticas se expressa com as seguintes equações:

$$-\frac{dC}{dt} = k \cdot C \quad (\text{Equação 1})$$

Integrando a equação 1 à partir do instante inicial $t = 0$ quando $C = C_0$, tem-se:

$$C_t = C_0 \exp(k \cdot t) \quad (\text{Equação 2})$$

Onde C_0 é o conteúdo inicial de antocianina e C_t é o conteúdo de antocianina, após o tempo t (min.) de aquecimento em uma dada temperatura e k é a constante cinética de primeira ordem (WANG e XU, 2007).

2.8 Secagem e Desidratação

A secagem de produtos agrícolas sempre tem sido considerada de grande importância pelos seres humanos para a preservação do alimento (YALDIZ et al., 2001).

Sobre a história da secagem Mercado et al. (2001), relataram que o primeiro registro feito sobre a secagem de verduras ocorreu no século XVIII (VAN ARSDEL e COPLEY, 1963). A partir disto, o desenvolvimento da indústria de secagem foi estreitamente relacionado com cenários de guerra no mundo inteiro. Tropas britânicas em Crimeia (1854-1856) recebiam verduras secas de seu país e os canadenses secaram verduras que eram embarcadas ao Sul da África durante a Guerra Bóer (1899-1902). Cerca de 4500 toneladas de verduras desidratadas foram embarcadas dos Estados Unidos da América durante a primeira guerra mundial. Em 1919, entre os produtos processados nos Estados Unidos da América se encontravam feijões verdes, couve-flor, cenouras, aipo, batatas, espinafre, milho tenro, nabos e misturas de sopa.

Sobre o processo de secagem Doymaz (2008) relataram que a secagem é o processo mais importante para conservar grãos e alimentos de todas as variedades. A remoção de umidade impede o crescimento e reprodução de microrganismos que

causam deterioração e reduz ao mínimo muitas reações mediadas pela umidade. Isto produz uma redução substancial do peso e do volume, reduzindo os custos de embalagem, armazenamento e transporte, além de permitir o armazenamento do produto em temperaturas ambientes.

A secagem ao sol tem sido usada durante muito tempo para secar frutas e verduras em países tropicais e subtropicais (DOYMAZ, 2008) e ainda é o método mais comumente empregado para conservar produtos agrícolas na maioria destes países (YALDIZ et al., 2001). A secagem ao sol é um método barato, fácil e popular (DOYMAZ, 2008), no entanto devido à falta de proteção contra chuva, ventos, sujeira, poeira, infestação por insetos, roedores e outros animais, a qualidade do alimento pode ser seriamente prejudicada, às vezes tornando-o não comestível (YALDIZ et al., 2001). Além disso, o processo é restringido pelo longo tempo de secagem e a necessidade de um clima favorável (DOYMAZ, 2008).

Yaldiz et al. (2001), também descrevem que a perda de qualidade dos produtos secos pode ter efeitos econômicos adversos sobre os mercados nacionais e internacionais.

Doymaz (2008), relata que para melhorar a qualidade dos alimentos, as técnicas de secagem ao sol tradicional deveriam ser substituídas por secagem ou desidratação mecânica, que gera um produto de melhor qualidade e padronização, além de levar menos tempo e reduzir ao mínimo as perdas de colheita. A secagem de frutas é um dos processos que mais consome tempo e energia na indústria de alimentos.

Mercado et al. (2001), fazem uma diferenciação entre os termos secagem e desidratação e indicam como escolher um bom desidratador. Os termos secagem e desidratação não são sinônimos. O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América cataloga alimentos desidratados como aqueles com teor de umidade de 2,5% ou menor, enquanto que alimentos secos se aplicam a qualquer produto com mais de 2,5%.

A seleção de um secador deve estar baseada em todo o processo de fabricação. As matérias primas, o produto intermediário, as condições e características finais (por exemplo, o conteúdo final de umidade) têm que ser claramente definidos.

Na etapa prévia do processo de secagem são consideradas a remoção da água parcial, por exemplo, a desidratação osmótica antes da liofilização. Para a

avaliação final no momento de selecionar um secador deve-se ter em conta (sem serem fatores limitantes): a capacidade de produção, o conteúdo de umidade inicial no produto, a distribuição de tamanho de partícula, as características de secagem de produto, a temperatura máxima aceitável do produto, características de explosão, isotermas de umidade e os dados físicos do material.

A desidratação é definida como “aplicação de calor sobre condições controladas para remover a maior parte da água presente nos alimentos, por evaporação” (FELLOWS, 2000). Há dois importantes fatores relacionados com a operação unitária de secagem (EARLE, 1966):

- a transferência de calor para fornecer o calor latente necessário para ocorrer à evaporação da água;
- a movimento da água, ou vapor de água, através do alimento e para fora dele, ocasionando a secagem do produto.

Existem três parâmetros inter-relacionados que controlam a capacidade do ar de remover a água do produto (FELLOWS, 2000):

- a quantidade de vapor de água presente no ar (umidade relativa);
- a temperatura do ar;
- a quantidade de ar que passa pelo alimento (velocidade do ar).

O calor é absorvido do ar de secagem pelo alimento e o calor latente necessário para a evaporação da água da superfície é provido. Dessa forma, quanto maior for a temperatura do ar de secagem, mais eficiente será a transferência de calor para o interior de alimento (FELLOWS, 2000).

Krokida (2006), investigando a cinética de secagem de alguns vegetais, como alho, cebola, ervilha e milho, observou que houve uma aceleração no processo de secagem devido ao aumento da temperatura do ar de secagem de 65°C para 85°C, o que foi visível no primeiro período do processo. Além disso, o efeito da temperatura de secagem foi mais significativo do que o efeito da velocidade do ar e da umidade relativa.

Quando o ar quente é soprado sobre um alimento úmido, o vapor de água se difunde através da camada limite de ar ao redor do alimento e é levado pelo ar em movimento. Um gradiente de pressão de vapor de água é estabelecido entre o interior do alimento úmido e o ar seco. Este gradiente provê a “força motriz” para a remoção de água do alimento, portanto, quanto menor a umidade relativa de ar de

secagem, maior será a transferência de massa do alimento para a corrente de ar (FELLOWS, 2000).

A camada limite atua como uma barreira tanto para a transferência de calor quanto para a remoção do vapor de água durante a secagem, sendo a espessura determinada principalmente pela velocidade do ar. Se a velocidade do ar for baixa, a camada limite é espessa, o que reduz a transferência de calor e a taxa de remoção da umidade. Neste caso, o vapor de água deixa a superfície do produto a ser seco e aumenta a umidade do ar ao redor dele, causando uma redução do gradiente de pressão de vapor de água e, por conseguinte, da velocidade de secagem. Portanto, quanto maior for a velocidade do ar, mais fina será a camada limite e maior será a velocidade de secagem.

Durante o decorrer da secagem ocorrem mudanças nos alimentos, podendo-se citar: endurecimento superficial, movimento de sólidos solúveis, retração, gelatinização do amido, amolecimento de componentes termoplásticos, mudanças do estado cristalino ao amorfo, escurecimento não-enzimático, perda de substâncias aromáticas voláteis, diminuição da capacidade de retenção de água, mudanças de textura, perdas do valor nutritivo e mudanças de cor (FELLOWS, 2000).

