



**RANDAL COSTA RIBEIRO**

**TOMATES SEMI DESIDRATADOS OBTIDOS  
POR SECAGEM MICRO-ONDAS CONVECTIVA  
PRECEDIDA POR DESIDRATAÇÃO  
OSMÓTICA**

**LAVRAS - MG**

**2013**

**RANDAL COSTA RIBEIRO**

**TOMATES SEMI DESIDRATADOS OBTIDOS POR SECAGEM  
MICRO-ONDAS CONVECTIVA PRECEDIDA POR DESIDRATAÇÃO  
OSMÓTICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia Agrícola, para a obtenção de título de Mestre.

Orientador

Dr. Jefferson Luiz Gomes Corrêa

Coorientadores

Dr. Flávio Meira Borém

Dra. Soraia Vilela Borges

**LAVRAS - MG**

**2013**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e  
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Ribeiro, Randal Costa.

Tomates semi desidratados obtidos por secagem micro-ondas convectiva precedida por desidratação osmótica / Randal Costa  
Ribeiro. – Lavras : UFLA, 2013.

87 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Jefferson Luiz Gomes Corrêa.

Bibliografia.

1. Secagem. 2. Micro-ondas. 3. Intermitente. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 664.8056426

**RANDAL COSTA RIBEIRO**

**TOMATES SEMI DESIDRATADOS OBTIDOS POR SECAGEM  
MICRO-ONDAS CONVECTIVA PRECEDIDA POR DESIDRATAÇÃO  
OSMÓTICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia Agrícola, para a obtenção de título de Mestre.

APROVADA em 24 de abril de 2013

Dra. Soraia Vilela Borges

UFLA

Dra. Lanamar de Almeida Carlos

UFSJ

Dr. Jefferson Luiz Gomes Corrêa  
Orientador

**LAVRAS - MG**

**2013**

Aos meus pais, Vicente e Maria Selma;

Aos meus irmãos, Renan e Rondinelli;

À minha namorada, Fernanda

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e proteção;

Aos meus pais, Vicente e Selma, pelo caráter, formação e por todo o amor e benção;

Aos meus irmãos, Renan e Rondinelli, que com todo seu carinho, me deram força para conseguir enfrentar esta batalha;

A minha namorada, Fernanda que com seu amor, companheirismo e suas valiosas sugestões estatísticas, tornou esta conquista possível;

A toda minha família que sempre acreditou no meu potencial, especialmente à Tia Ana, Chico, Éder e às minhas cunhadas, Bárbara e Adriele;

Aos amigos da República Soka Porva, pelo convívio, amizade e ajuda;

A Universidade Federal de Lavras, em especial aos Departamentos de Engenharia Agrícola e Ciência dos Alimentos, pela oportunidade de realização do Mestrado;

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), a Capes e à FAPEMIG, pela concessão das bolsas de estudos;

Ao professor Jefferson, pela dedicada orientação, disponibilidade e confiança;

Ao professor Borém, pelos ensinamentos transmitidos;

Aos membros da banca, Profa. Soraia, Profa. Lanamar e Prof. Jaime, que contribuíram enormemente para a finalização do trabalho;

Aos demais professores que fizeram parte dessa conquista e aos colegas do Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas e de Secagem de Alimentos, em especial ao Bruno e a Letícia, pelo auxílio na condução dos experimentos.





## RESUMO

A secagem tem como principais objetivos a conservação e a manutenção da qualidade dos alimentos. A utilização de secagem micro ondas-convectiva de maneira consecutiva ou intermitente, precedida de pré tratamento osmótico, vem resultando em produtos de qualidade. O objetivo com este estudo foi avaliar a secagem convectiva, por micro-ondas e micro-ondas-convectiva, com e sem pré tratamento osmótico assistido por ultrassom de fatias de tomate com 4 cm de comprimento x 2 cm de largura x 1,92 de espessura, com a manutenção da epiderme do fruto. Foi avaliada a cinética de secagem. Após a secagem, as amostras foram avaliadas com relação a parâmetros de cor, encolhimento, reidratação, ph, teor de sólidos solúveis, etc., para observar a manutenção da qualidade. As condições do ar de secagem foram temperatura de 40 e 60 °C e velocidade igual a 2,22 m s<sup>-1</sup>, sem e com pré tratamento osmótico. Os experimentos foram executados com uso de micro-ondas por todo o período de secagem, sem uso de micro-ondas (secagem convectiva) e secagem intermitente, em segundos, com acionamento (on) e desligamento (desligado): 30 on 30 desligado (PR1), 30 on 45 desligado (PR2), 30 on 60 desligado (PR3) e 30 on 90 desligado (PR4). O sistema experimental é constituído por um micro-ondas doméstico acoplado a um sistema de aquecimento de ar por resistências e insuflado por um ventilador radial. Para o pré tratamento osmótico assistido por ultrassom, foi utilizado um ultrassom da marca Unique, modelo USC 2850 A, frequência ultrassônica de 25 kHz. Foi utilizado o teste de Tukey para obter a diferença entre as médias dos tratamentos. As amostras apresentavam teor de água inicial 96,3 % (b.u.) e os experimentos foram conduzidos até se atingir teor de água de 77% ± 4% (b.u.), obtendo-se um material semi-desidratado. Os tempos de secagem foram influenciados pelo acionamento do micro-ondas e pela temperatura, conforme dados a seguir: Para a secagem convectiva a 40 °C, o tempo total foi de 654,25 min e a 60°, foi conduzida em 300,00 min. Para a secagem intermitente, o tempo de secagem para cada esquema foi: PR4 a 60°, 26,88 min, PR4 a 40°, 24,12 min; PR3 a 60°, 19,20 min, PR3 a 40°, 18,72 min; PR2 a 60°, 16,44 min, PR2 a 40°, 16,08 min; PR1 a 60°, 13,68 min, PR1 a 40°, 13,08 min. A secagem somente por micro-ondas ocorreu em 6,96 min a 60 °C e 6,84 min a 40 °C. Com a utilização e Desidratação Osmótica Assistido por Ultrassom, o tempo de secagem aumentou significativamente. Desta forma, concluímos que o tempo de secagem é influenciado pelo tipo de secagem ou composição entre micro-ondas e convectiva, pela temperatura e pelo uso de pré tratamento osmótico. Com base no tempo de secagem, teor final de licopeno, gasto energético e qualidade visual, o tratamento PR1 a 40 °C é a combinação mais adequada.

Palavras-chave: Secagem. Micro-ondas. Convectiva. Intermitente.

## ABSTRACT

The main objectives of drying are the conservation and maintenance of food quality. The use of microwave-convective drying in a consecutively or intermittently manner, preceded by an osmotic pre-treatment, has resulted in high quality products. The objective of this study was to evaluate convective, microwave and microwave-convective drying, with and without osmotic pre-treatment, ultrasound-assisted in slices of tomato with 4 cm of length x 2 cm of width x 1.92 cm of height, maintaining the fruit epidermis. We evaluated drying kinetics. After the drying process, the samples were evaluated regarding color, shrinking, rehydration, pH, soluble solids content and other parameters, in order to observe quality maintenance. The drying air conditions were: temperature of 40 and 60 ° C and an air speed of 2.22 m s<sup>-1</sup>, with and without osmotic pre-treatment. The experiments were conducted using microwaves for the entire drying period, without the use of microwaves (convective drying) and intermittent drying, in seconds, with actuation (on) and shutdown (off): 30 on 30 off (PR1), 30 on 45 off (PR2), 30 on 60 off (PR3) and 30 on 90 off (PR4). The experimental system is composed of a domestic microwave attached to an electric resistance heating system and bloated by a radial fan. For the osmotic pre-treatment assisted by ultrasound, we used the Unique ultrasound, model USC 2850 A, with an ultrasonic frequency of 25 kHz. The Tukey test was used to obtain the differences between the treatment means. The samples presented initial water content of 96.3 % (wet-based) and reduced to 77% ± 4% (w.b), obtaining a semi-dehydrated material. The drying periods were influenced by the microwave activation and the temperature, according to the results below: for the convective drying at 40 ° C, the time was of 654.25 min, and at 60 ° C, the drying was conducted in 300.00 min. For the intermittent drying, the drying time for each design was: PR4 at 60 ° C, 26.88 min, PR4 at 40 ° C, 24.12 min; PR3 at 60 ° C, 19.20 min, PR3 at 40 ° C, 18.72 min; PR2 at 60 ° C, 16.44 min, PR2 at 40 ° C, 16.08 min; PR1 at 60 ° C, 13.68 min, PR1 at 40 ° C, 13.08 min. The microwave drying occurred in 6.96 min at 60 ° C, and in 6.84 min at 40 ° C. With the use of ultrasound-assisted osmotic dehydration, the drying time increased significantly. Thus, we concluded that the drying time is influenced by the type of drying or the combination of the use of microwave and convection, by the temperature and by the use of osmotic pre-treatment. Based on the drying time, the final content of lycopene, energy consumption and visual quality, the PR1 treatment at 40 ° C is the most suitable combination.

Keywords: Drying. Microwave. Convective. Intermittent.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Esquema secador micro-ondas convectivo.....	31
Figura 2	Sistema experimental micro-ondas-convectivo .....	31
Figura 3	Cinética de secagem de fatias de tomate a 40 °C.....	42
Figura 4	Cinética de secagem de fatias de tomate a 60 °C.....	42
Figura 5	Cinética de secagem convectiva de fatias de tomate.....	43
Figura 6	Cinética de secagem de fatias de tomate a 40 °C.....	46
Figura 7	Cinética de secagem de fatias de tomate a 60 °C.....	47
Figura 8	Cinética de secagem convectiva de fatias de tomate. Calc é relativo a cinéticas ajustadas pelo modelo de Page (1949).....	47
Figura 9	Qualidade Visual para fatias de tomates semi desidratado sem desidratação osmótica assistida por ultrassom da face superior.....	70
Figura 10	Qualidade Visual para fatias de tomates semi desidratado sem desidratação osmótica assistida por ultrassom da face inferior.....	71
Figura 11	Qualidade Visual para fatias de tomates semi desidratado com desidratação osmótica assistida por ultrassom da face superior.....	72
Figura 12	Qualidade Visual para fatias de tomates semi desidratado com desidratação osmótica assistida por ultrassom da face inferior.....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Índices de avaliação de qualidade visual.....	35
Tabela 2	Condições experimentais.....	38
Tabela 3	Valores para fatias de tomates <i>in natura</i> .....	40
Tabela 4	Valores para fatias de tomates <i>in natura</i> .....	41
Tabela 5	Dados de ajuste da equação de Page.....	44
Tabela 6	Tempos finais de secagem em diversas configurações de secagem micro-ondas-convectiva.....	46
Tabela 7	Relação entre $a^*/a_0^*$ da face inferior de fatias de tomate para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva, sem e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU).....	50
Tabela 8	Relação entre $a^*/a_0^*$ da face superior de fatias de tomate para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva, sem e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU).....	51
Tabela 9	Relação entre $b^*/b_0^*$ da face inferior de fatias de tomate para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva, sem e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU).....	52
Tabela 10	Relação entre $b^*/b_0^*$ da face superior de fatias de tomate para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva, sem e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU).....	53

Tabela 11	Relação entre $L^*/L_0^*$ da face inferior de fatias de tomate para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva, sem e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU) .....	54
Tabela 12	Relação entre $L^*/L_0^*$ da face superior de fatias de tomate para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva, sem e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU) .....	55
Tabela 13	Cromaticidade (C) da face inferior de fatias de tomate para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva, sem e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU) .....	58
Tabela 14	Cromaticidade (C) da face superior de fatias de tomate para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva, sem e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU) .....	59
Tabela 15	Hue (H) da face inferior de fatias de tomate para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva, sem e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU) .....	60
Tabela 16	Hue (H) da face superior de fatias de tomate para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva, sem e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU) .....	61

Tabela 17	Atividade de água para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva de fatias de tomate, sem desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU) e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU).....	62
Tabela 18	Coefficiente de Encolhimento para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva de fatias de tomate, sem desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU) e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU) .....	64
Tabela 19	Sólidos solúveis (° Brix) para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva de fatias de tomate, sem desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU) e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU).....	65
Tabela 20	pH para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva de fatias de tomate, sem desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU) e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU).....	66
Tabela 21	Reidratação para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva de fatias de tomate, sem desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU) e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU).....	67
Tabela 22	Licopeno para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva de fatias de tomate, sem desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU) e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU).....	68



