



POLIANA GASPAR TOSATO

**INFLUÊNCIA DO ETANOL NA SECAGEM DE
MAÇÃ FUJI**

**LAVRAS – MG
2012**

POLIANA GASPAR TOSATO

INFLUÊNCIA DO ETANOL NA SECAGEM DE MAÇÃ FUJI

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Jefferson Luiz Gomes Corrêa

Coorientador

Dr. Flávio Meira Borém

**LAVRAS – MG
2012**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Tosato, Poliana Gaspar.

Influência do etanol na secagem de maçã Fuji / Poliana Gaspar
Tosato. – Lavras : UFLA, 2012.

158 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Jefferson Luiz Gomes Corrêa.

Bibliografia.

1. Cinética da secagem. 2. Características físicas. 3. Umidade
relativa. 4. Temperatura. I. Universidade Federal de Lavras. II.
Título.

CDD – 664.804116

POLIANA GASPAR TOSATO

INFLUÊNCIA DO ETANOL NA SECAGEM DE MAÇÃ FUJI

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 8 de junho de 2012

Dr. Jaime Vilela de Resende UFLA

Dra. Lanamar de Almeida Carlos UFSJ

Dr. Jefferson Luiz Gomes Corrêa

Orientador

Dr. Flávio Meira Borém

Coorientador

**LAVRAS - MG
2012**

*A Deus em primeiro lugar sempre, que com a vara e o cajado tem me moldado
através de sua Palavra.*

*A meus pais, Antonio Roberto Tosato e Vera Lucia Gaspar Tosato, que têm
apoiado todas as minhas decisões, pelo exemplo de vida, pelo imenso amor e
pela convicção de que sonhar e concretizar o sonho depende de nós.
A minhas irmãs, Maira, Natália, Lívia, Larissa e Tamara, pela amizade e força.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao meu amado Pai que me acompanha em todos os momentos, mantém minha mente fixa em sua vontade e me guia.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciência dos Alimentos, pela oportunidade concedida para realização do mestrado.

À CAPES, FAPEMIG, FINEP, e CNPq por proporcionarem as condições necessárias para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Dr. Jefferson Luiz Gomez Corrêa, em especial, pela orientação, paciência, compreensão que foram de grande contribuição para conclusão deste trabalho.

Aos professores do Departamento de Ciência dos Alimentos, pelos ensinamentos transmitidos e convivência, e à banca examinadora que se disponibilizou para enriquecer este trabalho.

Aos colegas de laboratório Bruno e Kamilla, ao meu querido amigo Fausto e a minha meia-irmã Letícia, obrigada por todo tempo dedicado e pela amizade.

A cada colega que me ajudou neste trabalho, seja com uma palavra de força, com ideias ou sugestões.

Aos meus pais, minhas irmãs e minha sobrinha que têm sido minha alegria.

A cada um que tem sido presente na minha vida e que tem me feito sorrir, eu agradeço.

“Ora, se algum de vós tem falta de sabedoria, peça-a a Deus, que a todos dá liberalmente e não censura, e ser-lhe-á dada”

Tiago 1:5

RESUMO

Este trabalho teve o objetivo de avaliar o efeito do etanol na secagem de maçã Fuji e em relação a algumas características físicas. Os ensaios foram realizados com base em planejamento experimental, tendo a temperatura (45,9 °C a 74,1 °C) e umidade relativa (14,3% a 32,7%) do ar de secagem como variáveis independentes, a velocidade do ar de secagem foi constante em 2,5 m.s⁻¹. As variáveis dependentes analisadas foram os parâmetros de cor (L*, b* e a*), a variação total de cor (ΔE), índice de escurecimento (BI), teor de sólidos solúveis, qualidade visual, encolhimento superficial e de espessura, capacidade de reidratação, atividade de água e parâmetros de textura (dureza, trabalho e adesividade). As amostras foram também analisadas por microscópio eletrônico de varredura e o uso da técnica do *biospeckle laser* para determinar a correlação entre as propriedades físicas e estruturais. As amostras pré-tratadas com etanol mostraram maior taxa de secagem, no entanto maior escurecimento e aparentemente estado mais rugoso em relação às amostras sem pré-tratamento com etanol. Constatou-se que as variáveis independentes influenciaram diretamente na adesividade das amostras sem pré-tratamento com etanol e indiretamente nas amostras pré-tratadas com etanol. O trabalho e dureza foram influenciados indiretamente pela umidade relativa do ar nas amostras sem pré-tratamento com etanol, o etanol como pré-tratamento na secagem não alterou o efeito das variáveis independentes para dureza, trabalho e atividade de água. Nas amostras pré-tratadas com etanol, a capacidade de reidratação chegou a 49,38%, e menor encolhimento superficial a 60 °C e 23,5% de umidade relativa do ar de secagem. Também verificou-se maior índice da qualidade visual.

Palavras-chave: Cinética de secagem. Características físicas. Temperatura. Umidade relativa.

ABSTRACT

This work had as objective to evaluate the ethanol effect on the drying of Fuji apple and in relation to some physical characteristics. The assays were performed based on experimental design with the temperature (45.9 °C to 74.1°C) and relative humidity (14.3% to 32.7%) of the drying air as independent variables, the drying air velocity were constant in 2.5 m.s⁻¹. The dependent variables analyzed were color parameters (L*, b* e a*), the total variation in color (ΔE), browning index (BI), soluble solid content, visual quality, superficial shrinkage and thickness, rehydration capacity, water activity and texture parameters (hardness, work and adhesiveness). The samples were also analyzed through scanning electron microscopy and biospeckle laser technique to determine the correlation among the physical and structural properties. The pretreated samples with ethanol showed higher drying rate but higher browning and apparently more wrinkled state compared to the samples without pretreatment with ethanol. It was observed that the independent variables directly influenced adhesiveness of the samples without pretreatment while adhesiveness of the samples pretreated with ethanol was indirectly influenced. The work and hardness in the samples without pretreatment with ethanol were indirectly influenced by the relative humidity, and pretreatment with ethanol has not altered the effect of independent variables on hardness, work and water activity in the drying. In the samples pretreated with ethanol, rehydration capacity was until 49.38% and lower surface shrinkage was at 60°C and 23.5% relative humidity of the drying air. And there was also higher visual quality than other samples.

Keywords: Drying kinetics. Physical characteristics. Temperature. Relative humidity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Curva típica de secagem em condições constantes	31
Figura 2	Corte das amostras com faca de aço inoxidável e molde	45
Figura 3	Diagrama esquemático da câmara condicionadora de ar	47
Figura 4	1. SCAL, 2. Sistema com gavetas acopladas e 3.gavetas.....	48
Figura 5	Configuração experimental <i>back-scattering</i> utilizados para iluminação e aquisição das imagens do <i>biospeckle</i> das amostras.....	55
Figura 6	Micrografias dos ensaios de maçã <i>in natura</i> (J).....	110
Figura 7	Micrografias dos ensaios de maçãs secas a 50 °C e 17% e pré- tratadas com etanol (1) e secas a 50 °C e 17% (A).....	110
Figura 8	Micrografias dos ensaios de maçãs secas a 70 °C e 17% e pré- tratadas com etanol (2) e secas a 70 °C e 17% (B).....	110
Figura 9	Micrografias dos ensaios de maçãs secas a 50 °C e 30% e pré- tratadas com etanol (3) e secas a 50 °C e 30% (C).....	111
Figura 10	Micrografias dos ensaios de maçãs secas a 70 °C e 30% e pré- tratadas com etanol (4) e secas a 70 °C e 30% (D).....	111
Figura 11	Micrografias dos ensaios de maçãs secas a 45,9 °C e 23,5% e pré-tratadas com etanol (5) e secas a 70 °C e 17% (E).....	111
Figura 12	Micrografias dos ensaios de maçãs secas a 74,1 °C e 23,5% e pré-tratadas com etanol (6) e secas a 74,1 °C e 23,5% (F).....	112
Figura 13	Micrografias dos ensaios de maçãs secas a 70 °C e 14,3% e pré-tratadas com etanol (7) e secas a 70 °C e 14,3% (G)	112
Figura 14	Micrografias dos ensaios de maçãs secas a 60 °C e 32,7% e pré-tratadas com etanol (8) e secas a 60 °C e 32,7% (H)	112
Figura 15	Micrografias dos ensaios de maçãs secas a 60 °C e 23,5% e pré-tratadas com etanol (9) e secas a 60 °C e 23,5% (I).....	113

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta do parâmetro L^* para fatias de maçãs secas pré-tratadas com etanol.....	59
Gráfico 2	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta do parâmetro L^* para fatias de maçãs secas sem pré-tratamento	59
Gráfico 3	Superfície de respostas para o fator L^* nas amostras de maçãs pré-tratadas com etanol e secas	62
Gráfico 4	Superfície de respostas para o fator L^* nas amostras de maçãs sem pré-tratamento com etanol e secas	63
Gráfico 5	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta do parâmetro b^* para fatias de maçãs secas pré-tratadas com etanol.....	64
Gráfico 6	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta do parâmetro b^* para fatias de maçãs secas sem pré-tratamento	65
Gráfico 7	Superfície de respostas para o fator b^* nas amostras de maçãs pré-tratadas com etanol e secas	66
Gráfico 8	Superfície de respostas (a) e de contorno (b) para o fator b nas amostras de maçãs sem pré-tratamento e secas.....	68
Gráfico 9	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta para variação total de cor para fatias de maçãs secas sem pré-tratamento.....	69
Gráfico 10	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta para variação total de cor para fatias de maçãs secas pré-tratadas com etanol	69

Gráfico 11	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta para BI para fatias de maçãs secas pré-tratadas com etanol.....	71
Gráfico 12	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta para BI para fatias de maçãs secas sem pré-tratamento	72
Gráfico 13	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta F_{\max} para fatias de maçãs secas pré-tratadas com etanol.....	75
Gráfico 14	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta F_{\max} para fatias de maçãs secas sem pré-tratamento	76
Gráfico 15	Superfície de respostas para Força máxima nas amostras de maçãs sem pré-tratamento e secas.....	78
Gráfico 16	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta Trabalho para fatias de maçãs secas com pré-tratamento com etanol.....	79
Gráfico 17	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta Trabalho para fatias de maçãs secas sem pré-tratamento.....	79
Gráfico 18	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta Adesividade para fatias de maçãs secas pré-tratadas com etanol.....	81
Gráfico 19	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta Adesividade para fatias de maçãs secas sem pré-tratamento	82
Gráfico 20	Superfície de respostas para Adesividade nas amostras de maçãs pré-tratadas com etanol e secas	84

Gráfico 21	Superfície de respostas para adesividade nas amostras de maçãs sem pré-tratamento e secas.....	85
Gráfico 22	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta Encolhimento de Espessura para fatias de maçãs secas pré-tratadas com etanol	88
Gráfico 23	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta Encolhimento de Espessura para fatias de maçãs secas sem pré-tratamento.....	88
Gráfico 24	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta Encolhimento Superficial para fatias de maçãs secas pré-tratadas com etanol	90
Gráfico 25	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta Encolhimento Superficial para fatias de maçãs secas sem pré-tratamento.....	90
Gráfico 26	Superfície de respostas para encolhimento superficial nas amostras de maçãs pré-tratadas com etanol e secas	92
Gráfico 27	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta atividade de água para fatias de maçãs secas pré-tratadas com etanol	95
Gráfico 28	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta atividade de água para fatias de maçãs secas sem pré-tratamento	95
Gráfico 29	Superfície de respostas (a) e de contorno (b) para atividade de água nas amostras de maçãs pré-tratadas com etanol e secas	98
Gráfico 30	Superfície de respostas para atividade de água nas amostras de maçãs sem pré-tratamento e secas.....	99

Gráfico 31	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta de capacidade de reidratação para fatias de maçãs secas pré-tratadas com etanol.....	100
Gráfico 32	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta de capacidade de reidratação para fatias de maçãs secas sem pré-tratamento	100
Gráfico 33	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta de sólidos solúveis totais para fatias de maçãs secas pré-tratadas com etanol.....	104
Gráfico 34	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta de sólidos solúveis totais para fatias de maçãs secas sem pré-tratamento	105
Gráfico 35	Superfície de respostas para sólidos solúveis totais nas amostras de maçãs pré-tratadas com etanol e secas	106
Gráfico 36	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta de qualidade visual para fatias de maçãs secas pré-tratadas com etanol.....	107
Gráfico 37	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta de qualidade visual para fatias de maçãs secas sem pré-tratamento	108
Gráfico 38	M.I. das amostras de maçãs secas a 60°C e 23,5% e pré-tratadas com etanol.....	116
Gráfico 39	M.I. de amostras de maçãs secas a 60°C e 23,5%, sem pré-tratamento com etanol	117
Gráfico 40	M.I. das amostras, pré-tratadas com etanol e sem pré-tratamento, após 1 h de secagem a 60°C e 23,5%	118

Gráfico 41	Curva de secagem dos dados experimentais para as amostras de maçã pré-tratadas com etanol e sem pré-tratamento e secas a 60 °C e 23,5% por 6 horas	119
Gráfico 42	Atividade de água das amostras de maçã secas por 6h, sem pré-tratamento e pré-tratadas com etanol ao longo	120
Gráfico 43	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta de tempo de secagem para fatias de maçãs pré-tratadas com etanol e secas	123
Gráfico 44	Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta de tempo de secagem para fatias de maçãs sem pré-tratamento e secas.....	123
Gráfico 45	Superfície de resposta para tempo de secagem nas amostras de maçã pré-tratadas com etanol e secas.....	125
Gráfico 46	Superfície de resposta para tempo de secagem nas amostras de maçã sem pré-tratamento com etanol e secas.....	126
Gráfico 47	Cinética de secagem de fatias de maçãs com e sem pré-tratamento com etanol ajustadas pelo modelo de Page modificado 2 . Ensaio a 50 °C e 17%, 70° e 17%, e 50°C e 30%	131
Gráfico 48	Cinética de secagem de fatias de maçãs com e sem pré-tratamento com etanol ajustadas pelo modelo de aproximação de difusão. Ensaio a 50 °C e 17%, 70° e 17%, e 50°C e 30%	132

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Planejamento experimental	46
Tabela 2	Modelos matemáticos usados para ajustes de cinética de secagem	50
Tabela 3	Índices de avaliação de qualidade visual.....	53
Tabela 4	Caracterização da maçã <i>in natura</i>	57
Tabela 5	Parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*), variação total da cor e Índice de escurecimento para maçãs secas com e sem pré-tratamento com etanol na superfície.....	58
Tabela 6	Análise dos coeficientes de regressão para o parâmetro L^* de maçãs secas	60
Tabela 7	Análise de variância do modelo simplificado para o parâmetro de cor L^* em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície	61
Tabela 8	Análise de variância do modelo simplificado para o parâmetro de cor L^* em maçãs secas sem pré-tratamento de etanol na superfície	62
Tabela 9	Análise dos coeficientes de regressão para o parâmetro b^* de maçãs secas	65
Tabela 10	Análise de variância do modelo simplificado para o parâmetro de cor b^* em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície	66
Tabela 11	Análise de variância do modelo simplificado para o parâmetro de cor b^* em maçãs secas sem pré-tratamento de etanol na superfície	67
Tabela 12	Análise dos coeficientes de regressão para variação total da cor de maçãs secas.....	70

Tabela 13	Análise de variância do modelo simplificado para o parâmetro de variação total da cor em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície.....	70
Tabela 14	Análise de variância do modelo simplificado para o parâmetro de variação total da cor em maçãs secas sem pré-tratamento de etanol na superfície.....	71
Tabela 15	Análise dos coeficientes de regressão para o parâmetro BI de maçãs secas	72
Tabela 16	Análise de variância do modelo simplificado para o parâmetro BI em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície ...	73
Tabela 17	Análise de variância do modelo simplificado para o parâmetro BI em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície ...	73
Tabela 18	Força máxima, Trabalho e Adesividade para maçãs secas com e sem pré-tratamento com etanol na superfície	74
Tabela 19	Análise dos coeficientes de regressão para Força máxima de maçãs secas	77
Tabela 20	Análise de variância do modelo simplificado para Força máxima em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície	77
Tabela 21	Análise de variância do modelo simplificado para Força máxima maçãs secas sem pré-tratamento de etanol na superfície	78
Tabela 22	Análise dos coeficientes de regressão para Trabalho de maçãs secas	80
Tabela 23	Análise de variância do modelo simplificado para o Trabalho em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície	80
Tabela 24	Análise de variância do modelo simplificado para o Trabalho em maçãs secas sem pré-tratamento de etanol na superfície.....	81

Tabela 25	Análise dos coeficientes de regressão para Adesividade de maçãs secas	82
Tabela 26	Análise de variância do modelo simplificado para Adesividade em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície	83
Tabela 27	Análise de variância do modelo simplificado para Adesividade em maçãs secas sem pré-tratamento de etanol na superfície.....	84
Tabela 28	Encolhimento superficial, Encolhimento de espessura e Coeficiente de encolhimento para maçãs secas com e sem pré-tratamento com etanol na superfície.....	86
Tabela 29	Análise dos coeficientes de regressão para encolhimento de espessura de maçãs secas	89
Tabela 30	Análise dos coeficientes de regressão para encolhimento superficial de maçãs secas.....	91
Tabela 31	Análise de variância do modelo simplificado para o parâmetro encolhimento superficial em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície.....	92
Tabela 32	Análise de variância do modelo simplificado para o parâmetro encolhimento superficial em maçãs secas sem pré-tratamento de etanol na superfície.....	92
Tabela 33	Atividade de água (a_w) e capacidade de reidratação (COR) para maçãs secas com e sem pré-tratamento com etanol na superfície.....	94
Tabela 34	Análise dos coeficientes de regressão para atividade de água de maçãs secas.....	96
Tabela 35	Análise de variância do modelo simplificado para atividade de água em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície.....	97

Tabela 36	Análise de variância do modelo simplificado para atividade de água em maçãs secas sem pré-tratamento de etanol na superfície	97
Tabela 37	Análise dos coeficientes de regressão para capacidade de reidratação de maçãs secas	101
Tabela 38	Análise de variância do modelo simplificado para capacidade de reidratação em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície	102
Tabela 39	Análise de variância do modelo simplificado para capacidade de reidratação em maçãs secas sem pré-tratamento de etanol na superfície	102
Tabela 40	Sólidos Solúveis Totais e Qualidade Visual para maçãs secas com e sem pré-tratamento com etanol na superfície	103
Tabela 41	Análise dos coeficientes de regressão para Sólidos Solúveis Totais de maçãs secas	105
Tabela 42	Análise de variância do modelo simplificado para sólidos solúveis totais em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície	106
Tabela 43	Análise de variância do modelo simplificado para sólidos solúveis totais em maçãs secas sem pré-tratamento de etanol na superfície	107
Tabela 44	Análise dos coeficientes de regressão para Qualidade Visual de maçãs secas	108
Tabela 45	Análise de variância do modelo simplificado para qualidade visual em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície	109

Tabela 46	Análise de variância do modelo simplificado para qualidade Visual em maçãs secas sem pré-tratamento de etanol na superfície	109
Tabela 47	Tempo de secagem para amostras de maçã secas pré-tratadas com etanol e sem pré-tratamento.....	121
Tabela 48	Análise dos coeficientes de regressão para o tempo de secagem de maçãs	124
Tabela 49	Análise de variância do modelo simplificado para tempo de secagem em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície	124
Tabela 50	Análise de variância do modelo simplificado para tempo de secagem em maçãs secas sem pré-tratamento de etanol na superfície	125
Tabela 51	Modelos matemáticos ajustados para as amostras de maçã sem pré-tratamento e pré-tratadas com etanol e secas a 50°C e 17% de umidade relativa do ar	127
Tabela 52	Modelos matemáticos ajustados para as amostras de maçã sem pré-tratamento e pré-tratadas com etanol e secas a 70°C e 17% de umidade relativa do ar	128
Tabela 53	Modelos matemáticos ajustados para as amostras de maçã sem pré-tratamento e pré-tratadas com etanol e secas a 50°C e 30% de umidade relativa do ar	130

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>THSP</i>	<i>Time History Speckle Pattern</i>
MR	Razão do teor de água, adimensional
X_t	Teor de umidade a qualquer tempo
X_{eq}	Teor de umidade na condição de equilíbrio
X_0	Teor inicial de umidade
t	Tempo de secagem
a; b; c; n	Coefficientes dos modelos
k; k_0 ; k_1	Constantes de secagem
SST	Sólidos Solúveis Totais
T	Temperatura
UR	Umidade relativa
b.s.	Base seca
b.u.	Base úmida
L	Linear
Q	Quadrático
a_w	Atividade de água
F_{max}	Força máxima
W	Trabalho
L^*	Parâmetro de cor (claridade)
a^*	Parâmetro de cor
b^*	Parâmetro de cor
ΔE	Varição total de cor
BI	Índice de escurecimento
ES	Encolhimento superficial
EE	Encolhimento de espessura
A_0	Área inicial

A	Área final
e_0	Espessura inicial
e	Espessura final
CE	Coefficiente de encolhimento
V_0	Volume inicial
V	Volume final
QV	Qualidade visual
COR	Capacidade de reidratação
M.I.	Momento de Inércia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	24
2	REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1	Maçã	27
2.2	Secagem	30
2.3	Mudanças dos frutos	33
2.4	<i>Biospeckle</i>	36
2.5	Uso do etanol em alimentos	38
3	MATERIAL E MÉTODOS	41
3.1	Caracterização do material	41
3.2	Microscopia eletrônica	42
3.3	Teor de água	42
3.4	Sólidos Solúveis Totais (SST)	42
3.5	Textura	43
3.6	Cor	43
3.7	Preparo das amostras	44
3.8	Secagem de maçã	45
3.9	Equipamento	46
3.10	Estatística	48
3.11	Modelagem matemática	49
3.12	Encolhimento	52
3.13	Qualidade visual	52
3.14	Atividade de água	53
3.15	Capacidade de reidratação	53
3.16	<i>Biospeckle laser</i>	54
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1	Caracterização do fruto <i>in natura</i>	57
4.2	Cor	57
4.3	Textura	73

4.4	Encolhimento	86
4.5	Atividade de água e capacidade de reidratação	93
4.6	Sólidos Solúveis Totais e Qualidade Visual	102
4.7	Microestrutura	110
4.8	<i>Biospeckle</i>	116
4.9	Tempos de secagem	120
4.10	Modelagem matemática	126
5	CONCLUSÃO	133
	REFERÊNCIAS	136
	ANEXOS	147

1 INTRODUÇÃO

A globalização e o desenvolvimento tecnológico têm proporcionado facilidades à rotina das pessoas, principalmente localizadas em regiões metropolitanas e populosas. No entanto, em relação à disponibilidade de produtos alimentícios industrializados, a praticidade já não tem sido o principal critério utilizado pelos consumidores. A preferência atual dos consumidores está fundamentada em alimentos com transformações menos drásticas e benéficas à saúde humana, como produtos com menores alterações nutritivas e sensoriais, evitando-se métodos de conservação baseados em tratamentos químicos ou em processamentos que acarretem a perda das características do produto *in natura*.

Os alimentos desempenham um papel importante tanto como fonte de energia quanto na prevenção de doenças degenerativas como o câncer, doenças cardiovasculares, combate ao colesterol, fortalecimento de ossos, formação de tecidos, entre outras funções. Dessa forma, o consumo de alimentos com características *in natura* é crescente. No entanto, a indústria de minimamente processados ainda está frustrada pela deterioração dos produtos de qualidade causada por distúrbios fisiológicos induzidos pela injúria devido ao corte do produto, crescimento microbiológico no exsudado da superfície do fruto, e condições insatisfatórias do processamento (DEVIC et al., 2010; LU et al., 2007).

Fatores como a geração de excedentes na produção de maçã no Brasil, o ciclo de frutificação, período de cultivo e pós-colheita, as condições de transporte, as variações climáticas e as condições de comercialização e armazenamento resultam em grande desperdício de alimentos. Uma das alternativas para redução de perda e valorização do fruto é a secagem, que permite conservação do produto em condições ambientes. Em baixa escala, facilita a logística e necessita de baixo investimento em equipamentos. No

entanto, o produto seco apresenta mudanças de cor, sabor e textura ao longo do armazenamento (MOURA et al., 2007), mas também aumenta a vida de prateleira e a disponibilidade de frutos em período de entressafra.

Apesar das vantagens da secagem, existem deficiências acarretadas pelo processo, como a perda de grande quantidade de compostos voláteis, de aroma e *flavour*, alteração na estrutura celular e reológica, na cor e encolhimento, características relacionadas com a qualidade do alimento, variando conforme as condições do tratamento (MARKOWSKI, 2010; SABLANI, 2006; ZIELINSKA; MARKOWSKI, 2010). Há ainda alterações nutricionais e sensoriais do fruto que geram aceitação ou rejeição pelo consumidor. Assim, alternativas e métodos têm sido estudados visando alterações mínimas com relação às características do produto fresco.

Estudos recentes mostraram que a presença de etanol na secagem, seja como componente de atmosfera modificada, seja pela inserção na superfície do alimento, têm sido eficiente na redução do tempo de secagem, retenção de compostos voláteis e preservação de características físicas relacionadas com a qualidade do produto (BRAGA, 2007; BRAGA; SILVA, 2010; MORAIS, 2005).

A maçã foi escolhida, devido à sua grande aceitação pelo consumidor, facilitada pela alta comercialização, variedade de espécies, diversidade de transformações processuais permitidas e valor nutricional, além disso, tem sido muito estudada no processo de secagem. A preocupação dos consumidores com a saúde em relação à dieta alimentar aumenta o consumo de frutas e vegetais. O uso de um processo de desidratação que causa menores alterações em frutos desidratados e o custo de produção vem de encontro com essa necessidade e tecnologias combinadas na secagem (ASKARI; EMAM-DJOMEH; MOUSAVI, 2009; CÓRDOVA, 2006; PERINA; SILVA, 2005; SABLANI, 2006; VELIC et al., 2004).

Os objetivos do presente trabalho foram testar o efeito do uso de etanol na secagem de maçãs com a inserção desse produto na superfície do fruto, comparando-se dois pré-tratamentos: amostras pré-tratadas com etanol e amostras sem pré-tratamento. As variáveis de qualidade estudadas foram os parâmetros de cor (L^* , a^* , b^* , ΔE e BI), textura (adesividade, trabalho e dureza), encolhimento de superfície e de espessura, atividade de água, sólidos solúveis, qualidade visual e capacidade de reidratação, além das variáveis independentes temperatura e umidade relativa do ar de secagem.

Assim, o objetivo geral deste trabalho foi estudar o efeito do etanol na secagem de maçã Fuji em relação a características físicas e ao processo de secagem.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Maçã

A maçã é classificada como fruto não climatérico, ou seja, amadurece completamente após a colheita, devido à alta produção de etileno. Após a colheita do fruto a respiração já não é tão eficiente, e a temperatura é um dos fatores que mais influenciará na taxa respiratória. O corte no fruto ocasiona reações metabólicas, como o aumento da taxa respiratória e a produção de etileno, iniciando as alterações de características sensoriais e nutricionais, tais como aromas, escurecimento, aumento da perda de água (exsudação) e evaporação (dessecação), e aceleram as reações de defesa do tecido (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

A maçã é um fruto consumido desde a antiguidade. Sua composição varia com o cultivar. Como, em muitos frutos, o principal constituinte da maçã é a água. No entanto, a presença de carboidratos (15,2g/100g fruto na variedade Fuji) é significativa. Entre os açúcares encontram-se a frutose (em maior proporção), a sacarose e a glicose, apresentando-se como fonte de fibra dietária (1,3g/100 g de fruto), minerais e vitaminas, como a C (4,6 mg/100g de fruto na variedade Fuji e em média para outras variedades de maçãs 2,4 mg/100g de fruto) (MOURA et al., 2007; UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA, 2005). Hemiceluloses, celulose e substâncias pécicas fazem parte da fração fibrosa dos carboidratos que juntos, contribuem para a capacidade de retenção de água dos produtos da maçã. Os teores de proteínas da maçã são baixos (0,3g/100g fruto), sendo a maior parte de enzimas envolvidas no metabolismo dos frutos durante o desenvolvimento, maturação e pós-colheita. São baixos também os teores de lipídios, estando associados a camadas protetoras das células e da epiderme dos frutos. Quanto aos ácidos

orgânicos, predomina o ácido málico que juntamente com os açúcares, ésteres e aldeídos é o principal elemento responsável pelo aroma e sabor característico da maçã (CÓRDOVA, 2006; TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS - TACO, 2006).

A maçã é uma das frutas mais antigas e conhecidas, com atrativo visual, de aroma e sabor. No entanto, pode sofrer alterações na cor quando sofre injúrias. A tonalidade marrom (escurecimento) pode limitar seu uso, isso ocorre devido à oxidação dos compostos fenólicos do bagaço (CÓRDOVA, 2006; SCHIEBER et al., 2003). Estudos recentes têm mostrado que as frutas são excelentes fontes de fibras e compostos biologicamente ativos, tais como ácido ascórbico, e polifenóis que são antioxidantes naturais, e presentes nas maçãs (DEVIC et al., 2010).

As reações de escurecimento são alguns dos fenômenos que ocorrem durante o processamento de alimentos. Os principais grupos de reações que acarretam o escurecimento são a oxidação enzimática dos fenóis e escurecimento não enzimático. O último é favorecido pelos tratamentos de calor e inclui uma ampla variedade de reações como reação de Maillard, associada à formação de melanoidinas; caramelização e oxidação química dos fenóis (MANZOCCO et al., 2001).

Em alguns casos, embora o desenvolvimento das reações de Maillard não possa ser excluído, outras reações podem afetar a cor e propriedades antioxidantes. No caso de matrizes vegetais contendo significativas quantidades de fenóis, como maçãs e seus derivados, o escurecimento enzimático ou químico promove uma evolução peculiar das propriedades antioxidantes, provocando seu aumento inicial e, em seguida, sua redução. Os polifenóis, presentes em maçãs são conhecidos como antioxidantes, dependendo dos grupos fenólicos presentes na espécie (MANZOCCO et al., 2001).

Haminiuk et al. (2005) estudaram o efeito de diferentes pré-tratamentos na prevenção do escurecimento nas cultivares Fuji e Gala de maçã, na tentativa de inativar a ação das enzimas oxidativas como a polifenoloxidase, constatando que o pré-tratamento por imersão em água fervente foi mais efetivo que o uso de conservante.

A maçã é um fruto bastante cultivado, consumido e comercializado no mundo. A China lidera a produção de maçãs, seguida dos Estados Unidos, onde a maçã é considerada o terceiro fruto mais rentável, sendo mais de 60% comercializada na forma *in natura* e a segunda fruta mais consumida. Alguns fatores contribuem para o consumo como a variedade de produtos que melhor atendem o estilo de vida do consumidor e a maior preocupação com a presença de frutas na dieta (GEISLER, 2011).

No Brasil, o cultivo de maçãs é uma atividade recente. No início da década de 70 a produção anual de maçãs era de 1.000 toneladas e com incentivos fiscais e apoio à pesquisa e extensão rural, o Sul do Brasil aumentou a produção de maçãs em quantidade e em qualidade (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2003), fazendo com que o país passe de importador a autossuficiente com potencial de exportação, sendo que as principais cultivares brasileiras são a Gala e a Fuji (BRASIL, 2007), aquela colhida em janeiro e fevereiro, e esta em março e abril; sendo armazenadas ao longo do ano em câmara fria para posterior comercialização. No entanto, cerca de 15 % a 30% de descarte, apresentando defeitos e sendo destinados ao setor industrial (FERREIRA, 2009; NOGUEIRA et al., 2007).

No entanto, a maçã é um fruto que pode ser totalmente aproveitado, como o uso de sua pectina, caracterizada pela propriedade gelificante superior a da pectina cítrica, usadas em alimentos como agentes gelificante, espessante, texturizantes, emulsificante e estabilizante (SCHIEBER et al., 2003). Quando seca, a maçã pode ser usada para consumo direto, em confeitaria, chá ou como

ingrediente de mistura, por exemplo, em barras de cereais. Dessa forma, principalmente a variedade Fuji, é estudada nos processos de secagem (AKTAS; CEYLAN; YILMAZ, 2009; MAYOR; SERENO, 2004; MAYOR; SILVA; SERENO, 2005; MOURA et al., 2007; RODRIGUES; LIMA; ALMEIDA, 2006).

Funebo et al. (2002) estudaram como a cinética de secagem e propriedades físicas de maçã são afetadas sob o pré-tratamento sob imersão em uma solução de etanol a 95% e outro com congelamento antes da secagem por microondas a 50, 60 e 70 °C. A textura foi analisada com um teste de perfuração, fez-se análise com microscopia confocal a *laser* para determinar a correlação entre as propriedades físicas e microestruturais. Àqueles autores concluíram que as maçãs tratadas com etanol mostraram alta capacidade de reidratação e hidratação em comparação com amostras não pré-tratadas, além de ter conservado 60-70% do volume inicial, enquanto as amostras não tratadas e pré-congeladas mantiveram de 20-30% do volume inicial.

2.2 Secagem

A água é uma das substâncias mais simples e abundante, porém a mais importante, devido à série de reações químicas e bioquímicas que permite nas células, pois possui propriedade de solvente, auxiliando na movimentação das moléculas e estrutura celular. É essencial para o crescimento de microorganismos, portanto a preservação e características físicas dependem da quantidade de água nos alimentos. Nos alimentos, o conhecimento das propriedades e distribuição da água é mais importante do que o conteúdo total de água (ARAÚJO et al., 2009; BORÉM, 2008).