2.8.1. Curvas de Secagem

Quando se deseja secar um alimento (material higroscópico), considerando que a temperatura e a umidade do ar de secagem mantêm-se constantes durante todo o ciclo de desidratação e que todo calor necessário é proporcionado ao produto por convecção, as mudanças no conteúdo de umidade ajustam-se as curvas de secagem (ORDOÑEZ, 2005). Estas curvas apresentam três fases distintas, conforme é mostrado na figura 4. O gráfico do teor de umidade contra o tempo é a forma que se deve obter com os dados de ensaios de secagem (FELLOWS, 2000).

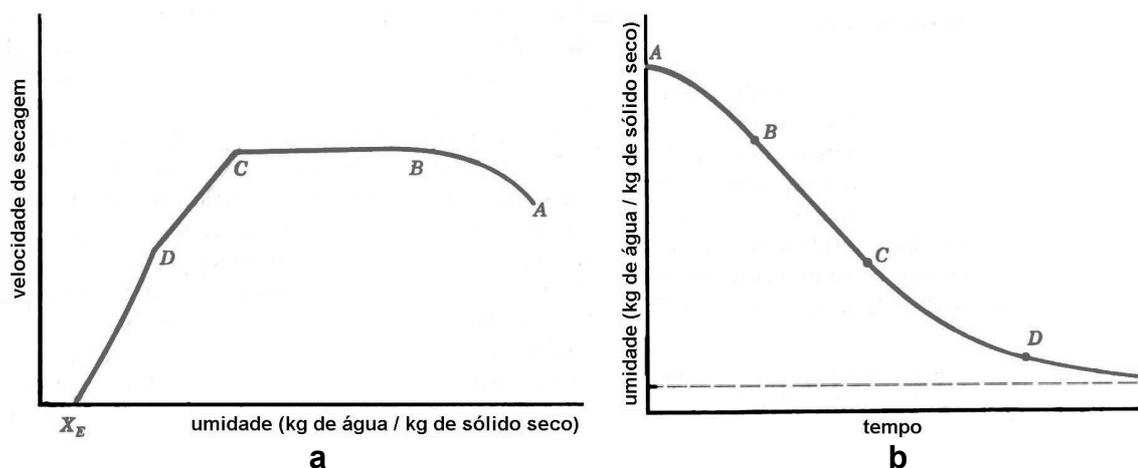


Figura 4: Curvas de secagem de um alimento: a) taxa de secagem em função de teor de umidade, b) teor de umidade em base seca em função do tempo. (Fellows, 2000).

A fase A-B é chamada de período de estabilização, no qual as condições da superfície do sólido equilibram-se com as do ar de secagem. Em geral, esta fase constitui a proporção desprezível do ciclo total de secagem (ORDOÑEZ, 2005).

Na fase B-C o vapor de água evapora da superfície do alimento na mesma taxa em que a água se movimenta no interior do alimento. A superfície do sólido permanece úmida e numa temperatura próxima à de bulbo úmido do ar de secagem. Este estágio é conhecido como o período de taxa de secagem constante e continua até atingir o ponto de umidade crítica, X_C (FELLOWS, 2000). Pode-se dizer que a secagem ocorre como se fosse a evaporação de uma massa de líquido sem haver influência direta do sólido na taxa de secagem (FOUST, 1982).

A fase C-D é chamada de período de taxa de secagem decrescente. Apresenta-se quando a velocidade de movimento da água do interior do alimento para a superfície reduz, e, portanto, a pressão parcial de vapor de água nessa superfície diminui progressivamente, e ela começa a secar. A velocidade de secagem nesse período é limitada principalmente pela velocidade de movimento da umidade (da água líquida e do vapor de água) dentro do sólido, reduzindo-se os efeitos dos fatores externos, em especial da velocidade do ar. Nesta etapa, a água está ligada à estrutura do alimento, e seu deslocamento através da camada desidratada é muito lento. Portanto, para que a velocidade de secagem seja significativa, é necessário aumentar a temperatura do produto, para proporcionar o calor de dessorção suficiente e elevar a pressão de vapor de água do alimento (ORDOÑEZ, 2005).

A partir do ponto crítico de umidade, a temperatura da superfície começa a elevar-se progressivamente (diminui a evaporação) durante o restante do processo de desidratação, até aproximar-se da temperatura de bulbo seco de ar, quando o produto desseca quase totalmente. Consequentemente, é preciso limitar a temperatura do ar durante a fase de velocidade decrescente para evitar alterações em alimentos termossensíveis (ORDOÑEZ, 2005).

A taxa de secagem aproxima-se de zero, num certo teor de umidade de equilíbrio, que é o menor teor de umidade atingível no processo de secagem, com o sólido nas condições a que está submetido. Neste ponto, a pressão de vapor sobre o sólido é igual à pressão parcial do vapor no gás secante afluente (FOUST, 1982).

O período de taxa de secagem decrescente é usualmente o mais longo da operação de desidratação e, em alguns alimentos (por exemplo, secagem de grãos) a umidade inicial do produto a ser seco é inferior à umidade crítica e o período de taxa de secagem decrescente é a única parte observável na curva de secagem. Inicialmente, os fatores que controlavam a velocidade de secagem nesse período são similares aos existentes no período de velocidade constante. Porém, gradualmente a velocidade do movimento da água no produto (transferência de massa) se torna o fator controlador do processo (FELLOWS, 2000).

2.8.2. Modelagem de Curvas de Secagem

Segundo Doymaz (2005), modelos matemáticos vêm sendo largamente e efetivamente utilizados para análises de secagem de produtos agrícolas.

2.8.2.1. Modelos Empíricos

A teoria da secagem foi pioneiramente descrita por Lewis em 1921, e está baseada na lei de resfriamento de Newton sendo bastante utilizada para explicar a transferência de massa em camada delgada. É válida unicamente no período de taxa de secagem decrescente:

$$MR = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \exp(-k \cdot t) \quad (\text{Equação 3})$$

Onde MR é a umidade adimensional, X , X_0 e X_e , são os conteúdos de umidade no tempo t , umidade inicial e de equilíbrio (expressos em base seca) respectivamente, e, k é a constante de secagem. Considera-se a umidade inicial X_0 somente se o alimento não possui período de taxa de secagem constante, caso contrário deve ser considerada a umidade crítica (X_c) e não X_0 .

Posteriormente, Page em 1949, sugeriu um modelo exponencial empírico adicionando um expoente n :

$$MR = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \exp(-k \cdot t^n) \quad (\text{Equação 4})$$

Essas equações são válidas para o período de taxa de secagem decrescente. Diversos modelos exponenciais empíricos foram surgindo e testados por diversos pesquisadores, sendo alguns deles apresentados na tabela 3.

Tabela 3: Modelos de curvas de secagem para uma camada fina de produto.