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	16
<b>2.1</b>	<b>O tomate e a cultura do tomate no Brasil</b> .....	16
<b>2.2</b>	<b>A secagem de alimentos</b> .....	18
<b>2.3</b>	<b>Secagem Convectiva</b> .....	20
<b>2.4</b>	<b>Secagem por Micro-ondas</b> .....	20
<b>2.5</b>	<b>Secagem micro-ondas-convectiva</b> .....	22
<b>2.6</b>	<b>Cinética de secagem</b> .....	23
<b>2.7</b>	<b>Desidratação osmótica</b> .....	24
<b>2.8</b>	<b>Desidratação osmótica assistida por ultrassom</b> .....	25
<b>2.9</b>	<b>Qualidade dos produtos secos</b> .....	27
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	28
<b>3.1</b>	<b>Material</b> .....	28
<b>3.2</b>	<b>Caracterização do material vegetal</b> .....	28
<b>3.3</b>	<b>Preparo da matéria prima</b> .....	29
<b>3.4</b>	<b>Desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU)</b> .....	29
<b>3.5</b>	<b>Secador micro-ondas convectivo</b> .....	30
<b>3.6</b>	<b>O processo de secagem dos tomates</b> .....	32
<b>3.6.1</b>	<b>Secagem convectiva</b> .....	32
<b>3.6.2</b>	<b>Secagem por micro-ondas</b> .....	32
<b>3.6.3</b>	<b>Cálculo da Taxa de Pulso</b> .....	32
<b>3.7</b>	<b>Avaliação da qualidade dos tomates secos</b> .....	33
<b>3.7.1</b>	<b>Avaliação do encolhimento</b> .....	33
<b>3.7.2</b>	<b>Capacidade de reidratação</b> .....	34
<b>3.7.3</b>	<b>Avaliação da qualidade visual</b> .....	35
<b>3.7.4</b>	<b>Teor de água</b> .....	36
<b>3.7.5</b>	<b>Teor de caratenoides</b> .....	36
<b>3.7.6</b>	<b>Atividade de água</b> .....	37
<b>3.7.7</b>	<b>Cor</b> .....	37
<b>3.7.8</b>	<b>pH</b> .....	38
<b>3.8</b>	<b>Delineamento experimental</b> .....	38
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	40
<b>4.1</b>	<b>Caracterização da matéria prima</b> .....	40
<b>4.2</b>	<b>Desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU)</b> .....	41
<b>4.3</b>	<b>Cinética de secagem</b> .....	41
<b>4.4</b>	<b>Cor</b> .....	49
<b>4.4.1</b>	<b>Relação <math>a^*/a_0^*</math></b> .....	49

4.4.2	Relação $b^*/b_0^*$ .....	52
4.4.3	Relação $L^*/L_0^*$ .....	54
4.4.4	Cromaticidade (C).....	57
4.4.5	Ângulo Hue (H).....	60
4.5	Atividade de Água ( $A_w$ ).....	62
4.6	Encolhimento.....	63
4.7	Sólidos Solúveis.....	64
4.8	pH.....	66
4.9	Reidratação.....	67
4.10	Teor de licopeno.....	68
4.11	Qualidade Visual.....	69
5	<b>X AVALIACAO GLOBAL DA SECAGEM E DA ANÁLISE DE QUALIDADE DO PRODUTO</b> .....	75
6	<b>CONCLUSÃO</b> .....	77
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	78

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento na demanda por alimentos chamados prontos para consumo tem crescido nos últimos anos e a inclusão de tomate, *in natura* e principalmente processado, na dieta dos brasileiros tem acompanhado esse crescimento (ROMERO-PEÑA; KIECKBUSCH, 2003). O tomate desidratado atende à demanda de alimentos funcionais, por ser rico em licopeno, além de estar disponibilizado em qualquer período do ano e ser menos perecível, constituindo-se em um produto diferenciado (FAGUNDES et al., 2005), muito utilizado como ingrediente de massas e pizzas (CAMARGO; QUEIROZ, 2000).

A secagem de alimentos tem como seu principal objetivo a conservação de alimentos. Porém, a secagem leva a alterações físicas, químicas e nutricionais (LUPINSKA et al., 2009). Com isso, vem-se buscando processos de secagem que levem a menores alterações com relação ao produto fresco. O processo de secagem por micro-ondas tem oferecido uma melhor qualidade aos produtos secos, quando comparados com os demais métodos de secagem utilizados (LIU et al., 2009; VADIVAMBAL; JAYAS, 2007). Outro benefício oferecido pelo método de secagem por micro-ondas é a redução no tempo de secagem, reduzindo assim o consumo de energia (FIGIEL, 2009; SANGA; MUJUMDAR; RAGHAVAN, 2000).

A utilização do conjunto secagem por micro-ondas e secagem convectiva, de maneira consecutiva (DURANCE; WANG, 2002) ou intermitente (KOWALSKI; MUSIELAK; BANASZAK, 2010; SOYSAL et al., 2009) vem resultando em produtos de melhores qualidades, tanto sensorial, quanto de aparência, cor e textura (SOYSAL et al., 2009). Para garantir essa melhor qualidade, tem-se utilizado a secagem por micro-ondas após pré tratamentos como a desidratação osmótica (CORRÊA et al., 2011; ORSAT et al., 2007). A utilização da desidratação osmótica como pré tratamento aos processos de

secagem reduz significativamente as degradações nas propriedades químicas, físicas, nutricionais e sensoriais, sendo estes pré tratamentos conduzidos à pressão atmosférica ou com aplicação de pulso de vácuo (CORRÊA et al., 2007, 2010; FANTE et al., 2011) ou em processos de desidratação osmótica com uso de ultrassom (CÁRCEL, 2003; FERNANDES; GALLO; RODRIGUES, 2008; JUSTUS, 2012).

Com base no exposto nos parágrafos acima, o presente trabalho tem como objetivos: avaliar diferentes tipos de secagem (convectiva, micro-ondas e convectiva-micro-ondas) no tempo de secagem e qualidade dos tomates semi-desidratados.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 O tomate e a cultura do tomate no Brasil

O Tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill), originário das regiões andinas da América do Sul, foi domesticado no México e levado para a Europa em 1544. Posteriormente, disseminado para Ásia, África e Oriente Médio. E hoje é cultivado em quase todo o mundo (NAIKA et al., 2006). Em solo brasileiro, cultiva-se cerca de 60 mil hectares de tomateiros, chegando a uma produção de 3,1 milhões de toneladas, com uma produtividade média de 57,3 Kg/ha (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2009).

É uma cultura adaptada em regiões tropicais e subtropicais durante boa parte do ano, destacando-se como uma das mais importantes hortaliças do mundo (MOREIRA et al., 2005). Apresentando boas perspectivas econômicas e com crescimento de área cultivada aumentando a cada ano (EMBRAPA, 2009). Destacando-se na economia brasileira, despontando como principal produto olerícola (GUALBERTO; OLIVEIRA; GUIMARÃES, 2007).

O tomateiro é uma hortaliça da família das Solanaceas e do gênero *Lycopersicum*, sendo cultivada na maioria das vezes como uma planta perene, possuindo característica de se adaptar facilmente a uma grande variedade de condições climáticas, com exceção daqueles em que geadas são frequentemente presentes.

Por ser considerado um fruto, e sua composição variar de acordo com a cultivar e o sistema de cultivo, possui de 93% a 95% de água e nos 5% a 7% restantes, encontram-se compostos inorgânicos, ácidos orgânicos, açúcares, sólidos insolúveis em álcool e outros compostos (EMBRAPA, 2006). Pela presença de altos teores de vitaminas C, de precursores de vitamina A e de

licopeno, este é considerado um alimento funcional, pois é capaz de melhorar o metabolismo e prevenir problemas de saúde. Ele, ainda ajuda na prevenção de cânceres relacionados ao aparelho digestivo (CARVALHO; PAGLIUCA, 2007).

A produção global de tomate duplicou nos últimos 20 anos. Um dos principais fatores para a expansão da cultura é o crescimento do consumo de produtos derivados do tomate, a fim de obter maior variedade de antioxidantes possíveis na dieta (NASSUR, 2009). O crescimento da produção de tomates no Brasil teve um acentuado aumento chegando à 3.943.983 toneladas em dezembro de 2008, sendo que no estado de Minas Gerais essa produção chegou a 461.003 toneladas, figurando como o terceiro maior estado produtor de tomates do Brasil (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2010).

O tomate pode por meio de processamento adequado, dar origem a inúmeros produtos, alguns deles de elevado consumo no Brasil, por exemplo, o tomate seco que se destacou com grande aceitação do consumidor brasileiro, nas décadas de 80 e 90 (CAMARGO; QUEIROZ, 2000) e até hoje é processado com grande sucesso, obtendo-se várias vantagens como, o aproveitamento do excedente da produção, uma vez que o tomate é altamente perecível, e a disponibilidade de um produto sensorialmente diferenciado, podendo ser comercializado em qualquer período do ano (NACHTIGALL et al., 2000).

O tomate seco é um dos alimentos desidratados de maior consumo no país, porém sendo produzido em pequenas quantidades ainda na forma artesanal, necessitando de melhoria na qualidade (TONON; BARONI; HUBINGER, 2007), sendo esta melhorada por meio da utilização da secagem por micro-ondas antecedida de pré tratamento osmótico (HEREDIA; BARRERA; ANDRÉS, 2007).

## 2.2 A secagem de alimentos

Falta de condições favoráveis que assegurem a qualidade do alimento por um período maior que sua vida de prateleira, questões de logística de manuseio e armazenamento levam a um desperdício pelo excedente de produção (SILVA et al., 2009), mesmo com o consumo do produto *in natura* elevado. Desta forma, o processo de secagem de alimentos surge como uma alternativa de conservação. O alimento seco pode ser acondicionado e tornar-se disponível por um período mais longo de tempo que o produto *in natura*. A utilização da secagem também pode significar uma redução considerável no volume final do produto, resultando em economia no transporte e facilidade no manuseio do produto (ANDREUCETTI et al., 2007).

O princípio físico básico da secagem é a remoção de água do alimento por transferência de calor e massa com a evaporação da umidade do produto. O calor é fornecido ao alimento por meio de uma fonte que transporte esse calor, como o ar e assim remova a água contida na superfície do alimento. Sendo a taxa de evaporação determinada por parâmetros como: temperatura, umidade, pressão e/ou velocidade do ar.

Para que ocorra a secagem o teor de água do produto deve estar acima da umidade de equilíbrio, para as condições de temperatura e umidade estabelecidas. Sendo assim, a água é removida por meio do calor latente de evaporação, por uma fonte de calor, evaporando a água superficial do alimento para o ar ambiente. O que se dá pelo gradiente de concentração do interior do alimento e da superfície (PARK; BIN; BROD, 2001).

A evaporação da água de um produto submetido à secagem pode ser baseada em três mecanismos: condução, convecção ou radiação e ainda uma combinação de ambos. A transferência de calor depende da temperatura, umidade, fluxo e direção do ar. Quanto à transferência de massa, movimento da

água do interior para a superfície do produto, é influenciada pela natureza física, porosidade e composição química do alimento (ANTÔNIO, 2002).

Dois fatores devem ser levados em conta durante o processo de secagem: o transporte da água do interior do produto para sua superfície e sua retirada para o meio ambiente. Sendo o segundo fator, determinante para a qualidade final do produto. A redução do teor de água deve ser realizada até o nível desejado, de acordo com a destinação do produto.

Quando a secagem é realizada em altas temperaturas, cuidados devem ser tomados para que não se crie um gradiente de umidade dentro do produto, com a formação de uma casca que impede a retirada da água. Os danos causados podem-se manifestar logo após a secagem ou durante o período de armazenamento, comprometendo a qualidade do produto.

Outro fator que interfere na qualidade final do produto seco é a carbonização. Para evitar a carbonização ou queima durante o processo de secagem, esta deve ser realizada até o ponto onde a água retirada do alimento não seja a água de constituição dos componentes químicos, ou seja, na região de água higroscópica que é a água fortemente ligada ao produto (HOLTZ et al., 2010).

Segundo Soysal, Oztekin e Eren (2006), durante o processo de secagem ocorrem dois períodos, um de queda na taxa de secagem em que a velocidade de secagem é constante e seguido por um curto período em que ocorre o aquecimento do produto, sendo que quanto maior a carga exigida do material, maior será o tempo gasto para a secagem, assim as menores taxas de secagem são obtidas com uma menor carga exigidas pelo material.

A velocidade do ar de secagem deve ser observada para propor um efeito positivo sobre o tempo de secagem, visto que com as temperaturas do ar menores e com uma alta velocidade do ar pode ocorrer o resfriamento na superfície do produto, e assim diminuir os efeitos que podem causar



carbonização, melhorando assim a qualidade do produto seco e não afetando parâmetros como a cor, porosidade e volume aparente do alimento processado (PEREIRA; MARSAIOLI; AHRNE, 2007).

### **2.3 Secagem Convectiva**

O método de secagem mais utilizado em tomates é o de secagem com ar aquecido, convectiva, devido ao fato de ser mais simples e apresentar um índice tecnológico mais acessível (AKANBI; ADEYEMO; OJO, 2006), onde a faixa nominal de temperatura situa-se entre 40 e 80 °C.

A secagem convectiva consiste em forçar a passagem de ar aquecido a uma temperatura acima da temperatura do produto. O intuito é fazer com que as gotas de águas situadas na superfície do produto mudem seu estado físico, de líquido para gasoso, desta forma, podendo ser carregada para o ar atmosférico.

Altas temperaturas em processos de secagem convectiva tendem a forçar a saída da água de dentro do produto. Consequentemente podem ocorrer rupturas das células e liberação do conteúdo intra-celular, ocasionando perda na qualidade final do produto.

Combinações de temperatura podem favorecer o processo de secagem. Segundo Raupp et al. (2007), a combinação de temperatura de 100 °C por 3 h, seguida de 80 °C até o final da secagem para tomate da cv. Carmem resultou em um produto com qualidade superior.

### **2.4 Secagem por Micro-ondas**

O aquecimento e a secagem por micro-ondas têm sido utilizados há muito tempo quando os primeiros engenheiros buscavam novas formas de

aquecimento. Os estudos acerca desse tipo de aquecimento iniciaram-se juntamente com a segunda Guerra Mundial, e logo em seguida o forno micro-ondas já havia sido inventado.