Pode-se dizer que a secagem é a transferência de massa de água em estado líquido, contido num sólido e que sofre influência do mesmo, para uma

fase gasosa não saturada e arrastada por um agente de secagem, geralmente o ar aquecido, o qual fornece a energia para a mudança de fase da água contida no sólido, ou seja, envolve transferência de calor e massa. A temperatura do sólido tende a atingir regime permanente, e a temperatura do interior tende a igualar-se à da superfície. A secagem descreve o processo de remoção de substâncias voláteis para obtenção de um produto sólido. O comportamento de secagem de sólidos pode ser caracterizado através da medição da perda do teor de umidade como função do tempo. No entanto é difícil descrever os fenômenos, dessa forma os modelos empíricos e semiempíricos têm tentado facilitar a descrição das cinéticas de secagem quando a resistência externa para transferência de calor e massa é eliminada ou minimizada. O processo pode ser dividido em três fases, conforme Figura 1 (BORÉM, 2008; FOUST et al., 1980; MIDILLI; KUCUK; YAPAR, 2007; MUJUMDAR, 2006).

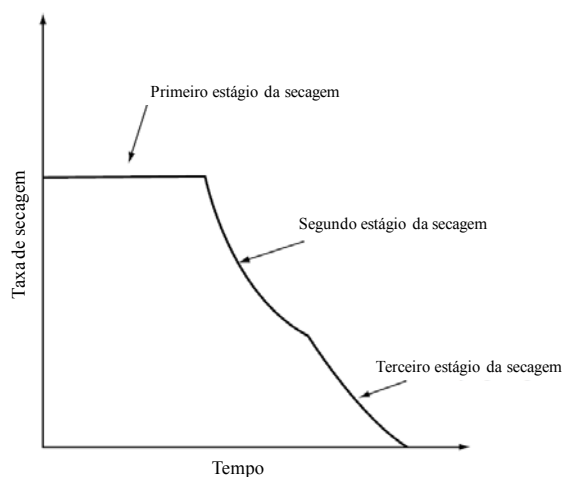


Figura 1 Curva típica de secagem em condições constantes do ar com as três fases do processamento térmico
Fonte: MUJUMDAR (2006)

Na secagem, a preservação do produto ocorre com a retirada de parte da água, acarretando a diferença de pressão parcial de vapor d'água entre a

superfície do produto e o ar que o envolve, gerando movimentação de água. O teor de água indica o grau de hidratação do produto e pode ser expresso em base seca (b.s.) ou base úmida (b.u.), que indica a relação entre a massa de água e a massa da matéria seca ou a relação entre a massa de água e a massa total do material, respectivamente. O teor de água livre corresponde ao teor de água que é expresso como atividade de água (a_w), como a pressão de vapor em equilíbrio sobre o alimento e a pressão de vapor de água pura, na mesma temperatura (ARAÚJO et al., 2009; BORÉM, 2008).

As características e propriedades físico-químicas dos sólidos são alteradas e podem interferir durante a secagem. A diminuição da atividade de água gerada pelo processo de secagem permite, a produtos alimentícios, o aumento da vida de prateleira, facilidade de transporte, redução de volume, peso e de perdas pós-colheitas, minimização de embalagem e custo no transporte, redução da proliferação de micro-organismos, que de modo geral incorpora valor ao produto. A a_w acima de 0,9 em alimentos favorece o crescimento dos micro-organismos, já que as moléculas estão fracamente ligadas e movem-se rapidamente; já a_w entre 0,4 a 0,8 podem ocorrer reações enzimáticas e/ou químicas; e próximo de 0,6 haverá pouco ou nenhum desenvolvimento de micro-organismos (ARAÚJO et al., 2009; ASKARI; EMAM-DJOMEH; MOUSAVI, 2009; BRAGA; SILVA, 2010; DOYMAZ, 2005; MUJUMDAR, 2006). As alterações sofridas pelos alimentos são avaliadas e associadas à qualidade do mesmo. Alguns modelos matemáticos analisam as propriedades dos alimentos tais como geometria da partícula, encolhimento, coeficiente de difusão da umidade, teor de umidade, cor, imagem, entre outras (ASKARI; EMAM-DJOMEH; MOUSAVI, 2009; FIGIEL et al., 2010; KALETA; GÓRNICKI, 2010; SZUMNY et al., 2010; ZIELINSKA; MARKOWSKI, 2010).

A secagem de alimentos de origem vegetal e animal pode ocorrer de dois tipos: secagem natural (ao sol ou vento) e secagem artificial (desidratação

através de calor, umidade relativa e velocidade de ar controlados) (EVANGELISTA, 2005). Dentre as artificiais está a secagem convectiva, com ar aquecido, que é uma técnica bastante utilizada nos trabalhos devido à facilidade de uso, simplicidade de equipamentos requeridos e baixo custo, porém, pelo uso de altas temperaturas, proporciona grandes depreciações sensoriais e nutricionais com relação ao produto fresco. O calor para a evaporação é fornecido por convecção à superfície exposta, sendo que ar, gás inerte ou gases de combustão direta ou vapor superaquecido podem ser usados em sistemas de secagem convectiva (DISSA et al., 2008; KALETA; GÓRNICKI, 2010; MUJUMDAR, 2006; PARK; YADO; BROD, 2001; SABLANI, 2006; ZIELINSKA; MARKOWSKI, 2010).

A secagem da maçã tem sido amplamente estudada, devido à facilidade de manuseio com esse alimento, e melhor visualização das alterações ao longo do processamento. Kaleta e Górnicki (2010) estudaram o efeito das variáveis independentes de secagem, como temperatura, velocidade do ar de secagem, altura da camada de secagem, forma e tamanho das partículas na desidratação de maçãs. Concluindo que os aumentos da temperatura e na velocidade da cinética de secagem de pedaços de maçã diminuíram o tempo de secagem, consequentemente aumentaram a taxa de secagem, em contrapartida o aumento da altura da camada e espessura da amostra aumentou o tempo de secagem.

2.3 Mudanças dos frutos

Atualmente, os consumidores têm exigido produtos de alta qualidade, ou seja, que mantenham propriedades nutricionais e sensoriais semelhantes as do produto fresco (VARELA; SALVADOR; FISZMAN, 2007). A qualidade do produto final do processamento térmico depende de muitos fatores, como espessura do produto, tipo de secagem, temperatura, velocidade, umidade

relativa, composição do ar de secagem, umidade inicial do material e estrutura celular do fruto. Um produto natural comestível é, normalmente, processado a fim de aumentar a aceitação hedônica e vida de prateleira, quando o seu valor nutritivo é mais alto ou se mantém e/ou seu consumo torna-se mais fácil (VALENTAS; SINGH; ROTSTEIN, 1997).

Durante a secagem frutas e vegetais sofrem transformações em seu volume e área superficial simultaneamente à redução do teor de umidade. Numerosas mudanças físicas e químicas no material são decorrentes, principalmente, do gradiente de temperatura e concentração, contato com oxigênio e aumento da concentração de solutos. A desidratação causa modificação da cristalinidade da parede celular, aglutinação de microfibrilas, divisão da lamela média, perda da funcionalidade da membrana plasmática com o turgor, encolhimento do tecido, gelatinização do amido e redistribuição dos lipídeos. Essas mudanças são macroscopicamente pronunciadas pela distorção da forma e tamanho, algumas vezes defeitos no produto como a quebra (*cracking*) na superfície do produto que é um dos fatores que podem ser influenciados pela secagem não homogênea do produto, acarretando falhas e tensões do material; alteração de *flavour*, cor, nutrientes e modificação das propriedades mecânicas, que podem afetar a densidade e capacidade de reidratação do material seco (LEWICKI; PAWLAK, 2003; LIN; DURANCE; SCAMAN, 1998; MAYOR; SERENO, 2004).

O encolhimento é um fenômeno comum encontrado em alimentos em diferentes processos de desidratação o qual afeta a qualidade do alimento (WITROWA-RJACHERT; LEWICKI, 2006). Os estresses causados pelo gradiente térmico e principalmente de umidade levam ao encolhimento e deformação, ocorrendo um desequilíbrio entre a pressão interna e externa do material, já que o volume do sólido está relacionado ao volume de água evaporada (LIMA; QUEIROZ; NEBRA, 2002; MAYOR; SERENO, 2004). O

gradiente térmico age mais no início da secagem e o de umidade durante quase todo processo, gerando rachadura e/ou deformação plástica e viscoelástica (MUSIELAK, 2000). Nos estágios finais, um aumento de pressão resulta em aumento de encolhimento do material, onde as mudanças de temperatura de secagem não geram mudanças significativas para o encolhimento, devido à formação de uma estrutura rígida que protege o volume do produto (WITROWA-RAJCHERT; RZACA, 2009).

A organização estrutural dos vegetais a nível molecular, microscópico e macroscópico são os principais determinantes da textura. Nos vegetais, a parede celular consiste em fibrilas de celulose incorporadas em uma matriz composta em grande parte por substâncias pécticas, hemiceluloses, proteínas, ligninas, solutos de baixo peso molecular e água. A celulose fornece o material fibroso da parede celular, portanto confere a rigidez e resistência mecânica; enquanto as proteínas e a pectina formam a matriz (KARP, 2005; LEWICKI; PAWLAK, 2003). A pectina é o principal componente da lamela média, uma região considerada importante para manter a célula, sua adesão e proteção dos tecidos das frutas, sendo assim modificações pécticas e hemicelulósicas podem contribuir para o colapso da parede celular, resultando em separação de células com grandes espaços intercelulares. Essas mudanças químicas estão intimamente relacionadas com o amolecimento e mudanças na textura das maçãs (DE SMEDT et al., 1998).

As principais características de aceitação avaliadas pelos consumidores na maçã fresca são firmeza e frescor (VARELA; SALVADOR; FISZMAN, 2007). O amolecimento e amadurecimento da maçã podem ocorrer em virtude das mudanças na quantidade e natureza de polissacarídeos na lamela média da parede celular, também em função da redução de ligações intermoleculares entre os polímeros da parede, devido à solubilidade dos constituintes como a pectina (VARELA; SALVADOR; FISZMAN, 2007). A suculência depende da

preservação da estrutura original da pectina, ou seja, se a parede celular for mais fraca que a lamela média, aquela irá se romper, o suco será liberado e o fruto será suculento (DE SMEDT et al., 1998; LUNARDI et al., 2004). Assim, as propriedades da textura da maçã são afetadas pelas propriedades mecânicas da parede celular e lamela média, pelo *status* da água e pressão de turgor da célula que mudam durante o armazenamento pós-colheita e afetam uma a outra, como a hidrólise de pectina que requer água como um substrato (DE SMEDT et al., 2002).

2.4 Biospeckle

A grande aplicabilidade da óptica atualmente deve-se, bastante, à existência do raio *laser*. O *laser* possui propriedades especiais que o tornam um excelente instrumento de uso científico e tecnológico, funcionando como fonte de luz de características únicas (BAGNATO, 2001). Quando um feixe de luz é espalhado ou transmitido por uma superfície com rugosidade ocorre a formação de uma estrutura granular no espaço livre a qual é dado o nome de *speckle* (HECHT, 2001).

O *speckle* é conhecido como granulado, sendo observados pontos ou grãos claros e escuros espalhados na imagem. O *speckle* pode ser notado quando se ilumina, com luz *laser*, material biológico como, por exemplo: sementes, frutos e folhas ou em fenômenos não biológicos como a secagem de pintura, corrosão, dentre outros. Se o objeto difusor se modifica, os grãos individuais do padrão do *speckle* também se alteram, isso permite supor que os padrões de *speckle* dinâmico contêm informações sobre o movimento do objeto, diversos sistemas apresentam esse comportamento, entre os quais, destaca-se a secagem de tinta em superfícies, processo de oxidação, e em particular, os tecidos biológicos. Neste último caso, o fenômeno é chamado *biospeckle*, a técnica

óptica é resultado da iluminação de materiais biológicos com luz *laser* e permite o monitoramento de atividades diversas ocorridas nesses materiais. Portanto, é possível relacionar o *biospeckle* a vitalidade do tecido, ou seja, quanto mais intensa a imagem mais atividade existe no tecido, consequentemente mais vivo é o tecido (BRAGA et al., 2009).

Desde a descoberta do *biospeckle*, no início dos anos sessenta do século XX, a técnica do *biospeckle laser* vem sendo uma valiosa ferramenta utilizada para auxiliar na medição de atividades biológicas em diversas áreas do conhecimento como na medicina, na agricultura, na ciência dos alimentos e na medicina veterinária. Na agricultura pode-se observar trabalhos à aplicação do *biospeckle* em análise de danos em frutos (PAJUELO, 2003), na determinação do potencial hídrico em folhas de café (BOTEGA et al., 2009), em culturas de tecidos (BRAGA et al., 2009) e na identificação de atividades de água em sementes (CARDOSO et al., 2011).

Para a quantificação do nível de atividade do *biospeckle* são utilizadas ferramentas baseadas no tratamento digital das imagens. Um desses métodos de quantificação da atividade é o Momento de Inércia (M.I.) proposto por Arizaga et al. (2002). O método consiste na quantificação da dispersão dos *pixels* de uma imagem gerada a partir das linhas centrais do conjunto de imagens do *biospeckle* coletados ao longo do tempo. Essa imagem denominada *Time History Speckle Pattern (THSP)* é um registro da história temporal dos padrões do *biospeckle*.

No *THSP* as linhas representam diferentes pontos no objeto e as colunas seu estado de intensidade em cada instante de amostragem. A atividade da amostra aparece como mudanças de intensidade na direção horizontal. Uma medida da propagação das mudanças de valores notáveis ao redor da diagonal principal pode ser construída como a soma dos valores da matriz pela sua

distância ao quadrado, conhecido como Momento de Inércia (M.I.) (ARIZAGA; TRIVI; RABAL, 1999).

O Momento de Inércia permite apresentar uma interpretação quantitativa para o *THSP*, baseado nas ocorrências de valores de intensidade sucessivos dos *pixels* que compõem o *THSP*.

2.5 Uso do etanol em alimentos

O etanol é um solvente orgânico que dissolve as membranas celulares, bastante utilizado na indústria de alimentos, como sanitizante (FUNEBE et al., 2002). No entanto, para se trabalhar com o etanol é importante atentar à sua faixa de trabalho, já que sua concentração, seja utilizando-o como agente de limpeza ou substrato em produção, deve considerar o limite inferior de inflamabilidade que é a concentração mínima do gás em presença de ar atmosférico capaz de provocar combustão (GOODING, 1983). Nos últimos anos, o uso de etanol, tem sido estudado como tratamento complementar a secagem ou aditivo em alimentos.

Pang (2006) avaliou a conservação da coloração de madeira utilizando vapor de etanol e metanol na secagem. Assim como nos alimentos, as reações de Maillard têm sido a principal causa do escurecimento não enzimático em madeira. Ele testou a secagem de madeira de pinheiro utilizando vapor de metanol e etanol, e em meio livre de oxigênio, a fim de produzir madeira de melhor coloração. As amostras foram secas até 12% b.u. nas temperaturas de secagem a 90, 100 e 110 °C, e o escurecimento da superfície foi a diferença entre a superfície e o núcleo da amostra. Em relação ao brilho, as amostras secas no vapor de etanol e metanol e livres de oxigênio tiveram valores mais altos de claridade, sendo os valores médios maiores quando usou etanol, e comprovando a eficácia para conservação da coloração superficial, eliminando o

escurecimento da madeira. Não se constatou, em altas temperaturas, a claridade pior.

Sayed, Hassan e Mumford (1996) utilizaram etanol como simulador de *flavour*, e observaram um aumento comparativo na retenção final de etanol no amido de trigo diretamente proporcional ao teor de sólidos inicial e ao da temperatura do ar de secagem; já na dextrina, o aumento da velocidade do ar aumentou a retenção. A velocidade do ar também influenciou na retenção de etanol no trabalho de Hassan, Sayed e Mumford (1996), em que analisaram a retenção do etanol como encapsulante na secagem com gelatina e goma arábica, constataram que o aumento da velocidade do ar aumentou a retenção de álcool de 15% para 38% para gelatina, enquanto a temperatura não teve efeito significativo sobre a retenção de etanol, também comprovou que a retenção de voláteis durante a secagem é uma função da difusão seletiva e formação da camada na superfície do produto durante secagem.

O uso de etanol também foi testado por Lurie et al. (2006) como tratamento alternativo à proliferação de fungos, a fim de impedir a deterioração de uvas durante o armazenamento, mantendo a qualidade do fruto. Uvas foram submetidas a diferentes aplicações de etanol: mergulhando em etanol de 30 a 50% por 10 segundos seguido de secagem ao ar antes de embalar; 4 ou 8 ml de etanol/kg uva dentro da embalagem; e 4 ou 8 ml etanol/kg uva em papel e colocando-o sobre as uvas na embalagem. Após seis semanas de armazenamento, o primeiro tratamento foi o menos eficaz, uma vez que a queda do etanol ao longo do armazenamento não protege contra reinfecção, ou contra esporos que possam ter penetrado no fruto, ao contrário do tratamento que mantém o nível de etanol na embalagem. Também os tratamentos com etanol causaram menor escurecimento. No entanto a 8 semanas de armazenamento observou-se maior escurecimento nos tratamentos com etanol, podendo ser

devido à concentração de acetaldeído, já que o etanol é um precursor desse, e ambos de compostos aromáticos naturais.

Muitos métodos têm sido estudados com a intenção de armazenar os produtos, sem danos em um curto prazo e preservando algumas propriedades originais. A influência de etanol na cinética de secagem de abacaxi e em algumas características físicas como escurecimento, microestrutura, armazenamento e conteúdo de vitamina C foi estudada comparando três tratamentos: fatia de abacaxi seca sob atmosfera modificada com 0,5% de etanol, fatia de abacaxi seca sem alteração no ar e superfície da fatia previamente tratada com etanol, além disso, avaliaram-nas em diferentes períodos de armazenamento. O tempo de secagem foi maior para abacaxi com atmosfera normal e menor para a superfície tratada com etanol, ou seja, o etanol interfere ativamente na taxa de secagem, provavelmente ocorrendo a condensação do etanol na superfície de abacaxi que acelerou o processo, principalmente na primeira hora de secagem. As fatias cujas superfícies foram tratadas com etanol apresentaram maior encolhimento longitudinal, refletindo em maior coeficiente de encolhimento. Na verdade, essas amostras mostraram maior taxa de secagem e essa evaporação pode ser a responsável pelo maior encolhimento longitudinal. Apesar disso as amostras tratadas com etanol apresentaram menor encolhimento radial, e menor degradação de cor após a secagem e armazenamento (BRAGA; SILVA, 2010).

Braga (2007) também avaliou a influência de etanol em amostras de abacaxi, o tratamento propiciou maior retenção global de compostos voláteis e a melhor condição para a retenção de voláteis foi a 40°C a 0,84m/s em atmosfera modificada, com maior perda de voláteis na primeira hora de secagem e perdas mais gradativas de voláteis, comparando com atmosfera normal.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram utilizadas maçãs da cultivar Fuji adquiridas no comércio local de Lavras, MG, Brasil, entre a segunda quinzena de dezembro e primeira semana de janeiro de 2011, e mantidas sob refrigeração até, no máximo, 72 horas antes da realização dos experimentos. A maçã foi escolhida devido à sua estrutura macroscópica homogênea, permitindo que as possíveis alterações sejam mais bem visualizadas.

Antes do processamento foi feito a caracterização do fruto *in natura* para comparação com o produto tratado nas condições descritas pelo planejamento experimental. Os experimentos ocorreram no laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia, e as análises nos Departamentos de Ciência dos Alimentos, Fitopatologia e Química da Universidade Federal de Lavras.

3.1 Caracterização do material

Os frutos para o processamento térmico foram selecionados de modo a apresentar aparência atrativa e aceitável, livre de defeitos como danos mecânicos, relacionados ao manuseio, doenças e materiais estranhos, e quaisquer outras características que os tornassem impróprios para o consumo. Também foi realizada análise visual da coloração da casca, a fim de avaliar a maturidade do fruto.

O teor de umidade, os parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*), parâmetros de textura (Adesividade, Dureza e Trabalho), atividade de água (a_w) e sólidos solúveis totais (SST) foram determinados conforme métodos descritos a seguir. Tais métodos também foram utilizados para análise do produto seco.

3.2 Microscopia eletrônica

As amostras foram preparadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras. Para a observação das amostras no microscópio eletrônico de varredura, procedeu-se a montagem dos *stubs*, seguidas da metalização (banho de ouro), para posterior visualização em Microscópio Eletrônico de Varredura, utilizando um aparelho Leo Evo 40, com um aumento de 300 X.

A amostra *in natura* foi cortada em nitrogênio líquido, após foi fixada em aldeído por 24h e transferida para glicerol 30% por 30 minutos, e novamente imerso em nitrogênio líquido para corte e fixado em tetróxido de ósmio para posterior desidratação em concentrações crescentes de acetona e secagem em máquina de ponto crítico, então preparado do mesmo modo que as amostras secas. Depois dessas etapas os *stubs* contendo as amostras foram acondicionados em uma estante de madeira, dentro de um dessecador para posterior observação.

3.3 Teor de água

O teor de água inicial das amostras foi determinado, para cada ensaio, em estufa a vácuo a 70 °C por 24 horas, de acordo com a metodologia *Association of Official Analytical Chemists - AOAC (1990)*.

3.4 Sólidos Solúveis Totais (SST)

Foram determinados por refratometria, em refratômetro digital ATAGO PR-100 com compensação de temperatura automática a 25°C e expressos em °Brix. Para determinar o teor de sólidos solúveis, cinco amostras de maçã secas foram processadas com água destilada em uma proporção de 1:10, devido a

maior concentração para leitura. O suco obtido teve o teor medido no refratômetro e o resultado final foi calculado considerando a diluição.

3.5 Textura

A determinação das características de textura foi determinada utilizando um texturômetro Universal modelo TA.XT2 (*Texture Analyser, Stable Micro Systems*), com probe cilíndrico de 6 mm de diâmetro, sendo a velocidade de pré-teste, teste e pós-teste de 1 mm.s⁻¹, 1 mm.s⁻¹ e 2 mm.s⁻¹, respectivamente. A distância de penetração nas amostras foi de 6 mm. Três características de interesse foram utilizadas para esse estudo em cinco amostras de cada ensaio: dureza, adesividade e trabalho.

3.6 Cor

A cor foi avaliada, nas amostras *in natura* e após a secagem em dez amostras de cada ensaio, através do sistema de leitura de três parâmetros, o CIELAB, proposto pela *Commission Internationale de l'Eclairage* (CIE) em 1971. Os parâmetros L*, a* e b*, foram fornecidos pelo colorímetro eletrônico Minolta CR400 (Minolta Câmera Co. Ltd, Osaka, Japan), onde L* define a claridade (L* = 0 preto e L* = 100 branco) e a* e b* são responsáveis pela cromaticidade (+a* vermelho e -a* verde), b* (+b* amarelo e -b* azul). Os parâmetros avaliados foram a claridade L* e a variação total de cor, ΔE, calculado a partir da equação 1.

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (1)$$

onde o subscrito '0' diz respeito às condições da fruta *in natura*;

O índice de escurecimento (BI) representa a pureza de uma amostra de cor marrom e é um parâmetro de escurecimento (ASKARI; EMAM-DJOMEH; MOUSAVI, 2009), calculado a partir das equações 2 e 3.

$$BI = 100 \left(\frac{x - 0,31}{0,17} \right) \quad (2)$$

Onde:

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

3.7 Preparo das amostras

As maçãs foram previamente limpas em água corrente para retirada de sujidades visíveis, e levemente secas em papel absorvente. Em seguida, foram cortadas ao meio, retiradas as sementes e cortadas em pedaços com o auxílio de um molde e faca de aço inoxidável. Foram obtidas amostras que apresentassem espessura de $4,90 \text{ mm} \pm 0,52 \text{ mm}$ e comprimento de $20,11 \text{ mm} \pm 1,00 \text{ mm}$, conforme a Figura 2.

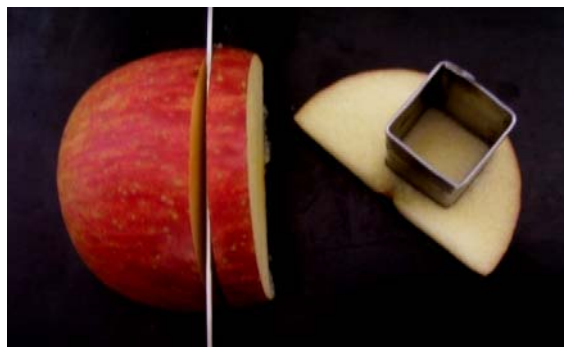


Figura 2 Corte das amostras com faca de aço inoxidável e molde

As amostras foram alocadas em uma porta-amostra de poliestireno expandido (EPS), devido às suas propriedades como isolante térmico, baixo coeficiente de condutividade térmica, baixa densidade, resistência e facilidade de manuseio (TESSARI; ROCHA, 2006). Apenas a parte superior exposta ao ar poderia sofrer os efeitos da secagem, visando avaliar o efeito da influência do etanol na superfície de amostras de maçã.

Dois tratamentos foram preparados: amostras com etanol gotejado sobre a superfície do fruto homogeneamente, que também será citado como pré-tratadas com etanol; e amostras sem pré-tratamento. O etanol utilizado foi comercial a 96 °GL, e a quantidade gotejada sobre as amostras foi de 0,13 mL de etanol/cm²; conforme Braga e Silva (2010).

3.8 Secagem de maçã

As amostras foram submetidas a parâmetros de temperatura e umidade relativa do ar de secagem, de acordo com o planejamento experimental representado na Tabela 1. Após estabilização dos parâmetros a amostra foi colocada no Sistema de Condicionamento de Ar de Laboratório (SCAL).

Para a cinética de secagem as amostras foram retiradas a cada 30 minutos para pesagem, e em seguida retornaram ao equipamento, até obtenção de $17,10\% \pm 2,44\%$ (b.s.). Esse procedimento de retirada da amostra durava de 195 a 515 minutos, dependendo das condições do processo estabelecidas pelas variáveis independentes, conforme Tabela 1.

Tabela 1 Planejamento experimental

Ensaio	Ensaio com etanol	Ensaio sem etanol	Variáveis codificadas		Variáveis reais	
			X ₁	X ₂	T [°C]	UR[%]
1		A	-1	-1	50	17
2		B	+1	-1	70	17
3		C	-1	+1	50	30
4		D	+1	+1	70	30
5		E	-1,41	0	45,9	23,5
6		F	+1,41	0	74,1	23,5
7		G	0	-1,41	60	14,3
8		H	0	+1,41	60	32,7
9		I	0	0	60	23,5
10		J	0	0	60	23,5
11		K	0	0	60	23,5

3.9 Equipamento

O sistema de secagem foi composto por um Sistema de Condicionamento de Ar de Laboratório (SCAL) acoplado a um secador, de forma que o fluxo de ar fosse horizontal à superfície das amostras. O controle de temperatura e umidade relativa do ar foi controlado pelo SCAL, desenvolvido pela empresa Conscientec Ltda. Para se obter baixa umidade relativa, o ar foi pré-condicionado por um sistema de refrigeração de ar condicionado, alocado antes do SCAL. A Figura 3 representa um esquema da câmara condicionadora de ar do SCAL.

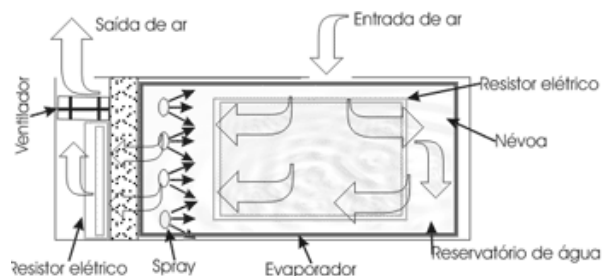


Figura 3 Diagrama esquemático da câmara condicionadora de ar
Fonte: Conscientec

Na câmara condicionadora de ar, há um compartimento inferior do condicionador que consiste de uma unidade de refrigeração e uma bomba d'água. No compartimento superior, os equipamentos usados no condicionamento de ar dividem-se em três câmaras: câmara de entrada do fluxo de ar ambiente (15 cm x 75 cm), com reservatório de água; câmara do *spray* (45 cm x 75 cm), com reservatório de água, cinco bocais de *spray* e um eliminador de gotas e câmara de saída do fluxo de ar (60 cm x 25 cm), que contém um exaustor e um aquecedor elétrico de ar. A câmara de entrada é separada da câmara do *spray* por uma parede, com uma abertura que permite a conexão entre as câmaras; nelas foram colocados o evaporador do sistema de resfriamento e um resistor, de forma a se poder aquecer ou resfriar a água do reservatório e do *spray*. A água usada no *spray* provém da camada de água (reservatório) das câmaras de entrada e do *spray* (COSTA, 2008).

O secador foi composto por quatro bandejas ligadas ao túnel de ar, de modo que o fluxo de ar se desviasse para duas bandejas na horizontal, sendo descartado para o meio, conforme a Figura 4 esquematiza.

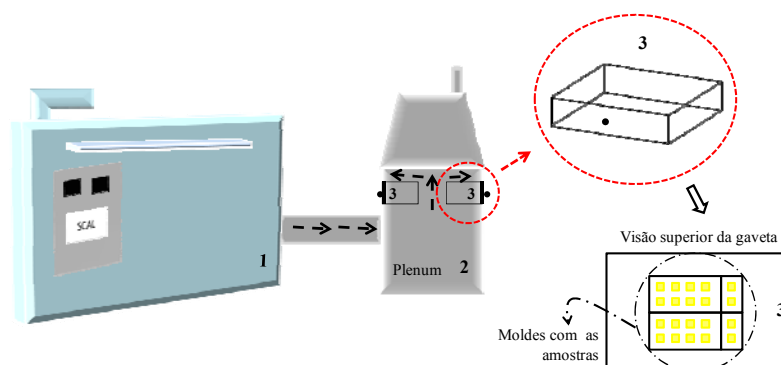


Figura 4 SCAL, 2. Sistema com gavetas acopladas e 3.gavetas

A velocidade do ar foi medida periodicamente sob as bandejas com auxílio de um anemômetro de pás. Após ligar o equipamento, a temperatura do ar de secagem foi estabilizada até o valor desejado, medida por termopares conectados a controladores universais, e verificando-se o valor com termômetro de mercúrio inserido no centro das gavetas. A umidade relativa do ar de secagem que foi medida por um termo-higrômetro digital portátil, com sensor inserido no interior do *plenum*. Esse equipamento e controle também foram utilizados por Isquierdo (2011).

3.10 Estatística

O planejamento experimental permite eficiência e economia no processo experimental. As amostras foram submetidas a um delineamento composto central rotacional (DCCR), totalizando 11 ensaios, sendo 4 ensaios nas condições axiais e 3 repetições no ponto central, conforme Tabela 1.

Os resultados obtidos permitiram determinar os coeficientes de regressão, calcular as ANOVAs e construir as superfícies de respostas (RODRIGUES; IEMMA, 2005), pelo *software* Statistica. O método de superfície de resposta permite a otimização da resposta, encontrando uma região

de estabilidade e a relação entre as variáveis dependentes e independentes.

As variáveis dependentes analisadas foram: cor, textura, encolhimento, atividade de água, capacidade de reidratação, qualidade visual e sólidos solúveis totais.

3.11 Modelagem matemática

As curvas de cinética de secagem foram ajustadas conforme os modelos matemáticos da literatura, demonstrados na Tabela 2. O teor de umidade geralmente é adimensionalizado pela equação 4. E o teor de água X_{eq} é o teor de água de equilíbrio do produto com o ar que foi obtido secando-se amostras sob as mesmas condições dos ensaios até peso constante.

Tabela 2 Modelos matemáticos da literatura usados para ajustes de cinética de secagem

Modelo	Equação	Referência
<i>Newton</i>	$MR = e^{-kt}$	Ayensu (1997) e Shi et al. (2008)
Page	$MR = e^{-kt^n}$	Page (1949)
Page modificada 1	$MR = e^{(-(kt)^n)}$	Sobukola, Dairo e Odunewu (2008)
Page modificada 2	$MR = e^{-(kt)^n}$	Overhults et al. (1973)
Henderson e Pabis	$MR = ae^{(-kt)}$	Henderson e Pabis (1961)
Logarítmica	$MR = ae^{(-kt)} + c$	Doymaz (2006, 2008)
Dois termos	$MR = ae^{(-k_0t)} + be^{(k_1t)}$	Madhiyanon, Phila e Soponronnarit (2009)
Dois termos exponenciais	$MR = ae^{(-k_0t)} + (1 - a)e^{(-k_1t)}$	Sharaf-Eldeen, Blaisdell e Hamdy (1980)
Wang e Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang e Singh (1978)
Aproximação de difusão	$MR = ae^{(-kt)} + (1 - a)e^{(-kbt)}$	Yaldiz e Ertekin, (2001)
Verma	$MR = ae^{(-kt)} + (1 - a)e^{(-k_1t)}$	Verma e Shukla (2000)
Henderson e Pabis modificada	$MR = ae^{(-kt)} + be^{(-k_0t)} + ce^{(-k_1t)}$	Madhiyanon, Phila e Soponronnarit (2009)
Midilli	$MR = ae^{(-kt^n)} + bt$	Midilli, Kucuk e Yapar (2002)

Porém, no presente trabalho, assim como em outros da literatura (DOYMAZ, 2004) a equação (4) foi simplificada:

$$MR = \frac{X_t - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} \quad (4)$$

Conforme indicado pela equação 5.

$$MR = \frac{X_t - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} \approx \frac{X_t}{X_0} \quad (5)$$

Onde:

MR = razão do teor de água, adimensional;

X_t = teor de umidade a qualquer tempo [kg kg⁻¹];

X_{eq} = teor de umidade na condição de equilíbrio [kg kg⁻¹];

X_0 = teor inicial de umidade [kg kg⁻¹];

t = tempo de secagem [min];

a; b; c; n = coeficientes dos modelos;

k; k_0 ; k_1 = constantes de secagem [min⁻¹].

Tal simplificação acarreta em erro de MR que aumenta na medida em que se diminui X_t . Apesar desse erro, a consideração é conveniente principalmente neste trabalho em que se deve obter X_{eq} para diversas combinações de umidade relativa e temperatura. Com a consideração, as correlações são adaptadas e se obtém parâmetros de ajuste que diferem do caso em que se utilizaria a equação 5.