Nome Modelo	Model
Newton	$MR = \exp(-kt)$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$
Page Modificado	$MR = \exp[-(kt)^n]$
Henderson e Pabis	$MR = a \cdot \exp(-kt)$
Logarítmico	$MR = a \cdot \exp(-kt) + c$
Dois termos	$MR = a \cdot \exp(-k_0t) + b \cdot \exp(-k_1t)$
Dois termos exponenciais	$MR = a \cdot \exp(-kt) + (1-a) \cdot \exp(-kat)$
Wang e Singh	$MR = 1 + at + bt^2$
Difusão aproximada	$MR = a \cdot \exp(-kt) + (1-a) \cdot \exp(-kbt)$
Henderson e Pabis Modificado	$MR = a \cdot \exp(-kt) + b \cdot \exp(-gt) + c \cdot \exp(-ht)$
Verma et al.	$MR = a \cdot \exp(-kt) + (1-a) \cdot \exp(-gt)$
Midilli-Kucuk	$MR = a \cdot \exp(-kt^n) + bt$

Fonte: FELLOWS, 2000.

Muitos autores vêm pesquisando a cinética de secagem de diversos produtos alimentícios por convecção. Krokida et al. (2002), estudaram o efeito da temperatura, da umidade e da velocidade do ar de secagem, assim como o efeito do tamanho da amostra na desidratação de vegetais como tomate, cebola, alho, pimenta, batata, cenoura, milho, aipo e abóbora. O efeito de pré-tratamentos na secagem de morangos foi testado por Doymaz (2008), utilizando temperaturas de 50, 55 e 60°C, tendo como melhor resultado o modelo matemático logarítmico.

Doymaz (2008), avaliou o efeito de diferentes pré-tratamentos no tempo de secagem de amoras. Os resultados de seis modelos matemáticos diferentes para

secagem de uma camada fina de produto foram testados, e o modelo de Page foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, utilizando temperaturas do ar de secagem de 55, 67 e 80°C.

Modelos matemáticos empíricos se baseiam na relação direta existente entre o conteúdo médio de umidade e o tempo de secagem, não levando em consideração os princípios do processo de desidratação, ou seja, consideram apenas a resistência externa à transferência de água entre o produto e o ar.

Sendo assim, seus parâmetros não possuem nenhum significado físico. Portanto, esses modelos não fornecem uma visão exata dos processos importantes que ocorrem durante a secagem, embora, possam descrever as curvas de secagem para as condições do experimento (AKPINAR, 2006).

3. Materiais e Métodos

3.1. Morangos

As amostras de morangos frescos foram obtidas no comércio local da cidade de Porto Alegre (RS, Brasil). Os morangos foram adquiridos no mesmo dia de realização do processo de desidratação e os experimentos foram conduzidos entre abril à junho de 2010.

Para realizar as curvas de secagem e de desidratação os frutos foram pré-selecionados considerando-se ausência de injúrias visuais e infecções, bem como a uniformidade de tamanho e cor.

No laboratório, os frutos selecionados foram submetidos à lavagem com água corrente e imersos em solução de hipoclorito de sódio (150 mg.L^{-1}) para desinfecção superficial. Os frutos foram então drenados e cortados em quatro partes de forma longitudinal ao seu eixo e colocados com a pele para a corrente de ar, para acelerar o processo e para facilitar a liberação de água das células.

3.2. Determinação da Umidade das Amostras

A umidade foi determinada por perda de peso, em triplicata, em estufa a 105°C até atingir peso constante (AOAC, 2005). Utilizou-se de 2 à 4 g de amostra e, após, determinou-se a umidade em base úmida por diferença de peso e a umidade em base seca, através da equação 5:

$$U(\%) = \frac{P_a - P_s}{P_a} \times 100 \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

P_a = Peso da amostra úmida (g)

P_s = Peso da amostra seca (g)

$U(\%)$ = Umidade percentual (base úmida)

A umidade de equilíbrio foi determinada através dos dados experimentais, considerando a última medida feita durante o experimento de secagem.

3.3. Secagem

A secagem dos frutos foi realizada em um secador de 0,3 metros (m) de diâmetro e 0,5 m de altura de bandejas, por convecção, à temperatura constante. As amostras foram dispostas uniformemente sobre uma bandeja de 0,28 m de diâmetro e 0,10 m de altura com fundo telado, depositado na parte superior do secador. O ar quente passa de forma perpendicular à bandeja. As curvas de secagem foram obtidas pela pesagem da bandeja em intervalos definidos (10 minutos), até o final do processo, ou seja, até não haver mais variação do peso, tendo atingido, assim, a umidade de equilíbrio. Os experimentos foram realizados em duplicata para temperaturas de bulbo seco do ar de secagem de 50, 60 e 65°C.

O secador foi ligado aproximadamente 30 minutos antes do início de cada experimento, para atingir as condições de secagem desejadas.

A perda de peso das amostras foi medida utilizando uma balança com precisão de 0,01g.

Foi realizada uma amostragem a cada intervalo de tempo de 40 minutos e posteriormente as amostras foram embaladas a vácuo e mantidas no freezer até o momento das análises por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE).

3.4. Modelagem Matemática das Curvas de Secagem

A modelagem do processo de secagem foi realizada ajustando-se os dados experimentais aos modelos empíricos de Newton, Page, Henderson e Pabis, dois termos e logarítmica utilizando o *software Environment for Modeling Simulation and Optimization (EMSO)*. Para avaliar a qualidade do ajuste de cada modelo foram utilizados o coeficiente de regressão (R^2), função objetivo, a raiz quadrada do erro médio (RMSE) (Equação 6), e o chi-padrão (χ^2) (Equação 7).

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (MR_{i,pre} - MR_{i,exp})^2}}{N} \quad \text{Equação 6}$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{i,exp} - MR_{i,pre})^2}{N - p} \quad \text{Equação 7}$$

Onde, MR_{pre} e MR_{exp} são, respectivamente, os valores preditos e experimentais para o teor de umidade adimensional, N é o número de pontos experimentais e p é número de constantes no modelo de secagem.

3.5. Extração e Identificação das Antocianinas

A partir dos frutos desidratados foram extraídos as antocianinas com uma solução metanólica de HCl 1%. Em seguida, a solução foi filtrada e concentrada a vácuo ($T < 38^{\circ}\text{C}$) até evaporação total do metanol (FRANCIS, 1982). O extrato bruto concentrado de antocianinas foi transferido para um balão de 25 ml, completando-se o volume com a solução de metanol acidificado.

Foi retirada da amostra uma alíquota de 1 ml e esta foi injetada em cromatógrafo líquido Agilent 1000 equipado com degaseificador, bomba quaternária de solventes, injetor automático e detector de absorvância UV-Vis. Os pigmentos foram separados em uma coluna de fase reversa C_{18} Shim-pak CLC-ODS (5 μm , 250 x 4,6 mm) utilizando como fase móvel um gradiente linear de eluição com 4% ácido fosfórico aquoso/acetonitrila de 85:15 (v/v) a 20:80 em 25 minutos, sendo mantida essa proporção isocrática por 15 minutos, segundo condições estabelecidas experimentalmente por Zanatta (2005). O fluxo da fase móvel foi de 1,0 ml/min, a temperatura da coluna mantida a 29°C e o volume de injeção foi de 10 μl . Os cromatogramas foram processados a 520 nm.