O processo de aquecimento convencional consiste no aquecimento da superfície do material para o interior conforme o diferencial de temperatura se estabelece entre as partículas. Distintamente, o aquecimento por micro-ondas promove um campo electromagnético que interage com o material como um todo, promovendo também uma diminuição do tempo de aquecimento.

As ondas eletromagnéticas envolvidas no processo de secagem por micro-ondas são ondas formadas pela combinação dos campos magnético e elétrico que se propagam no espaço perpendicularmente um em relação ao outro e na direção de propagação da energia. As micro-ondas são ondas eletromagnéticas com comprimentos de onda variando de 1 m (0,3 GHz de frequência) até 1,0 mm (300 GHz de frequência). Um forno de micro-ondas usa um gerador do tipo magnetron para produzir micro-ondas em uma frequência de aproximadamente 2,45 GHz. A interação dessas micro-ondas com os alimentos gera calor pela agitação das moléculas de água presente no interior dos alimentos, até que a água é forçada a sair do alimento, processo chamado de secagem (MUJUNDAR, 1987).

A utilização de uma alta potência no micro-ondas tem como consequência a diminuição do rendimento. Entretanto, um encurtamento no tempo de processamento foi significativo (KAHYAOGLU; SAHIN; SUMNU, 2010; YAN et al., 2010) e com isso a utilização de um método de secagem assistida por micro-ondas com uma temperatura mais baixa e menor potência, tais como 50 °C e 288W são preferíveis em termos de economia de energia e com propriedades físicas mais aceitáveis do produto final (KAHYAOGLU; SAHIN; SUMNU, 2010).

Segundo um método convencional de secagem assistida pela secagem por micro-ondas juntamente com a utilização de vácuo se mostrou eficaz na preservação do calor e oxigênio sensível, e também apresentando níveis elevados de componentes fenólicos e ácidos ascórbico em morangos (CONTRERAS et al., 2008; WOJDYLO; FINGEL; OSZMIANSKI, 2009).

## **2.5 Secagem micro-ondas-convectiva**

A secagem por micro-ondas-convectiva vem se destacando dentre os métodos de secagem, se apresentando como uma excelente alternativa no que diz respeito a uma melhor qualidade do produto final seco, juntamente com um menor consumo de energia e uma maior taxa de secagem (SOYSAL et al., 2009).

Na secagem convencional, o processo de secagem é dificultado quando o último terço de água precisa ser retirado da amostra, e a ação das micro-ondas nessa última etapa pode aumentar o rendimento do processo de secagem (MUJUNDAR, 1987).

O método de secagem micro-ondas-convectiva, consiste em intercalar períodos de secagem sob ação de micro-ondas, seguida por períodos em que a secagem se dá pelo método convectivo. Desta forma, consegue-se minimizar os danos causados pela secagem somente por micro-ondas. Dessa forma aumentando a eficiência energética e operacional da secagem.

Segundo Contreras et al. (2008), durante a cinética de secagem há um período de queda na taxa de secagem quando a secagem convectiva é assistida por micro-ondas, conseqüentemente o uso de uma elevada temperatura do ar de secagem juntamente com a aplicação de micro-ondas resulta na redução do tempo de secagem.

A secagem intermitente por micro-ondas-convectiva com menor temperatura do ar de secagem e nível de potência de micro-ondas resultou num tempo de secagem relativamente longo, porém houve uma economia no tempo de secagem quando aplicado uma secagem com uma temperatura de 35 °C e uma potência de 597 W (SOYSAL et al., 2009).

Alibas (2007), em seu trabalho verificou que a secagem combinada micro-ondas-convectiva proporcionou um menor consumo de energia, menor período de secagem, maior taxa média de secagem e menor degradação de cor, sendo utilizada uma combinação com uma temperatura de 75 °C e uma potência do micro-ondas de 350 W, para a secagem de abóbora.

## 2.6 Cinética de secagem

É recorrente em trabalhos de secagem o acompanhamento da variação de umidade com o tempo com a consequente obtenção da cinética de secagem (BORGES et al., 2011). Este procedimento propicia que se avalie o processo com relação ao uso energético e as transferências de calor e massa.

A cinética de secagem pode ser modelada. Há na literatura diversos modelos de cinética de secagem (ISQUIERDO et al., 2013). Porém, o modelo de Page (1949), dado pela equação 1 geralmente ajusta a maioria dos casos pois a variação de umidade em materiais biológicos costuma seguir um comportamento exponencial.

$$M_r = e^{-kt^n} \quad (1)$$

onde

$$M_r = \frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} \quad (2)$$

E  $X$  corresponde ao teor de umidade no tempo  $t$  e os subíndices  $0$  e  $eq$  às condições da amostra fresca e em equilíbrio com o ar do entorno.  $X_{eq}$ , correspondente ao teor de umidade de equilíbrio obtidos da literatura. Os termos  $k$  e  $n$  advêm do ajuste do modelo. Apesar de ser um modelo empírico, serve como uma aproximação e tem ajustado diversos materiais biológicos.

## 2.7 Desidratação osmótica

A desidratação osmótica é um processo de transferência de massa que pode ser realizado à temperatura ambiente e que é muito usado como pré-tratamento para operações de secagem. Utiliza uma solução hipertônica com concentrações elevadas de sais ou açúcares ou polióis ou a combinação de alguns destes. Consiste na remoção parcial de água devido à pressão osmótica ocasionada quando se coloca o produto em contato com esta solução, diminuindo assim a atividade de água e aumentando a estabilidade do alimento (POKHARKAR; PRASAD; DAS, 1997). Devido à diferença de potencial químico interpretado pela concentração entre o agente osmótico e o alimento, são criados dois fluxos simultâneos em contra corrente, por meio das paredes celulares: um da água que sai do alimento para a solução – o mais importante do ponto de vista da desidratação – e outro de soluto (sal ou açúcar) da solução para a fruta (LENART; FLINK, 1984; TORREGIANI, 1993).

A aplicação de pré tratamento osmótico antes da secagem do tomate, proporciona uma taxa de 10% de isomerização cis-trans, principalmente na forma 13-cis, sendo esses valores menores do que quando comparado com a taxa

de isomerização dos tomates secos sem o tratamento osmótico, favorecendo aos mecanismos de oxidação do licopeno (HEREDIA et al., 2009).

A utilização de tratamentos preliminares aplicados antes da secagem por micro-ondas proporcionam uma melhoria nas propriedades mecânicas e reológicas dos produtos desidratados, caracterizando uma redução de cerca de um terço na força de compressão e uma força de corte cerca de 40% menor quando compara com o produto que não foi submetido ao pré tratamento por desidratação osmótica (STEPIEN, 2008).

A utilização da desidratação osmótica seguida pela secagem melhorou resistência mecânica das amostras secas de alimentos, podendo ser utilizadas como pré tratamento na secagem convectiva seguida por micro-ondas (CONTRERAS et al., 2008).

## **2.8 Desidratação osmótica assistida por ultrassom**

A desidratação omótica assistida por ultrassom, consiste em um mecanismo convencional de desidratação osmótica, onde o alimento é imerso em solução hipertônica. Depois sendo levado ao aparelho emissor de ultrassom, onde é feita a imerção do recipiente contendo a solução hipertônica com o alimento, em água com temperatura controlada. O aparelho emissor de ultrassom emite as ondas na frequência do som, promovendo melhor resultados com a desidratação osmótica.

Na aplicação do processo de desidratação osmótica, as ondas ultrassônicas desencadeiam um efeito denominado de “efeito esponja” e a cavitação (FERNANDES; GALLÃO; RODRIGUES, 2008; FERNANDES; RODRIGUES, 2007; FUENTE-BLANCO et al., 2006; GARCIA-NOGUEIRA et al., 2010).

No “efeito esponja”, devido às alterações na pressão interna do alimento, uma série de rápidas compressões e expansões se alterna na matriz alimentícia, de forma semelhante a uma esponja quando comprimida e solta repetidamente. No caso da cavitação, que consiste no crescimento e colapso de bolhas na solução osmótica com a geração de micro jatos. Estes micro jatos são lançados à superfície do alimento, injetando solução no interior do sólido. Também podendo acontecer das bolhas não colidirem com a superfície do alimento, e sim vibrar na mesma frequência do ultrassom, ocasionando uma agitação significativa na solução, próximo à camada limite entre a solução e sólido. Estas alterações produzem micro canais que facilitam a remoção da água, por favorecer o movimento do líquido no interior do alimento (GARCIA-NOGUEIRA et al., 2010; MULET et al., 2003). O fenômeno da cavitação é responsável pela redução da resistência externa à transferência de massa da solução para o interior do alimento e o “efeito esponja” reduz significativamente a resistência interna, aumentando a difusividade, tanto do teor de água quanto do soluto (CÁRCEL et al., 2007; FERNANDES; RODRIGUES, 2007; SIMAL et al., 1998). A consequência do uso de ultrassom nos processos de desidratação osmótica, em geral, tem resultado no aumento da perda de água e do ganho de sólidos, além de reduzir o tempo de processamento da secagem realizada posteriormente (GARCIA-NOGUEIRA et al., 2010). A taxa de transferência depende da pressão e da frequência da onda produzida pela sonicação (RAHAVAN; ORSAT; MEDA, 2005). A utilização de ultrassom auxilia tanto na desidratação osmótica quanto nos processos de secagem convectiva realizados posteriormente.

A aplicação de pré-tratamento osmótico com utilização de ultrassom, representa uma alternativa interessante à tradicional secagem convectiva. Encurtar o tempo de secagem e reduzir o consumo de energia sobre as aplicações industriais. Além disso, o efeito de ultrassom no transporte de água é

baseado em fenômenos mecânicos, como baixas temperaturas. Sendo, altamente relevante para a secagem de materiais sensíveis ao calor e também para obtenção de produtos secos com qualidades superior (FERNANDES; GALLO; RODRIGUES, 2008).

Desta forma, a potência do ultrassom pode ser considerada uma valiosa ferramenta para obtenção de altos valores nutritivos.

## **2.9 Qualidade dos produtos secos**

A manutenção da qualidade do produto durante a secagem, relacionada a fatores como sabor, textura, diminuição de encolhimento, valor nutricional e, em especial, cor, são importantes para o estabelecimento da qualidade do produto final (ROMERO-PEÑA; KIECKBUSCH, 2003).

O uso de desidatação osmótica como pré tratamento auxilia na manutenção de parâmetros de qualidade como cor e manutenção de nutrientes. A aplicação de micro-ondas em processos de secagem também pode auxiliar nesta manutenção, uma vez que a energia é direcionada a água contida nos alimentos promovendo maior taxa de secagem com consequente menor tempo de exposição do alimento e dos nutrientes a altas temperaturas.



### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Material**

Os tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill) da variedade Carmem utilizados na condução dos experimentos foram adquiridos no comércio local de Lavras, MG, Brasil.

Na seleção de frutos para compor as amostras que foram utilizadas nos experimentos, os tomates tiveram sua massa determinada por pesagem em balança semi-analítica e seu diâmetro medido com auxílio de paquímetro digital. Uniformidade de cor e firmeza foi verificada sensorialmente.

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Engenharia de Alimentos do Departamento de Ciências dos Alimentos e no Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia, ambos da Universidade Federal de Lavras, Lavras Minas Gerais.

#### **3.2 Caracterização do material vegetal**

Após a seleção dos tomates, uma amostra foi retirada para obter a composição dos frutos com relação ao teor de umidade e cinzas, de acordo com a metodologia proposta pela Association of Official Agricultural Chemists - AOAC (2002). Além destes componentes, foram verificados no produto fresco os teores de carotenoides e de ácido ascórbico, pH, atividade de água e cor. Nos testes que incluem desidratação osmótica, foi realizado teste de teor de NaCl, de sacarose e de cálcio.

### **3.3 Preparo da matéria prima**

Os tomates previamente selecionados foram lavados em água corrente, cortados e tiveram as sementes retiradas com auxílio de uma faca de aço inoxidável. Assim, foram obtidas amostras de tomate em formato de placa plana (com a espessura determinada pela fatia do fruto) e com comprimento de 4,0 cm e largura de 2,0 cm e aproximadamente 1,9 cm de espessura. Foi utilizada uma forma com as dimensões acima para que todas as fatias apresentassem as mesmas medidas.

### **3.4 Desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU)**

A desidratação osmótica foi realizada como pré tratamento para os processos de secagem por convecção, micro-ondas e micro-ondas-convecção. A solução aquosa era composta de 10% de cloreto de sódio em peso e a desidratação osmótica conduzida por 40 minutos. O uso de 10% de cloreto de sódio se justifica pelo uso deste alimento em alimentos salgados como saladas. O tempo de DOAU foi baseado nos protocolos proposto por Fernandes, Gallo e Rodrigues (2008) e Fernandes e Rodrigues (2007). Os experimentos foram realizados com a imersão das amostras na solução osmótica em erlenmeyers. A relação de massa entre alimento e solução foi mantida constante em 1/10 para que não houvesse diluição da solução durante a desidratação osmótica. Os erlenmeyers foram imersos em um banho de ultrassom (Marca Unique, modelo USC 2850 A) a 25 °C, frequência ultrassônica de 25 kHz e sem agitação mecânica com ação de ultrassom.

### 3.5 Secador micro-ondas convectivo

O sistema experimental (Figura 1) foi baseado no apresentado no estudo de secagem intermitente micro-ondas convectivo de Soysal et al. (2009). O sistema é composto por uma câmara de secagem construída a partir de um forno doméstico de micro-ondas Electrolux MEC41 Inox de 31 litros e 1500 W.