3.12 Encolhimento

O encolhimento resultante da evaporação de água durante os experimentos de secagem foi avaliado nas direções superficial e de espessura, em dez amostras, conforme as equações 6 e 7, respectivamente:

$$ES = \frac{A_0 - A}{A_0} \quad (6)$$

$$EE = \frac{e_0 - e}{e_0} \quad (7)$$

O coeficiente de encolhimento (equação 8) mostra o quanto o volume reduziu:

$$CE = 1 - \frac{V}{V_0} \times 100\% \quad (8)$$

Onde: A_0 , e_0 e V_0 correspondem a área, espessura e volume da maçã antes da secagem e A , e e V a essas variáveis após a secagem. Para as medidas foi utilizado um paquímetro digital com precisão de $\pm 0,02$ mm.

3.13 Qualidade visual

A aparência do produto foi avaliada, por um observador, em dez amostras de maçãs secas de cada ensaio, com um índice de qualidade com

valores compreendidos entre 1 (mais alta qualidade) e 5 (pouca qualidade), como elucidado na Tabela 3. Essa análise também foi utilizada por Corrêa et al. (2011) e Tulasidas et al. (1995). É um teste bastante usado quando se trata de secagem por micro-ondas e foi adaptado aqui por sua simplicidade.

Tabela 3 Índices de avaliação de qualidade visual

Índice	Qualidade	Descrição
1	Excelente	Muito boa aparência geral, secagem uniforme, sem mudança de cor
2	Boa	Boa aparência, secagem menos uniforme, pequena mudança de cor
3	Satisfatória	Aparência satisfatória, algumas amostras estão sobre ou sub-secas, escurecimento torna-se visível
4	Pobre	Aparência pobre, várias amostras estão sobre ou sub-secas, mais intenso escurecimento de algumas amostras
5	Sem condições de uso	Aparência ruim, várias amostras estão sobre ou sub-secas, intenso escurecimento das amostras

3.14 Atividade de água

Foi realizada à temperatura de 25°C, utilizando-se o equipamento Aqualab, modelo CX-2T (Decagon Devices Inc., Pullman, WA, EUA), em triplicata.

3.15 Capacidade de reidratação

Foi realizada em triplicata de acordo com o método recomendado pela USDA (ANONYMOUS, 1994). A quantia de 150 mL de água destilada para 5g de amostra seca, no formato original com que foi seca, foi inserida em um béquer de 50 mL e mantida em ebulição por 3 minutos. Em seguida, 0,62 g \pm 0,06 g da amostra seca foram adicionadas à água em ebulição e mantidas por mais 5 minutos. A amostra reidratada foi, então, transferida para um sistema de filtração a vácuo com funil de *Büchner* e papel de filtro. A água foi drenada da

amostra com uma delicada compressão até que não fossem observadas mais gotas de água deixando o funil. A seguir, a amostra, retirada do funil foi pesada e a capacidade de reidratação calculada segundo a equação 9.

$$\text{COR} = \frac{m_{rh} (100 - X_o)}{m_{dh} (100 - X_{dh})} \quad (9)$$

Onde: COR é o coeficiente de reidratação; m_{rh} é a massa de amostra reidratada (kg); m_{dh} é a massa de produto desidratado (kg); X_o é o teor de umidade inicial e X_{dh} é o teor de umidade da amostra seca.

3.16 Biospeckle laser

Na análise de *Biospeckle* foram secas amostras de maçãs a 60°C e 23,5% de umidade relativa para os dois tratamentos. Cinco amostras foram retiradas do secador e analisadas a cada sessenta minutos, sendo pesadas em balança analítica, passando pela aquisição de imagens e análise de atividade de água, em seguida descartadas; repetindo-se o processo por seis horas de secagem, no laboratório CEDIA (Centro de Desenvolvimento de Instrumentação Aplicada à Agropecuária) na Universidade Federal de Lavras, onde foi realizada a aquisição e processamento dos dados.

Para a aquisição das imagens do *biospeckle* das amostras, utilizou-se uma configuração tradicional denominada *back-scattering*, onde o que é coletado pelo ponto observador é o retorno da luz incidida na amostra. Para a coleta das imagens com os padrões de interferência foi utilizado um *laser* de Hélio-Neônio de baixa potência (8mW), e as imagens foram constituídas de frames capturados por uma câmera CCD de 640 x 480 *pixels* em intervalos de

0,08 segundos. Em cada sessão de iluminação foi armazenados um conjunto de 128 imagens em níveis de cinza (8bits) relativos ao *Biospeckle-laser*.

A Figura 5 exibe o *setup* utilizado para trabalhar com os dados de *biospeckle*. O ângulo entre o feixe do *laser* com a câmera CCD foi ajustado de forma a obter imagens com o mínimo de reflexões da luz e o maior contraste das imagens. A faixa de frequência analisada foi limitada pela taxa de amostragem conduzida nos trabalhos variando de 0 a 6,25 Hz.

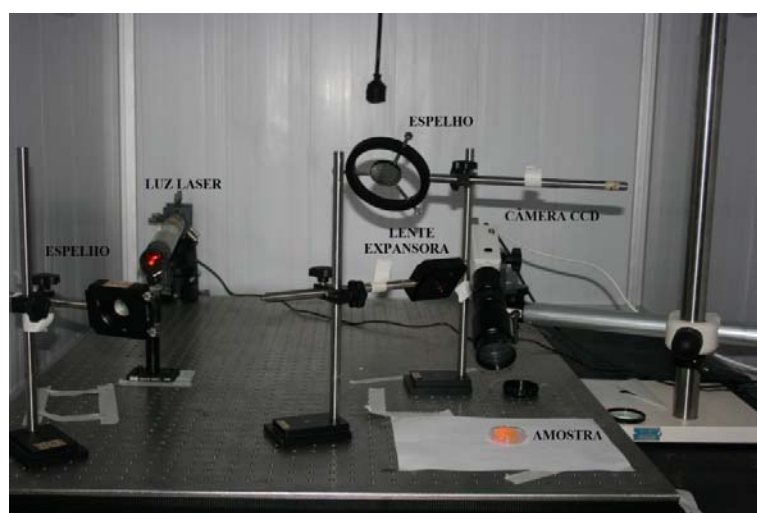


Figura 5 Configuração experimental *back-scattering* utilizados para iluminação e aquisição das imagens do *biospeckle* das amostras

O tratamento das imagens para a quantificação dos níveis de atividades do padrão do *biospeckle* foi realizado pela análise da história temporal do padrão do *speckle*, *THSP*, e pelo cálculo da dispersão dos *pixels* da imagem *THSP*, de modo a representar a atividade biológica referente à evaporação da água, pelo momento de inércia. Após a obtenção dos dados numéricos, foram gerados gráficos que permitiram a análise e comparação dos resultados. Para o processamento das imagens e aplicação do cálculo do momento de inércia foi utilizado o *software* livre *Image-J*. Neste trabalho o objetivo foi monitorar por

meio do *biospeckle laser* a atividade de água em maçãs durante o período de secagem de maçã.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização do fruto *in natura*

Os frutos *in natura* apresentaram $139,35 \text{ g} \pm 13,54 \text{ g}$ e os parâmetros L^* , a^* e b^* de cor, para a casca, foram $43,15 \pm 5,69$; $26,42 \pm 4,48$ e $15,28 \pm 4,71$, respectivamente. Os resultados obtidos da caracterização das maçãs *in natura* são demonstrados na Tabela 4.

A caracterização permitiu concluir que os parâmetros de umidade e sólidos solúveis avaliados assemelham-se aos encontrados em outros trabalhos, com a cultivar, por Goularte, Antunes e Antunes (2000), Rizzon, Bernardi e Miele (2005), Rodrigues, Lima e Almeida (2006), Treptow et al. (1995) e Vega-Gálvez et al. (2012).

Tabela 4 Caracterização da maçã *in natura*

Características	Maçã <i>in natura</i>
Teor de umidade (b.u.) (%)	$84,67 \pm 1,53$
Sólidos Solúveis Totais (°Brix)	$15,53 \pm 2,02$
Atividade de água	0,991
Cor	$L^* 77,72 \pm 2,40$
	$a^* -3,16 \pm 0,93$
	$b^* 18,68 \pm 2,20$
Força máxima (g)	387,31
Trabalho (g.s)	157,73
Adesividade (g.s)	- 2,70

4.2 Cor

Apesar de ser conhecido o rápido escurecimento da maçã quando em contato com o oxigênio, não houve pré-tratamento do fruto *in natura* na tentativa de não se alterar outra característica física que está sendo avaliada. Para que não houvesse escurecimento significativo com relação ao corte das maçãs,

os experimentos eram realizados em seguida a medição de cor e após o corte. Os resultados para os parâmetros de cor demonstrados na Tabela 5 e através deles foram calculados a variação total de cor (ΔE) e o índice de escurecimento (BI).

Tabela 5 Parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*), variação total da cor e Índice de escurecimento para maçãs secas com e sem pré-tratamento com etanol na superfície

		Variáveis dependentes							
		L^*		a^*		b^*		ΔE	BI
Ensaio com etanol	1	76,35	± 3,19	4,07	± 1,90	33,59	± 2,91	16,63	60,21
	2	73,62	± 1,88	7,19	± 1,09	34,69	± 3,19	19,50	69,04
	3	78,38	± 2,93	3,19	± 0,80	37,83	± 2,53	20,19	66,55
	4	70,05	± 2,31	6,65	± 1,77	30,89	± 1,87	17,44	63,64
	5	78,29	± 3,67	4,65	± 2,77	36,22	± 1,16	19,21	64,55
	6	72,37	± 4,07	5,08	± 2,53	33,81	± 2,19	18,04	66,18
	7	78,47	± 1,86	3,44	± 1,35	35,83	± 1,48	18,39	62,27
	8	76,49	± 0,90	2,24	± 1,43	30,45	± 2,06	13,01	51,52
	9	76,78	± 0,93	4,96	± 1,49	35,91	± 2,46	19,07	65,83
	10	76,60	± 4,25	4,17	± 2,03	35,99	± 2,14	18,83	65,40
	11	77,72	± 3,19	3,38	± 2,58	36,07	± 1,84	18,58	63,53
Ensaio sem etanol	A	80,64	± 2,04	1,20	± 1,24	35,31	± 2,01	17,44	56,80
	B	81,95	± 1,74	0,43	± 1,05	36,87	± 1,32	19,02	58,04
	C	82,88	± 2,76	0,22	± 1,71	36,12	± 2,80	18,50	55,47
	D	74,73	± 1,74	5,73	± 1,38	33,23	± 1,76	17,31	62,84
	E	81,06	± 1,35	1,72	± 1,01	36,72	± 1,43	18,99	59,85
	F	76,81	± 2,97	3,62	± 2,34	36,06	± 1,62	18,68	64,75
	G	78,78	± 1,91	1,27	± 1,00	34,46	± 0,84	16,43	56,82
	H	81,99	± 2,44	0,53	± 1,47	30,20	± 3,13	12,83	45,13
	I	80,30	± 1,11	1,26	± 1,12	34,86	± 2,70	16,97	56,24
	J	80,56	± 2,33	1,07	± 1,00	34,09	± 1,73	16,23	54,26
	K	80,51	± 2,09	1,45	± 1,26	35,27	± 2,93	17,45	57,09

ΔE - variação total da cor e BI- índice de escurecimento

A distribuição dos resíduos para cada parâmetro apresentou distribuição normal, visto que os valores estão distribuídos entre -2 e 2, sendo possível determinar os coeficientes de regressão, Gráficos 1 e 2.

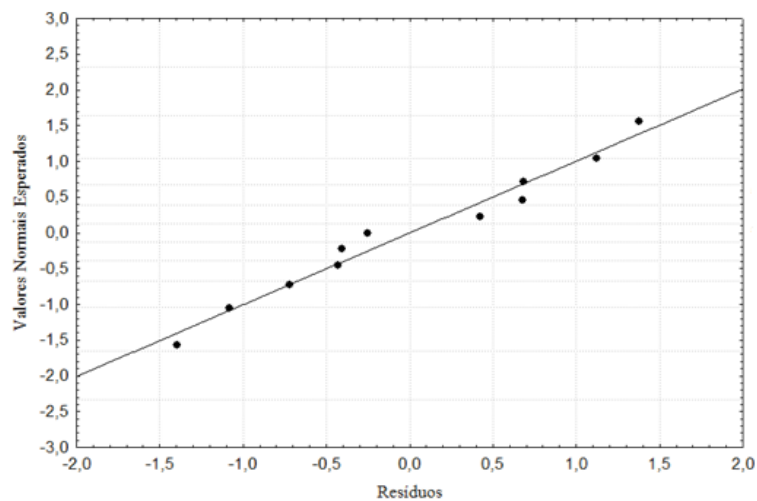


Gráfico 1 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta do parâmetro L^* para fatias de maçãs secas pré-tratadas com etanol

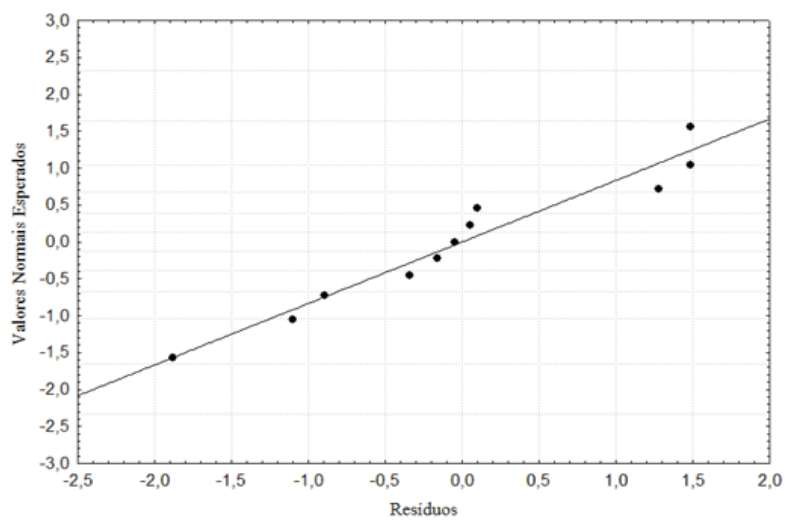


Gráfico 2 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta do parâmetro L^* para fatias de maçãs secas sem pré-tratamento

A partir dos resultados experimentais das variáveis estudadas os coeficientes de regressão foram estabelecidos ao nível de 5% de significância para o parâmetro L*. Para análise da adequabilidade da regressão se verificou o coeficiente de determinação (R^2) e o valor de F calculado, através das análises de variância (ANOVA), e aquele foi de 88,96% e 79,62% para amostras pré-tratadas com etanol e sem pré-tratamento, respectivamente.

Pela Tabela 5, para o parâmetro L*, observa-se que os valores médios, tanto para as amostras pré-tratadas quanto para as não tratadas com etanol, se encontram na faixa do valor L* para as amostras *in natura*, que foi cerca de 77,72. No entanto, observa-se que as amostras pré-tratadas com etanol que apresentam menores valores de L* são aquelas tratadas em temperaturas mais elevadas (ensaios 2, 4 e 6), fato que pode ser comprovado pelo coeficiente de regressão (Tabela 6).

Tabela 6 Análise dos coeficientes de regressão para o parâmetro L* de maçãs secas

Fator	L* com etanol		L* sem etanol	
	Coef. de regressão	p-valor	Coef. de regressão	p-valor
Média	77,033	0,000**	80,457	0,000**
Temperatura (L)	-2,428	0,003**	-1,606	0,031**
Temperatura (Q)	-1,303	0,062**	-0,663	0,351
Umidade relativa (L)	-0,543	0,287	-0,055	0,923
Umidade relativa (Q)	-0,229	0,691	0,062	0,928
T x UR	-1,400	0,082**	-2,365	0,027**

**significativo ao nível de 10% de confiança

Pela análise dos coeficientes de regressão do parâmetro L* (Tabela 6), constata-se que, para as amostras tratadas com etanol antes da secagem, a temperatura interfere significativamente de forma linear e quadrática sobre o parâmetro L*, ou seja, quanto maior a temperatura menor o valor de L*.

Conforme Heras-Ramírez et al. (2012), o uso de altas temperaturas durante o processamento pode levar a degradação e mudança da atividade

biológica dos compostos termicamente sensíveis, como os flavonoides, acarretando o escurecimento.

Já para as amostras não pré-tratadas a temperatura também foi significativa, bem como a interação entre as variáveis independentes (temperatura e umidade relativa). Pela Tabela 5 observa-se que os ensaios que possuem valores próximos de L^* são aqueles com elevada temperatura e baixa umidade relativa (Ensaio B), ou, o contrário, baixa temperatura com elevada umidade relativa (ensaio C), o que comprova a interação entre essas variáveis.

Elevada temperatura leva ao escurecimento do fruto e baixa umidade, também, pode levar ao escurecimento não enzimático, que, conforme Lima et al. (2004) ocorre intensamente na presença de açúcares e nas faixas de umidade relativa de 14% a 17%, e atividade de água de 0,65 a 0,74. O que justifica a interação de forma inversa da temperatura e da umidade relativa no parâmetro L^* das amostras de maçãs não pré-tratadas.

Para plotagem do modelo simplificado na superfície de resposta, analisou-se a adequabilidade do modelo, por meio da análise de variância para o parâmetro L^* de cor (Tabela 7).

Tabela 7 Análise de variância do modelo simplificado para o parâmetro de cor L^* em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície

Fator	SQ	G.L	QM	Fcal	p-valor
Regressão	67,096	5	13,419	8,06	0,02
Erro	8,326	5	1,665		
Total SS	75,422	10			

Para as amostras pré-tratadas com etanol, o valor de F calculado foi maior que o de F tabelado, indicando um bom ajuste do modelo, e possibilitando a geração da superfície de resposta do parâmetro L^* para as amostras pré-tratadas com etanol (Gráfico 3).

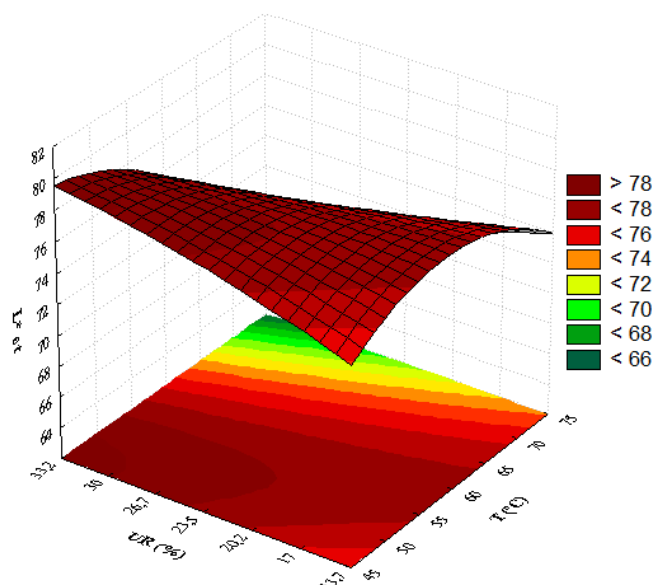


Gráfico 3 Superfície de respostas para o fator L* nas amostras de maçãs pré-tratadas com etanol e secas

Para as amostras sem pré-tratamento o ajuste do modelo também foi possível (Tabela 8), em nível de 10 %. Sendo possível afirmar que o ponto crítico para claridade é 80,52; equivalente à temperatura de 50,57 °C e umidade relativa do ar de 19,29 %, como pode ser visto no Gráfico 4.

Tabela 8 Análise de variância do modelo simplificado para o parâmetro de cor L* em maçãs secas sem pré-tratamento de etanol na superfície

Fator	SQ	G.L	QM	Fcal	p-valor
Regressão	45,931	5	9,186	3,91	0,08
Erro	11,756	5	2,351		
Total SS	57,687	10			

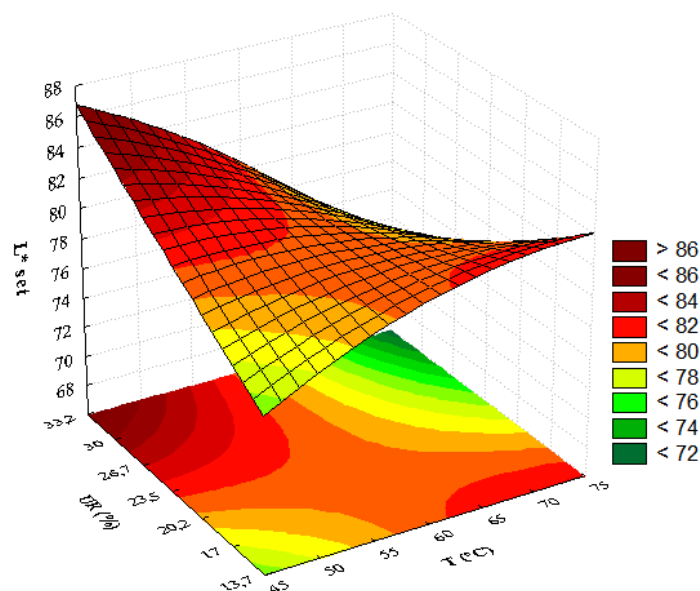


Gráfico 4 Superfície de respostas para o fator L* nas amostras de maçãs sem pré-tratamento com etanol e secas

Os polifenóis estão naturalmente presentes em maçãs frescas e são largamente conhecidos como antioxidantes, interferindo na aparência visual (escurecimento). Sabe-se que o escurecimento enzimático é um fenômeno que pode explicar as mudanças que afetam os polifenóis, quando os mesmos, polifenoxidase e oxigênio são colocados em contato durante descascamento ou corte, ou quando a membrana da célula sofre algum dano. Dessa forma, o maior escurecimento nas amostras pré-tratadas com etanol pode ser explicado por esse dano, já que aquele tem a função de solvente (DEVIC et al., 2010).

Durante a secagem, o produto sofre alterações na coloração inicial, principalmente, devido a reações enzimáticas. No entanto as reações não enzimáticas também interferem, dependendo do tempo de secagem e temperatura. Secagem prolongada com alta temperatura do ar de secagem favorecem as reações de escurecimento, reduzindo o valor de L*. Para Vega-Gálvez et al. (2012), bem como no experimento, os menores valores de L*

foram nas temperaturas e umidade relativa do ar de secagem mais altas, ensaios D, 4 e F, 6.

Apesar das amostras pré-tratadas com etanol apresentarem valor do parâmetro L^* semelhante ao do fruto *in natura*, aquelas caracterizaram-se pelo maior escurecimento quando comparadas às amostras não pré-tratadas, sendo importante analisar os outros parâmetros de cor.

Para o parâmetro b^* , observa-se que a Distribuição dos resíduos também apresentou distribuição normal (Gráficos 5 e 6). Observa-se que para valores de temperaturas mais amenas e umidade relativa do ar de secagem maior, o valor de b^* aumenta, indicando maior intensidade amarela do produto (Tabela 9).

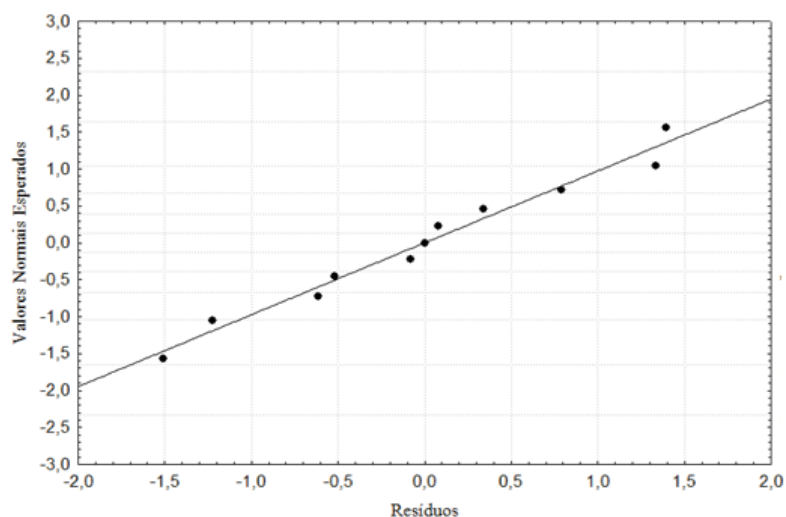


Gráfico 5 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta do parâmetro b^* para fatias de maçãs secas pré-tratadas com etanol

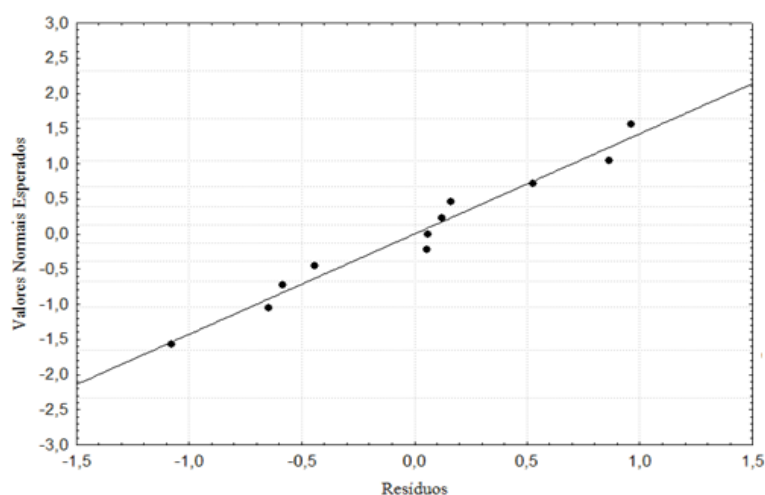


Gráfico 6 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta do parâmetro b^* para fatias de maçãs secas sem pré-tratamento

A análise dos coeficientes de regressão, Tabela 9, representa que para os dois tratamentos a umidade relativa interfere no parâmetro b^* , de forma quadrática e oposta, o aumento da umidade relativa reduz o valor de b^* , caracterizando produto menos amarelo. No entanto, a temperatura influencia de modo diferente para os dois tratamentos: nas amostras pré-tratadas o aumento da temperatura, diminui o valor de b^* , e nas sem pré-tratamento aumenta o valor de b^* .

Tabela 9 Análise dos coeficientes de regressão para o parâmetro b^* de maçãs secas

Fator	b^* com etanol		b^* sem etanol	
	Coef. de regressão	p-valor	Coef. de regressão	p-valor
Média	35,991	0,000**	34,737	0,000**
Temperatura (L)	-1,157	0,058**	-0,281	0,422
Temperatura (Q)	-0,445	0,464	1,083	0,036**
Umidade relativa (L)	-0,897	0,116	-1,108	0,018**
Umidade relativa (Q)	-1,383	0,057**	-0,948	0,056**
T x UR	-2,008	0,030**	-1,114	0,058**

**significativo ao nível de 10% de confiança

Deseja-se que o valor da variável seja o mais próximo possível daquele para o fruto fresco. Portanto as condições indicadas para os experimentos sem e com pré-tratamento com etanol são: maiores valores de umidade relativa, como a 70 °C e 30% (ensaio 4) ou a 60 °C e 32,7% (ensaio H e 8), nas amostras pré-tratadas com etanol que apresentam menores valores do parâmetro b^* .

Na análise de variância para o parâmetro b^* , Tabela 10, o ajuste do modelo foi possível nas amostras pré-tratadas com etanol, gerando as superfícies de resposta (Gráficos 7), já que F calculado foi maior que F tabelado a 10% de nível de significância.

Tabela 10 Análise de variância do modelo simplificado para o parâmetro de cor b^* em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície

Fator	SQ	G.L	QM	Fcal	p-valor
Regressão	44,094	5	8,819	4,96	0,05
Erro	8,897	5	1,779		
Total SS	52,992	10			

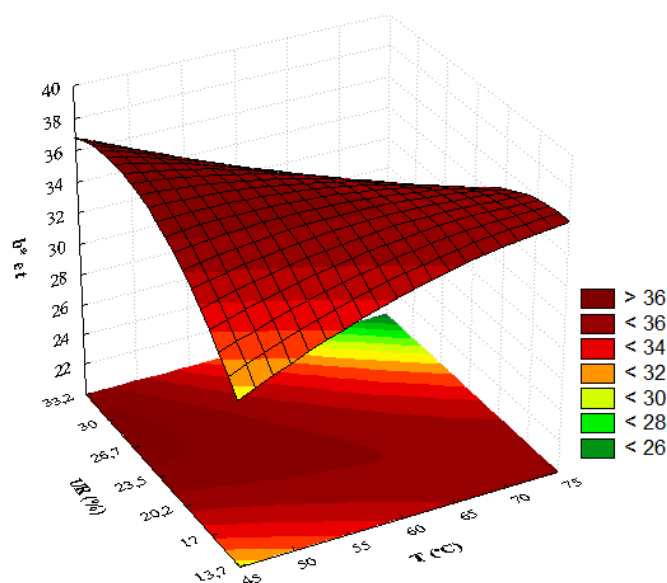


Gráfico 7 Superfície de respostas para o fator b^* nas amostras de maçãs pré-tratadas com etanol e secas

O coeficiente de determinação foi igual a 83,21%, e foi encontrado o ponto crítico em 35,91 para o parâmetro b^* , correspondendo às coordenadas de temperatura e umidade relativa do ar de secagem em 68,90 °C e 17,19%, respectivamente. O máximo do parâmetro b^* está próximo ao valor encontrado no ensaio 9 (60 °C e 23,5%).

Na análise de variância do parâmetro b^* para as amostras sem pré-tratamento o valor de F calculado foi maior que F tabelado, Tabela 11, a 5% do nível de significância, sendo possível o ajuste do modelo e geração da superfície de resposta, Gráfico 8.

O coeficiente de determinação encontrado foi de 88,58%. O ponto crítico encontrado foi em 35,04 na coordenada (58,69 °C; 20,20%), o valor foi próximo ao encontrado para as amostras pré-tratadas com etanol. No entanto, observa-se que o parâmetro b^* aumenta para temperatura e umidade relativa maiores, confirmando a análise de regressão onde se constatou a influência das duas variáveis independentes.

Tabela 11 Análise de variância do modelo simplificado para o parâmetro de cor b^* em maçãs secas sem pré-tratamento de etanol na superfície

Fator	SQ	G.L	QM	Fcal	p-valor
Regressão	31,947	5	6,389	7,76	0,02
Erro	4,117	5	0,823		
Total SS	36,064	10			

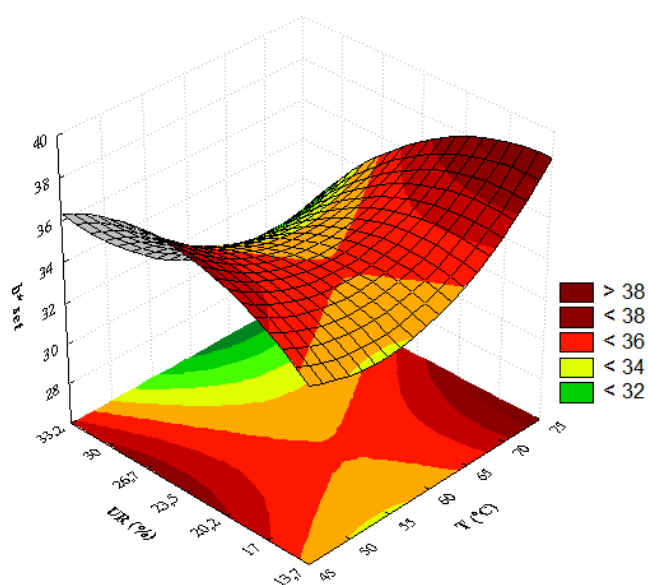


Gráfico 8 Superfície de respostas (a) e de contorno (b) para o fator b nas amostras de maçãs sem pré-tratamento e secas

Krokida, Maroulis e Saravacos (2001) estudaram o efeito de métodos de secagem durante a desidratação de maçã, sendo que o parâmetro b aumentou significativamente na secagem convectiva a 70°C e cerca de 7% de umidade relativa, chegando a $20,2 \pm 0,20$, sendo inicialmente cerca de 10,0; confirmando que o método de secagem influencia na alteração de cor. As amostras também apresentaram aumento do valor de b^* , e a 70°C e 17% de umidade relativa, as amostras sem tratamento encontraram intensificação do amarelado entre os ensaios, no entanto quando a umidade relativa aumentou, esse valor reduziu. O presente trabalho constatou que o uso de etanol como tratamento também é significativo na mudança do parâmetro b^* . Apesar da pequena diferença, todos os ensaios pré-tratados com etanol a 60 °C obtiveram resultados com maior valor de b^* , ou seja, maior tendência a apresentar coloração amarela.

Também para a variação total da cor realizou-se o teste de normalidade (Gráficos 9 e 10) para as amostras pré-tratadas e não pré-tratadas com etanol.

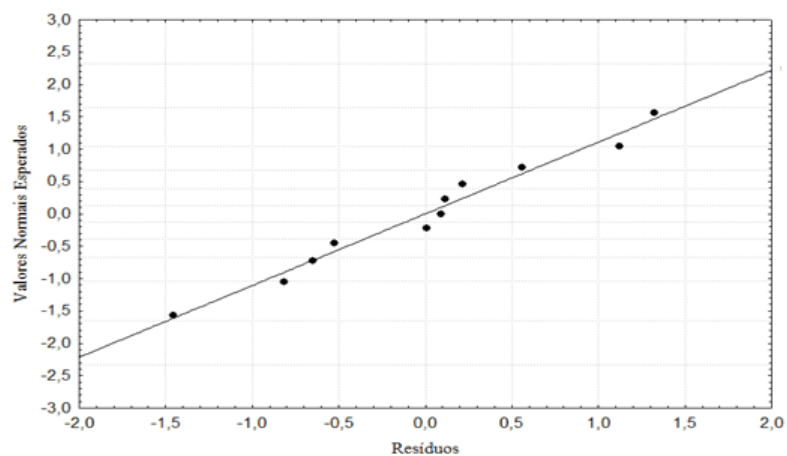


Gráfico 9 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta para variação total de cor para fatias de maçãs secas sem pré-tratamento

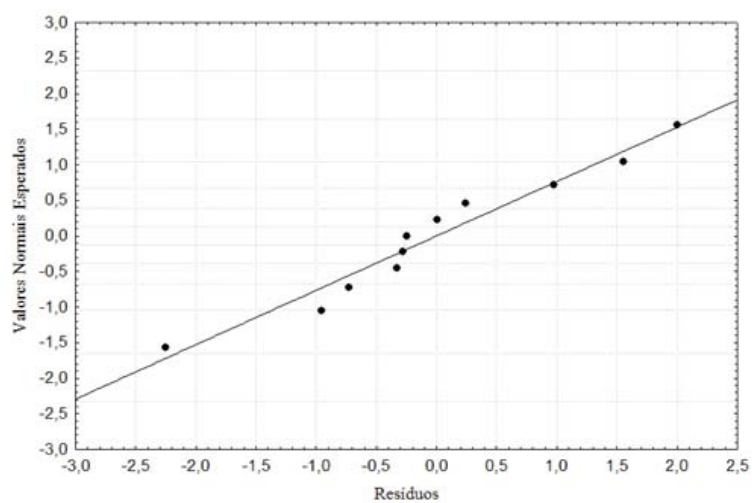


Gráfico 10 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta para variação total de cor para fatias de maçãs secas pré-tratadas com etanol

Para a variação total da cor observou-se, pelo coeficiente de regressão (Tabela 12), que para as amostras sem pré-tratamento a temperatura interferiu de

forma quadrática e direta sobre a variação total da cor, mas, com um baixo p-valor (0,05). Os coeficientes de determinação para as amostras pré-tratadas com etanol e as sem pré-tratamento foram de 62,62% e 77,93%, respectivamente.