A identificação das antocianinas foi baseada em: (1) ordem de eluição em fase reversa (CLAE); (2) comparação dos comprimentos de onda máxima de absorção ($\lambda_{\text{máx}}$) com dados da literatura; (3) comparação com padrão comercial de *Pelargonidin chloride* (Sigma-Aldrich, CAS: 134-04-3). As extrações de antocianinas e injeções no cromatógrafo foram realizadas em duplicata.

4. Resultados e Discussão

4.1. Secagem

4.1.1 Umidade das Amostras

Foi determinada a umidade do morango utilizado nos experimentos, sendo a umidade média encontrada de 93,3 %.

4.1.2 Curvas de secagem

Os morangos foram secos nas temperaturas de 50°C, 60°C e 65°C. A curva de umidade (X) contra o tempo é mostrada na figura 5. Nestes gráficos, pode-se observar que, para atingir uma umidade final semelhante nas diferentes temperaturas, as curvas de 60°C e 65°C requerem menor tempo, são mais pronunciadas e com maior inclinação, enquanto que a temperatura de 50°C desenha uma linha mais suave e requer maior tempo de secagem.

A figura 6 apresenta as curvas de taxa de secagem contra a umidade. As curvas de secagem nas diferentes temperaturas mostram que os morangos não apresentam período de taxa de secagem constante, apenas taxa decrescente, e o aumento da temperatura leva a um aumento desta taxa. O período de taxa de secagem decrescente é quase sempre o único observado para a secagem de produtos agrícolas e alimentícios (PARK, YADO, BROD, 2001).

4.1.3. Modelos Empíricos

Os dados experimentais de secagem foram aproximados pelos modelos empíricos de Newton, Henderson e Pabis, Page, logarítmico e dois termos exponencial.

A tabela 4 apresenta os parâmetros calculados de cada modelo e os valores do coeficiente de regressão, da raiz quadrada do erro médio e do chi-padrão.

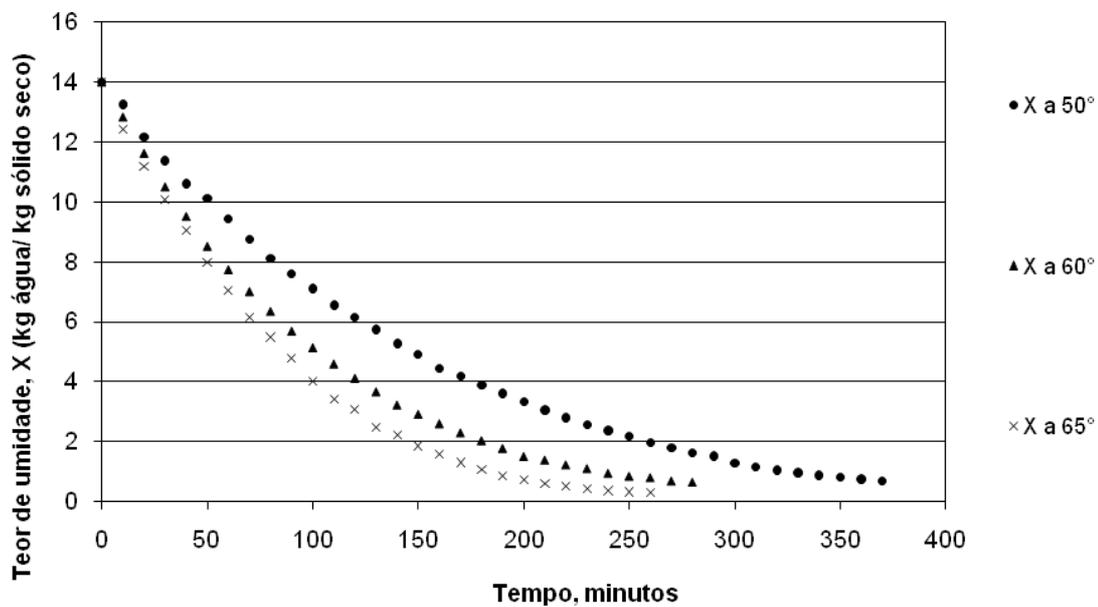


Figura 5: Curvas de secagem do morango: variação do teor de umidade (kg água/kg sólido seco) em função do tempo de secagem (minutos)

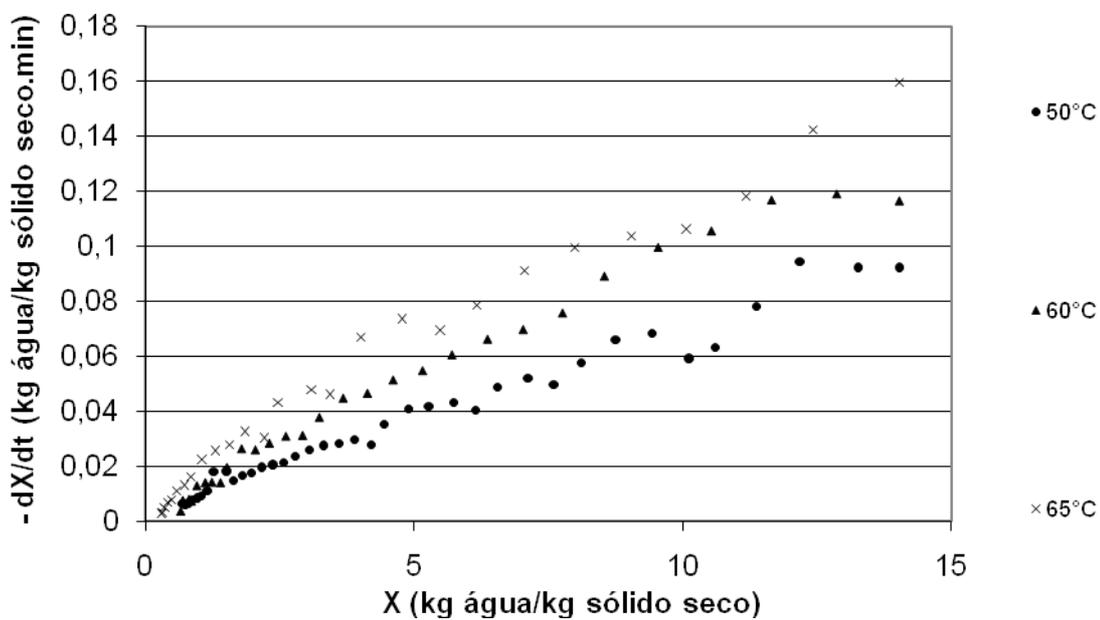


Figura 6: Curvas de secagem do morango: taxa de secagem (kg água/kg sólido seco x min.) em função do teor de umidade (X).

Tabela 4: Parâmetros da secagem do morango "in natura" a 50, 60 e 65°C.