Para fornecer ar ao sistema foi utilizado um ventilador radial com capacidade de  $200 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Um duto de ar de secção retangular (56 cm de largura x 34 cm de altura e 24 cm de comprimento) foi utilizado para conectar o ventilador à câmara de secagem, tendo o duto uma secção retangular de 56 cm x 34 cm e comprimento de x 24 cm. O duto foi confeccionado em aço galvanizado com espessura de 1 mm e isolado termicamente com lã de vidro de 5 cm. No interior do duto foram colocadas resistências elétricas perpendiculares à direção da corrente de ar, para que o ar seja aquecido. Uma abertura de 10 cm x 8 cm feita na parede posterior do micro-ondas para que o ar aquecido possa entrar e colocada uma chapa perfurada de aço inox para prevenir fuga das micro-ondas. Também foi feito outro orifício de 10 cm x 8 cm na parede superior do micro-ondas para remoção do ar quente durante a secagem.

Foi acoplada uma balança digital de  $3100 \text{ g} \pm 0,001 \text{ g}$  abaixo do prato rotativo do micro-ondas, para que pudesse ser medida de forma contínua a massa da amostra a ser seca. Para controlar a aplicação de intermitência dos métodos de secagem nos intervalos desejados, juntamente com ventilador e a frequência do prato da câmara de secagem, o sistema tem um controle lógico programável (CLP). Para obter temperaturas com máxima variação na faixa de 0,1 a 0,3 °C com diferentes velocidades do ar foram usados um controle proporcional integral derivativo (PID) e um relé sólido.

Dentro do duto de ar, a temperatura é medida com sensor de resistência de platina PT100. Para se obter uma secagem homogênea, o prato do micro-

ondas onde a amostra deve ser colocada, gira com frequência constante e determinada, para obter uma distribuição uniforme da energia em todo o material.

Assim, o sistema tem capacidade de operar em diferentes condições como secagem micro-ondas-convectiva contínua (ar quente e micro-ondas juntos), micro-ondas-convectiva intermitente (ora ar quente, ora micro-ondas), somente ar quente e somente micro-ondas.

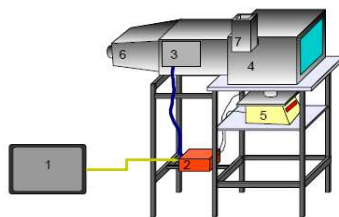


Figura 1 Esquema secador micro-ondas convectivo.



Figura 2 Sistema experimental micro-ondas-convectivo

### **3.6 O processo de secagem dos tomates**

Os experimentos de secagem foram realizados pela ação de ar aquecido, como secagem convectiva, por uso de micro-ondas, secagem por micro-ondas e pelo uso das duas técnicas de maneira consecutiva ou intermitente.

#### **3.6.1 Secagem convectiva**

Para a realização da secagem convectiva, a temperatura do ar de secagem foi de 40 e 60 °C, com a velocidade do ar de 2,22 m.s<sup>-1</sup>, para que não houvesse degradação significativa dos nutrientes dos tomates, bem como interferência na cor e textura devido à ação do calor.

#### **3.6.2 Secagem por micro-ondas**

Na secagem por micro-ondas, os experimentos foram executados utilizando as seguintes combinações: micro-ondas, convectiva e intermitente. A secagem intermitente seguiu o seguinte princípio, intercalar o tempo em segundos com acionamento de micro-ondas (on) e sem acionamento de micro-ondas, mas com ação da secagem convectiva (off) até o final da secagem:

#### **3.6.3 Cálculo da Taxa de Pulso**

Para a secagem por micro-ondas, foi utilizada uma potência definida pela razão entre a potência máxima aplicada e a taxa de pulso. A taxa de pulso (PR) é dada pela Equação 1:

$$PR = \frac{t_{on} + t_{off}}{t_{on}} \quad (3)$$

onde,

$T_{on}$ : Tempo de secagem por micro-ondas (h);

$T_{off}$ : Tempo de secagem convectiva (h).

A massa da amostra foi medida pela balança acoplada ao sistema e registrada pelo aquisitor de dados. Estas medidas foram realizadas em intervalos de tempo de 5 em 5 segundos para avaliação do processo de secagem e determinação das curvas de secagem. De posse destas curvas, devem-se conhecer as taxas de secagem com relação aos processos estudados (convectivo, micro-ondas ou micro-ondas convectivo) e com relação à influência da desidratação osmótica no processo de secagem.

### **3.7 Avaliação da qualidade dos tomates secos**

Foram realizadas as seguintes avaliações físicas e químicas para verificação da qualidade final do produto após a secagem.

#### **3.7.1 Avaliação do encolhimento**

O encolhimento das amostras de tomate seco foi determinado por experimentos de massa específica com uso de tolueno, conforme método de Mohsenin (1986). Medindo a diferença do volume ocupado pela amostra de tomate em um béquer com volume conhecido, e preenchido com tolueno. O

encolhimento é dado pela Equação 2 (LAZANO; ROTSTEIN; URBICAIN, 1983).

$$S_b = \frac{V_b(X)}{V_{b,0}} \quad (4)$$

onde,

$S_b$ : Coeficiente de encolhimento volumétrico (adimensional);

$V_{b(X)}$ : Volume da amostra com teor de água X (m<sup>3</sup>);

$V_{b,0}$ : Volume da amostra com teor de água inicial (m<sup>3</sup>).

### 3.7.2 Capacidade de reidratação

A capacidade de reidratação foi obtida com base no método recomendado pela United States of Department Agriculture - USDA (1944). A quantidade de 150 mL de água destilada foi inserida em um béquer de 500 mL e mantida em ebulição por 3 minutos. Após este período, aproximadamente 5 g da amostra seca foram ser adicionados à água em ebulição e mantidos por 5 minutos. A amostra reidratada foi transferida para um sistema de filtração com funil de Büchner e papel de filtro.

A água foi, então, drenada da amostra com uma delicada compressão até que não fossem mais observadas gotas de água deixando o funil. A seguir, a amostra, retirada do funil foi pesada e a capacidade de reidratação calculada pela Equação 3.

$$COR = \frac{m_{rh}(100 - X_o)}{m_{dh}(100 - X_{dh})} \quad (3)$$

onde,

COR: Coeficiente de reidratação (adimensional);

$m_{rh}$ : Massa da amostra reidratada (Kg);

$m_{dh}$ : Massa do produto desidratado (Kg);

$X_0$ : Teor de água inicial (%);

$X_{dh}$ : Teor de água da amostra seca (%).

### 3.7.3 Avaliação da qualidade visual

A aparência do produto foi avaliada com um índice de qualidade com valores compreendidos entre 1 (mais alta qualidade) e 5 (pouca qualidade), como apresentada na Tabela 1. Esta avaliação foi também utilizada em outros trabalhos de secagem por micro-ondas (CORRÊA et al., 2011; NORDIN et al., 2009; TULASIDAS et al., 1995). Esta avaliação costuma ser realizada somente por um observador e serve como uma referência. Embora não tenha a precisão de um estudo de análise sensorial, traz a informação da impressão visual que o operador tem de sua amostra fresca.

Tabela 1 Índices de avaliação de qualidade visual

Índice	Qualidade	Descrição
1	<i>Excelente</i>	<i>Muito boa aparência geral, secagem uniforme, sem mudança de cor</i>
2	<i>Boa</i>	<i>Boa aparência, secagem menos uniforme, pequena mudança de cor</i>
3	<i>Satisfatória</i>	<i>Aparência satisfatória, algumas amostras estão sobre ou sub secas, escurecimento torna-se visível</i>



“Tabela 1, conclusão”

Índice	Qualidade	Descrição
4	Pobre	<i>Aparência pobre, várias amostras estão sobre ou sub secas, mais intenso escurecimento de algumas amostras</i>
5	<i>Sem condições de uso</i>	<i>Aparência ruim, várias amostras estão sobre ou sub secas, intenso escurecimento das amostras</i>

### 3.7.4 Teor de água

O teor de água foi determinado por gravimetria a 65 °C até peso constante em estufa a vácuo.

### 3.7.5 Teor de caratenoides

Para a determinação do teor de caratenoides foi utilizada a metodologia proposta por Rodriguez-Amaya (1999), que se baseia na extração com acetona seguida de separação por éter de petróleo e, conseqüentemente medida a absorvância de 468 nm (Beckman, modelo 640 B). O teor total de caratenoides foi calculado em µg carotenoides por g de material inicial em base seca. No tomate processado, o teor de caratenoides foi calculado pela equação 4, de Murphy, Criner e Gray (1975), sendo esta mais adequada e precisa para o cálculo de retenção de nutrientes quando há alteração do peso, como a desidratação osmótica. Tal formulação resulta em µg de caratenoides por grama de produto processado.

$$\% \text{ Reten\c{c}\~{a}o} = \frac{\mu\text{g} \left( \frac{\text{carotenoide}}{\text{g de alimento pro}} \right) X \text{ g de alimento pro}}{\mu\text{g} \left( \frac{\text{carotenoide}}{\text{g de alimento n\~{a}o pro}} \right) X \text{ g de alimento n\~{a}o pro}}$$

(4)

### 3.7.6 Atividade de \u00e1gua

A determina\u00e7\u00e3o da atividade de \u00e1gua ocorreu \u00e0 temperatura de 25 \u00b0C com o uso do equipamento Aqualab, modelo CX-2T (Decagon Devices Inc., Pullman, WA, EUA).

### 3.7.7 Cor

A colora\u00e7\u00e3o das amostras foi mensurada com color\u00edmetro eletr\u00f4nico Minolta CR 400 (Minolta C\u00e2mera Co. Ltd, Osaka, Japan) a 25 \u00b0C, de acordo com os padr\u00f5es L\*, a\* e b\*. Par\u00e2metros de cor como L\* que representa a luminosidade entre o preto e o branco, a\* a varia\u00e7\u00e3o da cor na propor\u00e7\u00e3o do vermelho e verde, b\* a varia\u00e7\u00e3o da cor na propor\u00e7\u00e3o do amarelo e azul, C\* a cromaticidade que representa a intensidade da cor, H\* que significa o \u00e2ngulo relativo ao tom e a\*/b\*, devem ser usados em avalia\u00e7\u00e3o de cor, de acordo com as equa\u00e7\u00f5es 5 e 6:

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (5)$$

$$H^* = \frac{\arctan b^*}{a^*} \quad (6)$$

### 3.7.8 pH

O pH foi determinado por potenciometria em potenciômetro Digimed modelo DMpH-2, após filtragem do homogenato em gase.

### 3.8 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos inteiramente casualizado com esquema fatorial de (2x6x2). Os fatores foram: temperatura do ar de secagem 40 °C e 60 °C, utilização de micro-ondas na secagem, sendo uso de micro-ondas por todo o período de secagem, sem uso de micro-ondas (secagem convectiva) e secagem intermitente, em segundos, com acionamento (on) e desligamento (off): 30 on 30 off, 30 on 45 off, 30 on 60 off e 30 on 90 off, e com utilização de pré tratamento osmótico e sem utilização de pré tratamento osmótico. Os valores foram calculados pelo valor p de 5% de significância, no teste de Tukey.

Tabela 2 Condições experimentais

Sem DOAU		Com DOAU	
Acionamento	Temp (°C)	Acionamento	Temp (°C)
Micro-ondas	40	Micro-ondas	40
Convectivo	40	Convectivo	40
30 on – 30 off (PR1)	40	30 on – 30 off (PR1)	40
30 on – 45 off (PR2)	40	30 on – 45 off (PR2)	40
30 on – 60 off (PR3)	40	30 on – 60 off (PR3)	40
30 on – 90 off (PR4)	40	30 on – 90 off (PR4)	40

“Tabela 2, conclusão”

<b>Sem DOAU</b>		<b>Com DOAU</b>	
Acionamento	Temp (°C)	Acionamento	Temp (°C)
Micro-ondas	60	Micro-ondas	60
Convectivo	60	Convectivo	60
30 on – 30 off (PR1)	60	30 on – 30 off (PR1)	60
30 on – 45 off (PR2)	60	30 on – 45 off (PR2)	60
30 on – 60 off (PR3)	60	30 on – 60 off (PR3)	60
30 on – 90 off (PR4)	60	30 on – 90 off (PR4)	60

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização da matéria prima

As fatias de tomates após a higienização e remoção da polpa e das sementes apresentaram as seguintes características, de acordo com a tabela 3:

Tabela 3 Valores para fatias de tomates *in natura*

Parâmetro	Valor					
Aw	0,998					
Teor de Água	0,963					
Volume Inicial	15,365					
Sólidos Solúveis	6,300					
Teor de Licopeno	36,800					
pH	4,400					
Cor	Face Superior			Face Inferior		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
	30,82	7,91	7,17	30,41	15,59	10,16

## 4.2 Desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU)

Tabela 4 Valores para fatias de tomates *in natura*

Parâmetro	Valor					
Aw	0,977					
Teor de Água	0,942					
Cor	Face Superior			Face Inferior		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
	28,55	9,92	5,87	26,72	12,36	8,63

## 4.3 Cinética de secagem

Neste item são apresentados os resultados de cinética de secagem para os diversos experimentos realizados com diferentes relações de secagem micro-ondas e secagem convectiva a 40 e 60 °C, com e sem desidratação osmótica assistida por ultrassom. Os dados de ajuste do modelo de Page estão apresentados na Tabela 5.