Tabela 12 Análise dos coeficientes de regressão para variação total da cor de maçãs secas

Fator	b* com etanol		b* sem etanol	
	Coef. de regressão	p-valor	Coef. de regressão	p-valor
Média	18,827	0,000*	16,881	0,000*
Temperatura (L)	-0,191	0,761	-0,005	0,990
Temperatura (Q)	0,218	0,771	1,309	0,045*
Umidade relativa (L)	-0,764	0,255	-0,716	0,145
Umidade relativa (Q)	-1,245	0,139	-0,793	0,169
T x UR	-1,405	0,156	-0,692	0,291

* significativo ao nível de 5% de confiança

Pela análise de variância, não foi possível gerar superfície de resposta para a variação total da cor (Tabelas 13 e 14). Conclui-se que a variação total de cor para todos os ensaios em relação ao produto inicial apresentou um aumento com a temperatura nas amostras sem pré-tratamento, o que pode estar associado à formação de produtos de escurecimento. A temperatura constante de 60 °C, nas amostras pré-tratadas com etanol, observa-se um aumento na ΔE . Alterações na ΔE são traduzidas pela simultânea transferência de calor e massa que ocorre na superfície das amostras de maçãs e depende do tempo e temperatura de secagem (VEGA-GÁLVEZ et al., 2012).

Tabela 13 Análise de variância do modelo simplificado para o parâmetro de variação total da cor em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície

Fator	SQ	G.L	QM	Fcal	p-valor
Regressão	23,710	5	4,742	1,68	0,29
Erro	14,153	5	2,831		
Total SS	37,863	10			

Tabela 14 Análise de variância do modelo simplificado para o parâmetro de variação total da cor em maçãs secas sem pré-tratamento de etanol na superfície

Fator	SQ	G.L	QM	Fcal	p-valor
Regressão	24,284	5	4,857	3,53	0,10
Erro	6,875	5	1,375		
Total SS	31,159	10			

A distribuição dos resíduos para o índice de escurecimento (BI) permite perceber que os parâmetros seguem distribuição normal (Gráficos 11 e 12), sendo possível determinar os coeficientes de regressão.

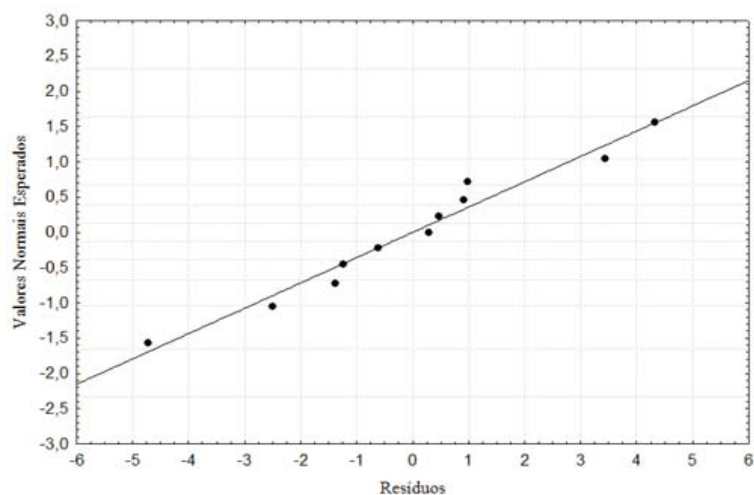


Gráfico 11 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta para BI para fatias de maçãs secas pré-tratadas com etanol

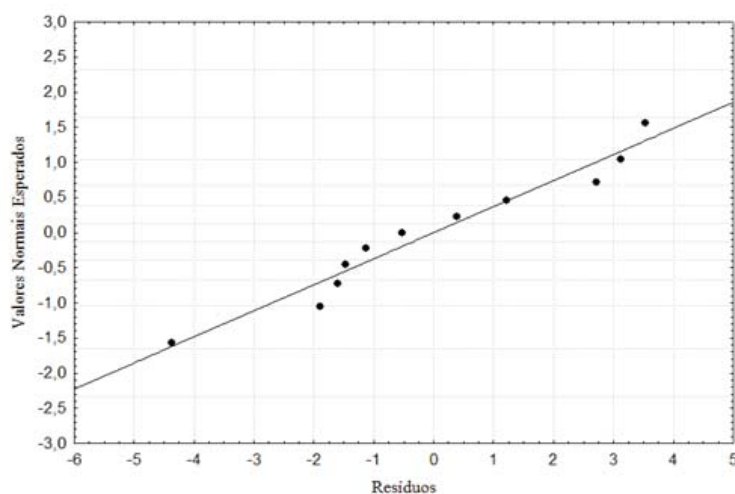


Gráfico 12 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta para BI para fatias de maçãs secas sem pré-tratamento

Na análise dos coeficientes de regressão para o índice de escurecimento (Tabela 15) notou-se que, para as amostras pré-tratadas, a umidade relativa do ar foi inversamente influente e a temperatura diretamente para as amostras sem pré-tratamento. Os coeficientes de determinação foram iguais a 69,50% e 76,41% para as amostras pré-tratadas com etanol e sem pré-tratamento, respectivamente.

Tabela 15 Análise dos coeficientes de regressão para o parâmetro BI de maçãs secas

Fator	BI com etanol		BI sem etanol	
	Coef. de regressão	p-valor	Coef. de regressão	p-valor
Média	64,921	0,000*	55,862	0,000*
Temperatura (L)	1,029	0,456	1,942	0,174
Temperatura (Q)	1,154	0,481	3,631	0,055*
Umidade relativa (L)	-1,782	0,221	-1,634	0,240
Umidade relativa (Q)	-3,079	0,098*	-2,031	0,223
T x UR	-2,935	0,164	1,533	0,417

*significativo ao nível de 10% de confiança

Para o BI, nos dois tratamentos, obteve-se um baixo valor de F calculado, não sendo possível o ajuste do modelo (Tabelas 16 e 17).

Tabela 16 Análise de variância do modelo simplificado para o parâmetro BI em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície

Fator	SQ	G.L	QM	Fcal	p-valor
Regressão	148,084	5	29,617	2,28	0,19
Erro	64,988	5	12,998		
Total SS	213,071	10			

Tabela 17 Análise de variância do modelo simplificado para o parâmetro BI em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície

Fator	SQ	G.L	QM	Fcal	p-valor
Regressão	194,749	5	38,950	3,24	0,11
Erro	60,125	5	12,025		
Total SS	254,874	10			

Apesar da temperatura ter sido interferente nos parâmetros L^* , b^* , ΔE e BI; nas amostras sem pré-tratamento; e significativa apenas para os parâmetros L^* e b^* , a associação dos três parâmetros de cor no cálculo de BI e ΔE levou todos os ensaios a uma mesma posição no espectro de cor. Ou seja, de maneira geral as variáveis independentes, temperatura e umidade relativa, e o tipo de tratamento, com ou sem etanol, não interferem na variação total da cor e no índice de escurecimento. Fernández, Castillero e Aguilera (2005) observaram após a secagem de maçã com temperatura de 50°C que a variação total de cor não é homogênea na amostra, obtendo valores finais de L^* , a 12% b.u., entre 65 e 72.

4.3 Textura

Neste item são analisadas as influências do uso de etanol, da temperatura e da umidade relativa na textura de maçãs desidratadas. Os valores para os

parâmetros de textura encontram-se na Tabela 18, sendo o Trabalho (W) maior do que o valor *in natura*. Para a Força máxima (F_{\max}) apenas os ensaios 4 e D (70 °C e 30%), 6 (74,1 °C e 23,5%) e H (60°C e 32,7%) obtiveram valores abaixo do fruto *in natura*. A Adesividade nos mesmos ensaios, para as amostras pré-tratadas com etanol (4 e 6), e a 60 °C e 23,5% nas amostras sem pré-tratamento foi abaixo do valor *in natura*.

Tabela 18 Força máxima, Trabalho e Adesividade para maçãs secas com e sem pré-tratamento com etanol na superfície

		Variáveis dependentes							
		F_{\max} (g)		W (g.s)		Adesividade (g.s)			
Ensaio com etanol	1	438,90	± 68,55	645,32	± 103,34	0,00	± 0,00	± 0,00	0,00
	2	765,64	± 14,34	1160,89	± 57,20	0,00	± 0,00	± 0,00	0,00
	3	383,03	± 76,20	546,31	± 108,60	0,00	± 0,00	± 0,00	0,00
	4	244,34	± 33,13	502,95	± 67,31	-13,82	± 0,37	± 0,00	0,00
	5	656,29	± 30,86	1039,81	± 61,30	0,00	± 0,00	± 0,00	0,00
	6	379,06	± 53,70	557,62	± 120,62	-12,65	± 1,64	± 0,00	0,00
	7	466,67	± 92,58	961,60	± 345,56	0,00	± 0,00	± 0,00	0,00
	8	384,58	± 102,68	556,25	± 140,96	-18,33	± 3,92	± 0,00	0,00
	9	521,01	± 100,15	769,26	± 71,61	0,00	± 0,00	± 0,00	0,00
	10	519,16	± 123,16	776,55	± 51,72	0,00	± 0,00	± 0,00	0,00
	11	522,49	± 93,15	763,80	± 178,37	0,00	± 0,00	± 0,00	0,00
Ensaio sem etanol	A	546,08	± 26,12	918,08	± 74,75	0,00	± 0,00	± 0,00	0,00
	B	654,08	± 104,00	1223,34	± 208,02	0,00	± 0,00	± 0,00	0,00
	C	476,73	± 129,85	648,96	± 195,05	0,00	± 0,00	± 0,00	0,00
	D	216,01	± 55,94	332,58	± 70,08	0,00	± 0,00	± 0,00	0,00
	E	581,04	± 79,16	1455,40	± 358,43	-1,23	± 0,00	± 0,00	0,00
	F	421,96	± 90,17	546,75	± 128,64	0,00	± 0,00	± 0,00	0,00
	G	775,93	± 26,11	1750,83	± 130,20	-1,75	± 0,02	± 0,00	0,00
	H	247,48	± 40,54	311,87	± 101,57	-1,87	± 0,11	± 0,00	0,00
	I	637,84	± 108,47	985,28	± 194,92	-5,75	± 2,42	± 0,00	0,00
	J	677,16	± 94,98	949,50	± 28,13	-5,45	± 3,15	± 0,00	0,00
	K	605,07	± 151,21	999,59	± 236,81	-6,05	± 2,11	± 0,00	0,00

F_{\max} - força máxima e W- trabalho

Para as amostras sem pré-tratamento o ensaio G, 60 °C e 14,3% apresentou a maior Força máxima e Trabalho; e para as amostras pré-tratadas com etanol o ensaio 2; 70 °C e 17%. E os menores valores para os dois parâmetros encontraram-se nos ensaios 4 e D a 70°C e 30%. Além disso, para os

tratamentos sem etanol nos ensaios a 60°, conforme a umidade relativa aumenta, a Força máxima e o Trabalho têm tendência negativa. Os resultados podem ter sido influenciados pelo turgor do produto.

Na parede celular, os polímeros de carboidratos de frutas correspondem de 90-95% dos componentes estruturais da parede, o restante é glicoproteína. Aqueles podem se agrupar com celulose, hemicelulose e pectina, a qual está em maior quantidade presente na parede e é o principal componente da lamela média e da parede celular primária. A composição química da pectina e sua correlação com os outros polissacarídeos determinam a firmeza do tecido vegetal processado. Alguns processos degradativos da pectina envolvidos em mudança de adesão entre as células levam ao amolecimento do tecido (KOJIMA et al., 2004).

A distribuição dos resíduos evidencia a distribuição normal dos dados, tornando possível a análise dos coeficientes de regressão. Os Gráficos 13 e 14 ilustram a distribuição dos resíduos em que os pontos estão bem próximos a reta evidenciando a distribuição normal dos dados e sendo possível a análise dos coeficientes de regressão.

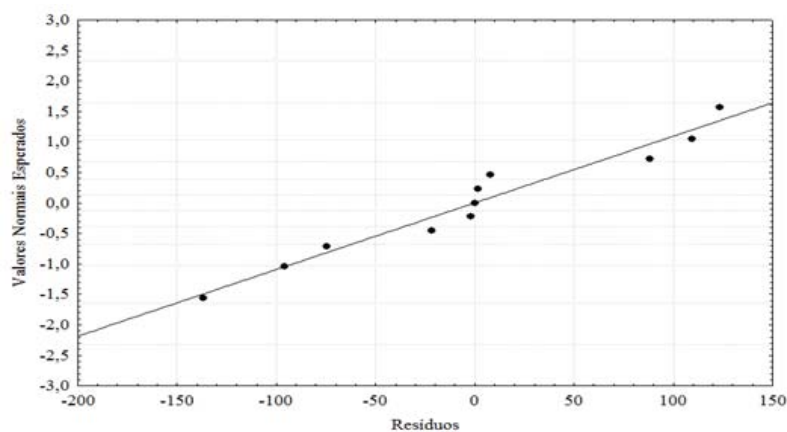


Gráfico 13 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta F_{\max} para fatias de maçãs secas pré-tratadas com etanol

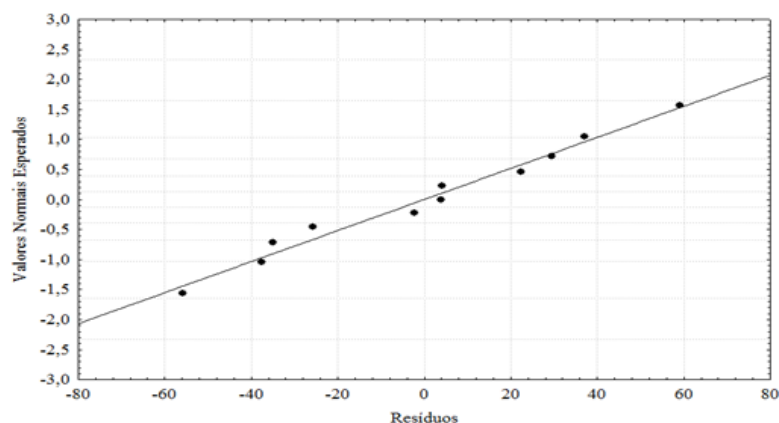


Gráfico 14 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta F_{\max} para fatias de maçãs secas sem pré-tratamento

O teste mede a força necessária para empurrar uma *probe* no alimento e é caracterizado por um instrumento de medição de força, penetração da sonda no produto, causando esmagamento irreversível e a profundidade é mantida constante a uma taxa constante de viagem da *probe*. Há uma força de compressão sobre a área de punção e força de cisalhamento em torno da borda, proporcional ao perímetro de punção. Dessa forma, o ponto de maior interesse é quando a *probe* começa a penetrar o alimento, sendo expresso como uma curva da força *versus* distância. No entanto, esse trabalho teve o objetivo de comparar os produtos finais no mesmo teor de umidade, portanto a Tabela 19 representa os valores de Força máxima (BOURNE, 2002).

Em vista dos resultados experimentais das variáveis estudadas, observa-se pelo p-valor que, para as amostras sem pré-tratamento, a interação entre a temperatura e a umidade relativa do ar de secagem é o que mais interfere na Força máxima, seguido da temperatura, ambos de forma oposta, maior temperatura, gera uma menor Força máxima, o que pode ser devido à umidade relativa. A perda de turgor é um dos fatores que influenciam no amolecimento

dos frutos, e é um processo não fisiológico associado com a desidratação pós-colheita do fruto (KOJIMA et al., 2004).

Tabela 19 Análise dos coeficientes de regressão para Força máxima de maçãs secas

Fator	BI com etanol		BI sem etanol	
	Coef. de regressão	p-valor	Coef. de regressão	p-valor
Média	520,885	0,001*	640,022	0,000*
Temperatura (L)	-25,502	0,566	-47,211	0,045*
Temperatura (Q)	-5,022	0,923	-77,605	0,015*
Umidade relativa (L)	-86,658	0,091	-156,844	0,000*
Umidade relativa (Q)	-51,047	0,349	-72,503	0,019*
T x UR	-116,356	0,104	-92,178	0,015*

*significativo ao nível de 5% de confiança

Para a plotagem do modelo simplificado na superfície de resposta, analisou-se a adequabilidade do modelo, por meio da análise de variância (Tabelas 20 e 21).

Tabela 20 Análise de variância do modelo simplificado para Força máxima em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície

Fator	SQ	G.L	QM	Fcal	p-valor
Regressão	134766,069	5	26953,214	1,95	0,24
Erro	69020,061	5	13804,012		
Total SS	203786,130	10			

Pela análise de variância da Força máxima, observou-se que F calculado é menor que F tabelado, para as amostras pré-tratadas com etanol, sendo o coeficiente de determinação igual a 66,13%, e não sendo possível o ajuste do modelo.

Tabela 21 Análise de variância do modelo simplificado para Força máxima maçãs secas sem pré-tratamento de etanol na superfície

Fator	SQ	G.L	QM	Fcal	p-valor
Regressão	297884,532	5	59576,906	23,49	0,00
Erro	12683,207	5	2536,641		
Total SS	310567,739	10			

A Tabela 21 demonstra que o valor de F calculado foi maior que F tabelado, a 5% de significância, sendo possível o ajuste do modelo e consequente geração da superfície de resposta, Gráfico 15, em que o ponto crítico equivalente foi em 739,106 para as coordenadas (65,43 °C;14,22%) nas amostras sem pré-tratamento com etanol. O modelo proposto conseguiu explicar 95,92% da variância (R^2).

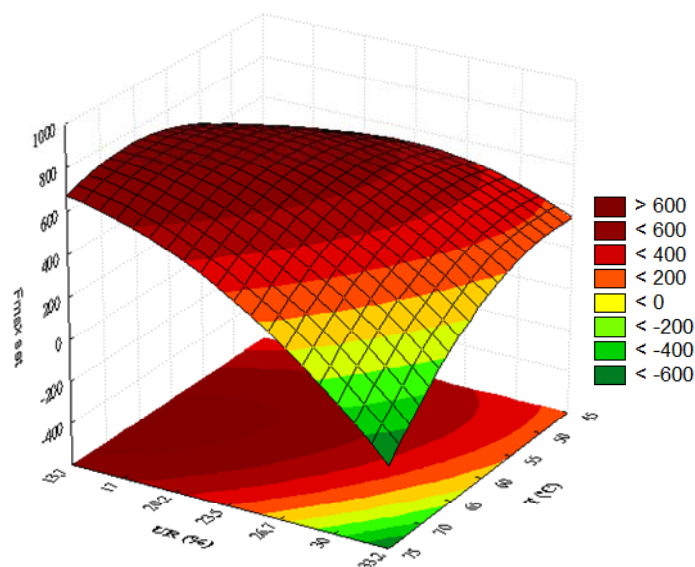


Gráfico 15 Superfície de respostas para Força máxima nas amostras de maçãs sem pré-tratamento e secas

A distribuição dos resíduos mostrou-se normalmente distribuída (Gráficos 16 e 17) e foi possível determinar os coeficientes de regressão para o Trabalho, apresentados na Tabela 22. O coeficiente de determinação (R^2) foi de

63,18% para amostras pré-tratadas com etanol e 79,54% para as sem pré-tratamento.

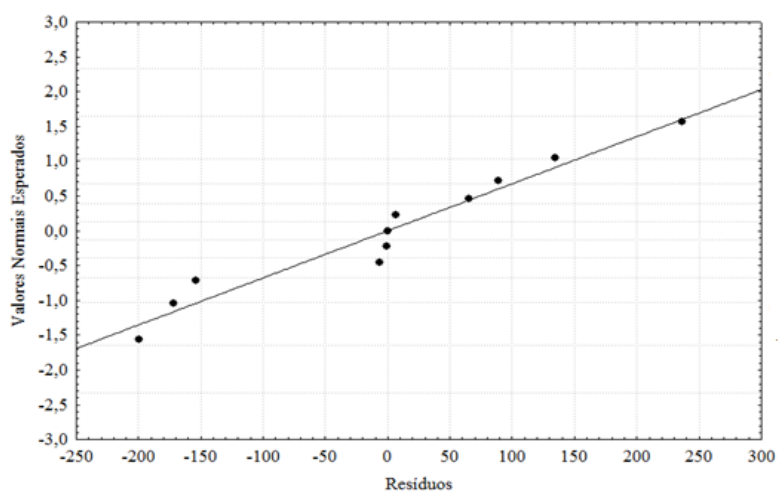


Gráfico 16 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta Trabalho para fatias de maçãs secas com pré-tratamento com etanol

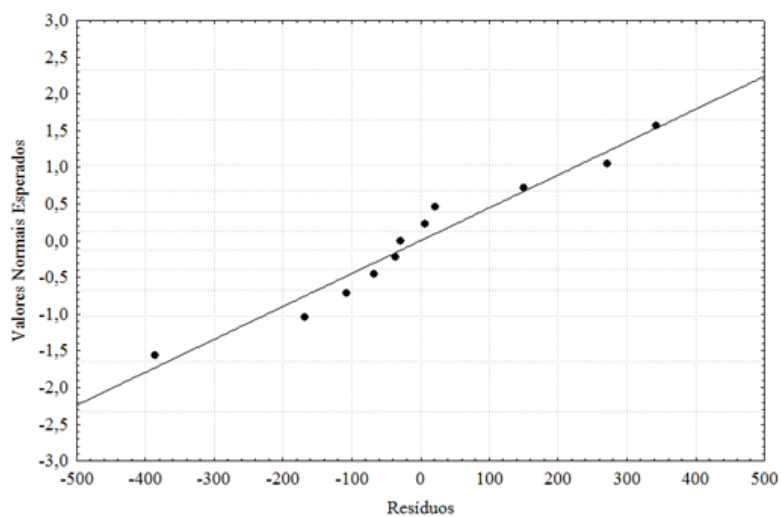


Gráfico 17 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta Trabalho para fatias de maçãs secas sem pré-tratamento

Tabela 22 Análise dos coeficientes de regressão para Trabalho de maçãs secas

Fator	W com etanol		W sem etanol	
	Coef. de regressão	p-valor	Coef. de regressão	p-valor
Média	769,870	0,001*	978,121	0,002*
Temperatura (L)	-26,213	0,711	-162,017	0,171
Temperatura (Q)	-1,815	0,983	-47,392	0,711
Umidade relativa (L)	-166,274	0,056	-399,358	0,011*
Umidade relativa (Q)	-21,711	0,796	-32,254	0,800
T x UR	-139,734	0,200	-155,410	0,328

* significativo ao nível de 5% de confiança

Pode-se notar que, para os níveis observados, os fatores não foram relevantes para o Trabalho, visto que p-valor foi acima de 5% nas amostras pré-tratadas com etanol. No entanto para o não pré-tratamento, a umidade relativa do ar de secagem foi significativa de forma linear e oposta; maior umidade relativa gera menor Trabalho. É conhecido que a umidade relativa tem efeito considerável sobre a perda de água do produto, assim é justificável que haja maior ou menor transferência de massa, já que com o aumento da umidade relativa, o teor de umidade do produto aumenta (KAYA; AYDIN; DEMIRTAS, 2007).

Na análise de variância para o trabalho, as Tabelas 23 e 24, nas amostras pré-tratadas com etanol observou-se que F calculado foi menor que F tabelado, não sendo possível o ajuste do modelo, bem como para as amostras sem pré-tratamento.

Tabela 23 Análise de variância do modelo simplificado para o Trabalho em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície

Fator	SQ	G.L	QM	Fcal	p-valor
Regressão	307567,880	5	61513,576	1,72	0,28
Erro	179240,144	5	35848,029		
Total SS	486808,024	10			

Tabela 24 Análise de variância do modelo simplificado para o Trabalho em maçãs secas sem pré-tratamento de etanol na superfície

Fator	SQ	G.L	QM	Fcal	p-valor
Regressão	1597258,025	5	319451,605	3,89	0,08
Erro	410807,412	5	82161,482		
Total SS	2008065,437	10			

Para a Adesividade, os resíduos obedecem à distribuição normal, conforme Gráficos 18 e 19, e com os resultados obtidos, foi possível determinar os coeficientes de regressão. Na Tabela 25 apresentam-se os efeitos e os coeficientes de regressão. O modelo proposto consegue explicar 88,65% da variância (R^2) para as amostras pré-tratadas com etanol e 94,44% para as amostras sem pré-tratamento.

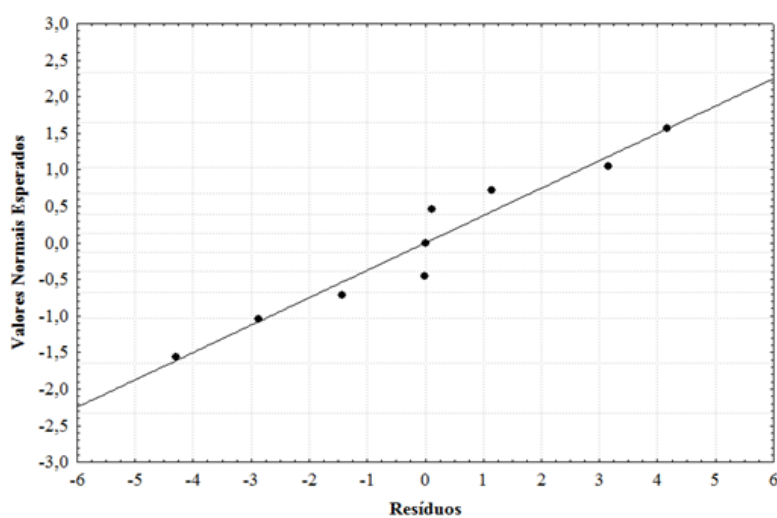


Gráfico 18 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta Adesividade para fatias de maçãs secas pré-tratadas com etanol

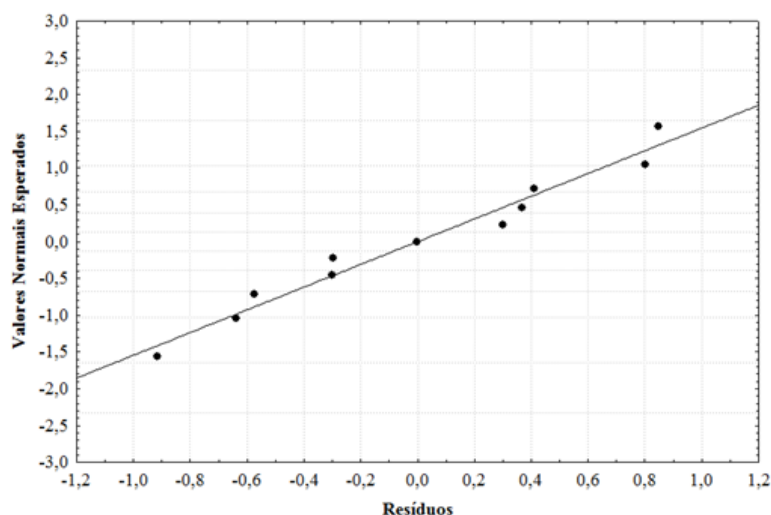


Gráfico 19 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta Adesividade para fatias de maçãs secas sem pré-tratamento

Tabela 25 Análise dos coeficientes de regressão para Adesividade de maçãs secas

Fator	Adesividade com etanol		Adesividade sem etanol	
	Coef. de regressão	p-valor	Coef. de regressão	p-valor
Média	0,000	1,000	-5,752	0,000*
Temperatura (L)	-3,963	0,021*	0,218	0,494
Temperatura (Q)	-2,089	0,202	2,871	0,000*
Umidade relativa (L)	-4,967	0,009*	-0,022	0,944
Umidade relativa (Q)	-3,510	0,057	2,275	0,001*
T x UR	-3,455	0,097	0,000	1,000

* significativo ao nível de 5% de confiança

Os efeitos da temperatura e umidade relativa de segunda ordem foram estatisticamente significativos para a Adesividade nas amostras sem pré-tratamento, ambos quadraticamente e de forma direta; maior temperatura e umidade relativa, maior Adesividade, ou seja, “pegajoso”. Para as amostras pré-tratadas, ambas variáveis foram significativas linearmente e de forma oposta, ou seja, quanto maior temperatura e umidade relativa, menor Adesividade.

A mudança mais notável com o uso de alta temperatura envolve o amolecimento do tecido, devido à facilidade de separação das células em tecidos não lignificados, o que pode acontecer pela degradação da pectina, ocasionando inchaço da parede celular, isso pode ser devido à degradação térmica de polímeros que estabilizam a parede, facilitando a ruptura, no entanto também pode ser afetado pelas alterações na composição iônica da parede celular. Alguns tecidos parênquimas não lignificados não amolecem durante processamento térmico, isto é, porque ocorre falha na separação celular, ocasionada apenas pelo rompimento da parede celular e garantido pelo efeito do etanol (WALDRON, 2004). Sabe-se que a maçã é um fruto rico em pectina encontrada em maior quantidade na lamela média, no entanto o amolecimento devido, principalmente, à atividade enzimática pode ocorrer mais facilmente com a perda excessiva de água e redução da pressão de turgor, interferindo em características mecânicas como na Adesividade, como foi observado na maioria dos ensaios e quando comparados ao fruto *in natura*.

Por meio da análise de variância (Tabelas 26 e 27) verificou-se a adequabilidade do modelo para plotagem na superfície de resposta. Observou-se que o valor de F calculado foi maior que F tabelado para a Adesividade tanto nas amostras com etanol quanto nas amostras sem etanol, podendo, assim, gerar as superfícies de resposta (Gráficos 20 e 21).

Tabela 26 Análise de variância do modelo simplificado para Adesividade em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície

Fator	SQ	G.L	QM	Fcal	p-valor
Regressão	447,266	5	89,453	7,81	0,02
Erro	57,262	5	11,452		
Total SS	504,528	10			

Tabela 27 Análise de variância do modelo simplificado para Adesividade em maçãs secas sem pré-tratamento de etanol na superfície

Fator	SQ	G.L	QM	Fcal	p-valor
Regressão	59,576	5	11,915	17,00	0,00
Erro	3,504	5	0,701		
Total SS	63,079	10			

O ponto que leva a uma Adesividade máxima, $-2,223 \text{ g.s}^{-1}$, nas amostras pré-tratadas com etanol, corresponde a $53,87 \text{ }^\circ\text{C}$ e a uma umidade relativa do ar de secagem de $20,86\%$.

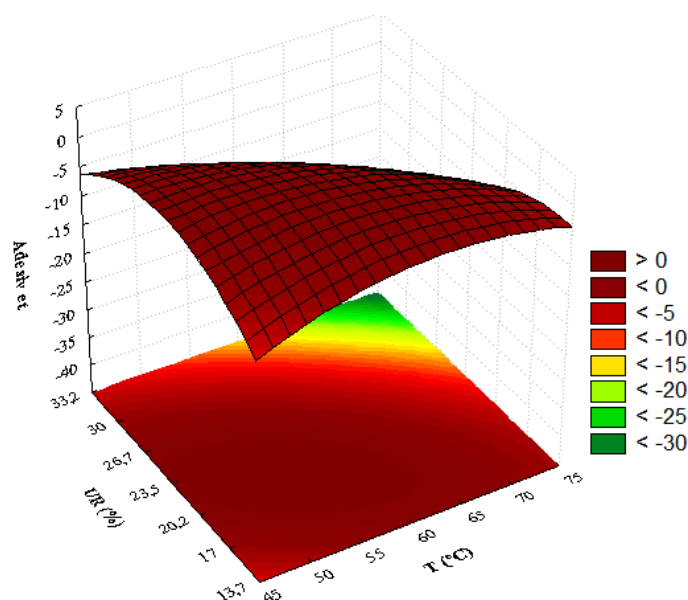


Gráfico 20 Superfície de respostas para Adesividade nas amostras de maçãs pré-tratadas com etanol e secas

O ponto crítico encontrado para Adesividade mínima, $-5,756 \text{ g.s}^{-1}$, nas amostras sem pré-tratamento, foi na temperatura de $59,62 \text{ }^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $23,53\%$, próximo ao valor encontrado para a Adesividade máxima nas amostras pré-tratadas, comprovando efeito contrário nos tratamentos.