Temperatura: 50°C					
Modelo	R ²	Função objetivo	RMSE	χ^2	Parâmetros
Newton	0,998157	0,000262806	0,002835144	0,000313701	k=0,00729023
Henderson e Pabis	0,992603	0,000166184	0,002476743	0,000246052	k=0,00748473 a=1,02628
Page	0,995688	4,82767E-05	0,00147182	8,68908E-05	k=0,00448765 n=1,09569
Logarítmico	0,999987	2,44192E-05	0,000689278	1,96015E-05	k=0,0063627 a=1,07037 c=-0,0671748
Dois termos exponenciais	0,99622	4,39825E-05	0,018125475	0,013177817	k=0,00900984 a=1,57099
Temperatura: 60°C					
Modelo	R ²	Função objetivo	RMSE	χ^2	Parâmetros
Newton	0,999151	0,000195644	0,002597365	0,00020263	k=0,0104055
Henderson e Pabis	0,998112	0,000166184	0,002315268	0,000166969	k=0,00729479 a=1,02968
Page	0,999719	2,24028E-05	0,000878925	2,40623E-05	k=0,007003 n=1,0841
Logarítmico	0,99969	2,28069	0,000887492	2,54772E-05	k=0,0096485 a=1,04991 c=-0,0394935
Dois termos exponenciais	0,999806	1,54383E-05	0,000729633	1,65822E-05	k=0,0126962 a=1,54817
Temperatura: 65°C					
Modelo	R ²	Função objetivo	RMSE	χ^2	Parâmetros
Newton	0,995965	0,000767204	0,005330569	0,000796712	k=0,0129055
Henderson e Pabis	0,994158	0,000613684	0,004768587	0,000663082	k=0,0133988 a=1,04088
Page	0,998398	0,000151112	0,002365745	0,000163201	k=0,00590632 n=1,17138
Logarítmico	0,998476	0,000121435	0,002121278	0,000136682	k=0,0111243 a=1,08311 c=-0,0707463
Dois termos exponenciais	0,998519	0,000142533	0,002297978	0,000153985	k=0,0168898 a=1,68929

No presente trabalho, foram utilizadas temperaturas à 50, 60 e 65°C, pois podem ser reproduzidas na industrialização e apresenta menor degradação que à 95°C, segundo, Verbeyst et al. (2010).

Doymaz (2008), estudou o processo de desidratação em morangos inteiros tratados com agentes químicos para permeabilizar a casca e reduzir o tempo do processo. Segundo o autor, o modelo que melhor adaptou-se à desidratação a 50 e 55°C é o modelo logarítmico, e que o modelo de Wang e Sing adaptou-se melhor para temperatura de 65°C.

No presente trabalho, o modelo de Wang e Sing, não foi utilizado por não estar de acordo com a Lei de Fick, os cinco modelos empíricos testados apresentaram valores para R^2 elevados e valores para χ^2 e RMSE reduzidos, significando que o processo de secagem foi realizado corretamente, devido o secador utilizado não possuir porta, não sendo necessário um período de estabilização prolongado entre a pesagem da bandeja.

Os modelos das curvas de secagem que melhor se adaptaram a os dados experimentais, foram, o modelo logarítmico, para 50 e 65°C, e dois termos exponenciais para 60°C. A diferença entre Doymaz (2008) e este trabalho se baseia no feito de que, no primeiro, o experimento foi realizado com morangos inteiros e com pré-tratamento químico de permeabilização da casca, enquanto, no presente trabalho, os morangos foram cortados longitudinalmente em quatro partes, e sem tratamentos químicos, para diminuir o tempo de secagem das amostras, trazendo uma redução a energia do processo e dos custos de produção.

Os tempos no trabalho de Doymaz (2008), oscilaram de 700 à 1600 minutos e no presente trabalho os tempos foram de 240 à 370 minutos, sendo que este feito pode ser explicado pela Segunda Lei de Fick (Equação 8), (AKPINAR, 2006), uma vez que ao mudar a geometria das amostras, altera-se o caminho de difusão e em consequência o tempo de secagem.

$$\frac{dX}{dt} = D \cdot \frac{d^2 X}{dr^2} \quad \text{Equação 8}$$

Onde, X é o conteúdo de umidade (kg água/kg sólidos secos), r é o caminho de difusão (m), t é o tempo (s) e D é a difusividade mássica (m²/s).

As equações 9, 10 e 11 apresentam os modelos matemáticos empíricos para a secagem de morango obtido neste estudo, sendo a equação 9 para 50°C, a 10 para 60°C e a 11 para 65°C.

$$MR = 1,07037 \cdot \exp(-0,0063627 \cdot t) + (-0,0671748) \quad \text{Equação 9}$$

$$MR = 1,54817 \cdot \exp(-0,0126962t) + (1 - 1,54817) \cdot \exp(-0,0126962 \cdot 1,54817 \cdot t) \quad \text{Equação 10}$$

$$MR = 1,08311 \cdot \exp(0,0111243 \cdot t) + (-0,0707463) \quad \text{Equação 11}$$

As figuras 7, 8 e 9 representam os pontos experimentais de secagem juntamente com suas respectivas curvas de ajuste, para os modelos logarítmico e dois termos exponenciais, nas três temperaturas testadas. Os gráficos mostram visualmente a boa adequação dos modelos ajustados aos dados experimentais.

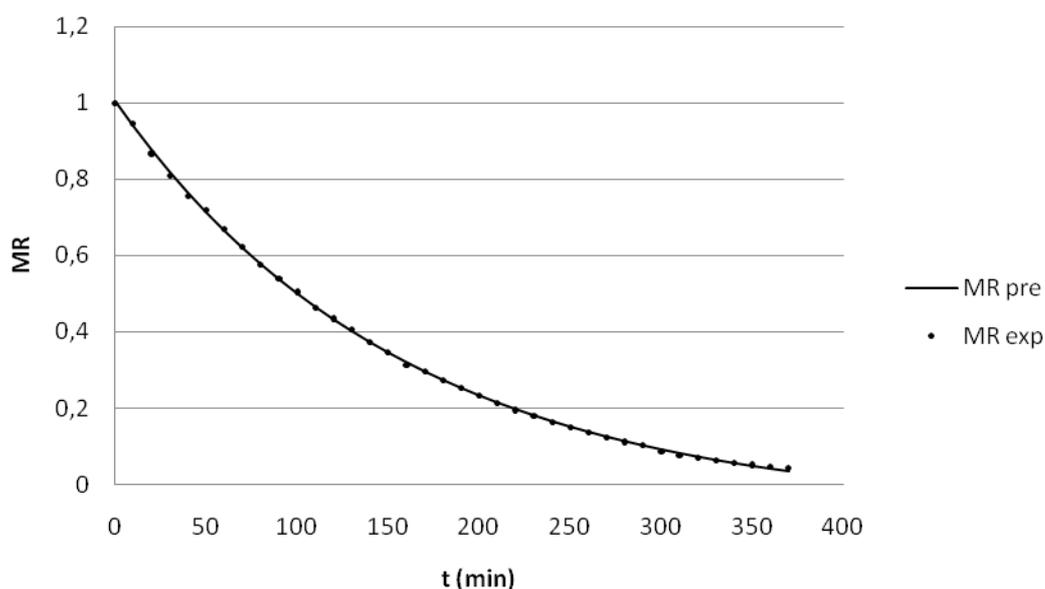


Figura 7: Representação gráfica dos valores preditos e experimentais de acordo com o modelo logarítmico, para temperatura de 50°C.