As figuras 3 a 8 apresentam as cinéticas de secagem experimentais e modeladas com o modelo de Page (1949). Os valores de teor de umidade de equilíbrio foram obtidos em Akambi, Adeyemo e Ojo (2006) e Coelho e Pinto (2011).

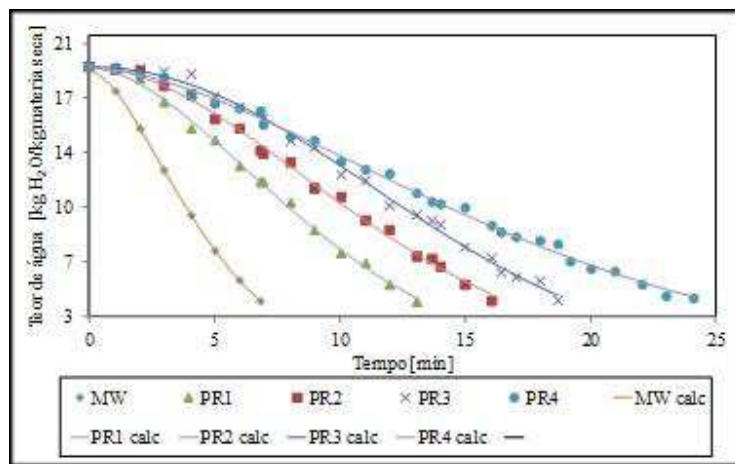


Figura 3 Cinética de secagem de fatias de tomate a 40 °C

Nota: Mw significa secagem micro-ondas, PR1, secagem micro-ondas convectiva 30 on, 30 off; PR2, secagem micro-ondas convectiva 30 on, 45 off; PR3, secagem micro-ondas convectiva 30 on, 60 off; PR4, secagem micro-ondas convectiva 30 on, 90 off; calc é relativo a cinéticas ajustadas pelo modelo de Page (1949).

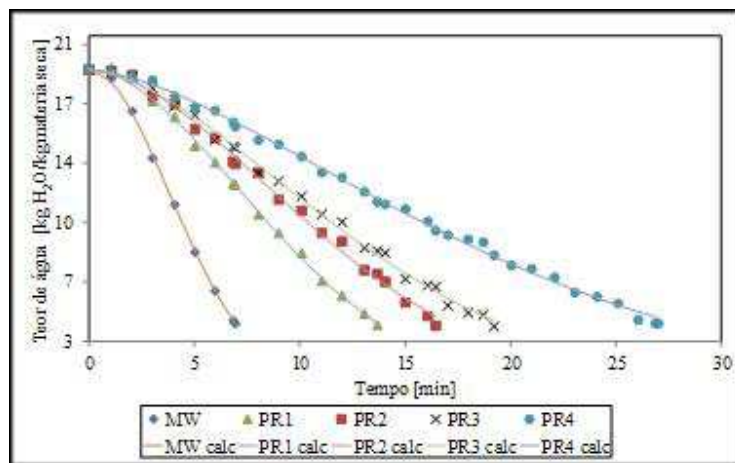


Figura 4 Cinética de secagem de fatias de tomate a 60 °C

Nota: Mw significa secagem micro-ondas, PR1, secagem micro-ondas convectiva 30 on, 30 off; PR2, secagem micro-ondas convectiva 30 on, 45 off; PR3, secagem micro-ondas convectiva 30 on, 60 off; PR4, secagem micro-ondas convectiva 30 on, 90 off; calc é relativo a cinéticas ajustadas pelo modelo de Page (1949).

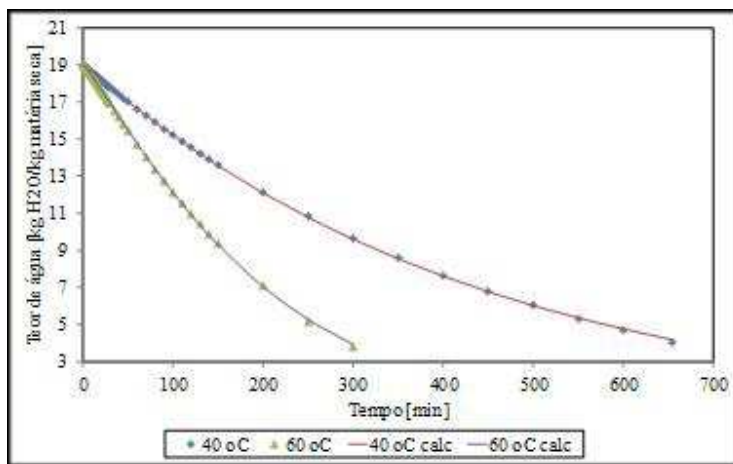


Figura 5 Cinética de secagem convectiva de fatias de tomate

Nota: Calculo é relativo a cinéticas ajustadas pelo modelo de Page (1949).

Pela observação das Figuras 3 e 4, vê-se que tanto para a temperatura de 40 °C quanto para a temperatura de 60 °C, quanto maior o PR, maior o tempo de secagem, ou seja, quanto maior o tempo de secagem convectivo na composição micro-ondas-convectivo, maior o tempo total de secagem. A secagem somente micro-ondas apresenta menor tempo de secagem nas duas temperaturas estudadas. Estes resultados estão de acordo com os trabalhos de Soysal et al. (2009) em que se trabalhou com secagem de pimenta vermelha e folhas de endro (*Anethum graveolens*), respectivamente.



Tabela 5 Dados de ajuste da equação de Page

<b>Temperatura 40 °C, sem DOAU</b>				
	<b>K</b>	<b>N</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>Erro padrão</b>
Convectivo	2,02x10 <sup>-3</sup>	1,02	0,9999	0,0018
PR1	17,53x10 <sup>-3</sup>	1,74	0,9977	0,0068
PR2	8,98x10 <sup>-3</sup>	1,84	0,9999	0,0095
PR3	3,40x10 <sup>-3</sup>	2,07	0,9999	0,0129
PR4	8,30x10 <sup>-3</sup>	1,63	0,9968	0,0107
Micro-ondas	7,69x10 <sup>-3</sup>	1,57	0,9992	0,0031

<b>Temperatura 40 °C, com DOAU</b>				
	<b>k</b>	<b>N</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>Erro padrão</b>
Convectivo	0,74x10 <sup>-3</sup>	0,95	0,9988	0,0174
PR1	1,25x10 <sup>-3</sup>	1,76	0,9894	0,0115
PR2	1,50x10 <sup>-3</sup>	1,60	0,9951	0,0088
PR3	1,16x10 <sup>-3</sup>	1,60	0,9927	0,0117
PR4	1,05x10 <sup>-3</sup>	1,54	0,9943	0,0093
Micro-ondas	1,98x10 <sup>-3</sup>	1,95	0,9954	0,0088

<b>Temperatura 60 °C, sem DOAU</b>				
	<b>k</b>	<b>N</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>Erro padrão</b>
Convectivo	2,37x10 <sup>-3</sup>	1,14	0,9999	0,0019
PR1	12,68x10 <sup>-3</sup>	1,84	0,9983	0,0020
PR2	10,25x10 <sup>-3</sup>	1,77	0,9961	0,0103
PR3	3,40x10 <sup>-3</sup>	2,08	0,9999	0,0020
PR4	8,30x10 <sup>-3</sup>	1,56	0,9978	0,0094
Micro-ondas	36,22x10 <sup>-3</sup>	1,94	0,9995	0,0029

“Tabela 5, conclusão”

<b>Temperatura 60 °C, com DOAU</b>				
	<b>k</b>	<b>N</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>Erro padrão</b>
Convectivo	0,92x10 <sup>-3</sup>	1,02	0,996	0,0099
PR1	1,13x10 <sup>-3</sup>	1,79	0,9893	0,0115
PR2	2,14x10 <sup>-3</sup>	1,57	0,9615	0,0226
PR3	1,87x10 <sup>-3</sup>	1,58	0,9519	0,0261
PR4	1,07x10 <sup>-3</sup>	1,52	0,9949	0,0111
Micro-ondas	1,27x10 <sup>-3</sup>	1,79	0,9960	0,0104

Naquele trabalho com endro, o ajuste das curvas de cinética de secagem com o modelo de Page (1949) também foi altamente satisfatório, como os encontrados no presente trabalho. Os parâmetros de ajuste da equação de Page, k e n, refletem o aumento da taxa de secagem que ocorre no sentido do experimento convectivo, PR1, PR2, PR3, PR4 e micro-ondas, pois há um aumento destes parâmetros desde o convectivo ao micro-ondas.

Ao se comparar os tempos de secagem obtidos na figura 5, em que foram desenvolvidas secagens convectivas a 40 e 60 °C observa-se que houve uma grande redução no tempo de secagem ao se trabalhar com a maior temperatura. Em processos de secagem convectiva, o aumento da temperatura leva a um aumento das taxas de transferência de energia e de massa e o tempo de secagem é, geralmente, menor. Os tempos de secagem também são apresentados na Tabela 5. Para os tratamentos micro-ondas-convectivos (Figuras 3 e 4), observou-se uma tendência de aumento no tempo de secagem ao se trabalhar com a maior temperatura (Tabela 4). Nota-se que as diferenças são bastante pequenas e são atribuídas a erros experimentais, uma vez que não correspondem ao comportamento físico esperado.

Tabela 6 Tempos finais de secagem em diversas configurações de secagem micro-ondas-convectiva

Condição	Temperatura [°C]			
	40		60	
	S/ DO	C/ DO	S/ DO	C/ DO
Tempo [min]				
<b>MW</b>	6,84	21,2	6,96	21,0
<b>PR1</b>	13,08	41,4	13,68	36,0
<b>PR2</b>	16,08	51,0	16,44	42,6
<b>PR3</b>	18,72	60,6	19,20	47,4
<b>PR4</b>	24,12	70,2	26,88	78,0
<b>Convectivo</b>	654	1471	300	900

As Figuras 6 a 8 apresentam curvas de cinética de secagem obtidas ao se utilizar o pre tratamento osmótico

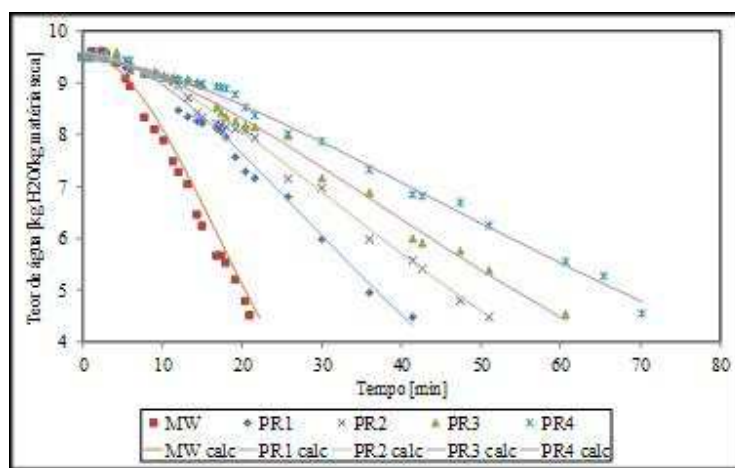


Figura 6 Cinética de secagem de fatias de tomate a 40 °C

Nota: Mw significa secagem micro-ondas, PR1, secagem micro-ondas convectiva 30 on, 30 off; PR2, secagem micro-ondas convectiva 30 on, 45 off; PR3, secagem micro-ondas convectiva 30 on, 60 off; PR4, secagem micro-ondas convectiva 30 on, 90 off; calc é relativo a cinéticas ajustadas pelo modelo de Page (1949).

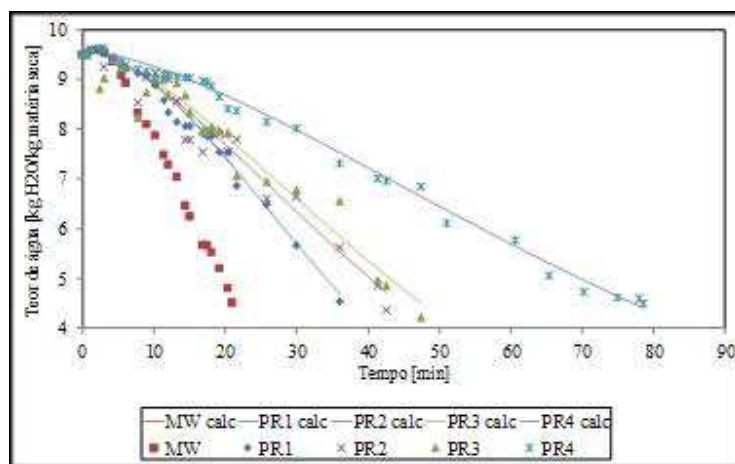


Figura 7 Cinética de secagem de fatias de tomate a 60 °C

Nota: Mw significa secagem micro-ondas, PR1, secagem micro-ondas convectiva 30 on, 30 off; PR2, secagem micro-ondas convectiva 30 on, 45 off; PR3, secagem micro-ondas convectiva 30 on, 60 off; PR4, secagem micro-ondas convectiva 30 on, 90 off; calc é relativo a cinéticas ajustadas pelo modelo de Page (1949).