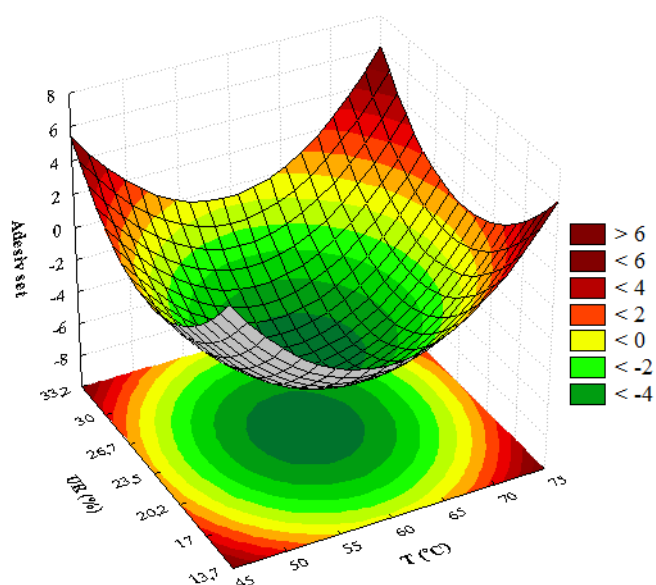


Gráfico 21 Superfície de respostas para adesividade nas amostras de maçãs sem pré-tratamento e secas

As condições do processamento são ferramentas importantes para criação de estruturas, envolvido nesse processo está a distribuição das tensões nas células, determinada pelas condições do processo e propriedades do material (WALKENSTRÖM, 2003). Neste trabalho foi observado que a secagem aumentou a dureza e adesividade em relação ao fruto *in natura*, o que pode ser importante no transporte de pedaços de maçã desidratada, pois maçãs mais firmes não quebram tão facilmente quanto macias (FUNEBEBO et al., 2002). Em relação à Força máxima, para as amostras pré-tratadas com etanol, o ensaio 3 (50 °C e 30%) foi similar ao valor encontrado no produto *in natura*. Funebo et al. (2002) sugeriram que o etanol desnaturou as proteínas da maçã, incluindo enzimas, portanto a ação da pectinametilesterase (PME), criando uma rede de ligações cruzadas de pectina sobre a parede celular, teria ocorrido apenas nas amostras sem pré-tratamento, assim observa-se que maçãs pré-tratadas com

etanol e secas a 23,5% de umidade relativa, o aumento da temperatura reduziu a Força máxima.

4.4 Encolhimento

Os resultados encontrados para os dois pré-tratamentos se encontram sumarizados na Tabela 28.

Tabela 28 Encolhimento superficial, Encolhimento de espessura e Coeficiente de encolhimento para maçãs secas com e sem pré-tratamento com etanol na superfície

		Variáveis dependentes		
		ES	EE	CE
Ensaio com etanol	1	39,80%	42,32%	65,28%
	2	43,23%	45,72%	69,18%
	3	37,24%	40,30%	62,53%
	4	48,85%	46,35%	72,56%
	5	34,79%	43,24%	62,98%
	6	42,87%	50,93%	71,96%
	7	40,21%	49,65%	69,89%
	8	38,02%	50,17%	69,12%
	9	33,81%	45,48%	71,36%
	10	32,06%	44,70%	62,43%
	11	35,55%	46,27%	65,37%
Ensaio com etanol	A	45,32%	43,35%	69,02%
	B	44,00%	52,48%	73,39%
	C	44,51%	49,95%	72,23%
	D	47,12%	42,28%	69,48%
	E	38,54%	39,44%	62,78%
	F	40,89%	52,68%	72,03%
	G	42,91%	44,59%	68,37%
	H	44,31%	50,63%	72,51%
	I	38,57%	47,41%	69,83%
	J	37,06%	47,47%	66,94%
	K	40,09%	49,10%	69,50%

ES – encolhimento de superfície; EE – encolhimento de espessura e CE - coeficiente de encolhimento

Observa-se pelos dados que o maior e menor encolhimento superficial para os dois tratamentos ocorreu nas mesmas condições de temperatura e umidade relativa do ar de secagem, ensaios 4 e D (70 °C e 30%) e 10 e J (60°C e 23,5%), respectivamente, demonstrando similaridade entre as condições com e sem pré-tratamento com etanol. Já o encolhimento de espessura foi maior nos ensaios 6 (74,1 °C e 23,5%) e H (60 °C e 32,7%); e menor em 3 (50°C e 30%) e E (45,9 °C e 23,5%).

O coeficiente de encolhimento (CE) para as amostras pré-tratadas com etanol acompanhou o encolhimento superficial, ou seja, os valores extremos foram nos ensaios 4 (70 °C e 30%) e 10 (60°C e 23,5%). Braga e Silva (2010) observaram na secagem de abacaxi pré-tratados com etanol que o maior encolhimento longitudinal em relação ao encolhimento radial refletiu no maior coeficiente de encolhimento. Neste trabalho, de modo geral, os ensaios também apresentaram maior encolhimento de espessura do que superficial o que pode ser devido ao fluxo de ar horizontal que foi paralelo à superfície exposta do fruto.

Lewicki e Jakubczyk (2004) testaram secagem de amostras cilíndricas de maçã de 80°C a 50°C, constatando diferença no encolhimento volumétrico de 0,49 a 0,58. Além disso, o encolhimento não foi isométrico, ou seja, o diâmetro dos pedaços de maçã encolheu aproximadamente de 14-20% durante a secagem convectiva e a altura reduziu cerca de 30% a 80 °C, 34% a 50 °C e 60 °C; e 39% a 70 °C em comparação com a maçã *in natura*, sendo que as amostras chegaram a um teor de umidade de 6,71% b.s. em 80 °C a 7,81% b.s. em 50 °C. O encolhimento não isométrico é causado pelo gradiente de umidade, já que fatias de maçãs se comportam como placas planas, possibilitando transferência de massa no eixo vertical.

Após constatar-se que os resíduos estão normalmente distribuídos, de acordo com os Gráficos 22 e 23. Pelos resultados obtidos da medição inicial e final das amostras foi possível determinar os coeficientes de

regressão, representados na Tabela 29. Os coeficientes de determinação (R^2) foram iguais a 56,16% e 69,23% para o encolhimento de espessura nas amostras pré-tratadas com etanol e sem pré-tratamento, respectivamente.

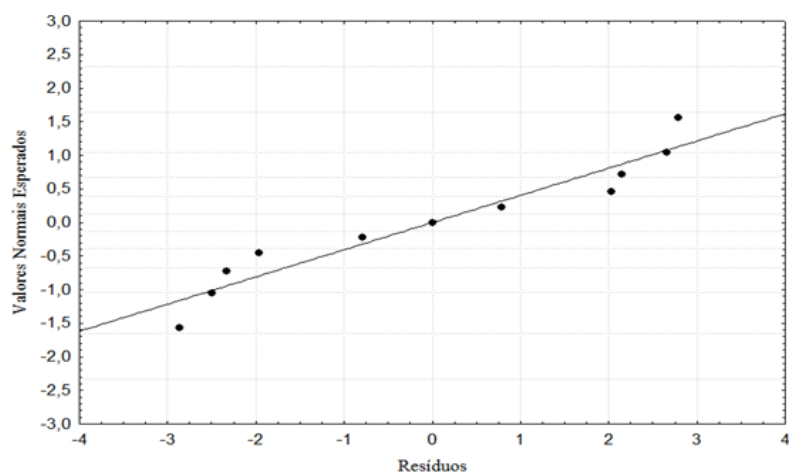


Gráfico 22 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta Encolhimento de Espessura para fatias de maçãs secas pré-tratadas com etanol

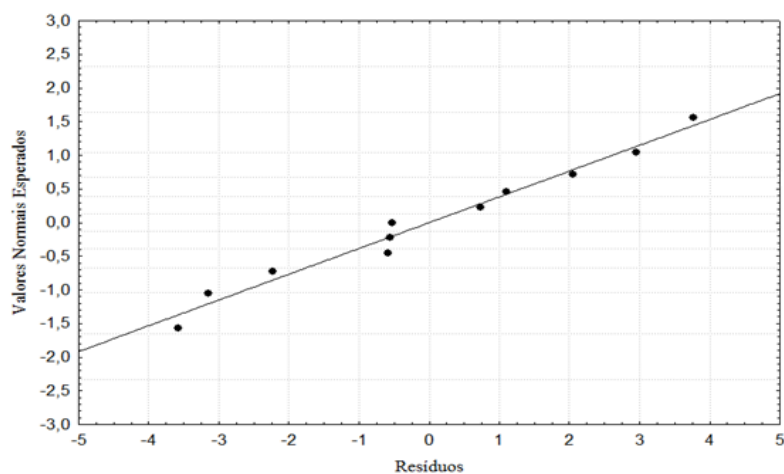


Gráfico 23 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta Encolhimento de Espessura para fatias de maçãs secas sem pré-tratamento

Tabela 29 Análise dos coeficientes de regressão para encolhimento de espessura de maçãs secas

Fator	EE com etanol		EE sem etanol	
	Coef. de regressão	p-valor	Coef. de regressão	p-valor
Média	0,455	0,000*	0,480	0,000*
Temperatura (L)	0,025	0,069	0,025	0,089
Temperatura (Q)	-0,004	0,770	-0,009	0,547
Umidade relativa (L)	-0,001	0,944	0,006	0,629
Umidade relativa (Q)	0,010	0,477	-0,001	0,922
T x UR	0,007	0,688	-0,042	0,056

* significativo ao nível de 5% de confiança

Pela análise do coeficiente de regressão para o encolhimento da espessura observa-se que nenhuma das variáveis dependentes foi significativa no encolhimento de espessura tanto para as amostras pré-tratadas com etanol, quanto para as sem pré-tratamento. O que pode ser justificado pelo fato de apenas a superfície do produto estar em contato com o ar de secagem.

Analisando-se a regressão, por meio da análise de variância, apenas verifica-se que F calculado é menor que F tabelado, não sendo possível o ajuste do modelo para encolhimento de espessura. No entanto, quando o encolhimento de espessura é comparado entre os pré-tratamentos observa-se que para a maior parte dos ensaios, as amostras sem pré-tratamento com etanol tiveram maior encolhimento de espessura, portanto o tratamento com etanol foi satisfatório para essa variável.

Para o encolhimento superficial, avaliou-se a distribuição dos resíduos (Gráficos 24 e 25) e constatou-se normalidade dos dados.

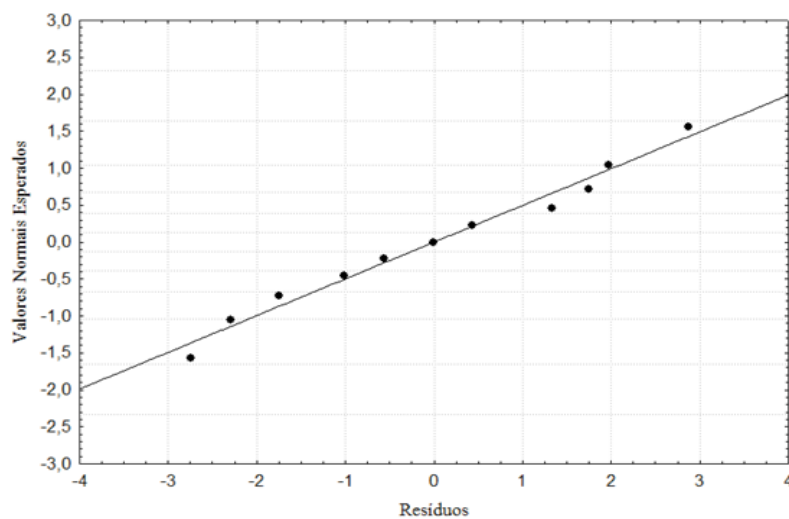


Gráfico 24 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta Encolhimento Superficial para fatias de maçãs secas pré-tratadas com etanol

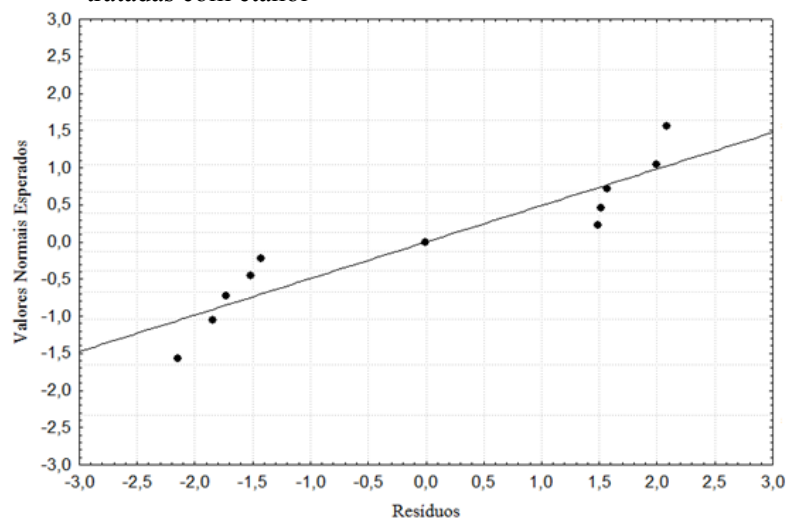


Gráfico 25 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta Encolhimento Superficial para fatias de maçãs secas sem pré-tratamento

Ao se comparar os tratamentos com etanol e sem etanol (Tabela 28) observa-se que nas mesmas condições de temperatura e umidade relativa de secagem as amostras tratadas com etanol apresentaram menor porcentagem sobre o encolhimento superficial, de forma geral. Com os dados gerados, foi possível determinar os coeficientes de regressão (Tabela 30). Os coeficientes de determinação (R^2) foram iguais a 85,70% e 71,25% para o encolhimento superficial nas amostras pré-tratadas com etanol e sem pré-tratamento, respectivamente.

Tabela 30 Análise dos coeficientes de regressão para encolhimento superficial de maçãs secas

Fator	ES com etanol		ES sem etanol	
	Coef. de regressão	p-valor	Coef. de regressão	p-valor
Média	0,338	0,000*	0,386	0,000*
Temperatura (L)	0,033	0,016*	0,006	0,539
Temperatura (Q)	0,033	0,029*	0,015	0,218
Umidade relativa (L)	0,000	0,996	0,005	0,566
Umidade relativa (Q)	0,035	0,025*	0,034	0,022*
T x UR	0,020	0,179	0,010	0,464

* significativo ao nível de 5% de confiança

Pela análise dos coeficientes de regressão constatou-se que a temperatura exerceu influência significativa no encolhimento superficial do tratamento com etanol, sendo que, quanto maior a temperatura, maior o encolhimento superficial. A umidade relativa quadrática também se mostrou significativa de forma direta para os dois tratamentos.

Pelos resultados experimentais obtidos, analisou-se a regressão por meio da análise de variância (Tabelas 31 e 32).

Tabela 31 Análise de variância do modelo simplificado para o parâmetro encolhimento superficial em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície

Fator	SQ	G.L	QM	Fcal	p-valor
Regressão	205,830	5	41,166	5,99	0,04
Erro	34,353	5	6,871		
Total SS	240,183	10			

Tabela 32 Análise de variância do modelo simplificado para o parâmetro encolhimento superficial em maçãs secas sem pré-tratamento de etanol na superfície

Fator	SQ	G.L	QM	Fcal	p-valor
Regressão	75,906	5	15,181	2,48	0,17
Erro	30,624	5	6,125		
Total SS	106,530	10			

Para o encolhimento superficial nas amostras pré-tratadas com etanol o valor de F calculado foi maior que F tabelado, a 5% de confiança, indicando um bom ajuste do modelo, e sendo possível a geração da superfície de resposta e curva de contorno (Gráfico 26).

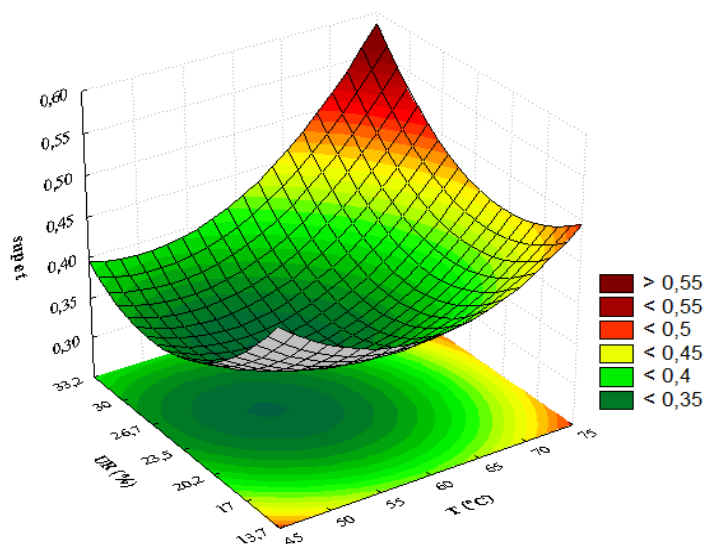


Gráfico 26 Superfície de respostas para encolhimento superficial nas amostras de maçãs pré-tratadas com etanol e secas

Como já discutido, o encolhimento é uma variável que evidencia alterações estruturais, sendo assim é importante que esse fator seja o menor possível. Nas amostras pré-tratadas com etanol, o ponto crítico do encolhimento superficial foi em 32,90% para as coordenadas (54,55 °C; 24,55%), indicando menor encolhimento superficial nessas condições.

Para as amostras sem pré-tratamento, na análise de variância o valor de F calculado foi abaixo de F tabelado, não sendo possível o ajuste do modelo.

O colapso nas células pode ser causado pelo gradiente de temperatura, diferença na pressão de vapor ou na pressão osmótica entre o meio e o produto. Como resultado da transferência de massa ou mudança de fase da água, durante as desidratações, ocorre o encolhimento (PROTHON; AHRNÉ; SJOHOLM, 2003).

Talla et al. (2004) observaram que o teor de umidade inicial do produto influencia predominantemente com relação à temperatura no coeficiente de encolhimento de bananas, e a relação indireta entre o teor de água evaporado com a redução volumétrica na secagem de pequenos discos de banana à temperatura constante, já que o volume evaporado corresponderia à variação volumétrica do produto (CE). E em tecidos vegetais, o encolhimento é menor nos estágios finais de secagem devido à rigidez formada na superfície que leva a preservação do volume (WITROWA-RAJCHERT; RZACA, 2009). Assim, possivelmente não houve interferência do etanol no final do processo.

4.5 Atividade de água e capacidade de reidratação

A atividade de água (a_w) é uma variável bastante importante, pois está relacionada com a estabilidade do alimento. Caracteriza-se pela maior facilidade em se medir com relação ao teor de umidade, e é uma medida não destrutiva (MALTINI et al., 2003). Os valores de a_w geralmente correlacionam-se com o

potencial de crescimento e atividade metabólica dos microrganismos; além de ser tido como um índice macroscópico da água nos alimentos e seu valor interferir em diversos processos como a taxa de oxidação, escurecimento e reações enzimáticas (CHIRIFE; BUERA, 1995; DEROSI; DE PILLI; SEVERINI, 2007). Dessa forma, o objetivo de processos como a secagem é a redução de a_w . Os resultados experimentais encontrados nas secagens se encontram sumarizados na Tabela 33.

Tabela 33 Atividade de água (a_w) e capacidade de reidratação (COR) para maçãs secas com e sem pré-tratamento com etanol na superfície

		Variáveis dependentes					
		a_w			COR		
Ensaio com etanol	1	0,417	±	0,01	44,53%	±	3,63%
	2	0,452	±	0,01	45,55%	±	2,05%
	3	0,438	±	0,01	46,35%	±	0,37%
	4	0,426	±	0,01	44,15%	±	1,54%
	5	0,427	±	0,00	45,67%	±	1,81%
	6	0,458	±	0,05	42,18%	±	2,78%
	7	0,502	±	0,01	39,73%	±	2,54%
	8	0,453	±	0,02	49,38%	±	0,85%
	9	0,545	±	0,02	39,89%	±	2,86%
	10	0,527	±	0,02	40,01%	±	0,79%
	11	0,563	±	0,02	39,78%	±	4,95%
Ensaio sem etanol	A	0,406	±	0,00	41,87%	±	0,68%
	B	0,442	±	0,00	45,21%	±	1,60%
	C	0,446	±	0,01	43,81%	±	2,20%
	D	0,424	±	0,01	37,35%	±	0,92%
	E	0,437	±	0,02	45,27%	±	2,13%
	F	0,429	±	0,03	39,60%	±	2,36%
	G	0,450	±	0,01	36,26%	±	0,78%
	H	0,457	±	0,02	48,94%	±	2,09%
	I	0,485	±	0,01	40,47%	±	1,21%
	J	0,471	±	0,00	40,48%	±	0,86%
	K	0,499	±	0,01	40,46%	±	1,58%

a_w - atividade de água e COR – capacidade de reidratação

Com os resultados apresentados observa-se que nos experimentos de secagem conduzidos houve redução na atividade de água com a secagem em relação ao valor *in natura*.

A análise dos resíduos indicou que eles estão normalmente distribuídos (Gráficos 27 e 28). A Tabela 34 representa os efeitos das variáveis independentes e os coeficientes do modelo de regressão, em termos das variáveis escalonadas.

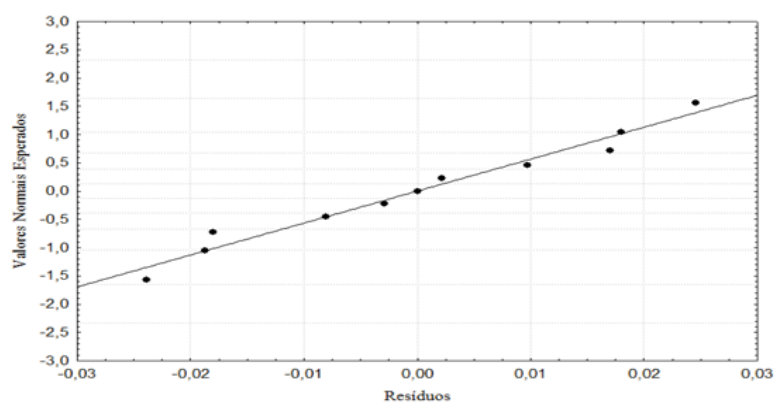


Gráfico 27 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta atividade de água para fatias de maçãs secas pré-tratadas com etanol

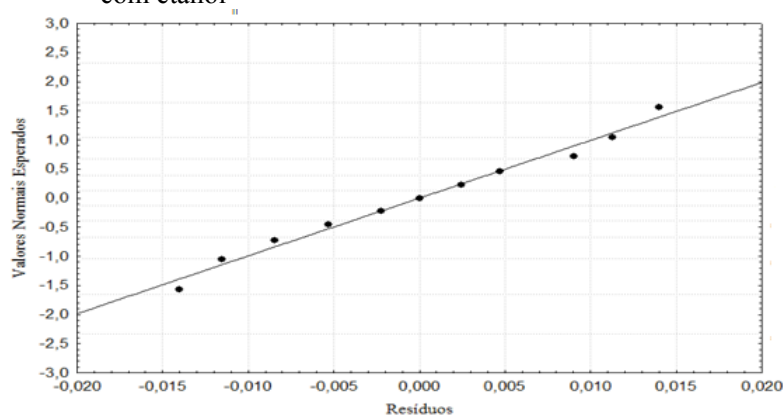


Gráfico 28 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta atividade de água para fatias de maçãs secas sem pré-tratamento

Tabela 34 Análise dos coeficientes de regressão para atividade de água de maçãs secas

Fator	a_w com etanol		a_w sem etanol	
	Coef. de regressão	p-valor	Coef. de regressão	p-valor
Média	0,545	0,000*	0,485	0,000*
Temperatura (L)	0,008	0,350	0,000	0,955
Temperatura (Q)	-0,058	0,002*	-0,030	0,003*
Umidade relativa (L)	-0,009	0,298	0,004	0,447
Umidade relativa (Q)	-0,040	0,009*	-0,019	0,018*
T x UR	-0,012	0,353	-0,014	0,081

* significativo ao nível de 5% de confiança

Observa-se que os termos quadráticos da temperatura e umidade relativa do ar de secagem interferem indiretamente na atividade de água para as amostras com e sem pré-tratamento com etanol com coeficientes de determinação foram 90,22% e 88,42%, respectivamente.

Os vegetais, como a maçã possuem uma solução aquosa com espécies de baixo peso molecular, como açúcares, sais e ácidos orgânicos; e hidrocoloides de alto peso molecular, contidos numa matriz insolúvel. Esses componentes, em diferentes graus, interagem com a água e tem a capacidade de reduzir a pressão de vapor, ou seja, atividade de água, através da ligação polar e, com grandes biopolímeros de grandes dimensões, através de interações de superfície e efeitos capilares; aumentando a viscosidade do produto. Os hidrocoloides mostram um efeito insignificante sobre a a_w , mas tem um forte efeito sobre o valor da viscosidade dos alimentos, reduzindo a tendência de colapso em frutas, por apresentarem a função de reter as moléculas de água (DEROSSI; DE PILLI; SEVERINI, 2007; MALTINI et al., 2003).

A análise de regressão para a_w (Tabela 34) mostrou semelhante interferência da temperatura no parâmetro L^* (Tabela 6); ou seja, quanto maior temperatura, menor atividade de água e maior o escurecimento (menor valor de L^*).

O escurecimento não enzimático tem sido observado na maioria quando a_w está de 0,3 a 0,7. Durante a desidratação em condições controladas, a a_w reduz, no entanto abaixo de um valor crítico que é variável por produto pode ocorrer o excesso de endurecimento, a fim de se evitar esse efeito alguns tratamentos combinados tem sido desenvolvidos como complemento (MALTINI et al., 2003). O etanol como pré-tratamento na secagem não alterou o efeito das variáveis independentes na atividade de água.

Em vista dos resultados experimentais das variáveis, estudados na análise de variância, obtiveram-se modelos codificados e analisou-se a regressão por meio da análise de variância (Tabelas 35 e 36).

Tabela 35 Análise de variância do modelo simplificado para atividade de água em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície

Fator	SQ	G.L	QM	Fcal	p-valor
Regressão	0,024	5	0,005	9,23	0,01
Erro	0,003	5	0,001		
Total SS	0,027	10			

Tabela 36 Análise de variância do modelo simplificado para atividade de água em maçãs secas sem pré-tratamento de etanol na superfície

Fator	SQ	G.L	QM	Fcal	p-valor
Regressão	0,007	5	0,001	7,64	0,02
Erro	0,001	5	0,000		
Total SS	0,007	10			

A superfície de resposta e curva de contorno do modelo completo (Gráfico 29) foram geradas, encontrando-se o ponto máximo (maior atividade de água) em 0,546 para a temperatura de 60,85 °C e umidade relativa de 22,66%.

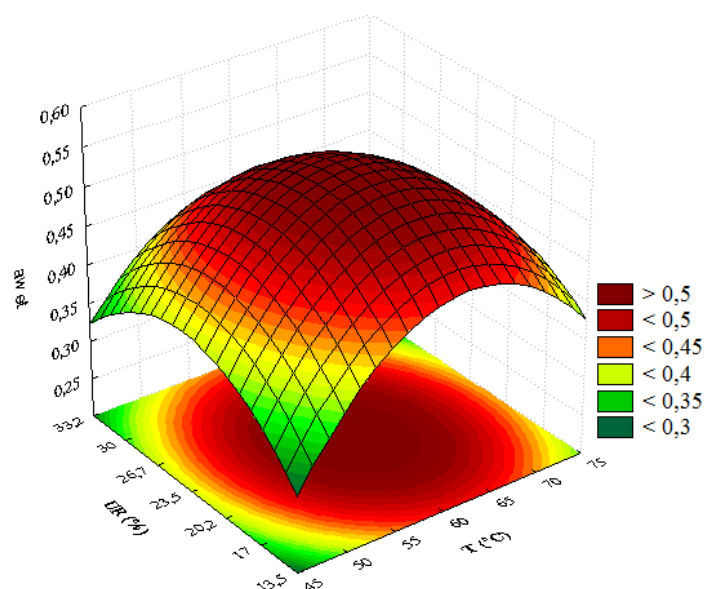


Gráfico 29 Superfície de respostas (a) e de contorno (b) para atividade de água nas amostras de maçãs pré-tratadas com etanol e secas

Como F calculado também foi maior do que F tabelado para atividade de água nas amostras sem pré-tratamento, foi possível gerar a superfície de resposta e curva de contorno apresentando-se na Gráfico 30, em que também foi observado um ponto máximo em 0,485; na temperatura de 59,79 °C e umidade relativa de 24,20%. Com relação aos menores valores de a_w , objetivos de um experimento de secagem, de acordo com as superfícies de resposta para amostras com e sem pré-tratamento com etanol (Gráficos 29 e 30) as melhores condições são obtidas em temperatura de 45°C e umidade relativa 13,7% com a_w menor que 0,34 para amostras não tratadas com etanol, e as condições temperatura/umidade relativa de 45°C/13,7% e 75°C/33,2% com atividade de água menor que 0,30 para amostras tratadas com etanol. Apesar da pequena diferença, o tratamento com etanol pode conduzir a menores valores de atividade

de água. O estudo mostrou que a a_w foi dependente de temperatura, umidade relativa e do tratamento com etanol.

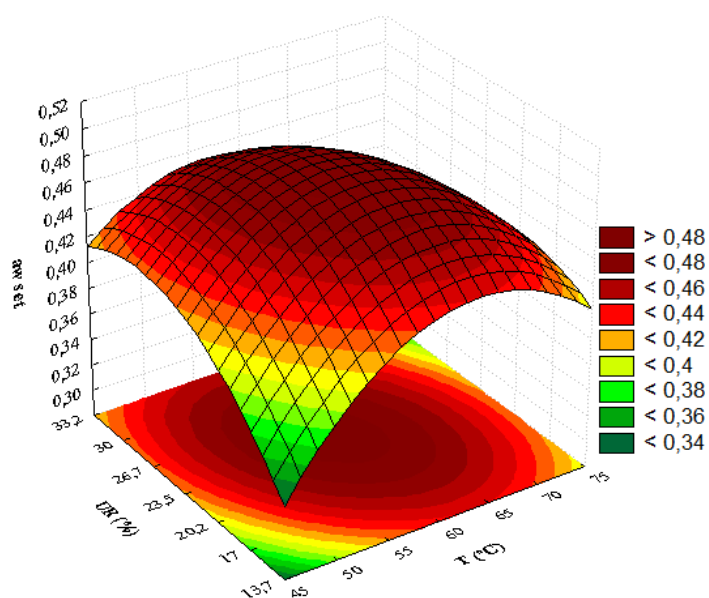


Gráfico 30 Superfície de respostas para atividade de água nas amostras de maçãs sem pré-tratamento e secas

Após obtidos os resultados para Capacidade de Reidratação (COR), para utilizar o DCCR, verificou-se a distribuição dos resíduos (Gráficos 31 e 32).

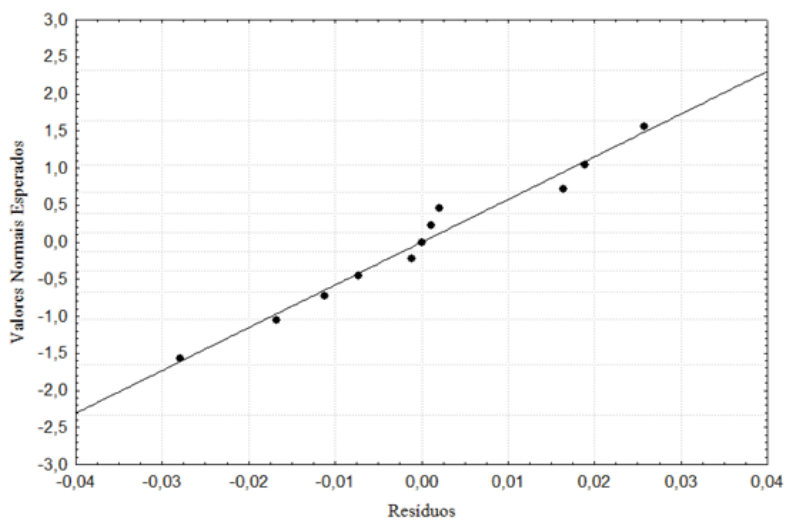


Gráfico 31 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta de capacidade de reidratação para fatias de maçãs secas pré-tratadas com etanol

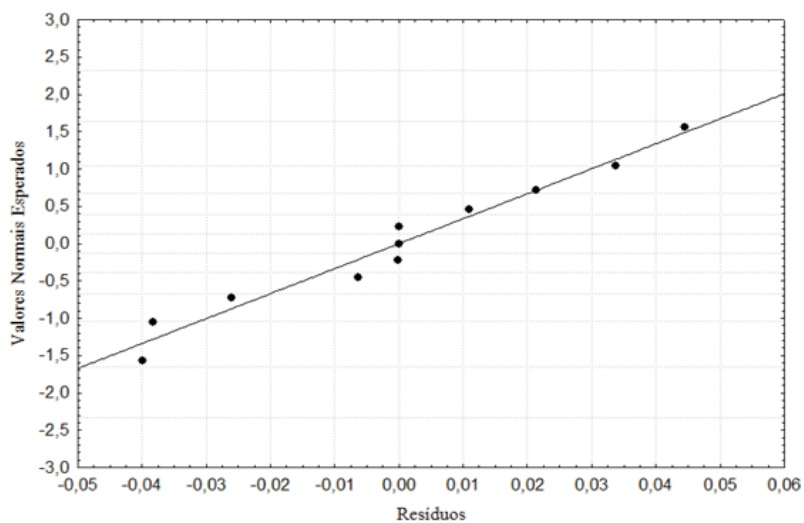


Gráfico 32 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta de capacidade de reidratação para fatias de maçãs secas sem pré-tratamento

Os resíduos para capacidade de reidratação têm distribuição normal. Os coeficientes de regressão obtidos estão demonstrados na Tabela 37, onde nota-se a relevância estatística dos efeitos e interação entre as variáveis independentes com a capacidade de reidratação.

Tabela 37 Análise dos coeficientes de regressão para capacidade de reidratação (COR) de maçãs secas

Fator	COR com etanol		COR sem etanol	
	Coef. de regressão	p-valor	Coef. de regressão	p-valor
Média	39,895	0,000*	40,468	0,000*
Temperatura (L)	-0,766	0,380	-1,393	0,355
Temperatura (Q)	2,242	0,064	0,869	0,616
Umidade relativa (L)	1,757	0,078	1,503	0,321
Umidade relativa (Q)	2,555	0,043*	0,952	0,583
T x UR	-0,805	0,506	-2,449	0,261

* significativo ao nível de 5% de confiança

Para capacidade de reidratação nas amostras pré-tratadas com etanol apenas a umidade relativa do ar foi significativa, a 5% do nível de significância.