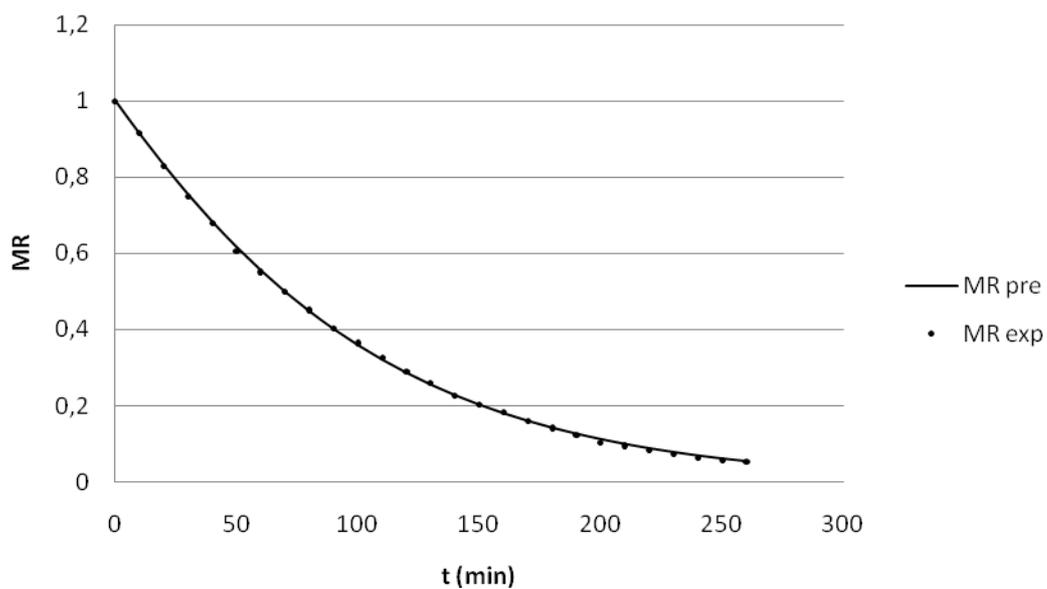


Figura 8: Representação gráfica dos valores preditos e experimentais de acordo com o modelo dois termos exponenciais, para temperatura de 60°C.

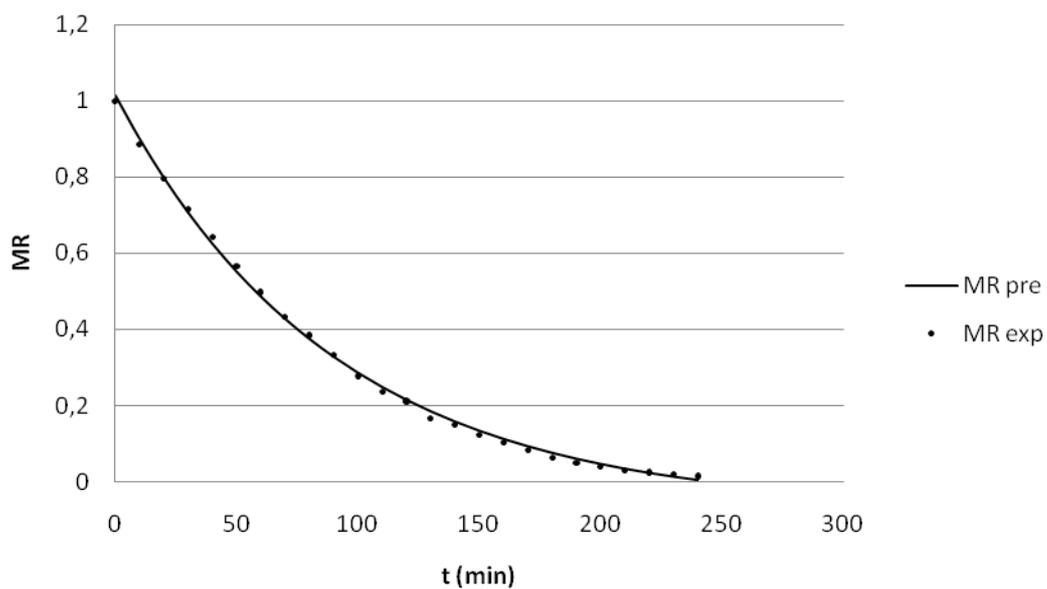


Figura 9: Representação gráfica dos valores preditos e experimentais de acordo com o modelo logarítmico, para temperatura de 65°C.

4.2. Degradação de Pelargonidina

Com o objetivo de avaliar a degradação das antocianinas ao longo do processo de secagem, foram retiradas amostras e o conteúdo de pelargonidina foi determinado. Todas as concentrações foram expressas em mg de cloreto de pelargonidina por kg de sólido seco de amostra de morango.

Em contraste com os dados experimentais de secagem, a concentração de pelargonidina apresentou uma variabilidade muito alta, que pode ser devido a diversos fatores, entre eles, variedade nas amostras, erro dos aparelhos, erro do operador, erro do método. Os dados de degradação a 50°C não foram utilizados pela alta variabilidade apresentada.

Na figura 10 estão apresentadas as curvas de degradação de pelargonidina nas temperaturas de 60°C e 65°. Apesar da variabilidade dos dados, observa-se uma tendência de degradação da mesma ao longo da secagem. Em torno de 40% da pelargonidina inicial é degradada durante a secagem em ambas as temperaturas.

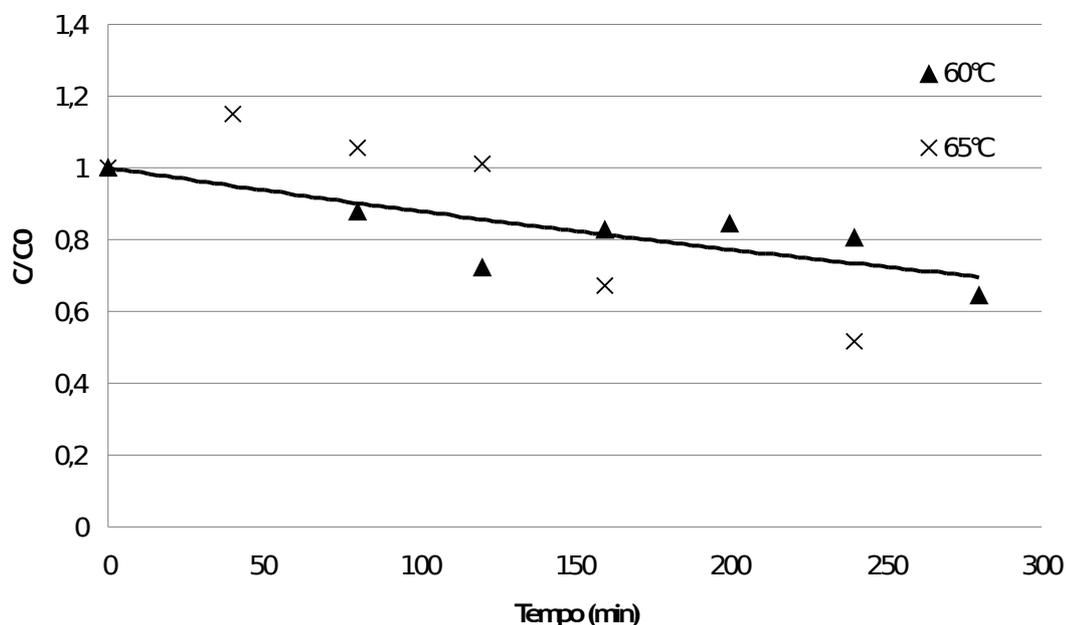


Figura 10: Degradação de pelargonidina em morangos a 60°C (280 min.) e 65°C (240 min.) durante o processo de desidratação.