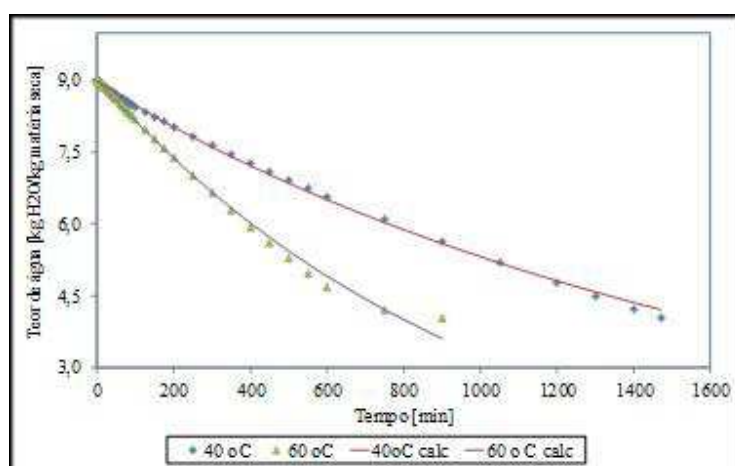


Figura 8 Cinética de secagem convectiva de fatias de tomate. Calc é relativo a cinéticas ajustadas pelo modelo de Page (1949)

Pela observação das Figuras 6 e 7 (assim como foi observado para as Figuras 3 e 4), quanto maior o PR, maior o tempo de secagem, ou seja, quanto maior o tempo de secagem convectivo na composição micro-ondas-convectivo, maior o tempo total de secagem. A secagem somente micro-ondas apresenta menor tempo de secagem nas duas temperaturas estudadas.

Novamente, os dados reportados corroboram os de Soysal et al. (2009), assim como o ajuste das curvas de cinética de secagem com o modelo de Page (1949), com ajuste altamente satisfatório (Tabela 3). Os parâmetros de ajuste da equação de Page,  $k$  e  $n$ , refletem o aumento da taxa de secagem que ocorre no sentido do experimento convectivo, PR1, PR2, PR3, PR4 e micro-ondas, pois há um aumento destes parâmetros desde o convectivo ao micro-ondas.

Os tempos de secagem obtidos nas figuras 6 a 8 mostram que ao se comparar os dados dos mesmos tratamentos realizados a 40 e 60 °C, houve redução no tempo de secagem ao se trabalhar com a maior temperatura. Este comportamento está de acordo com a física do processo de secagem. O aumento da temperatura deve levar a um aumento das taxas de transferência de energia e de massa e o tempo de secagem é, geralmente, menor (Tabela 6), exceção para os dados de PR4, com comportamento inverso, sem explicação física e diferença atribuída a erro experimental ou alguma diferença no fruto.

Deve-se aqui observar (Figuras 3 a 8 e tabela 6) que o tratamento osmótico, apesar de diminuir o teor de água inicial, levou a um aumento do tempo final de secagem. Experimentos de secagem precedidos de desidratação osmótica, em geral, apresentam menores tempos de secagem, pois a desidratação osmótica causa danos na estrutura celular do alimento, facilitando a posterior remoção de água pela secagem. Porém, no presente trabalho, o comportamento inverso pode ser explicado pela alteração das propriedades dielétricas da água quando o NaCl é adicionado (ZHANG et al., 2007). O sal forma ligações com a

água, dificultando a remoção da mesma. De acordo com Zhang et al. (2007), as alterações nas propriedades dielétricas são maiores em umidade não ligada que em umidade ligada. No presente trabalho o produto obtido foi um tomate semi-desidratado com teor de umidade final de 4 em base seca, mas de 85% em base úmida, ou seja, a umidade retirada foi basicamente umidade não ligada.

#### **4.4 Cor**

Os resultados de análise de cor após os experimentos de secagem são apresentados a seguir. Como os parâmetros de cor são  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , e o interesse é que haja a menor variação possível, avaliamos as relações  $L/L_0$ ,  $a/a_0$  e  $b/b_0$ .

Como as amostras mantinham a pele do tomate e estas eram mantidas em contato com o prato do micro-ondas, aqui a pele das amostras é chamada face inferior e a parte da polpa é a face superior. Para a avaliação estatística, as análises de variância e de desdobramento foram realizadas pelo software SISVAR. O teste para discriminar as médias dos tratamentos foi o teste de Tukey, com nível de 5% de significância.

##### **4.4.1 Relação $a^*/a_0^*$**

Os resultados da relação  $a^*/a_0^*$  da face inferior das amostras submetidas à secagem são apresentadas na tabela 7.

Tabela 7 Relação entre  $a^*/a_0^*$  da face inferior de fatias de tomate para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva, sem e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU)

Acionamento	Sem DOAU		Com DOAU	
	40 °C	60 °C	40 °C	60 °C
Convectivo	1,10 <sup>b</sup>	1,44 <sup>b</sup>	0,86 <sup>a</sup>	0,74 <sup>a</sup>
PR4	0,71 <sup>ab</sup>	1,30 <sup>ab</sup>	0,72 <sup>a</sup>	0,80 <sup>a</sup>
PR3	0,59 <sup>ab</sup>	1,06 <sup>ab</sup>	0,85 <sup>a</sup>	0,90 <sup>a</sup>
PR2	0,70 <sup>ab</sup>	1,29 <sup>ab</sup>	0,83 <sup>a</sup>	0,72 <sup>a</sup>
PR1	0,49 <sup>a</sup>	0,90 <sup>ab</sup>	0,81 <sup>a</sup>	0,68 <sup>a</sup>
Micro-ondas	0,91 <sup>ab</sup>	0,76 <sup>a</sup>	1,05 <sup>a</sup>	0,73 <sup>a</sup>

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

Para os ensaios sem a utilização de DOAU, podemos observar que tanto na temperatura de 40 °C, como a 60 °C, os tratamentos diferiram entre sim. O acionamento com secagem convectiva apresentou uma maior diferenciação do produto *in natura*, quando comparado ao acionamento com secagem por micro-ondas. Os demais acionamentos com intermitência entre micro-ondas e convectivo, não diferiram do acionamento micro-ondas, porém também não apresentaram uma tendência clara quanto aos acionamentos utilizados nos ensaios.

A 40 °C e a 60 °C não há variação significativa entre os diversos acionamentos, não apresentando uma tendência clara na variação de  $a^*/a_0^*$  com o aumento de incidência de micro-ondas. Embora a secagem por micro-ondas seja a que apresente o valor de  $a^*/a_0^*$  mais próximo de 1 e  $a^*$  se refere à cor vermelha, estatisticamente não há uma tendência clara em relação a esta variável em cada tipo de secagem neste trabalho.

Na tabela 8 são apresentados os resultados para a relação  $a^*/a_0^*$  da face superior das amostras de tomates após a secagem.

Tabela 8 Relação entre  $a^*/a_0^*$  da face superior de fatias de tomate para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva, sem e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU)

Acionamento	Sem DOAU		Com DOAU	
	40 °C	60 °C	40 °C	60 °C
Convectivo	2,45 <sup>b</sup>	2,32 <sup>ab</sup>	1,37 <sup>a</sup>	1,07 <sup>a</sup>
PR4	1,52 <sup>ab</sup>	2,85 <sup>b</sup>	1,22 <sup>a</sup>	1,86 <sup>ab</sup>
PR3	1,05 <sup>a</sup>	2,56 <sup>b</sup>	1,28 <sup>a</sup>	2,03 <sup>b</sup>
PR2	1,42 <sup>a</sup>	2,25 <sup>ab</sup>	2,01 <sup>a</sup>	1,42 <sup>ab</sup>
PR1	1,05 <sup>a</sup>	2,08 <sup>ab</sup>	1,93 <sup>a</sup>	1,57 <sup>ab</sup>
Micro-ondas	1,35 <sup>a</sup>	1,40 <sup>a</sup>	2,21 <sup>a</sup>	1,35 <sup>ab</sup>

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

Pela interpretação da tabela 8, vê-se que para a secagem sem desidratação osmótica assistida por ultrassom, há uma tendência de maior alteração do parâmetro  $a^*$  com a incidência de secagem convectiva tanto para a temperatura de 40 °C quanto para a temperatura de 60 °C.

Pelo teste de médias proposto, é possível verificar significância para a interação entre os acionamentos e as temperaturas utilizadas. Diante desse fato, a análise de desdobramento é realizada a fim de verificar se os acionamentos realmente diferem em cada nível de temperatura. Nesse caso, o teste de Tukey a 5% foi significativo somente para os acionamentos dentro da temperatura 60 °C sem e com desidratação osmótica assistida por ultrassom.



Tanto na Tabela 7 quanto na Tabela 8, pode se observar que o uso do tratamento osmótico resultou em valores de  $a/a_0$  estatisticamente iguais independentemente do tipo de secagem. Isto favorece na escolha do tipo de secagem com vantagem de parâmetro a constante.

Ao se comparar as Tabelas 7 e 8, observa se que a variação de  $a$  na parte interna do fruto é maior que a observada na pele do mesmo. Além de conter maior conteúdo de licopeno, a pele apresenta maior dureza com conseqüente menor incorporação de sólidos em processos osmóticos. Outro fato a ser apontado neste estudo é que a pele foi mantida em contato com o prato do micro-ondas durante a secagem.

#### 4.4.2 Relação $b^*/b_0^*$

A relação  $b^*/b_0^*$  da face inferior de fatias de tomate secos, estão apresentados na tabela 9.

Tabela 9 Relação entre  $b^*/b_0^*$  da face inferior de fatias de tomate para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva, sem e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU)

Acionamento	Sem DOAU		Com DOAU	
	40 °C	60 °C	40 °C	60 °C
Convectivo	0,69 <sup>a</sup>	1,05 <sup>a</sup>	1,07 <sup>a</sup>	0,59 <sup>a</sup>
PR4	0,80 <sup>a</sup>	1,10 <sup>a</sup>	0,95 <sup>a</sup>	0,76 <sup>a</sup>
PR3	0,95 <sup>a</sup>	0,95 <sup>a</sup>	0,84 <sup>a</sup>	1,23 <sup>a</sup>
PR2	0,74 <sup>a</sup>	1,13 <sup>a</sup>	1,80 <sup>a</sup>	0,55 <sup>a</sup>
PR1	0,98 <sup>a</sup>	0,94 <sup>a</sup>	0,64 <sup>a</sup>	0,54 <sup>a</sup>
Micro-ondas	0,75 <sup>a</sup>	0,98 <sup>a</sup>	0,63 <sup>a</sup>	0,73 <sup>a</sup>

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se que não há diferenças significativas para os acionamentos de micro-ondas, nem uma tendência de que o acionamento convectivo apresenta maior diferenciação com relação à amostra *in natura*.

Os resultados para  $b^*/b_0^*$  da face superior das amostras de tomates secos, estão relacionadas na tabela 10.

Tabela 10 Relação entre  $b^*/b_0^*$  da face superior de fatias de tomate para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva, sem e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU)

Acionamento	Sem DOAU		Com DOAU	
	40 °C	60 °C	40 °C	60 °C
Convectivo	0,85 <sup>a</sup>	1,64 <sup>b</sup>	0,63 <sup>a</sup>	0,52 <sup>a</sup>
PR4	0,94 <sup>a</sup>	1,07 <sup>ab</sup>	0,72 <sup>a</sup>	0,72 <sup>ab</sup>
PR3	0,73 <sup>a</sup>	1,07 <sup>ab</sup>	0,85 <sup>a</sup>	1,16 <sup>b</sup>
PR2	0,68 <sup>a</sup>	1,17 <sup>ab</sup>	0,56 <sup>a</sup>	0,29 <sup>a</sup>
PR1	0,57 <sup>a</sup>	0,98 <sup>a</sup>	0,58 <sup>a</sup>	0,48 <sup>a</sup>
Micro-ondas	0,69 <sup>a</sup>	0,80 <sup>a</sup>	0,73 <sup>a</sup>	0,71 <sup>ab</sup>

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

Para a temperatura de 40 °C, com e sem desidratação osmótica assistida por ultrassom, os acionamentos não apresentaram diferenças entre si, pelo teste de médias utilizado.

Pela análise de variância para a variável  $b^*$ , houve significância somente para os acionamentos, sendo que a temperatura e a interação entre temperatura e os acionamentos não apresentaram significância. A variável  $b^*$  representa a variação da cor na proporção do amarelo para valores positivos e azuis para valores negativos.

As amostras que foram submetidas à secagem na temperatura de 60 °C diferiram entre si, apresentando uma tendência para os acionamentos convectivos, onde os valores encontrados, ficaram o mais distante de 1, sendo assim, apresentando maior interferência do processo de secagem.

#### 4.4.3 Relação $L^*/L_0^*$

Os resultados para a relação  $L^*/L_0^*$ , estão apresentados na tabela 11.

Tabela 11 Relação entre  $L^*/L_0^*$  da face inferior de fatias de tomate para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva, sem e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU)

Acionamento	Sem DOAU		Com DOAU	
	40 °C	60 °C	40 °C	60 °C
Convectivo	0,91 <sup>a</sup>	1,18 <sup>a</sup>	0,67 <sup>a</sup>	1,03 <sup>ab</sup>
PR4	0,88 <sup>a</sup>	1,13 <sup>a</sup>	1,13 <sup>b</sup>	0,90 <sup>ab</sup>
PR3	0,96 <sup>a</sup>	1,03 <sup>a</sup>	1,07 <sup>b</sup>	0,84 <sup>a</sup>
PR2	0,84 <sup>a</sup>	1,09 <sup>a</sup>	1,06 <sup>b</sup>	1,01 <sup>ab</sup>
PR1	1,00 <sup>a</sup>	1,02 <sup>a</sup>	1,05 <sup>b</sup>	1,04 <sup>ab</sup>
Micro-ondas	0,89 <sup>a</sup>	1,01 <sup>a</sup>	1,06 <sup>b</sup>	1,11 <sup>b</sup>

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

Na face inferior das amostras submetidas aos tratamentos sem desidratação osmótica assistida por ultrassom, não houve significância para a interação temperatura e acionamentos de micro-ondas na análise de variância. Para esta situação houve significância apenas para a variável temperatura. Amostras submetidas à temperatura 60 °C, independente do tipo de

acionamento, apresentaram os melhores resultados para as amostras secas, cujo valor da relação  $L^*/L_0^*$  aproximou-se mais de 1,00. A variável  $L$  corresponde à variação da luminosidade entre o preto (0) e o branco (100). A relação  $L^*/L_0^*$  próxima de 1 indica menor interferência do processo de secagem na qualidade final do produto, com a utilização de DOAU.