De forma semelhante, Witrowa-Rajchert e Lewicki (2006) secaram convectivamente cubos de maçã a 70 °C e 2 m.s⁻¹ que foram reidratados à temperatura ambiente de 0,5 h a 5 h, em água destilada a estado estacionário na proporção de 1:50 (p/p). Constatou-se que a água penetrou primeiro nos poros, causando maior aumento de massa do que de volume, e redução considerável da porosidade, caracterizando rápida dissolução dos compostos de baixo peso molecular. O que provavelmente ocorreu foi a concentração dos compostos de baixo peso molecular, e provável formação de estado amorfo. No início da reidratação, as regiões amorfas, formadas durante a secagem, foram prontamente disponibilizadas para a água, e a matriz foi plastificada, reduzindo a viscosidade e causando o colapso do material até que os polímeros absorveram água e o produto inchou.

Os modelos explicam 76,53% e 46,50% da variância, conforme R^2 , nas amostras pré-tratadas com etanol e sem pré-tratamento. Na análise de variância para COR, o valor de F calculado foi menor que F tabelado (Tabelas 38 e 39), não sendo possível o ajuste do modelo para os tratamentos analisados.

Tabela 38 Análise de variância do modelo simplificado para capacidade de reidratação (COR) em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície

Fator	SQ	G.L	QM	Fcal	p-valor
Regressão	82,596	5	16,519	3,26	0,11
Erro	25,334	5	5,067		
Total SS	107,929	10			

Tabela 39 Análise de variância do modelo simplificado para capacidade de reidratação (COR) em maçãs secas sem pré-tratamento de etanol na superfície

Fator	SQ	G.L	QM	Fcal	p-valor
Regressão	64,828	5	12,966	0,87	0,56
Erro	74,583	5	14,917		
Total SS	139,411	10			

Apesar do modelo não ter apresentado ajuste, os experimentos mostraram que é possível a obtenção de coeficiente de reidratação de até 49,38% e 48,94% para amostras pré-tratadas e não pré-tratadas com etanol, respectivamente. Krokida e Marinos-Kouris (2003) secaram maçã convectivamente a 70 °C, 10% de umidade relativa e 2 m.s⁻¹ de velocidade do ar de secagem e reidratados em banho de água à temperatura de 40, 60 e 80 °C., não atingindo valores superiores a 8 kg/kg b.s.

4.6 Sólidos Solúveis Totais e Qualidade Visual

Os dados para sólidos solúveis totais (SST) e Qualidade Visual (QV) encontram-se sumarizados na Tabela 40.

Tabela 40 Sólidos Solúveis Totais e Qualidade Visual para maçãs secas com e sem pré-tratamento com etanol na superfície

		Variáveis dependentes					
		SST			QV		
Ensaio com etanol	1	85,43	±	0,06	2,60	±	0,70
	2	78,25	±	0,12	3,40	±	0,52
	3	85,67	±	0,00	2,70	±	0,82
	4	89,28	±	0,00	3,00	±	1,05
	5	92,40	±	0,08	2,50	±	0,71
	6	80,30	±	0,06	2,80	±	0,63
	7	80,70	±	0,00	2,56	±	0,73
	8	81,40	±	0,00	2,70	±	0,67
	9	82,05	±	0,00	2,80	±	0,92
	10	80,35	±	0,00	2,70	±	0,71
	11	78,65	±	0,00	2,60	±	0,52
Ensaio sem etanol	A	90,20	±	0,06	1,40	±	0,70
	B	80,32	±	0,06	2,40	±	0,84
	C	76,51	±	0,13	2,30	±	0,48
	D	87,25	±	0,00	2,40	±	0,52
	E	87,60	±	0,06	2,20	±	0,42
	F	87,60	±	0,00	2,30	±	0,48
	G	87,04	±	0,17	2,67	±	0,71
	H	91,30	±	0,00	2,80	±	0,63
	I	81,40	±	0,00	2,50	±	0,71
	J	80,30	±	0,00	2,45	±	0,60
	K	82,50	±	0,00	2,40	±	0,52

SST- sólidos solúveis totais e QV- qualidade visual

Após a secagem, e conseqüente remoção de água, ocorre concentração dos sólidos devido à perda de água, levando a um aumento no teor de SST em relação ao fruto *in natura* ($15,53 \pm 2,02$).

Visualmente, as amostras pré-tratadas com etanol, apresentaram maior escurecimento do que as não tratadas, podendo caracterizar a avaliação de QV, que de modo geral foi maior para as amostras pré-tratadas com etanol, exceto entre os ensaios 7 e G (60 °C e 14,3%) e 8 e H (60 °C e 32,7%). Apesar dessa análise não envolver teste de consumidor, ter caráter comparativo e ser realizada por um avaliador a maior nota de QV poderia indicar maior insatisfação do avaliador. Os valores de QV estiveram entre o índice 2 e 3 correspondente à

aparência boa e satisfatória, indicando homogeneidade de secagem e alteração visual na cor, conforme Tabela 3.

Os Gráficos 33 e 34 mostram que os resíduos apresentam distribuição normal. Pelos resultados obtidos foi possível determinar os coeficientes de regressão, representados na Tabela 41. Os coeficientes de determinação foram 78,68% e 69,03% para as amostras pré-tratadas com etanol e sem pré-tratamento, respectivamente.

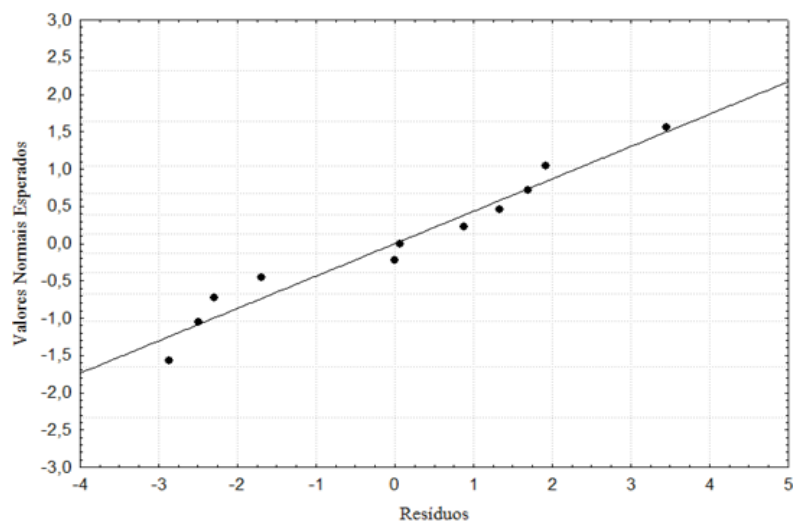


Gráfico 33 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta de sólidos solúveis totais para fatias de maçãs secas pré-tratadas com etanol

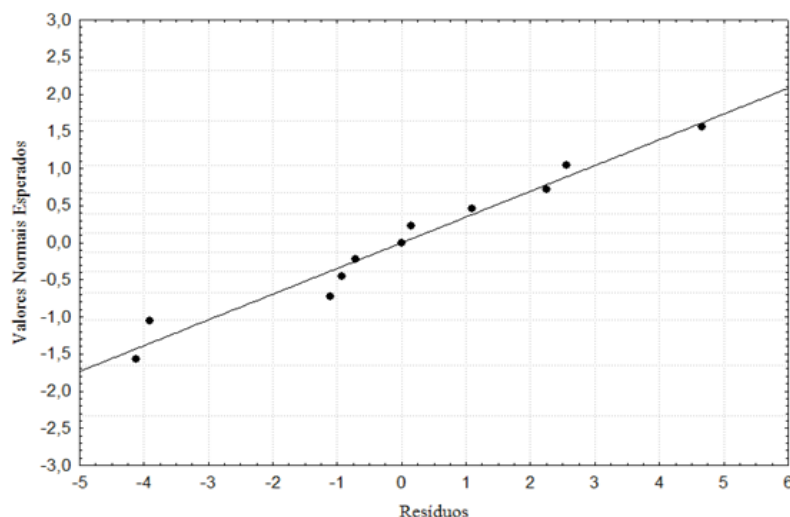


Gráfico 34 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta de sólidos solúveis totais para fatias de maçãs secas sem pré-tratamento

Tabela 41 Análise dos coeficientes de regressão para Sólidos Solúveis Totais de maçãs secas

Fator	SST com etanol		SST sem etanol	
	Coef. de regressão	p-valor	Coef. de regressão	p-valor
Média	80,350	0,000*	81,400	0,000*
Temperatura (L)	-2,585	0,056	0,107	0,939
Temperatura (Q)	3,239	0,048*	1,896	0,281
Umidade relativa (L)	1,531	0,203	-0,093	0,947
Umidade relativa (Q)	0,590	0,655	2,681	0,148
T x UR	2,696	0,128	5,155	0,039*

* significativo ao nível de 5% de confiança

De acordo com a Tabela 41, a temperatura foi a maior interferente no aumento de sólidos solúveis totais para amostras pré-tratadas com etanol, na forma quadrática e direta, ou seja, maior temperatura implicou em aumento de sólidos solúveis, o que já era esperado devido à redução da umidade e aumento de matéria seca na amostra. Já para os ensaios sem pré-tratamento a interação das variáveis independentes foi a maior interferente no teor de SST.

Analisou-se a regressão por meio da análise de variância (Tabela 42 e 43).

Tabela 42 Análise de variância do modelo simplificado para sólidos solúveis totais em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície

Fator	SQ	G.L	QM	Fcal	p-valor
Regressão	161,379	5	32,276	3,69	0,09
Erro	43,721	5	8,744		
Total SS	205,100	10			

Na análise de variância para SST, o valor de F calculado foi maior que F tabelado, a 10% do nível de significância, gerando a superfície de resposta e de contorno (Gráfico 35), em que o ponto crítico está fora da faixa experimental das variáveis independentes.

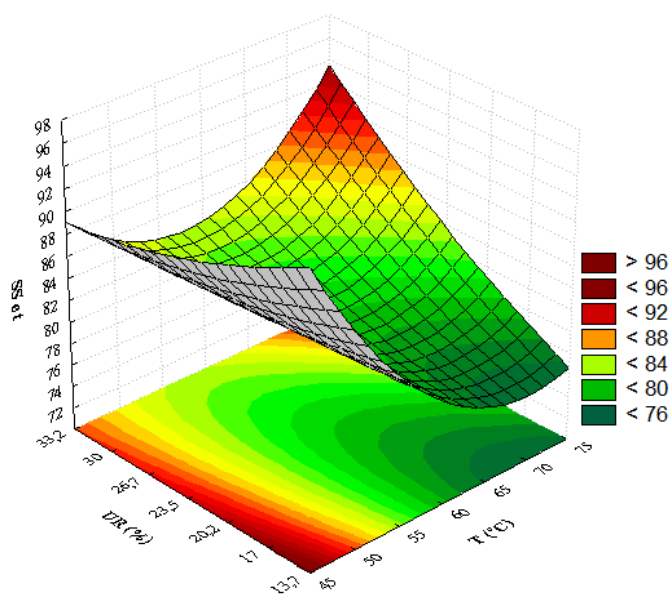


Gráfico 35 Superfície de respostas para sólidos solúveis totais nas amostras de maçãs pré-tratadas com etanol e secas

Para plotagem do modelo simplificado na superfície de resposta, analisou-se a adequabilidade do modelo para as amostras sem pré-tratamento, por meio da análise de variância (Tabela 43).

Tabela 43 Análise de variância do modelo simplificado para sólidos solúveis totais em maçãs secas sem pré-tratamento de etanol na superfície

Fator	SQ	G.L	QM	Fcal	p-valor
Regressão	154,642	5	30,928	2,23	0,20
Erro	69,390	5	0,000		
Total SS	224,032	10			

Na análise de variância de SST para as amostras sem pré-tratamento obteve-se um valor de F calculado abaixo do F tabelado, não sendo possível o ajuste do modelo.

Analisou-se a distribuição dos resíduos para qualidade visual (Gráficos 36 e 37).

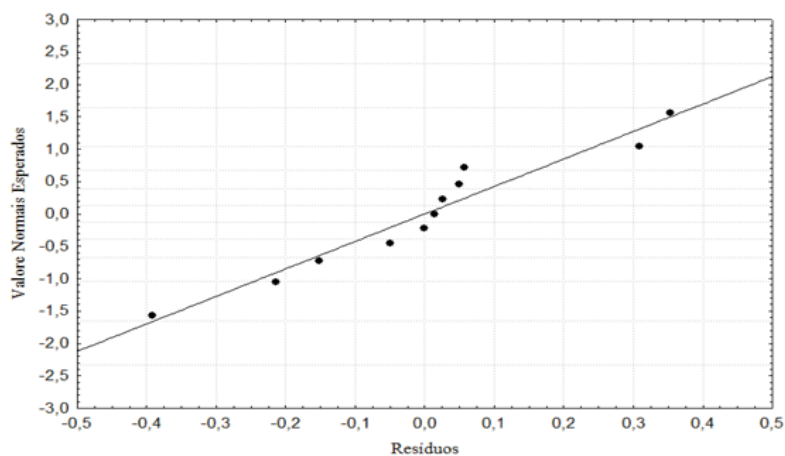


Gráfico 36 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta de qualidade visual para fatias de maçãs secas pré-tratadas com etanol

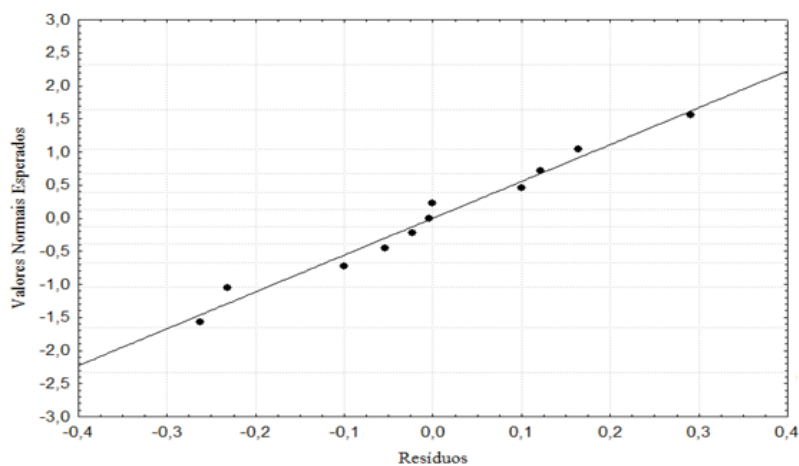


Gráfico 37 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta de qualidade visual para fatias de maçãs secas sem pré-tratamento

Os resíduos estão, normalmente, distribuídos para a variável de qualidade visual.

Com os resultados obtidos, foi possível determinar os coeficientes de regressão. Na Tabela 44 apresentam-se os efeitos e os coeficientes de regressão. O modelo proposto conseguiu explicar 57,53% da variância (R^2) para as amostras pré-tratadas com etanol e 64,48% para as amostras sem pré-tratamento.

Tabela 44 Análise dos coeficientes de regressão para Qualidade Visual de maçãs secas

Fator	QV com etanol		QV sem etanol	
	Coef. de regressão	p-valor	Coef. de regressão	p-valor
Média	2,700	0,000*	2,450	0,000*
Temperatura (L)	0,191	0,069	0,155	0,204
Temperatura (Q)	0,047	0,656	-0,192	0,190
Umidade relativa (L)	-0,012	0,890	0,136	0,257
Umidade relativa (Q)	0,035	0,733	0,050	0,709
T x UR	-0,125	0,333	-0,225	0,195

* significativo ao nível de 5% de confiança

Observa-se pelo p-valor (Tabela 44) que as variáveis independentes não foram significativas para a Qualidade Visual. E analisou-se a regressão, por meio da análise de variância (Tabelas 45 e 46).

Tabela 45 Análise de variância do modelo simplificado para qualidade visual em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície

Fator	SQ	G.L	QM	Fcal	p-valor
Regressão	0,369	5	0,074	1,35	0,37
Erro	0,273	5	0,055		
Total SS	0,642	10			

Tabela 46 Análise de variância do modelo simplificado para qualidade Visual em maçãs secas sem pré-tratamento de etanol na superfície

Fator	SQ	G.L	QM	Fcal	p-valor
Regressão	0,369	5	0,074	1,35	0,37
Erro	0,273	5	0,055		
Total SS	0,642	10			

Tanto nas amostras pré-tratadas com etanol quanto as que não receberam pré-tratamento, o valor de F calculado foi abaixo do de F tabelado, não sendo possível o ajuste do modelo.

O escurecimento de frutos, como a maçã, é o principal inconveniente para sua comercialização. Diferenças de cor são geralmente avaliadas por colorímetro; no entanto, pequenas diferenças observadas instrumentalmente podem não ser observadas visualmente, Por essa razão, o resultado encontrado pelo colorímetro pode ser comparado com a avaliação do escurecimento sensorialmente. Nos ensaios, as variáveis independentes não interferiram significativas para QV, como a temperatura interferiu indiretamente no parâmetro L* (PEREZ-GAGO et al., 2003).

4.7 Microestrutura

As micrografias obtidas estão representadas da Figura 6 a 15.

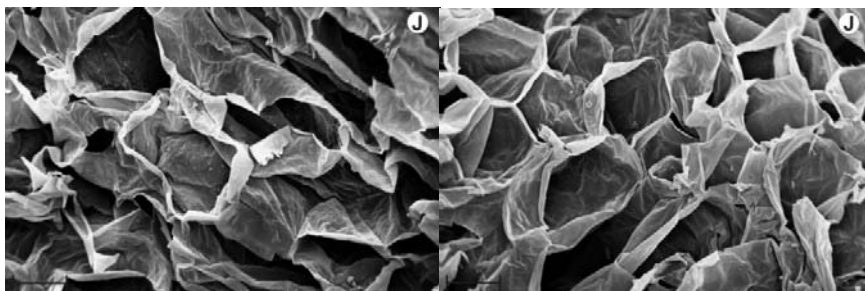


Figura 6 Micrografias dos ensaios de maçã *in natura* (J)

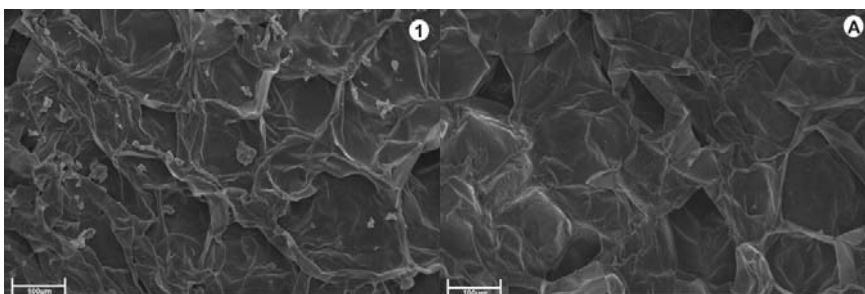


Figura 7 Micrografias dos ensaios de maçãs secas a 50 °C e 17% e pré-tratadas com etanol (1) e secas a 50 °C e 17% (A)

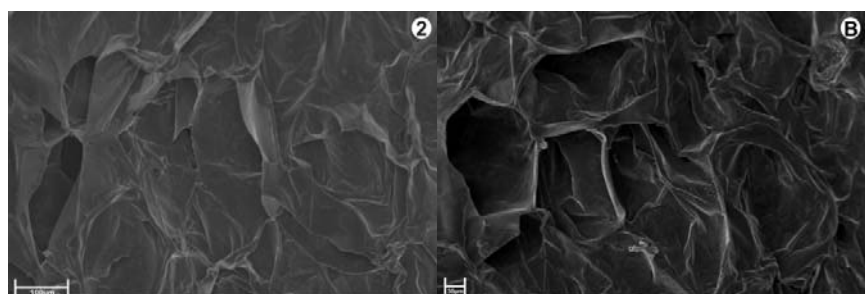


Figura 8 Micrografias dos ensaios de maçãs secas a 70 °C e 17% e pré-tratadas com etanol (2) e secas a 70 °C e 17% (B)

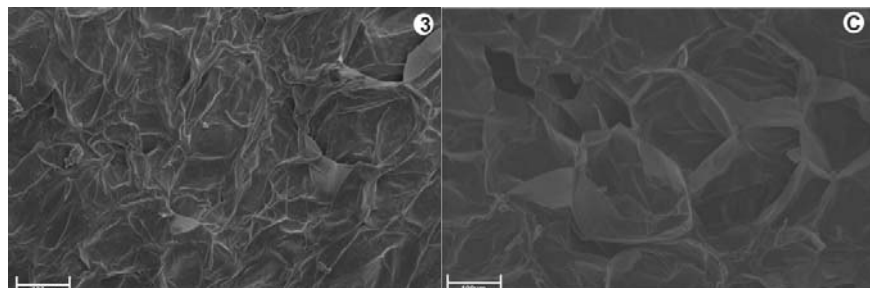


Figura 9 Micrografias dos ensaios de maçãs secas a 50 °C e 30% e pré-tratadas com etanol (3) e secas a 50 °C e 30% (C)

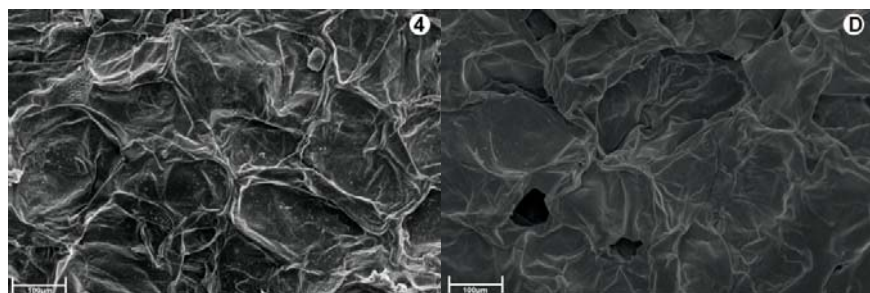


Figura 10 Micrografias dos ensaios de maçãs secas a 70 °C e 30% e pré-tratadas com etanol (4) e secas a 70 °C e 30% (D)

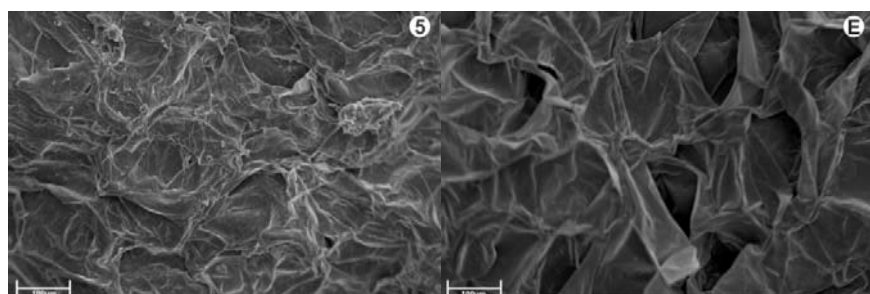


Figura 11 Micrografias dos ensaios de maçãs secas a 45,9 °C e 23,5% e pré-tratadas com etanol (5) e secas a 70 °C e 17% (E)

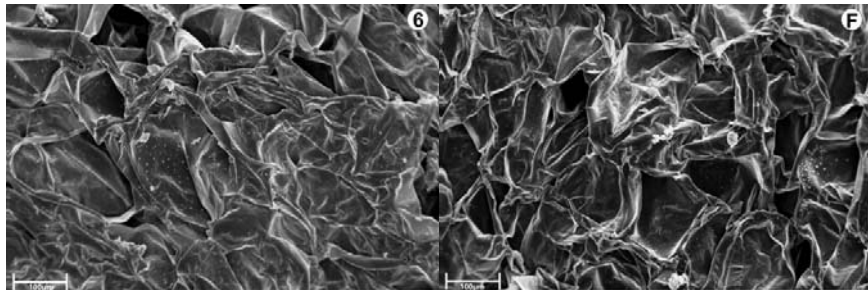


Figura 12 Micrografias dos ensaios de maçãs secas a 74,1 °C e 23,5% e pré-tratadas com etanol (6) e secas a 74,1 °C e 23,5% (F)

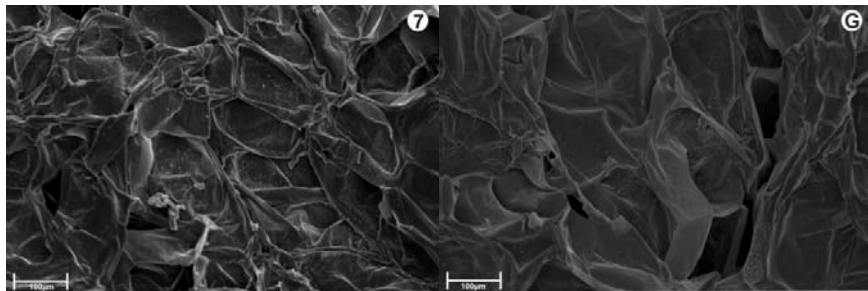


Figura 13 Micrografias dos ensaios de maçãs secas a 70 °C e 14,3% e pré-tratadas com etanol (7) e secas a 70 °C e 14,3% (G)

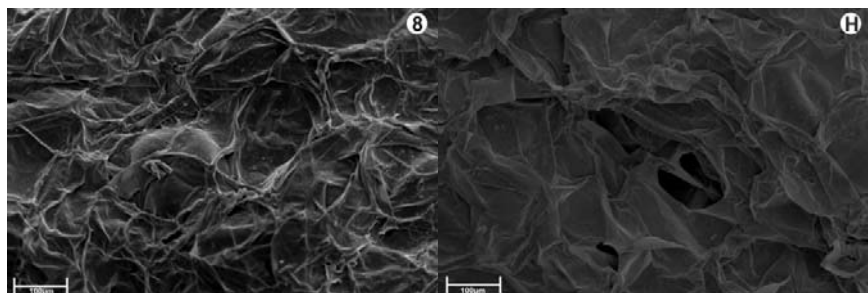


Figura 14 Micrografias dos ensaios de maçãs secas a 60 °C e 32,7% e pré-tratadas com etanol (8) e secas a 60 °C e 32,7% (H)

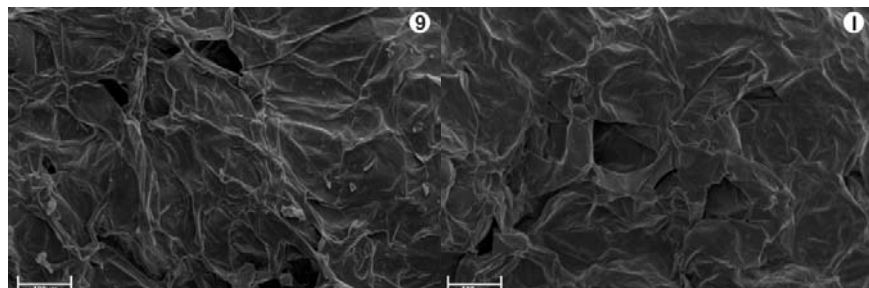


Figura 15 Micrografias dos ensaios de maçãs secas a 60 °C e 23,5% e pré-tratadas com etanol (9) e secas a 60 °C e 23,5% (1)

Ao se comparar a estrutura da amostra *in natura* (Figura 6) com as amostras secas (Figura 7 a 15), numeradas de 1 a 9, observa-se que a secagem causou severos danos estruturais à fruta. Na amostra *in natura*, as células se apresentaram turgidas, estavam claramente visíveis, organizadas e com distribuição homogênea, bem como Chassagne-Berces et al. (2009) visualizaram por macrovisão, também possuem seções transversais praticamente circulares (LEWICKI; PAWLACK, 2003).

O processo de secagem leva a destruição da parede celular e aumenta a formação de uma área de ar e forma alongada (WITROWA-RAJCHERT; RZAÇA, 2009), aumentando a dificuldade de distinção, na interface, das células, que aparecem colapsadas juntamente com o espaço intracelular.

Observa-se que as amostras pré-tratadas com etanol apresentaram aspecto mais rugoso do que as amostras sem pré-tratamento com etanol, aparentando flacidez, engelhamento e rompimento de, praticamente, todas as células além de em algumas micrografias (Figura 7-1; 11-5; 13-7; 14-8 e 15-9) haver estruturas dispersas, o que pode ser justificado pela ação do etanol rompendo as paredes celulares.

A estrutura da parede celular e espaços intercelulares também diferem em forma, tamanho e organização. Cada célula é coberta por sua própria parede,

cujas dimensões, modo e extensão de adesão podem variar de uma para outra. Internamente à parede celular, há outro nível de complexidade compreendendo subestruturas como os plasmodesmos que estão envolvidos na comunicação intercelular, com a lamela média e paredes celulares primária e secundária (WALDRON, 2004).

Observou-se, também, que a estrutura celular dos tratamentos variou entre os ensaios, o que pode ser devido à dissolução da membrana e parede celular, intensificada pela ação do etanol. De modo geral, as mudanças na parede podem ser resultado de reações enzimáticas e químicas, podendo ter sido favorecida pelo estresse externo durante o processamento, como o aquecimento, o que favoreceu o amolecimento e solubilização da pectina, e reduziu a adesão entre as células (STOLLE-SMIT et al., 1998).

A influência da temperatura é visível nas amostras não tratadas com etanol e como foi verificado em diversas variáveis dependentes abordadas neste trabalho, ao comparar amostras com mesma umidade relativa do ar de secagem em diferentes temperaturas, Figura 7-A e 8-B; 9-C e 10-D; 11-E e 12-F, observou-se que aquelas secas em temperaturas mais elevadas apresentaram maiores danos, com maior rompimento celular e células menos turgidas.

Vázquez et al. (2008) observaram que amostras de maçãs secas a 60°C, 70 °C e 80 °C tiveram mais poros, formação de cavidade e a parede celular estava rompida; já as amostras secas a 50 °C mostraram uma microestrutura deteriorada devido ao rompimento das membranas. Em mais baixas temperaturas é possível obter produtos densos, devido à compactação das paredes, enquanto em temperaturas altas o aumento da porosidade e paredes celulares irregulares resulta em produtos menos densos que são mais porosos e rugosos.

O mesmo efeito da temperatura não foi observado para a umidade relativa do ar, ao se comparar amostras secas em uma mesma temperatura e

diferentes UR (Figuras 13-G, 14-H, 15-I) todas se encontram com o mesmo turgor e indistinção do espaço intercelular.

Braga e Silva (2010) analisaram a influência do etanol nas características físicas em amostras de abacaxi, após a secagem a 60°C e velocidade do ar a 0,84 m/s, concluindo que a superfície das amostras secas com etanol, mostrara melhor conservação depois da secagem e menor encolhimento radial. No entanto, neste trabalho, nos ensaios a 60°C com maçãs, as micrografias das superfícies tratadas com etanol apresentam maiores danos estruturais quando comparadas às amostras não tratadas com etanol nas mesmas condições de secagem (Figuras 13-7, 13-G, 14-8, 14-H, 15-9 e 15-I), devido à dissolução da parede celular, conforme constatado por Funebo et al. (2002) que imergiram amostras de maçã em etanol por 14 h em seguida desidratou-as, e elas apresentaram aspecto enrugado e frágil, bem como grandes fraturas em intervalos regulares, o que justificou a baixa densidade e maior encolhimento das amostras de maçãs tratadas com etanol.

Durante a secagem a redução do teor de água, especialmente em secagem rápida e na camada da superfície, forma uma crosta porosa e seca, conseqüentemente aumentando a resistência mecânica do material que pode suportar tensões do encolhimento, esse salienta a formação de cavidades e vazios no interior do material. Em consequência, quanto mais rápida a secagem menor o encolhimento e mais poroso o produto seco, facilitando a secagem (LEWICKI; JAKUBCZYK, 2004; WITROWA-RAJCHERT; LEWICKI, 2006).

A formação de poros durante a secagem está associada ao encolhimento que ocorre quando a difusão de água na célula torna-se insignificante. Em teoria, o encolhimento celular é distinto do colapso das células, mas na prática, o ponto de irreversibilidade é atingido relativamente rápido. A maçã, por sua vez, caracteriza-se pela formação de encolhimento homogêneo, mantendo uma área superficial constante (PROTHON; AHRNÉ; SJOHOLM, 2003).

4.8 Biospeckle

Através da análise do *Biospeckle* pretendeu-se produzir a atividade em um padrão de *speckle* e que evolui lentamente em comparação com as variações de intensidade dos grãos de *speckle*. Uma medida da propagação dos valores ao redor da diagonal principal do *speckle* pode ser construída como a soma dos valores da matriz vezes o quadrado da sua distância na linha diagonal, conhecido como Momento de Inércia (M.I.) (ARIZAGA; TRIVI; RABAL, 1999). Os Gráficos 38 e 39 ilustram os resultados da medida das amostras de maçãs pré-tratadas com etanol e sem pré-tratamento, respectivamente, analisadas periodicamente ao longo da secagem.