Os dados de degradação foram utilizados para se determinar a constante cinética de degradação considerando uma reação de primeira ordem. As constantes calculadas estão mostradas na tabela 5.

Tabela 5: Constantes cinéticas de degradação da pelargonidina

Temperatura (°C)	k (min ⁻¹)	R^2
60	0,00129	0,55
65	0,00199	0,66

Apesar do baixo coeficiente de correlação obtido, as constantes calculadas foram comparadas com os dados obtidos por Verbeyst et al. (2010) que estudaram a cinética de degradação de pelargonidina em purê de morango. Contudo, o intervalo de temperatura estudado por estes autores foi entre 95°C e 130°C. Desta forma, os dados foram comparados através da adequação de uma cinética de Arrhenius (Equação 12)

$$k = k_0 \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad \text{Equação 12}$$

Onde k_0 é a constante pré-exponencial, E_a é a energia de ativação, R é a constante dos gases ideais e T é a temperatura absoluta. A equação 12 pode ser linearizada aplicando-se logaritmo natural em ambos os lados:

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} \quad \text{Equação 13}$$

Para checar a adequação entre os dados obtidos com os dados de Verbeyst et al. (2010), ambos foram plotados em um gráfico do $\ln k$ contra o inverso da temperatura absoluta. Os resultados, apresentados na Figura 11, mostram que apesar da alta variabilidade dos dados, estes possuem uma alta correlação ($R^2 = 0,9758$) com os dados de Verbeyst et al. (2010).

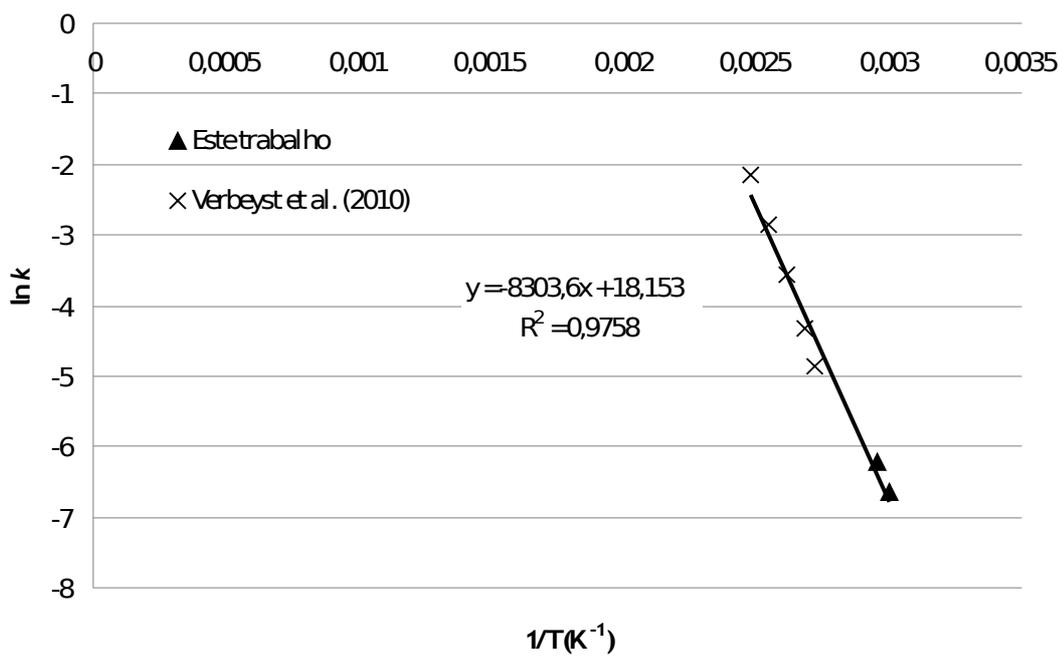


Figura 11: Comparação entre as constantes de degradação calculadas neste trabalho e as obtidas por Verbeyst et al. (2010) através da cinética de Arrhenius.

5. Conclusão

Os morangos foram submetidos ao processo de desidratação a 50, 60 e 65°C, apresentando uma significativa correlação com os cinco modelos matemáticos empíricos analisados.

Devido aos cortes longitudinais do fruto, os tempos do processo de desidratação nas três temperaturas utilizadas, foram reduzidos em comparação à literatura encontrada.

Os resultados obtidos à 50°C, apresentaram alta variabilidade, não sendo possível analisar a degradação de pelargonidina nesta temperatura.

Durante o processo observou-se uma degradação de pelargonidina em torno de 40% nas temperaturas de 60 e 65°C, com uma constante cinética de degradação de 0,00129 min⁻¹ para 60°C e de 0,00199 min⁻¹ para 65°C. As constantes cinéticas de degradação de pelargonidina são comparáveis a literatura. A temperatura de 65°C, apresentou menor tempo do processo.

6. Perspectivas

As perspectivas futuras para este trabalho são as seguintes:

- Realizar o experimento de desidratação com morangos inteiros para aumentar o tempo de secagem e avaliar a degradação da pelargonidina em um tempo maior de secagem;
- Trabalhar com maior intervalo temperatura de 10 em 10°C, entre 40 e 80°C;
- Identificar, na determinação de pelargonidina, a fonte de variabilidade do teste;
- Realizar pré-tratamento de inativação enzimática, após o corte dos frutos.

7. Referências Bibliográficas

AKPINAR, E. K. Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. **Journal of food Engineering**. Elazig, v.73, n.1, p.75-84. 2006. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 14 ago. 2010.

ANTUNES, L. E. C. e FILHO J. D. et al. Introdução. Sistema de produção de morangos. Embrapa Clima Temperado. **Sistemas de Produção**, Brasil, 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Morango/SistemaProducaoMorango/index.htm>>. Acesso em: 8 mai. 2010.

ANTUNES, O. T. et al. Produção de cultivares de morangueiro polinizadas pela abelha jataí em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**. Brasil. v.25, p. 094-099, 2007. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/hb/v25n1/a18v25n1.pdf>. Acesso em: 29 set. 2010.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of analysis**. 18th ed. Gaithersburg, 2005.

BIESALSKI, H. K. et al. Bioactive compounds: Definition and assessment of activity. **Nutrition**. Alemanha. v.25, n.11-12, p.1202-1205, 2009. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 12 mai. 2010.

BIESALSKI, H. K. et al. Bioactive compounds: Safety and efficacy. **Nutrition**, Alemanha, v. 25, n.11-12, p.1206-1211, 2009.