Nos tratamentos que foram realizadas a secagem com desidratação osmótica assistida por ultrassom, houve significância para a interação temperatura e acionamentos de micro-ondas.

Para a temperatura de 40 °C, a variação foi significativa para os tratamentos que envolveram micro-ondas. O tratamento convectivo apresentou variação com relação aos demais, retratando escurecimento com o uso de secagem convectiva. Observou-se que para os ensaios submetidos à temperatura de 60 °C houve variação significativa com o uso de micro-ondas ou secagem convectiva.

A tabela 12 apresenta os valores da relação  $L^*/L_0^*$  na face superior de fatias de tomates, obtidos após a secagem.

Tabela 12 Relação entre  $L^*/L_0^*$  da face superior de fatias de tomate para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva, sem e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU)

Acionamento	Sem DOAU		Com DOAU	
	40 °C	60 °C	40 °C	60 °C
Convectivo	0,84 <sup>b</sup>	1,25 <sup>c</sup>	0,78 <sup>a</sup>	0,92 <sup>ab</sup>
PR4	0,83 <sup>b</sup>	1,00 <sup>b</sup>	0,92 <sup>ab</sup>	0,78 <sup>a</sup>
PR3	0,70 <sup>ab</sup>	0,89 <sup>ab</sup>	0,93 <sup>ab</sup>	0,82 <sup>ab</sup>
PR2	0,67 <sup>ab</sup>	0,95 <sup>ab</sup>	0,92 <sup>ab</sup>	0,82 <sup>ab</sup>
PR1	0,65 <sup>ab</sup>	0,85 <sup>ab</sup>	0,91 <sup>ab</sup>	0,87 <sup>ab</sup>
Micro-ondas	0,60 <sup>a</sup>	0,77 <sup>a</sup>	0,95 <sup>b</sup>	0,95 <sup>b</sup>

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

Para os ensaios realizados com as amostras sem desidratação osmótica assistida por ultrassom, houve diferença significativa para a interação entre a temperatura e os acionamentos. Como a temperatura foi significativa, a média das amostras submetidas à temperatura de 60 °C foi maior. Sendo assim, as amostras finais pouco diferiram da amostra *in natura*.

Já para os acionamentos de micro-ondas, na temperatura de 40 °C o melhor resultado foi o tratamento com secagem completa pelo sistema convectivo, com o valor de 0,84, não diferindo estatisticamente do tratamento 30 on – 90 off, com o valor de 0,83, sendo assim, apresentaram os melhores resultados para a amostra seca. O tratamento que apresentou o pior resultado na amostra final foi aquele que as amostras foram submetidas à secagem completa por micro-ondas com o menor valor para a relação  $L^*/L_0^*$ , 0,60.

Ao se comparar os valores de  $L^*/L_0^*$  com e sem desidratação osmótica assistida por ultrassom, vê-se que houve maior escurecimento (menores valores de  $L^*/L_0^*$ ) quando não se utilizou a desidratação osmótica. Desta forma, concluiu-se que a desidratação osmótica contribuiu para a diminuição do escurecimento em experimentos de secagem micro-ondas, micro-ondas convectivo e convectivo.

Há significância na interação entre os acionamentos e a temperatura apresentada na análise de variância para a variável L.

Para os ensaios com a temperatura de 40 °C, os melhores resultados das amostras desidratadas ocorreram quando o fator micro-ondas era mais pronunciado. A secagem completa por micro-ondas apresentou o valor de 0,95. Sendo assim foi, a média das amostras que menos diferiu das amostras *in natura*.

Os demais acionamentos que conjugam secagem por micro-ondas e convectivo não diferiram estatisticamente do tratamento por micro-ondas nem do convectivo. Nesse caso, pode-se concluir que os tratamentos com micro-

ondas e convectivo também apresentaram um bom resultado final para a secagem.

Para a secagem com temperatura de 60 °C, embora o acionamento secagem completa por micro-ondas apresente valor para a relação  $L^*/L_0^*$  de 0,95, os valores obtidos para a secagem totalmente por micro-ondas e totalmente convectivo não diferiam estatisticamente. Houve diferença estatística somente para o acionamento 30 on – 90 off. Por isso é possível afirmar que esses tratamentos também apresentam um bom resultado para a qualidade das amostras secas, segundo o parâmetro L.

Assim como observado nas tabelas 8 e 9, onde se analisou  $a/a_0$ , houve maior variação de L na parte superior que na parte inferior, ou seja, maior variação na polpa que na pele das amostras. Ou seja, maior escurecimento na polpa que na pele da amostra. Como já observado, a pele contém maior conteúdo de pigmentação, maior dureza e menor incorporação de sólidos em processos osmóticos. Además, no presente estudo, a pele foi mantida em contato com o prato do micro-ondas durante a secagem.

#### **4.4.4 Cromaticidade (C)**

A tabela 13 apresenta os resultados obtidos para a cromaticidade nos diferentes acionamentos e temperaturas sem e com DOAU.

Tabela 13 Cromaticidade (C) da face inferior de fatias de tomate para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva, sem e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU)

Acionamento	Sem DOAU		Com DOAU	
	40 °C	60 °C	40 °C	60 °C
Convectivo	15,67 <sup>a</sup>	21,23 <sup>a</sup>	15,86 <sup>a</sup>	11,19 <sup>a</sup>
PR4	12,44 <sup>a</sup>	20,03 <sup>a</sup>	13,82 <sup>a</sup>	12,96 <sup>a</sup>
PR3	12,76 <sup>a</sup>	16,71 <sup>a</sup>	14,06 <sup>a</sup>	17,79 <sup>a</sup>
PR2	11,91 <sup>a</sup>	20,24 <sup>a</sup>	23,16 <sup>a</sup>	10,78 <sup>a</sup>
PR1	12,96 <sup>a</sup>	15,11 <sup>a</sup>	12,18 <sup>a</sup>	10,31 <sup>a</sup>
Micro-ondas	14,02 <sup>a</sup>	14,40 <sup>a</sup>	14,66 <sup>a</sup>	12,10 <sup>a</sup>

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

Os acionamentos de micro-ondas não diferiram estatisticamente pelo teste de médias proposto a 5% de significância. Nenhuma tendência entre os valores foi observada, assim como as médias dos acionamentos não tiveram interferência da temperatura e do pré-tratamento.

A tabela 14 apresenta os resultados para cromaticidade da face superior das fatias de tomates após a secagem.

Tabela 14 Cromaticidade (C) da face superior de fatias de tomate para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva, sem e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU)

Acionamento	Sem DOAU		Com DOAU	
	40 °C	60 °C	40 °C	60 °C
Convectivo	15,23 <sup>b</sup>	21,43 <sup>c</sup>	9,58 <sup>a</sup>	7,71 <sup>a</sup>
PR4	12,73 <sup>a b</sup>	18,22 <sup>b c</sup>	9,90 <sup>a</sup>	12,05 <sup>a b</sup>
PR3	9,63 <sup>a</sup>	17,09 <sup>b c</sup>	11,44 <sup>a</sup>	17,40 <sup>b</sup>
PR2	10,23 <sup>a</sup>	17,38 <sup>b c</sup>	11,53 <sup>a</sup>	7,66 <sup>a</sup>
PR1	8,17 <sup>a</sup>	15,01 <sup>a b</sup>	11,39 <sup>a</sup>	9,40 <sup>a</sup>
Micro-ondas	10,33 <sup>a b</sup>	11,24 <sup>a</sup>	13,43 <sup>a</sup>	10,30 <sup>a</sup>

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

A interação não foi significativa, portanto a temperatura não afetou a resposta dos diferentes acionamentos de micro-ondas. Então foi realizado o teste de Tukey separadamente para cada fonte de variação.

As amostras secas que obtiveram melhor qualidade foram aquelas submetidas à temperatura 40 °C, pois a médias de todas as amostras, independente do acionamento, foram as menores em relação a temperatura de 60 °C . Portanto diferiu menos da amostra *in natura*.

Considerando somente os acionamentos, as melhores médias foram dos seguintes acionamentos Micro-ondas, PR1, PR3, PR2. Diferindo dos outros dois acionamentos PR4 e secagem convectiva.

Para a cromaticidade (C) que corresponde à intensidade da cor, podemos observar pela análise de variância que houve significância para a interação entre as temperaturas e os acionamentos de micro-ondas. A partir da análise de desdobramento observam-se diferenças significativas entre os acionamentos



somente quanto às amostras que foram submetidas à secagem com temperatura 60 °C.

Na temperatura 60 °C, o melhor resultado foi apresentado pelo acionamento PR2, pois apresentou o menor valor para a variável C, 7,66. Este acionamento diferiu apenas do acionamento PR4, com o valor de 12,05. Assim podemos relatar que para a variável C os demais acionamentos também apresentaram um bom resultado final para as amostras secas.

#### 4.4.5 Ângulo Hue (H)

A tabela 15 apresenta os resultados para o ângulo Hue da face inferior de fatias de tomates semi secas.

Tabela 15 Hue (H) da face inferior de fatias de tomate para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva, sem e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU)

Acionamento	Sem DOAU		Com DOAU	
	40 °C	60 °C	40 °C	60 °C
Convectivo	0,54 a	0,58 a	0,85 a b	0,61 a
PR4	0,78 a b c	0,64 a	0,86 a b	0,70 a
PR3	0,95 b c	0,67 a	0,72 a b	0,83 a
PR2	0,75 a b c	0,67 a	0,91 b	0,58 a
PR1	1,00 c	0,75 a	0,61 a b	0,61 a
Micro-ondas	0,63 a b	0,84 a	0,49 a	0,74 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se que para a temperatura de 60 °C tanto no tratamento sem DOAU e com DOAU, as médias dos tratamentos não diferiram entre si pelo

teste de médias proposto. Porém nota-se uma tendência para o acionamento convectivo, com menores valores para Hue.

Na temperatura de 40 °C, os tratamentos diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância, porém não se pode inferir sobre nenhuma tendência.

Os resultados para Hue da face superior são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 16 Hue (H) da face superior de fatias de tomate para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva, sem e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU)

Acionamento	Sem DOAU		Com DOAU	
	40 °C	60 °C	40 °C	60 °C
Convectivo	0,68 a	1,00 a	0,79 a b	0,82 a
PR4	0,94 a	0,71 a	0,93 a b	0,72 a
PR3	0,98 a	0,76 a	0,99 b	0,81 a
PR2	0,81 a	0,84 a	0,53 a	0,46 a
PR1	0,88 a	0,81 a	0,60 a b	0,59 a
Micro-ondas	0,81 a	0,92 a	0,61 a b	0,87 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

É possível observar que não houve diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Para os acionamentos com DOAU, de acordo com a análise de variância, houve significância para a interação micro-ondas e temperatura. Na temperatura de 40 °C considerando a variável Hue (H), que é o ângulo relativo ao tom, houve significância apenas para a fonte de variação acionamentos do micro-ondas.

O teste de Tukey usado para os acionamentos identificou o melhor resultado apresentado para a secagem, foi o acionamento PR3, com o maior valor para a variável H de 0,99. Não diferindo estatisticamente dos acionamentos PR4, convectivo e micro-ondas, sendo assim podemos afirmar que estes acionamentos também apresentaram um bom resultado após a secagem.

#### 4.5 Atividade de Água ( $A_w$ )

A atividade de água das amostras submetidas à secagem é apresentada na Tabela 17.

Tabela 17 Atividade de água para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva de fatias de tomate, sem desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU) e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU)

Acionamento	Sem DOAU		Com DOAU	
	40 °C	60 °C	40 °C	60 °C
Convectivo	0,967 <sup>a</sup>	0,987 <sup>b</sup>	0,933 <sup>a</sup>	0,963 <sup>a</sup>
PR4	0,993 <sup>b</sup>	0,967 <sup>a</sup>	0,947 <sup>a</sup>	0,953 <sup>a</sup>
PR3	0,963 <sup>a</sup>	0,963 <sup>a</sup>	0,950 <sup>a</sup>	0,960 <sup>a</sup>
PR2	0,963 <sup>a</sup>	0,980 <sup>ab</sup>	0,927 <sup>a</sup>	0,953 <sup>a</sup>
PR1	0,963 <sup>a</sup>	0,987 <sup>b</sup>	0,953 <sup>a</sup>	0,943 <sup>a</sup>
Micro-ondas	0,970 <sup>a</sup>	0,970 <sup>ab</sup>	0,933 <sup>a</sup>	0,947 <sup>a</sup>

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

A atividade de água diferiu entre os tratamentos somente para o ensaio sem o pré- tratamento osmótico. Os acionamentos com o pré-tratamento osmótico apresentaram valores para  $A_w$  menores do que os ensaios sem o pré

tratamento, diminuindo a água disponível para reações. A desidratação osmótica por meio da redução da umidade do alimento e também pela incorporação de sólidos promove uma redução da  $A_w$ .