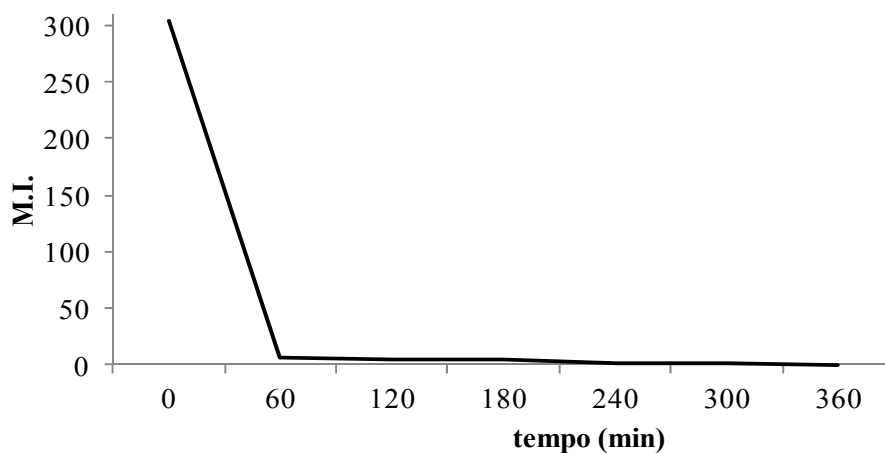


Gráfico 38 Momento de inércia (M.I.) das amostras de maçãs secas a 60°C e 23,5% e pré-tratadas com etanol

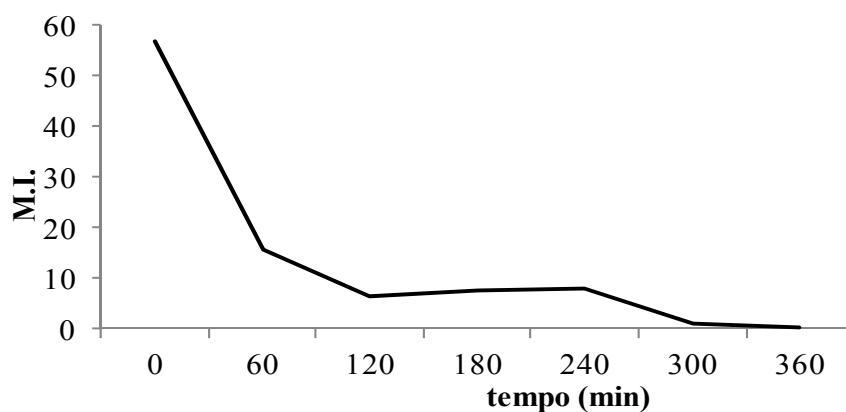


Gráfico 39 Momento de inércia (M.I.) de amostras de maçãs secas a 60°C e 23,5%, sem pré-tratamento com etanol

Após a primeira hora de secagem observa-se que a perda de água ocorreu de forma gradativa, tendendo a estabilização mais rápida, o que pode ser devido à liberação de água contida nos tubos capilares e da água de constituição. No entanto, as amostras secas com etanol tiveram uma queda mais acentuada do momento de inércia, na primeira hora da secagem, e a partir daí sem picos aparentes de elevação do momento de inércia, como ocorre nas amostras sem etanol de 180 minutos para 240 minutos.

Devido à redução no momento de inércia e a perda de atividade de água ocorrer de forma mais intensa na primeira hora, ampliou-se os momentos seguintes à primeira hora após a secagem, Gráfico 40.

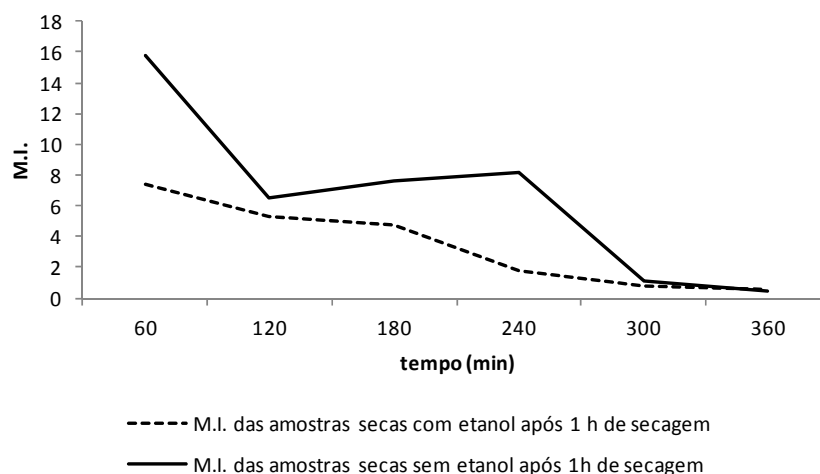


Gráfico 40 Momento de inércia (M.I.) das amostras, pré-tratadas com etanol e sem pré-tratamento, após 1 h de secagem a 60°C e 23,5%

O Gráfico 40 evidencia curvaturas semelhantes, embora valores de M.I. menores para as amostras pré-tratadas por etanol, fato que pode ser justificado pela liberação da água livre para evaporação existente no fruto, apesar do momento de inércia ter reduzido mais rapidamente nas amostras tratadas com etanol. No entanto, à ação do etanol como solvente pode ter exposto o material intracelular através do rompimento da parede celular, e lembrando que grande percentual das células vegetais é composto por água, a evaporação pode ter ocorrido devido à maior facilidade de transferência de massa, o que pode ser visualizado pelos valores de M.I.. Esse fato evidencia que o *Biospeckle* associado ao momento de inércia foi capaz de monitorar a perda de atividade de água mesmo sendo acelerada com a adição de etanol.

As amostras retiradas do Sistema de condicionamento de ar, equipamento utilizado para secagem, foram pesadas mostrando o perfil do Gráfico 41.

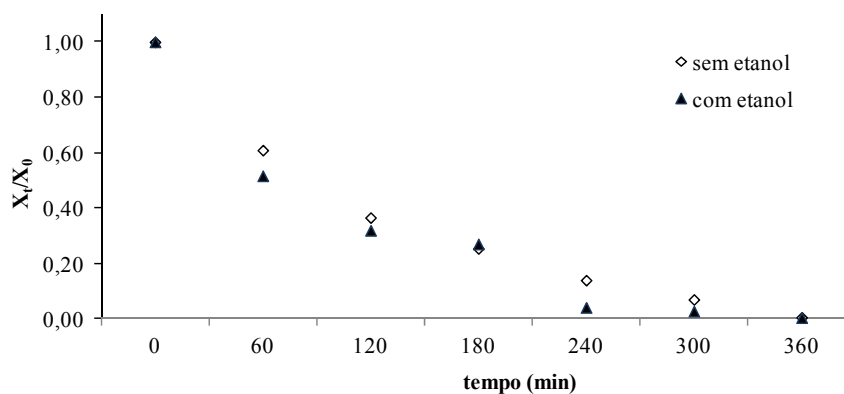


Gráfico 41 Curva de secagem dos dados experimentais para as amostras de maçã pré-tratadas com etanol e sem pré-tratamento e secas a 60 °C e 23,5% por 6 horas

Observa-se que a taxa de secagem das amostras pré-tratadas com etanol foi maior do que as amostras sem pré-tratamento. Além disso, o Gráfico 41 evidenciou que o momento de inércia pode estar relacionado com a atividade de secagem sob influência de etanol. Arizaga, Trivi e Rabal (1999) monitoraram a secagem de tinta, confirmando que simulações numéricas de padrões de *speckle* podem ser usadas a fim de conhecer a relação do momento de inércia com a atividade.

O Gráfico 42 demonstra a evolução da atividade de água das amostras pré-tratadas com etanol e sem pré-tratamento ao longo da secagem de maçã Fuji a 60 °C e 23,5%.

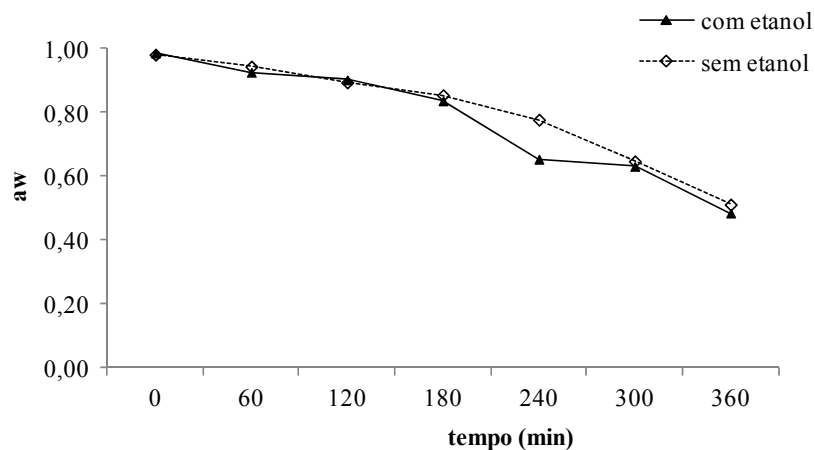


Gráfico 42 Atividade de água (a_w) das amostras de maçã secas por 6h, sem pré-tratamento e pré-tratadas com etanol ao longo

Observa-se que nos dois pré-tratamentos as amostras secas se diferem, reduzindo a atividade de água a uma taxa maior. No entanto, apesar da curvatura da atividade de água das amostras pré-tratadas com etanol permanecerem abaixo das sem etanol, apenas diferiram entre 180 minutos e 240 minutos. A curva do momento de inércia assemelhou-se ao da cinética e da atividade de água, mostrando que para a secagem de amostras de maçã o *Biospeckle* demonstrou ser uma técnica capaz de monitorar o nível de atividade de água.

4.9 Tempos de secagem

Os Gráficos A1 a A9 contidos no apêndice A demonstram a cinética de secagem em cada ensaio, mostrando as curvas de secagem de maçãs pré-tratadas com etanol na superfície e sem pré-tratamento, na velocidade do gás de 2,5 m/s e em condições planejadas conforme Tabela 1 para as variáveis independentes. Os dados de tempo final para cada ensaio são representados na Tabela 47.

Tabela 47 Tempo de secagem para amostras de maçã secas pré-tratadas com etanol e sem pré-tratamento

Ensaio com etanol	t_{secagem} (min)	Ensaio sem etanol	t_{secagem} (min)
1	480	A	515
2	255	B	285
3	420	C	480
4	360	D	390
5	450	E	510
6	330	F	345
7	195	G	300
8	330	H	370
9	390	I	420

Nas curvas de secagem e nos cálculos decorrentes, o teor de umidade (X) está expresso em base seca e o teor de umidade inicial está representado por X_0 . Os dados de massa foram adquiridos em intervalos de 30 minutos, mas no final do processo, o intervalo pode ter sido menor.

É evidente que as condições do processo interferem na taxa de secagem. Quando Lewicki e Jakubczyk (2004) secaram maçã convectivamente, eles constataram que o tempo de secagem foi maior com a redução da temperatura do ar de secagem, sendo que a 50 °C foi 40% maior do que a 70 °C, e a 80 °C cerca de 15% menor do que a 70 °C. Nessa análise, o principal objetivo foi apresentar o efeito do etanol na secagem de maçã Fuji.

Em todos os ensaios observa-se que a taxa de secagem foi menor para as amostras pré-tratadas com etanol. Da mesma forma, vários autores têm testado o uso de etanol na secagem de frutos e também constataram a maior taxa de secagem para amostras pré-tratadas ou submetidas à atmosfera modificada, comprovando que o etanol acelera a evaporação quando comparado com o processo normal (BRAGA et al., 2009; BRAGA; SILVA; 2010; CORRÊA et al., 2012; SANTOS; SILVA, 2009). Assim, para chegar ao mesmo teor de umidade,

se gasta menos tempo e expõe-se o produto a altas temperaturas por menor tempo.

Braga e Silva (2010) secaram abacaxi a 60 °C e 0,84 m.s⁻¹ e constataram maior taxa de secagem nos tratamentos com etanol, complementares a secagem, principalmente na primeira hora de secagem, após mostrou menor impacto no processo. Quando comparadas as cinéticas na mesma umidade relativa do ar, Gráficos A1 com A2 e A3 com A4, observa-se que o aumento da temperatura reduziu a diferença de secagem entre as amostras pré-tratadas com etanol e sem pré-tratamento, ou seja; a taxa de secagem entre os tratamentos se assemelhou.

A 60 °C e 14,3% em 195 minutos o teor de umidade entre as amostras de maçã pré-tratadas com etanol e sem pré-tratamento (Gráfico A7) estavam bem próximos, no entanto para as amostras sem pré-tratamento a secagem foi lenta para chegar ao mesmo teor de umidade do que as amostras pré-tratadas com etanol.

Mastrocola et al. (1997) pré-trataram amostras de maçã em etanol sob diferentes concentrações e tempo de imersão e então secaram. Constatando o aumento da taxa de secagem e redução da atividade da polifenoloxidase, caracterizada pelo escurecimento enzimático do fruto, resultando em um nível mais baixo de escurecimento em cubos de maçã pré-tratados e secos, encontrou um valor residual de 4% quando o teor de umidade final do produto foi 7%.

A distribuição dos resíduos para o tempo de secagem apresentou distribuição normal, já que os valores estão distribuídos entre -2 e 2, conforme Gráficos 43 e 44.

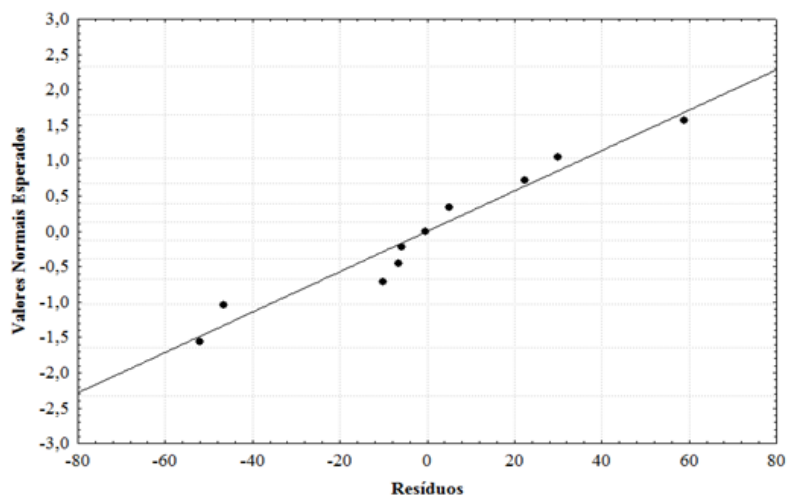


Gráfico 43 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta de tempo de secagem para fatias de maçãs pré-tratadas com etanol e secas

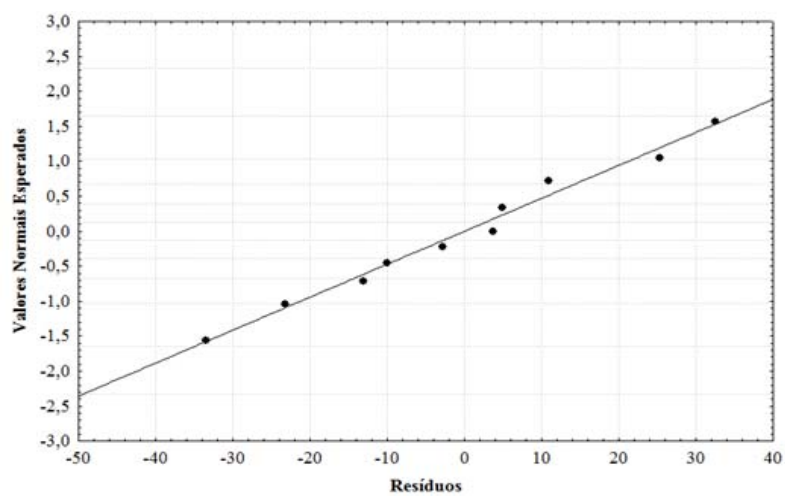


Gráfico 44 Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade à resposta de tempo de secagem para fatias de maçãs sem pré-tratamento e secas

Os coeficientes de regressão foram estabelecidos a nível de 5% de significância, a partir dos dados experimentais de tempo de secagem, conforme

Tabela 48. Para análise da adequabilidade da regressão se verificou o coeficiente de determinação (R^2) que foi de 85,60% e 93,83% para amostras pré-tratadas com etanol e sem pré-tratamento, respectivamente.

Tabela 48 Análise dos coeficientes de regressão para o tempo de secagem de maçãs

Fator	t _{secagem} com etanol		t _{secagem} sem etanol	
	Coef. de regressão	p-valor	Coef. de regressão	p-valor
Média	387,500	0,000*	417,500	0,000*
Temperatura (L)	-56,838	0,015*	-69,168	0,001*
Temperatura (Q)	14,375	0,476	14,063	0,273
Umidade relativa (L)	29,490	0,119	21,124	0,079
Umidade relativa (Q)	-49,375	0,046*	-32,188	0,037*
T x UR	41,250	0,122	35,000	0,050*

* significativo ao nível de 5% de confiança

De acordo com a Tabela 48, observou-se que as variáveis independentes (temperatura e umidade relativa do ar de secagem) foram interferentes significativamente sobre o tempo de secagem e de forma indireta. O efeito da umidade relativa do ar sobre o tempo de secagem pode ser justificado com o encolhimento, formando uma camada rígida, o que retarda a evaporação e torna em sintonia com a taxa de movimento da umidade no interior da amostra (MUJUMDAR, 2006).

O valor de F calculado foi verificado, através das análises de variância (ANOVA) para plotagem do modelo na superfície de resposta, como demonstrado na Tabela 49 e 50, para amostras pré-tratadas com etanol e secas, e sem pré-tratamento e secas, respectivamente.

Tabela 49 Análise de variância do modelo simplificado para tempo de secagem em maçãs secas com pré-tratamento de etanol na superfície

Fator	SQ	G.L	QM	Fcal	p-valor
Regressão	59,576	5	11,915	17,00	0,00
Erro	3,504	5	0,701		
Total SS	63,079	10			

Tabela 50 Análise de variância do modelo simplificado para tempo de secagem em maçãs secas sem pré-tratamento de etanol na superfície

Fator	SQ	G.L	QM	Fcal	p-valor
Regressão	56016,79	5	11203,36	15,20	0,00
Erro	3684,34	5	736,87		
Total SS	59701,14	10			

O valor de F calculado foi maior que o de F tabelado, indicando um bom ajuste do modelo, e possibilitando a geração das superfícies de resposta do tempo de secagem, Gráficos 45 e 46.

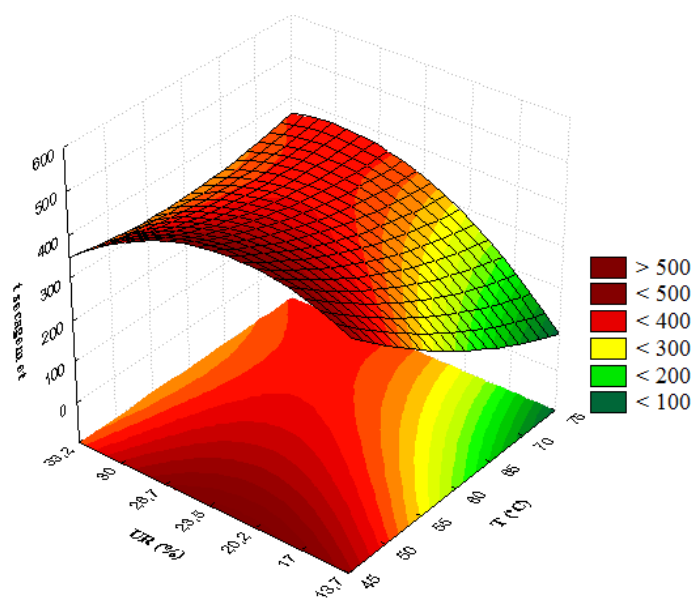


Gráfico 45 Superfície de resposta para tempo de secagem nas amostras de maçã pré-tratadas com etanol e secas

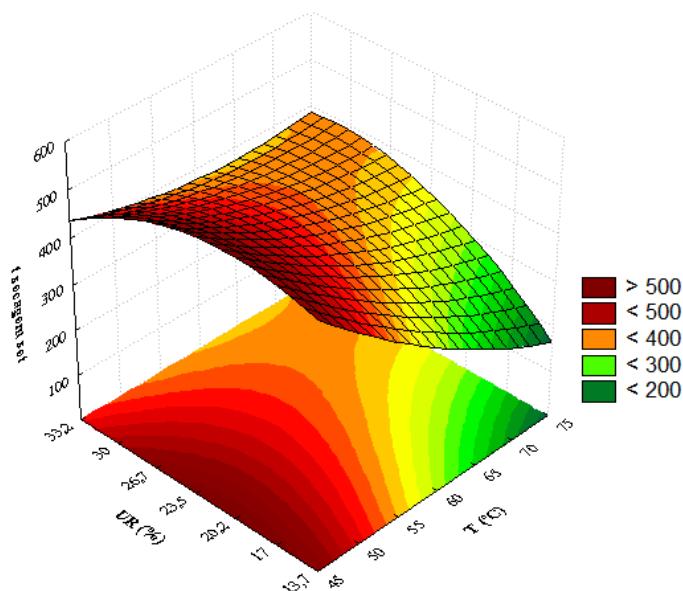


Gráfico 46 Superfície de resposta para tempo de secagem nas amostras de maçã sem pré-tratamento com etanol e secas

As superfícies de resposta para o tempo de secagem são semelhantes entre as amostras de maçã pré-tratadas com etanol e sem pré-tratamento. Assim, foi encontrado ponto crítico para aquelas em 369,55 minutos (69,03 °C; 28,01%), e para essas em 386,14 minutos (71,34 °C; 29,89%).

4.10 Modelagem matemática

Pelos dados apresentados foram feitos ajustes em três ensaios e observou-se que os modelos de Page modificada 2 e Aproximação de difusão foram os que obtiveram melhor ajuste para os ensaios aos dados experimentais. Os Gráficos 43 e 44 ilustram os dados experimentais de cinética de secagem e as curvas obtidas com o uso dos modelos.

As Tabelas 51 a 53 demonstram que os modelos de Page modificada 2 e Aproximação de difusão foram os que obtiveram melhor ajuste para os ensaios aos dados experimentais.

Tabela 51 Modelos matemáticos ajustados para as amostras de maçã sem pré-tratamento e pré-tratadas com etanol e secas a 50°C e 17% de umidade relativa do ar

Modelo	Constantes	50 °C / 17%	
		sem etanol	com etanol
Newton		-	-
Page		-	-
Page modificada 1		-	-
Page modificada 2	k	0,005207	0,007104
	n	1,126847	0,946165
	R ²	99,56%	99,68%
	SE	0,000003	0,00000
Henderson e Pabis	a	1,026009	0,974095
	k	0,005419	0,006842
	R ²	99,21%	99,68%
	SE	0,000009	0,00000
Logarítmica	a	-	0,983422
	k	-	0,006552
	c	-	-0,015052
	R ²	-	99,71%
Dois termos	SE	-	0,000001
	A	0,513000	0,487078
	k ₀	0,005418	0,006841
	b	0,512991	0,487037
	k ₁	0,005419	0,006842
	R ²	99,21%	99,68%
Dois termos exponenciais	SE	0,000009	0,000001
	a	0,003483	0,058992
	k	1,507430	0,111815
	R ²	99,09%	99,80%
Wang e Singh	SE	0,00001	0,00000
	a	-0,003959	-0,005084
	b	0,000004	0,000007
	R ²	99,27%	96,79%
	SE	0,00001	0,00011

“continua”

Tabela 51 Conclusão

Modelo	Constantes	50 °C / 17%	
		sem etanol	com etanol
Aproximação de difusão	a	-2,889122	0,060138
	k	0,008756	0,259561
	b	0,865338	0,025367
	R ²	99,61%	99,81%
	SE	0,00000	0,00000
Verma		-	-
Henderson e Pabis modificada	a	0,342856	0,323763
	k	0,005176	0,006842
	b	0,342855	0,314565
	k ₀	0,005199	0,006841
	c	0,342865	0,335790
	k ₁	0,005800	0,006843
	R ²	99,19%	99,68%
SE	0,000009	0,00000	
Midilli	a	1,282176	1,110641
	k	0,692407	0,577337
	n	0,000029	0,000005
	b	-0,001367	-0,001529
	R ²	85,29%	92,30%
	SE	0,002960	0,00061

Tabela 52 Modelos matemáticos ajustados para as amostras de maçã sem pré-tratamento e pré-tratadas com etanol e secas a 70°C e 17% de umidade relativa do ar

Modelo	Constantes	70 °C / 17%	
		sem etanol	com etanol
Newton		-	-
Page		-	-
Page modificada 1		-	-
Page modificada 2	k	0,009518	0,012384
	n	1,236977	1,051900
	R ²	99,43%	99,16%
	SE	0,000004	0,000007
Henderson e Pabis	a	1,035399	0,999067
	k	0,010230	0,012533
	R ²	98,49%	99,10%
	SE	0,000027	0,000008

"continua"

Tabela 52 Conclusão

Modelo	Constantes	70 °C / 17%	
		sem etanol	com etanol
Logarítmica	a	1,158254	1,056285
	k	0,007269	0,010243
	c	-0,156543	-0,077738
	R ²	99,82%	99,65%
	SE	0,000000	0,000001
Dois termos	a	-	0,499472
	k ₀	-	0,012554
	b	-	0,499472
	k ₁	-	0,012539
	R ²	-	99,10%
Dois termos exponenciais	SE	-	0,000008
	a	0,003032	0,009037
	k	3,258426	1,376190
	R ²	98,30%	99,10%
	SE	0,000034	0,000008
Wang e Singh	a	-0,007137	-0,008768
	b	0,000013	0,000019
	R ²	99,83%	98,31%
	SE	0,000000	0,000027
Aproximação de difusão	a	-69,420479	0,003918
	k	0,016766	0,244600
	b	0,990889	0,051094
	R ²	99,44%	99,10%
Verma	SE	0,000004	0,000008
		-	-
Henderson e Pabis modificada	a	0,344930	0,333373
	k	0,010194	0,012564
	b	0,344929	0,333373
	k ₀	0,010250	0,012555
	c	0,344591	0,333373
	k ₁	0,010159	0,012525
	R ²	98,49%	99,10%
Midilli	SE	0,000027	0,000008
	a	0,993954	0,997398
	k	0,005657	0,021608
	n	1,084901	0,839862
	b	-0,000283	-0,000461
	R ²	99,81%	99,83%
	SE	0,000000	0,000000

Tabela 53 Modelos matemáticos ajustados para as amostras de maçã sem pré-tratamento e pré-tratadas com etanol e secas a 50°C e 30% de umidade relativa do ar

Modelo	Constantes	70 °C / 17%	
		sem etanol	com etanol
Newton		-	-
Page		-	-
Page modificada 1		-	-
Page modificada 2	k	0,004795	0,006473
	n	1,232423	0,994146
	R ²	99,61%	99,22%
	SE	0,000002	0,000006
Henderson e Pabis	a	1,045777	0,981372
	k	0,005126	0,006342
	R ²	98,61%	99,27%
	SE	0,000026	0,000005
Logarítmica	a	-	1,040856
	k	-	0,005093
	c	-	-0,085608
	R ²	-	99,59%
Dois termos	SE	-	0,000002
	a	0,522661	0,490690
	k ₀	0,005126	0,006342
	b	0,523086	0,490687
	k ₁	0,005126	0,006342
	R ²	98,61%	99,27%
Dois termos exponenciais	SE	0,000026	0,000005
	a	0,002784	0,038796
	k	1,753223	0,160023
	R ²	98,27%	99,33%
Wang e Singh	SE	0,000040	0,000004
	a	-0,003674	-0,004874
	b	0,000003	0,000006
	R ²	99,95%	98,10%
Aproximação de difusão	SE	0,000000	0,000034
	a	-46,887837	0,040126
	k	0,008497	0,261345
	b	0,986420	0,023719
Verma	R ²	99,65%	99,34%
	SE	0,000002	0,000004
Verma		-	-

“continua”

Tabela 53 Conclusão

Modelo	Constantes	70 °C / 17%	
		sem etanol	com etanol
Henderson e Pabis modificada	a	0,345927	0,335480
	k	0,005126	0,006342
	b	0,350989	0,352285
	k ₀	0,005126	0,006342
	c	0,348824	0,293603
	k ₁	0,005126	0,006342
	R ²	98,61%	99,27%
	SE	0,000026	0,000005
Midilli	a	1,146537	0,995321
	k	0,552059	0,015423
	n	0,000004	0,785907
	b	-0,001336	-0,000360
	R ²	88,37%	99,89%
	SE	0,001810	0,000000

Os Gráficos 47 e 48 ilustram os dados experimentais de cinética secagem e as curvas obtidas com o uso dos modelos de Page modificada 2 e Aproximação da difusão, respectivamente.

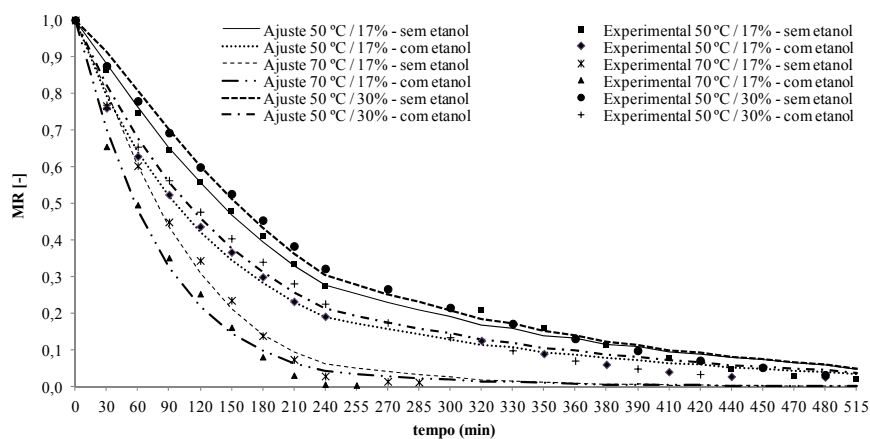


Gráfico 47 Cinética de secagem de fatias de maçãs com e sem pré-tratamento com etanol ajustadas pelo modelo de Page modificada 2. Ensaios a 50 °C e 17%, 70 °C e 17%, e 50 °C e 30%

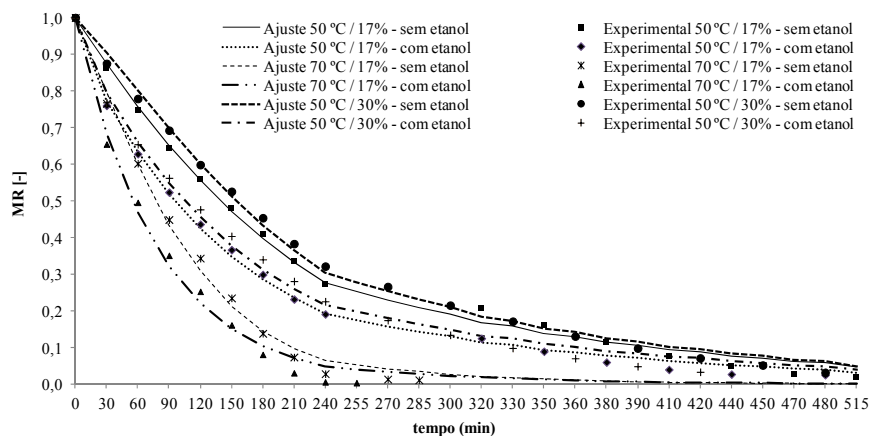


Gráfico 48 Cinética de secagem de fatias de maçãs com e sem pré-tratamento com etanol ajustadas pelo modelo de aproximação de difusão. Ensaio a 50 °C e 17%, 70° e 17%, e 50°C e 30%

Pode-se observar um ótimo ajuste obtido pelas equações, demonstrado pelo coeficiente de correlação e desvio padrão representados nas Tabelas 48 a 50.

5 CONCLUSÃO

Em ensaios de secagem de fatias de maçãs sem pré-tratamento de etanol na superfície, a temperatura foi diretamente influente no parâmetro b^* , para as variáveis de variação total da cor, índice de escurecimento e Adesividade e inversamente influente no parâmetro L^* , nas variáveis Força máxima e atividade de água. Nesses mesmos ensaios, a umidade relativa foi diretamente interferente para Adesividade e encolhimento superficial; e indiretamente interferente para o parâmetro b^* , nas variáveis Força máxima, Trabalho e atividade de água.

Em ensaios de secagem de fatias de maçãs pré-tratadas com etanol na superfície, a temperatura foi diretamente influente nas variáveis de encolhimento superficial e sólidos solúveis; e inversamente influente nos parâmetros L^* e b^* , nas variáveis Adesividade e atividade de água. Nesses mesmos ensaios, a umidade relativa foi diretamente influente nas variáveis de encolhimento superficial e capacidade de reidratação; e inversamente influente no parâmetro b^* , índice de escurecimento, Adesividade e atividade de água.

O tempo de secagem foi maior nos ensaios 1 e A (50 °C e 17%), para amostras sem pré-tratamento e pré-tratadas com etanol, respectivamente, 515 minutos e 480 minutos, o que é coerente já que a taxa de secagem está relacionada diretamente com a temperatura do ar de secagem. A menor taxa de secagem foi verificada nos ensaios B (70 °C e 17%) e 7 (60 °C e 14,3%), 285 e 195 minutos, para amostras sem a superfície pré-tratada com etanol e pré-tratada com etanol, respectivamente. De maneira geral, o tratamento com etanol permitiu redução de cerca de 4% a 35% no tempo de secagem quando, consequentemente levou ao menor consumo de energia.

Nas amostras pré-tratadas com etanol a temperatura foi significativa indiretamente para o parâmetro de cor (L^* e b^*) que indicam escurecimento, no entanto a relação indireta da temperatura foi favorável para Adesividade e

atividade de água, características importantes para conservação do produto e possível aceitação pelo consumidor.

Para o alcance de um menor encolhimento superficial (32,90%) deve-se secar a maçã pré-tratada com etanol a uma temperatura de 54,55°C e umidade relativa do ar de 24,55%; no entanto apesar das variáveis independentes não terem sido significativas para as amostras sem pré-tratamento, entre os ensaios encontrou-se menor encolhimento superficial (37,06%) a 60 °C e 23,5%. Assim, para obtenção de menor encolhimento de superfície o uso do etanol na secagem de maçãs Fuji poderia ocorrer em menor temperatura.

A técnica do *Biospeckle* detectou a atividade de água nas amostras de maçãs dos dois pré-tratamentos durante o período de seis horas de secagem, além de diferenciar o efeito do etanol na velocidade da secagem, comprovando que a adição de etanol provocou aceleração no processo de secagem dos alimentos.

Normalmente o grau de reidratação está associado com o grau de rompimento celular e estrutural, no entanto a umidade relativa foi diretamente significativa apenas nas amostras pré-tratadas com etanol e a microscopia eletrônica de varredura possibilitou constatar que as amostras pré-tratadas com etanol, aparentemente, apresentaram menor rompimento e maior turgidez, comparando-se os ensaios à temperatura constante, como entre as Figuras 6-1 e 6-3; e 6-2 e 6-4. Apesar disso, foi observado aspecto mais rugoso nas amostras pré-tratadas com etanol, e para as amostras sem pré-tratamento a temperaturas mais elevadas, verificou-se maior dano nos tecidos e estrutura celular.

Dentre as equações os modelos de secagem de Page modificado 2 e Aproximação de difusão tiveram melhor ajuste para as amostras pré-tratadas com etanol e sem pré-tratamento.