CHEPLICK S. et al. Phenolic-linked variation in strawberry cultivars for potential dietary management of hyperglycemia and related complications of hypertension. *Bioresource Technology*. U.S.A. v.101, n. 1, p. 404-413, 2010. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 8 mai. 2010.

DANSA, A. M. et al. Perfil de Mercado de frutilla. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, República Argentina. **Gacetilla informativa de la Direccion de Mercados Agroalimentarios**, 2008. Disponível em: <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/programas/dma/newsletters/nro37/newsletter_frutilla_0102.php>. Acesso em: 8 mai. 2010.

DUCHESNE, A. N. et al. Races principales. United States Department of Agriculture, **Agricultural Research Service**, Beltsville Area, Germplasm Resources Information Network. Disponível em: <<http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?244>>. Acesso em: 5 mai. 2010.

DOYMAZ, I. Convective drying kinetics of strawberry. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**. Istanbul, v. 47, n. 5, p. 914-919, 2008. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 18 mai. 2010.

DOYMAZ, I. The drying behavior of green beans. **Journal of food Engineering**. Istanbul, v.69, n.2, p.161-165, 2005. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 18 mai. 2010.

DYRBY, M.; WESTERGAARD, N.; STAPELFELDT, H. Light and heat sensitivity of red cabbage extract in soft drink model systems. **Food Chemistry**, U.S.A. v.72, p. 431-437, 2001.

EARLE, R. L. **Unit operations in food processing**. Oxford: Pergamon Press, 1966. 342p.

FELLOWS, P. J. **Food processing technology: principles and practice**. Cambridge: CRC, 2000. 575p.

FERRARI, C. K. B. et al. Biochemical pharmacology of functional foods and prevention of chronic diseases of aging. **Biomedicine & Pharmacotherapy**. U.S.A., p.251-260, 2003. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 11 mai. 2010.

FOUST, A.S. et al. **Princípios das operações unitárias**. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC, 1982. 670p.

FREIHEIT, A. et al. Costo productivo de la producción de frutillas bajo micro túnel em Gobernador Gregores. **Instituto Nacional de Tecnología Agropecuária**, Estación Experimental Agropecuária Santa Cruz, Santa Cruz, Argentina. Disponível em: <http://www.inta.gov.ar/santacruz/info/documentos/econ/costo_productivo_frutilla.pdf>. Acesso em: 7 mai. 2010.

GARZÓN G.A. Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: Revisión. **Acta biol. Colomb.**, Colômbia, v.13, n.3, p.27-36, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v13n3/v13n3a2.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2010.

KIRCA, A.; ÖZKAN M.; CEMEROĞLU B. Stability of black carrot anthocyanins in various fruit juices and nectars. **Food Chemistry**. Turquia, v.97, n.4, p.598-605, 2006.

KONG, J. M. et al. Analysis and biological activities of anthocyanins. **Phytochemistry**. Singapur. Volume 64, n.5, p.923-933, 2003. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 9 mai. 2010.

KROKIDA, M. K. et al. Drying kinetics of some vegetables. **Journal of Food Engineering**. Essex, v.59, n.4, p.391-403, 2003. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 14 ago. 2010.

LI, H. et al. Strawberry plant fruiting efficiency and its correlation with solar irradiance, temperature and reflectance water index variation. **Environmental and Experimental Botany**. USA. v.68, n.2, p.165-174, 2010. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 7 mai. 2010.

MERCADO, H. V. et al. Advances in dehydration of foods. **Journal of Food Engineering**. U.S.A.v.49, n.4, p.271-289, 2001. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 18 mai. 2010.

OCHOA, M. R.; KESSELER, A. G.; VULLIOUD, M. B.; LOZANO J. Physical and chemical characteristics os raspberry pulp: storage effect on composition and color. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, Argentina, v.32, n.3, p.149-153, 1999.

ORDOÑEZ, J. A. (Ed.) **Tecnologia de alimentos**: componentes dos alimentos e processos. Porto Alegre: Artmed, 2005. 294p.

PARK, K. J.; YADO M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra Bartlett (*Pyrus sp.*) em fatias. **Ciênc. Tecnol. Aliment.** Brasil, v.21, n.3, 2001.

PATRAS, A. et al. Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. **Trends in Food Science & Technology**. Irlanda, v.21, n.1, p.3-11, 2010. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 5 jun. 2010.

PATRAS A.; BRUNTON, N. P.; DA PIEVE, S.; BUTLER. Impact of high pressure processing on total antioxidant activity, phenolic, ascorbic acid, anthocyanin content and colour of strawberry and blackberry purées. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**. Irlanda, v.10, n.3, p.308-313, 2009. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 5 jun. 2010.

ROSSI, M. et al. Effect of fruit blanching on phenolics and radical scavenging activity of highbush blueberry juice. **Food Research International**, U.S.A., v.36, p. 999-1005, 2003.

SACCONI, K. Caracterización de la zona de Coronda como productora de frutilla. **Subsecretaria de Producción y Medio Ambiente**, Argentina. Disponível em: <http://www.alimentosargentinos.gov.ar/0-3/frutas/frutas_finas/Produccion_de_frutillas_en_coronda.pdf>. Acesso em: 5 mai. 2010.

SANTOS, P. E. T. Características básicas das principais cultivares de morango plantadas no Brasil. **Sistema de produção de morangos**. Embrapa Clima Temperado Sistemas de Produção, Brasil, 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Morango/SistemaProducaoMorango/cap02.htm>>. Acesso em: 30 set. 2010.

SILVA, F. L. et. al. Anthocyanin pigments in strawberry. **Food Science and Technology**. Brasil, v.40, n.2, p.374-382, 2007. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 14 mai. 2010.

SKREDE, G.; WROLSTAD, R.; DURST, R. W. Changes in Anthocyanins and Polyphenolics During Juice Processing of Highbush Blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) **Journal of Food Science**, U.S.A., v.65, n.2, p.357-364, 2000.

TACO, TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS. versão 2, 2° ed. **Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação**. Universidade Estadual de Campinas. Brasil. p.32-33, 2006.

VAN ARSDEL, W. B.; COPLEY M. J. **Food dehydration**. Principles. Westport, CT: AVI Publishing. 1963.

VERBEYST, L. et al. Kinetic study on the thermal and pressure degradation of anthocyanins in strawberries. **Food Chemistry**. Bélgica. v.123, n.2, p.269-274, 2010.

VOLDEN, J. et al. Processing (blanching, boiling, steaming) effects on the content of glucosinolates and antioxidant-related parameters in cauliflower (*Brassica oleracea* L. ssp. *botrytis*). **Food Science and Technology**. Noruega, v.42, n.1, p.63-73, 2009.

WEI-DONG WANG; SHI-YING XU. Degradation kinetics of anthocyanins in blackberry juice and concentrate. **Journal of Food Engineering**. U.S.A., v.82, n.3, p.271-275, 2007. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 5 nov. 2010.

YALDIZ, O. et al. Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. **Energy**. Turquia, v.26, n.5, p.457-465, 2001. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 18 mai. 2010.

ZANATTA, C.F. et al. Determination of Anthocyanins from Camu-camu (*Myrciaria dubia*) by HPLC-PDA, HPLC-MS and NMR. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Brasil. v.53, p.9531-9535, 2005.