As variáveis dependentes nas amostras que sofreram pré-tratamento com etanol e, tiveram o coeficiente de determinação maior ou igual a 80%,

demonstrando um bom ajuste do modelo, foram: parâmetro L^* , parâmetro b^* , Adesividade, encolhimento superficial e a atividade de água. Sendo assim, a condição que abrange as melhores condições, exceto para Adesividade, seria a cerca de 75 °C e 33,2%, quando comparados visualmente. No entanto dentre os ensaios estudados o que apresentou melhor ajuste foi a 50 °C e 30%.

Para as amostras que foram secas sem pré-tratamento com etanol, as variáveis dependentes em que o coeficiente de determinação foi maior ou igual a 80%, foram: parâmetro b^* , Adesividade, Força máxima e atividade de água. A melhor condição para o parâmetro b^* , F_{max} e a_w foi a 75° e 33,2%, bem como nas amostras pré-tratadas com etanol. No entanto, dentre os ensaios estudados o que apresentou melhores resultados para um bom ajuste às variáveis dependentes foi a 70 °C e 30%.

Dessa forma, conclui-se que a secagem em maçã Fuji com tratamento de etanol complementar é uma técnica com boa aplicação para o controle de variáveis que influenciam nas características físicas, e provavelmente de aceitação para o consumidor. Além disso, mostrou-se economicamente viável.

REFERÊNCIAS

AKTAS, M.; CEYLAN, I.; YILMAZ, S. Determination of drying characteristics of apples in a heat pump and solar dryer. **Desalination**, Amsterdam, v. 239, p. 266-275, n. 1-3, 2009.

ANONYMOUS. **Vegetables and fruits dehydration**. College Park: USDA Miscellaneous, 1994.

ARAÚJO, W. M. C. et al. **Alquimia dos alimentos**. Brasília: Senac, 2009. 560 p. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=til5nnqCMI8C&pg=PA99&dq=propriedades+da+%C3%A1gua+nos+alimentos&hl=pt-BR&sa=X&ei=oGp4T7jJHonLgQfR3Ngz&ved=0CDsQ6AEwAA#v=onepage&q=propriedades%20da%20%C3%A1gua%20nos%20alimentos&f=false>>. Acesso em: 22 nov. 2011.

ARIZAGA, R. A. et al. Display of local activity using dynamic speckle patterns. **Optical Engineering**, Redondo Beach, v. 41, n. 2, p. 287-294, 2002.

ARIZAGA, R.; TRIVI, M.; RABAL, H. Speckle time evolution characterization by the co-occurrence matrix analysis. **Optics & Laser Technology**, Surrey, v. 31, p. 163-169, 1999.

ASKARI, G. R.; EMAM-DJOMEH, Z.; MOUSAVI, S. M. An investigation of the effects of drying methods and conditions on drying characteristics and quality attributes of agricultural products during hot air and hotair/ microwave-assisted dehydration. **Drying Technology**, New York, v. 27, n. 7, p. 831-841, 2009.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**: 930.04, moisture content in plants. Arlington, 1990. v. 1.

AYENSU, A. Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. **Solar Energy**, Kidlington, v. 59, p. 121-126, 1997.

BAGNATO, V. S. Os fundamentos da luz laser. **Física na Escola**, São Carlos, v. 2, n. 2, p. 6, 2001.

BORÉM, F. M. **Pós-colheita do Café**. Lavras: UFLA, 2008. 631 p.

BOTEGA, J. V. L. et al. Avaliação da interferência do laser no material biológico vivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 483-486, 2009.

BOURNE, M. C. Food texture and viscosity: concept and measurement. 2. ed. New York: Academic, 2002. 427 p.

BRAGA, A. M. P. **Estudo da retenção de constituintes voláteis na secagem de abacaxi sob atmosfera modificada**. 2007. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

BRAGA, A. M. P. et al. Volatiles identification in pineapple submitted to drying in an ethanolic atmosphere. **Drying Technology**, New York, v. 27, p. 248-257, 2009.

BRAGA, A. M. P.; SILVA, M. A. Effect of ethanol on the drying kinetics and on the quality of pineapple slices. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM, 17., 2010, Magdeburg. **Anais...** Magdeburg: Dechema, 2010. p. 1492-1497.

BRAGA, R. A. et al. Live biospeckle laser imaging of root tissue. **Biosystems Engineering**, London, v. 38, n. 5, p. 679-686, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Cadeia produtiva de frutas**. Brasília, 2007. 102 p. (Agronegócios, 7). Disponível em: <http://www.ibraf.org.br/x_files/Documentos/Cadeia_Produtiva_de_Frutas_S%C3%A9rie_Agroneg%C3%B3cios_MAPA.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2011.

CARDOSO, R. R. et al. Frequency signature of water activity by biospeckle laser. **Optics Communications**, Amsterdam, v. 284, n. 8, p. 2131-2136, 2011.

CHASSAGNE-BERCES, S. et al. Changes in texture, cellular structure and cell wall composition in apple tissue as a result of freezing. **Food Research International**, Barking, v. 42, p. 788-797, 2009.

CHIRIFE, J.; BUERA, M. P. A critical review of some non-equilibrium situations and glass transitions on water activity values of foods in the microbiological growth range. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 25, p. 531-552, 1995.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 783 p.

CÓRDOVA, K. R. V. **Desidratação osmótica e secagem convectiva de maçã Fuji comercial e industrial**. 2006. 148 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

CORRÊA, J. L. G. et al. Drying of pineapple by microwave-vacuum with osmotic pretreatment. **Drying Technology**, New York, v. 29, p. 1556-1561, 2011.

CORRÊA, J. L. G. et al. The influence of ethanol on the convective drying of unripe, ripe and overripe bananas. **Drying Technology**, New York, v. 30, p. 817-826, 2012.

COSTA, J. M. G. **Caracterização física, secagem (fritura de imersão e leito fixo) e isoterma de dessecamento do bagaço de cana**. 2008. 100 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

DEROSSI, A.; DE PILLI, T.; SEVERINI, C. Prediction of water activity in vegetable creams: note 2. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 79, p. 1280–1286, 2007.

DE SMEDT, V. et al. A mathematical model for the development of mealiness in apples. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 25, n. 3, p. 273-291, 2002.

DE SMEDT, V. et al. Microscopic observation of mealiness in apples: a quantitative approach. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 14, n. 2, p. 151-158, 1998.

DEVIC, E. et al. Kinetics of polyphenol losses during soaking and drying of cider apples. **Food and Bioprocess Technology**, Heidelberg, v. 3, n. 6, p. 867-877, 2010.

DISSA, A. O. et al. Convective drying characteristics of Amelie mango (*Mangifera Indica L. cv. "Amelie"*) with correction for shrinkage. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 88, n. 4, p. 429-437, 2008.

DOYMAZ, I. Convective drying kinetics of strawberry. **Chemical Engineering and Processing**, Lausanne, v. 47, n. 5, p. 914-919, 2008.

DOYMAZ, I. Drying behaviour of green beans. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 69, n. 2, p. 161-165, 2005.

DOYMAZ, I. Effect of dipping treatment on air drying of plums. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 64, p. 465-470, 2004.

DOYMAZ, I. Thin-layer drying behaviour of mint leaves. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 74, n. 3, p. 370-375, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Produção Integrada de maçãs no Brasil**. Brasília, 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Maca/ProducaoIntegradaMaca/index.htm>>. Acesso em: 26 dez. 2011.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 2005.

FERNÁNDEZ, L.; CASTILLERO, C.; AGUILERA, J. M. An application of image analysis to dehydration of apple discs. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 67, p. 185-193, 2005.

FERREIRA, P. Yes, nós temos maçãs. **Agronegócio-Inovação em Pauta**, Brasília, n. 5, p. 43-47, 2009. Disponível <<http://www.finep.gov.br/imprensa/revista>>. Acesso em: 20 out. 2010.

FIGIEL, A. et al. Composition of oregano essential oil (*Origanum vulgare*) as affected by drying method. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 98, n. 2, p. 240-247, 2010

FOUST, A. S. et al. **Principles of unit operation**. New York: J. Wiley, 1980.

FUNEBO, T. et al. Microwave and convective dehydration of ethanol treated and frozen apple - physical properties and drying kinetics. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 37, n. 6, p. 603-614, 2002.

GEISLER, M. **Commodity apple profile**. 2011. Disponível em: <http://www.agmrc.org/commodities_products/fruits/apples/commodity_apple_profile.cfm>. Acesso em: 26 dez. 2011.

GOODING, C. H. Estimating flash point and lower explosive limit. **Chemical Engineering**, Tokyo, v. 90, n. 25, p. 88, 1983.

GOULARTE, V. D. S.; ANTUNES, E. C.; ANTUNES, P. L. Qualidade de maçã Fuji osmoticamente concentrada e desidratada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 160-163, maio/ago. 2000.

HAMINIUK, C. W. I. et al. Efeito de pré-tratamentos no escurecimento das cultivares de maçã Fuji e Gala após o congelamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 5, p. 1029-1033, 2005.

HASSAN, H. M.; SAYED, A. A. AND MUMFORD, C. J. Volatiles retention in the drying of skin forming materials: heat-sensitive materials. **Drying Technology**, New York, v. 14, n. 3/4, p. 581-593, 1996. Part 3.

HECHT, E. **Optics**. 4th ed. Massachusetts: A. Wesley, 2001. 680 p.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory I: temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 6, n. 3, p. 169-174, 1961.

HERAS-RAMÍREZ, M. E. et al. Effect of blanching and drying temperature on polyphenolic compound stability and antioxidant capacity of apple pomace. **Food Bioprocess Technology**, Switzerland, v. 5, n. 6, p. 2201-2210, Aug. 2012.

ISQUIERDO, E. P. **Cinética de secagem de café natural e suas relações com a qualidade para diferentes temperaturas e umidades relativas do ar**. 2011. 157 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

KALETA, A.; GÓRNICKI, K. Evaluation of drying models of apple (var . McIntosh) dried in a convective dryer. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 45, p. 891-898, 2010.

KARP, G. **Biologia celular e molecular: conceitos e experimentos**. 3. ed. Barueri: Manole, 2005. 832 p.

KAYA, A.; AYDIN, O.; DEMIRTAS, C. Drying kinetics of red delicious apple. **Biosystems Engineering**, London, v. 96, n. 4, p. 517-524, 2007.

KOJIMA, T. et al. Plant compounds and fruit texture: the case of pear. In: KILCAST, D. (Ed.). **Texture in food**. Boca Raton: CRC, 2004. v. 2, p. 259-294.

KROKIDA, M. K.; MARINOS-KOURIS, D. Rehydration kinetics of dehydrated products. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 57, p. 1-7, 2003.

KROKIDA, M. K.; MAROULIS, Z. B.; SARAVACOS, G. D. The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 36, p. 53-59, 2001

LEWICKI, P. P.; JAKUBCZYK, E. Effect of hot air temperature on mechanical properties of dried apples. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 64, p. 307–314, 2004.

LEWICKI, P. P.; PAWLAK, G. Effect of drying on microstructure of plant tissue. **Drying Technology**, New York, v. 21, n. 4, p. 657-683, 2003.

LIMA, A. G. B.; QUEIROZ, M. R.; NEBRA, S. A. Simultaneous moisture transport and shrinkage during drying of solids with ellipsoidal configuration. **Chemical Engineering Journal**, Lausanne, v. 86, n. 1/2, p. 85-93, 2002.

LIMA, A. S. et al. Estudo da estabilidade de melões desidratados obtidos por desidratação osmótica seguida de secagem convencional. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 107-109, 2004.

LIN, T. M.; DURANCE, T. D.; SCAMAN, C. H. Characterization of vacuum microwave air and freeze dried carrot slices. **Food Research International**, Barking, v. 31, n. 2, p. 111–117, Mar. 1998.

LUNARDI, R. et al. Suculência e solubilização de pectinas em maçãs ‘Gala’, armazenadas em atmosfera controlada, em dois níveis de umidade relativa. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 743-747, maio/jun. 2004.

LURIE, S. et al. Modified ethanol atmosphere to control decay of table grapes during storage. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 42, n. 3, p. 222-227, 2006.

LU, S. et al. Efficacy of sodium chlorite as an inhibitor of enzymatic browning in apple slices. **Food Chemistry**, London, v. 104, n. 2, p. 824-829, 2007.

MADHIYANON, T.; PHILA, A.; SOPONRONNARIT, S. Models of fluidized bed drying for thin-layer chopped coconut. **Applied Thermal Engineering**, Oxford, v. 29, p. 2849-2854, 2009.

MALTINI, E. et al. Water activity and the preservation of plant foods. **Food Chemistry**, London, v. 82, p. 79–86, 2003.

MANZOCCO, L. et al. Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 11, p. 340-346, 2001.

MASTROCOLA, D. et al. Azioni combinate nell'essiccamento in corrente d'aria della frutta: pretrattamento in soluzioni contenenti etanolo. **Industrie Alimentari**, Pinerolo, v. 26, n. 6, p. 721-725, 1997.

MAYOR, L.; SERENO, A. M. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 61, n. 3, p. 373-386, 2004.

MAYOR, L.; SILVA, M. A; SERENO, A. M. Microstructural changes during drying of apple slices. **Drying Technology**, New York, v. 23, n. 9/11, p. 2261-2276, 2005.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, New York, v. 20, n. 7, p. 1503-1513, 2002.

MORAIS, M. M. **Estudo da retenção de aroma de abacaxi na secagem em atmosfera normal e modificada**. 2005. 183 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

MOURA, S. C. S. R. et al. Determinação da vida-de-prateleira de maçã-passa por testes acelerados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 7, n. 1, p. 141-148, 2007.

MUJUMDAR, A. S. **Handbook of industrial drying**. 3rd ed. São Paulo: M. Dekker, 2006.

MUSIELAK, G. Influence of the drying medium parameters on drying induced stresses. **Drying Technology**, New York, v. 18, n. 3, p. 561–581, 2000.

NOGUEIRA, A. et al. Influência do processamento no teor de minerais em sucos de maçãs. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 2, p. 259-264, abr./jun. 2007.

OVERHULTS, D. G. et al. Drying soybeans with heated air. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 16, n. 2, p. 195-200, 1973.

PAGE, G. E. **Factors influencing the maximum of air drying shelled corn in thin layer**. 1949. 103 p. Thesis (Physical Doctor) - Purdue University, Indiana, 1949.

PAJUELO, M. et al. Bio-speckle assessment of bruising in fruits. **Optics and Laser in Engineering**, Oxford, v. 40, n. 1/2, p. 13-24, 2003.

PANG, S. **Using methanol and ethanol vapours as drying media for producing bright colour wood in drying of radiata pine**. 15th ed. Budapest: International Drying Symposium , 2006. p. 20-23.

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus sp.*) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001.

PEREZ-GAGO, M. B. et al. Effect of solid content and lipid content of whey protein isolate-beeswax edible coatings on color change of fresh-cut apples. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 68, n. 7, p. 2186-2191, 2003.

PERINA, V. C.; SILVA, M. A. Alterações macro e microscópicas de maçã durante a secagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 6., 2005, Campinas. **Anais...** Campinas: [s. n.], 2005. 1 CD ROM.

PROTHON, F.; AHRNÉ, L.; SJÖHOLM, I. Mechanisms and prevention of plant tissue collapse during dehydration: a critical review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 43, n. 4, p. 447-479, 2003.

RIZZON, L. A.; BERNARDI, J.; MIELE, A. Características analíticas dos sucos de maçã Gala, Golden Delicious e Fuji. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 750-756, out./dez. 2005.

RODRIGUES, C. Q.; LIMA, E. D. P.; ALMEIDA, E. C. Caracterização físico-química de maçã Fuji (*Malus domestica Borkh*) e rendimento no processo de desidratação. In: JORNADA NACIONAL DA AGROINDÚSTRIA, 1., 2006, Bananeiras. **Trabalhos apresentados...** Bananeiras: [S. l.: s. n.], 2006.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**: uma estratégia seqüencial de planejamentos. Campinas: Casa do Pão, 2005.

- SABLANI, S. S. Drying of Fruits and Vegetables: Retention of Nutritional/ Functional Quality. **Drying Technology**, New York, v. 24, n. 2, p. 123-135, 2006.
- SANTOS, P. H. S.; SILVA, M. A. Kinetics of K-ascorbic acid degradation in pineapple drying under ethanolic atmosphere. **Drying Technology**, New York, v. 27, n. 9, p. 947-954, 2009.
- SAYED, A. A.; HASSAN, H. M.; MUMFORD, C. J. Volatiles retention in the drying of skin forming materials. Part 1: Materials which gelatinise at moderately high temperatures. **Drying Technology**, New York, v. 14, n. 3/4, p. 529-563, 1996.
- SHARAF-ELDEEN, Y. I.; BLAISDELL, J. L.; HAMDY, M. Y. A model for ear corn drying. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 23, n. 5, p. 1261-1265, 1980.
- SCHIEBER, A. et al. A new process for the combined recovery of pectin and phenolic compounds from apple pomace. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, Amsterdam, v. 4, p. 99-107, 2003.
- SHI, J. L. et al. Drying and quality characteristics of fresh and sugar-infused blueberries dried with infrared radiation heating. **Lwt Food Science and Technology**, Zurich, v. 41, p. 1962-1972, 2008.
- SOBUKOLA, O. P., DAIRO, O. U.; ODUNEWU, A. V. Convective hot air drying of blanched yam slices. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 43, p. 1233-1238, 2008.
- STOLLE-SMITS, T. et al. An electron microscopy study on the texture of fresh, blanched and sterilized green bean pods (*Phaseolus vulgaris L.*)", **Lebensmittel-Wissenschaft Technologie**, Zurich, v. 31, p. 237-244, 1998.
- SZUMNY, A. et al. Composition of rosemary essential oil (*Rosmarinus officinalis*) as affected by drying method. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 97, n. 2, p. 253-260, 2010.
- TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS. 2006.
Disponível em: <http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_versao2.pdf>.
Acesso em: 26 dez. 2011.

TALLA, A. et al. Shrinkage and density evolution during drying of tropical fruits: application to banana. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 64, p. 103–109, 2004.

TESSARI, J.; ROCHA, J. C. **Utilização de poliestireno expandido e potencial de aproveitamento de seus resíduos na construção civil**. Chapecó: Unochapecó, 2006.

TULASIDAS, T. N. et al. Dielectric properties of grapes and sugar solutions at 2.45 GHz. **Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy**, Vienna, v. 30, n. 2, p. 117-123, 1995.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **National nutrient database for standard reference**. [S. l.: s. n.], 2005. p. 1-26. (Release, 17).

VALENTAS, K. J.; SINGH, R. P.; ROTSTEIN, E. **Handbook of food engineering practice**. New York: CRC, 1997.

VARELA, P.; SALVADOR, A.; FISZMAN, S. Changes in apple tissue with storage time: rheological, textural and microstructural analyses. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 78, p. 622-629, 2007.

VÁZQUEZ, V. S. et al. Effects of air-drying on the shrinkage, surface temperatures and structural features of apples slabs by means of fractal analysis". **Revista Mexicana de Ingeniería Química**, México, v. 7, n. 1, p. 55-63, 2008.

VEGA-GÁLVEZ, A. et al. Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var. Granny Smith) slices. **Food Chemistry**, London, v. 132, p. 51-59, 2012.

VELIC, D. et al. Influence of airflow velocity on kinetics of convection apple drying. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 64, p. 97-102, 2004.

VERMA, B.; SHUKLA, N. P. Removal of Nickel (II) from electroplating industry effluent by agrowaste carbons. **Indian Journal Environmental Health**, Nagpur, v. 42, n. 4, p. 145-150, 2000.

WALDRON, K. W. Plant structure and fruit and vegetable texture. In: KILCAST, D. (Ed.). **Texture in food**. Boca Raton: CRC, 2004. v. 2, p. 241-258.

WALKENSTRÖM, P. The creation of new food structures and textures by processing. In: MCKENNA, B. M. **Texture in food**. Boca Raton: CRC, 2003. v. 1, p. 201-215.

WANG, C. Y.; SINGH, R. P. **A single layer drying equation for rough rice**. St. Joseph: ASAE, 1978.

WITROWA-RAJCHERT, D.; LEWICKI, P. P. Rehydration properties of dried plant tissues. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 41, n. 9, p. 1040-1046, 2006.

WITROWA-RAJCHERT, D.; RZAÇA, M. Effect of drying method on the microstructure and physical properties of dried apples. **Drying Technology**, New York, v. 27, n. 7, p. 903-909, 2009.

ZIELINSKA, M.; MARKOWSKI, M. Air drying characteristics and moisture diffusivity of carrots. **Chemical Engineering and Processing**, Lausanne, v. 49, n. 2, p. 212-218, 2010.

ANEXOS

ANEXO A Cinéticas de secagem

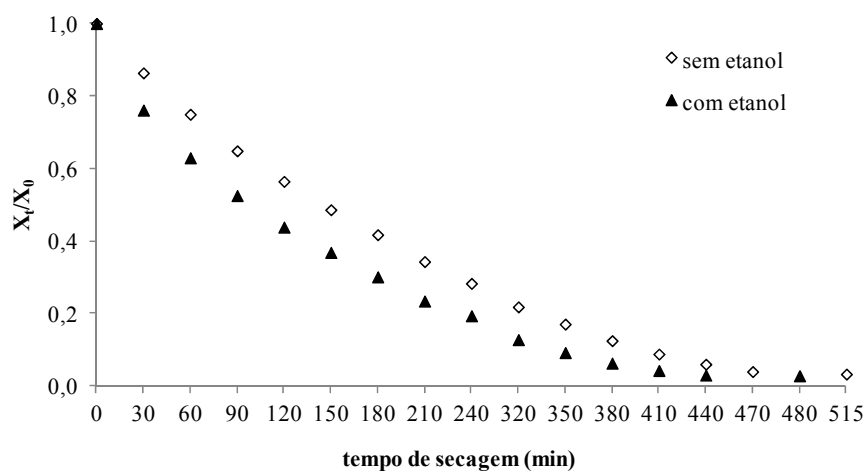


Gráfico 1A Cinéticas de secagem das amostras de maçã sem pré-tratamento e pré-tratadas com etanol, a 50°C e 17% umidade relativa do ar

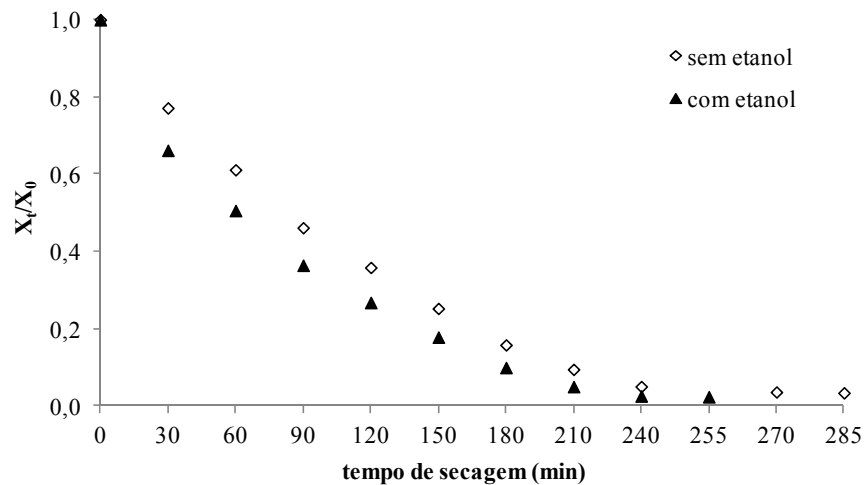


Gráfico 2A Cinéticas de secagem das amostras de maçã sem pré-tratamento e pré-tratadas com etanol, a 70°C e 17% umidade relativa do ar

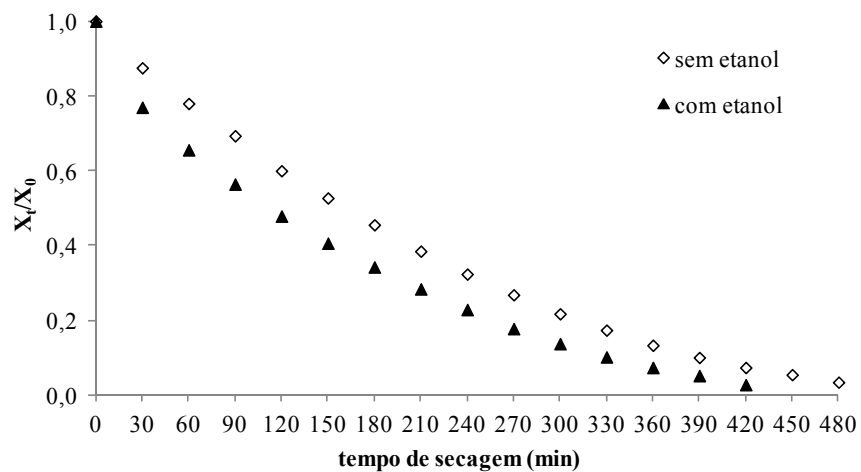


Gráfico 3A Cinéticas de secagem das amostras de maçã sem pré-tratamento e pré-tratadas com etanol, a 50°C e 30% umidade relativa do ar

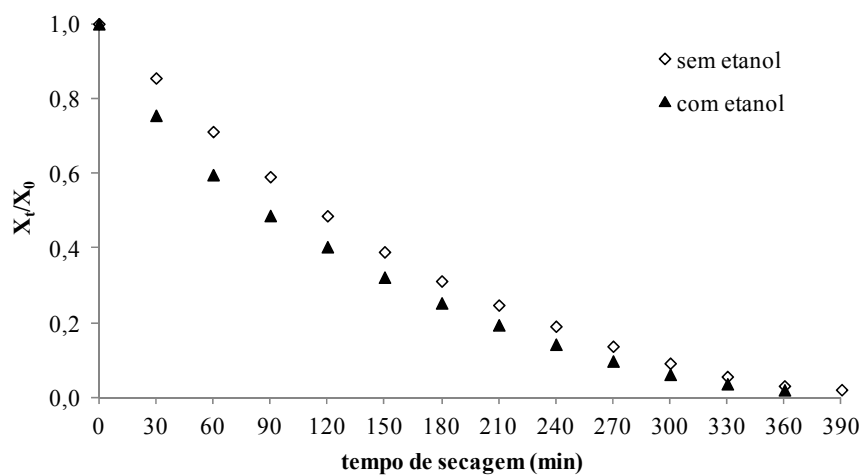


Gráfico 4A Cinéticas de secagem das amostras de maçã sem pré-tratamento e pré-tratadas com etanol, a 70°C e 30% umidade relativa do ar

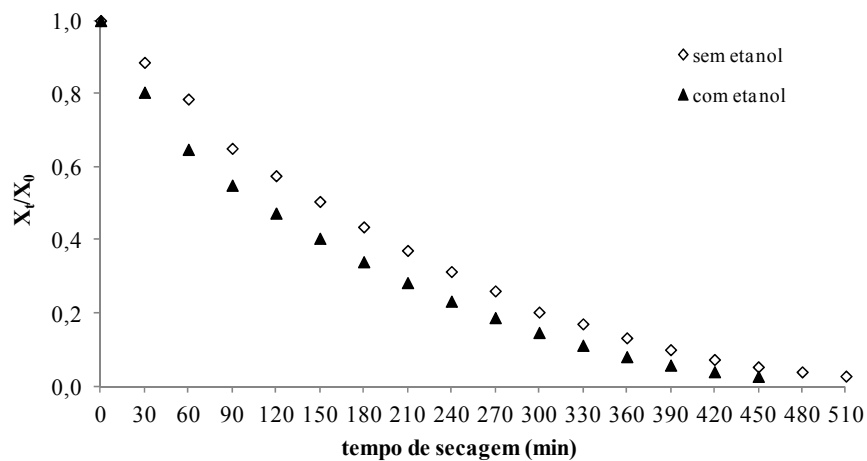


Gráfico 5A Cinéticas de secagem das amostras de maçã sem pré-tratamento e pré-tratadas com etanol, a 45,9°C e 23,5% umidade relativa do ar

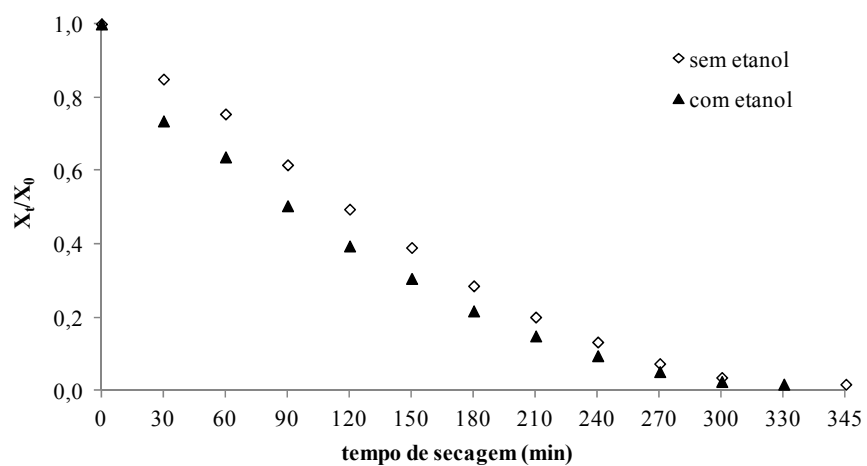


Gráfico 6A Cinéticas de secagem das amostras de maçã sem pré-tratamento e pré-tratadas com etanol, a 74,1°C e 23,5% umidade relativa do ar

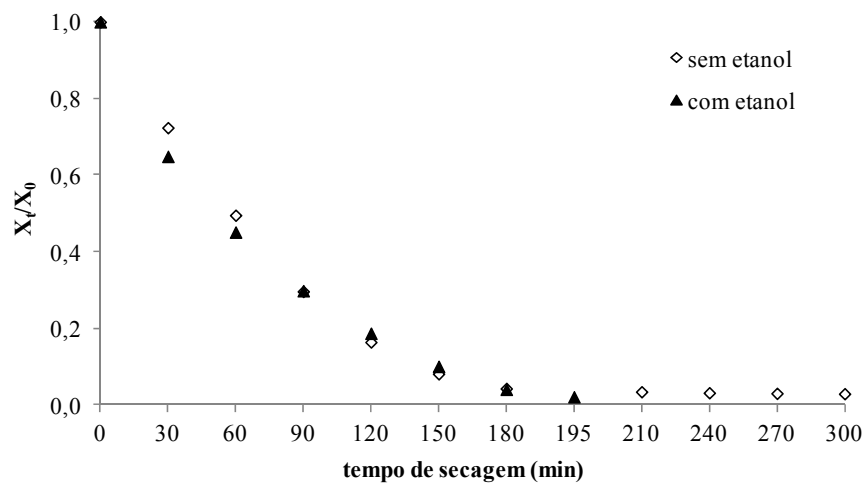


Gráfico 7A Cinéticas de secagem das amostras de maçã sem pré-tratamento e pré-tratadas com etanol, a 60°C e 14,3% umidade relativa do ar

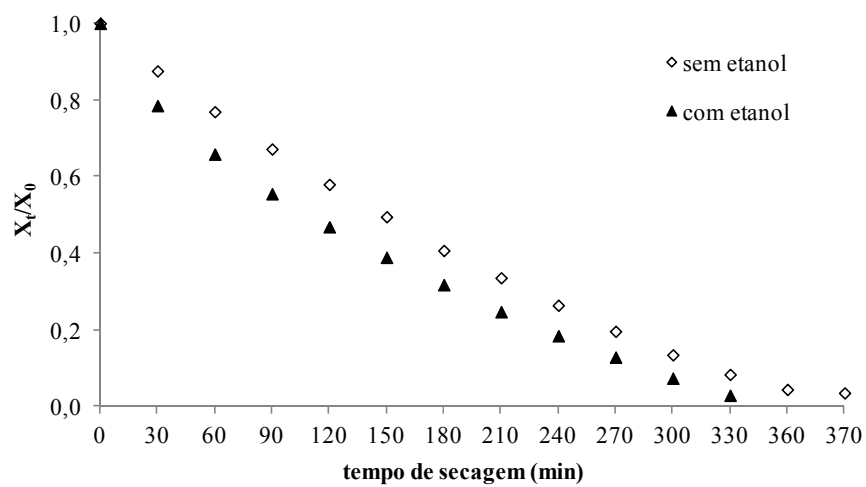


Gráfico 8A Cinéticas de secagem das amostras de maçã sem pré-tratamento e pré-tratadas com etanol, a 60°C e 32,7% umidade relativa do ar

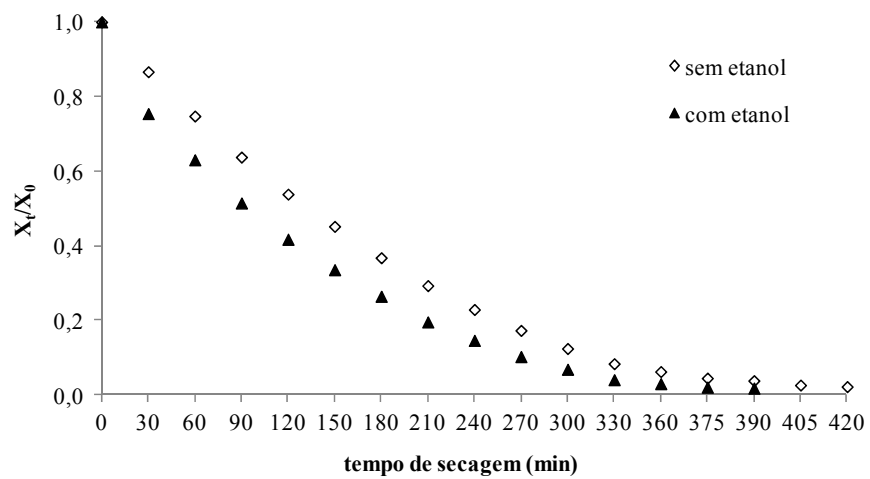


Gráfico 9A Cinéticas de secagem das amostras de maçã sem pré-tratamento e pré-tratadas com etanol, a 60°C e 23,5% umidade relativa do ar