No presente trabalho, as amostras frescas apresentaram  $A_w$  de 0,999. Desta forma, a secagem micro-ondas convectiva apresentou uma redução da  $A_w$  de 2,8% e a secagem micro-ondas convectiva precedida de DOAU apresentou uma redução da  $A_w$  de 5,2%. Observou-se que com a DOAU, há uma redução considerável na  $A_w$ . Como as amostras secas apresentavam mesmo teor de umidade final, é de se esperar que os resultados finais de atividades de água estejam próximos e que sejam diferentes com o pré tratamento pela incorporação de sal no produto final, que indisponibiliza água livre.

Para a temperatura de 40 °C sem desidratação osmótica assistida por ultrassom, o acionamento de micro-ondas 30 on – 90 off, apresentou o maior valor para  $A_w$ , com o valor de 0,993, diferindo dos demais tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de significância, onde a atividade de água não ultrapassou o valor de 0,970. Sendo assim, o acionamento de PR4 off foi o que apresentou maior quantidade de água disponível para reações.

#### **4.6 Encolhimento**

A Tabela 18 apresenta o coeficiente de encolhimento para as diversas condições de secagem estudadas neste trabalho.

Tabela 18 Coeficiente de Encolhimento para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva de fatias de tomate, sem desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU) e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU)

Acionamento	Sem DOAU		Com DOAU	
	40 °C	60 °C	40 °C	60 °C
Convectivo	70,66 <sup>a</sup>	57,09 <sup>a</sup>	54,48 <sup>a</sup>	83,11 <sup>a</sup>
PR4	69,69 <sup>a</sup>	60,69 <sup>a</sup>	62,61 <sup>a</sup>	60,18 <sup>a</sup>
PR3	55,93 <sup>a</sup>	54,70 <sup>a</sup>	72,98 <sup>a</sup>	61,49 <sup>a</sup>
PR2	59,22 <sup>a</sup>	47,28 <sup>a</sup>	60,51 <sup>a</sup>	64,67 <sup>a</sup>
PR1	57,81 <sup>a</sup>	46,81 <sup>a</sup>	60,30 <sup>a</sup>	65,00 <sup>a</sup>
Micro-ondas	54,95 <sup>a</sup>	66,80 <sup>a</sup>	61,67 <sup>a</sup>	68,09 <sup>a</sup>

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observou-se que não houve diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de significância para a variável encolhimento em cada tratamento. Porém, observa-se que na secagem sem desidratação osmótica convectiva ou micro-ondas convectiva há uma tendência a um menor encolhimento com o aumento da temperatura. O reverso é observado em secagem com pré tratamento osmótico. De maneira geral, houve maior encolhimento nas secagens realizadas com pré tratamento osmótico. O encolhimento representa o quanto a amostra reduziu de tamanho depois de seca.

#### 4.7 Sólidos Solúveis

A tabela 19 apresenta os resultados de sólidos solúveis das fatias de tomates semi secos.

Tabela 19 Sólidos solúveis (° Brix) para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva de fatias de tomate, sem desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU) e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU)

Acionamento	Sem DOAU		Com DOAU	
	40 °C	60 °C	40 °C	60 °C
Convectivo	18,20 <sup>a</sup>	21,00 <sup>a</sup>	16,20 <sup>a</sup>	18,90 <sup>c</sup>
PR4	25,20 <sup>a</sup>	23,90 <sup>a</sup>	16,80 <sup>a</sup>	37,80 <sup>d</sup>
PR3	26,60 <sup>a</sup>	22,40 <sup>a</sup>	14,00 <sup>a</sup>	11,20 <sup>ab</sup>
PR2	25,90 <sup>a</sup>	23,10 <sup>a</sup>	14,70 <sup>a</sup>	13,30 <sup>ab</sup>
PR1	23,80 <sup>a</sup>	23,80 <sup>a</sup>	14,70 <sup>a</sup>	8,40 <sup>a</sup>
Micro-ondas	27,30 <sup>a</sup>	23,60 <sup>a</sup>	14,70 <sup>a</sup>	15,40 <sup>bc</sup>

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

Verificou-se que para a variável sólidos solúveis, não houve diferenças significativa pelo teste de Tukey a 5% de significância para as condições de 40 e 60 °C sem desidratação osmótica assistida por ultrassom e para a temperatura de 40 °C com desidratação osmótica assistida por ultrassom.

A condição em que os tratamentos interferiram na variável teor de sólidos solúveis foi quando as amostras foram submetidas à temperatura de 60 °C com desidratação osmótica assistida por ultrassom.

Outros trabalhos demonstraram também que a presença de ultrassom durante a secagem tem fortemente modificado o perfil das amostras (HEREDIA et al., 2010; SERVILLI; MONTEDORO, 2002). Nesse caso, o teor de sólidos solúveis é que foi afetado pelo uso de ultrassom na secagem com temperatura de 60 °C, exceto quando se utilizou PR4. Essa condição de micro-ondas-convectivo

poderia ser testada futuramente a fim de confirmar se a pequena interferência do ultrassom poderia favorecer o teor de sólidos solúveis final da amostra.

#### 4.8 pH

O pH das fatias de tomates semi desidratados são apresentado na tabela 20.

Tabela 20 pH para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva de fatias de tomate, sem desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU) e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU)

Acionamento	Sem DOAU		Com DOAU	
	40 °C	60 °C	40 °C	60 °C
Convectivo	4,20 <sup>a</sup>	3,93 <sup>a</sup>	4,1 <sup>c</sup>	3,63 <sup>a</sup>
PR4	4,33 <sup>a</sup>	4,10 <sup>a</sup>	3,77 <sup>a</sup>	3,73 <sup>a</sup>
PR3	4,37 <sup>a</sup>	4,57 <sup>b</sup>	3,87 <sup>ab</sup>	4,30 <sup>c</sup>
PR2	4,27 <sup>a</sup>	4,57 <sup>b</sup>	3,83 <sup>ab</sup>	4,10 <sup>bc</sup>
PR1	4,23 <sup>a</sup>	4,57 <sup>b</sup>	3,93 <sup>abc</sup>	4,27 <sup>c</sup>
Micro-ondas	4,17 <sup>a</sup>	4,43 <sup>b</sup>	4,10 <sup>c</sup>	4,03 <sup>b</sup>

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

A variável pH, diferiu entre os acionamentos de micro-ondas para as condições de secagem com temperatura de 60 °C sem desidratação osmótica assistida por ultrassom, e para as temperaturas de 40 e 60 °C com DOAU.

Para as temperaturas de 60 °C com e sem DOAU, os maiores valores foram para os acionamentos quando o tempo sem ação do micro-ondas era maior

(30 on – 90 off) e para o com secagem convectiva. Os valores apresentados foram 3,93 para sem desidratação osmótica assistida por ultrassom e 3,63 para com desidratação osmótica assistida por ultrassom, para os tratamentos com secagem convectiva, diferindo dos demais tratamentos, que com o menor intervalo entre a aplicação de micro-ondas, que apresentaram maiores valores para o pH.

#### 4.9 Reidratação

A tabela 21 apresenta os resultados para reidratação das fatias de tomates semi desidratadas.

Tabela 21 Reidratação para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva de fatias de tomate, sem desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU) e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU)

Acionamento	Sem DOAU		Com DOAU	
	40 °C	60 °C	40 °C	60 °C
Convectivo	0,24 <sup>a</sup>	0,22 <sup>a</sup>	0,23 <sup>a</sup>	0,26 <sup>a</sup>
PR4	0,42 <sup>a</sup>	0,41 <sup>a</sup>	0,31 <sup>a</sup>	0,29 <sup>a</sup>
PR3	0,30 <sup>a</sup>	0,42 <sup>a</sup>	0,30 <sup>a</sup>	0,32 <sup>a,b</sup>
PR2	0,35 <sup>a</sup>	0,31 <sup>a</sup>	0,32 <sup>a</sup>	0,43 <sup>b</sup>
PR1	0,35 <sup>a</sup>	0,29 <sup>a</sup>	0,27 <sup>a</sup>	0,34 <sup>a,b</sup>
Micro-ondas	0,28 <sup>a</sup>	0,35 <sup>a</sup>	0,25 <sup>a</sup>	0,33 <sup>a,b</sup>

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

A reidratação, que representa a capacidade de reabsorção de água pelas células do tomate, não houve diferença entre os tratamentos para as condições de



secagem sem desidratação osmótica assistida por ultrassom para ambas as temperaturas. Na condição em que as amostras foram submetidas à desidratação osmótica assistida por ultrassom, para a temperatura de 60 °C houve diferença entre os acionamentos de micro-ondas, mas somente o acionamento PR2, diferenciou-se dos demais com o valor de 0,43.

Com isso, verifica-se que a secagem por micro-ondas e micro-ondas convectivo não diferiu na capacidade de reidratação do tomate semi desidratado.

#### 4.10 Teor de licopeno

A tabela 22 apresenta os resultados para teor de licopeno de amostras de tomates semi desidratados.

Em trabalho semelhante (HEREDIA et al., 2010), em que se trabalho com secagem micro-ondas convectiva com pré tratamento osmótico com solução ternária de sacarose e NaCl, observou-se aumento do teor de licopeno com o uso de DO e diminuição do mesmo com o aumento da temperatura e acionamento micro-ondas.

Tabela 22 Licopeno para diversas condições de secagem micro-ondas, micro-ondas convectiva e convectiva de fatias de tomate, sem desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU) e com desidratação osmótica assistida por ultrassom (DOAU)

Acionamento	Sem DOAU		Com DOAU	
	40 °C	60 °C	40 °C	60 °C
Convectivo	632,89 <sup>b</sup>	685,00 <sup>b</sup>	46,24 <sup>a</sup>	255,02 <sup>b</sup>
PR4	156,66 <sup>a</sup>	273,10 <sup>a</sup>	122,98 <sup>a</sup>	126,10 <sup>a,b</sup>
PR3	276,80 <sup>a,b</sup>	316,30 <sup>a,b</sup>	125,07 <sup>a</sup>	127,17 <sup>a,b</sup>
PR2	236,96 <sup>a</sup>	187,73 <sup>a</sup>	155,19 <sup>a</sup>	31,26 <sup>a</sup>

PR1	438,12 <sup>ab</sup>	169,00 <sup>a</sup>	35,47 <sup>a</sup>	75,07 <sup>a</sup>
Micro-ondas	340,62 <sup>ab</sup>	133,66 <sup>a</sup>	24,90 <sup>a</sup>	163,63 <sup>ab</sup>

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

No presente trabalho, o comportamento com relação à desidratação osmótica assistida por ultrassom foi o inverso, pois se utilizou somente NaCl. A sacarose é precursora do licopeno, favorecendo sua manutenção (HEREDIA et al., 2010). Com relação ao acionamento micro-ondas, os dados do presente trabalho não apresentaram uma tendência clara com o uso de DO ou o aumento de temperatura.

#### 4.11 Qualidade Visual

Como os dados observados (notas), não cumpre o pressuposto de normalidade dos dados, testes paramétricos não puderam ser aplicados aqui. Entretanto, as figuras permitem retirar conclusões claras a respeito da secagem.

As figuras 9 a 12 apresentam as notas atribuídas às amostras secas de tomate semi desidratado nos diferentes tratamentos de secagem.

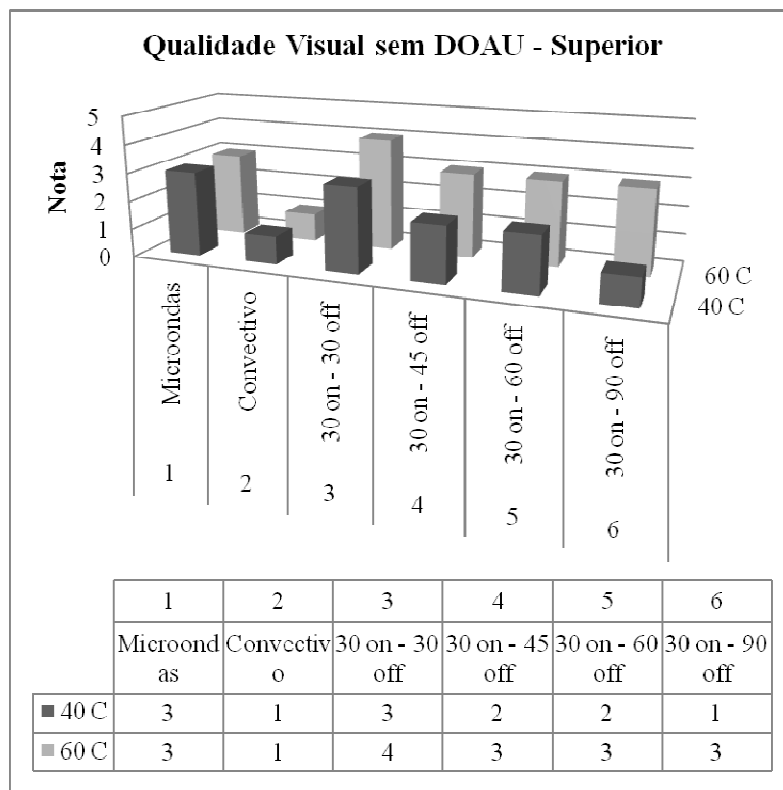


Figura 9 Qualidade Visual para fatias de tomates semi desidratado sem desidratação osmótica assistida por ultrassom da face superior

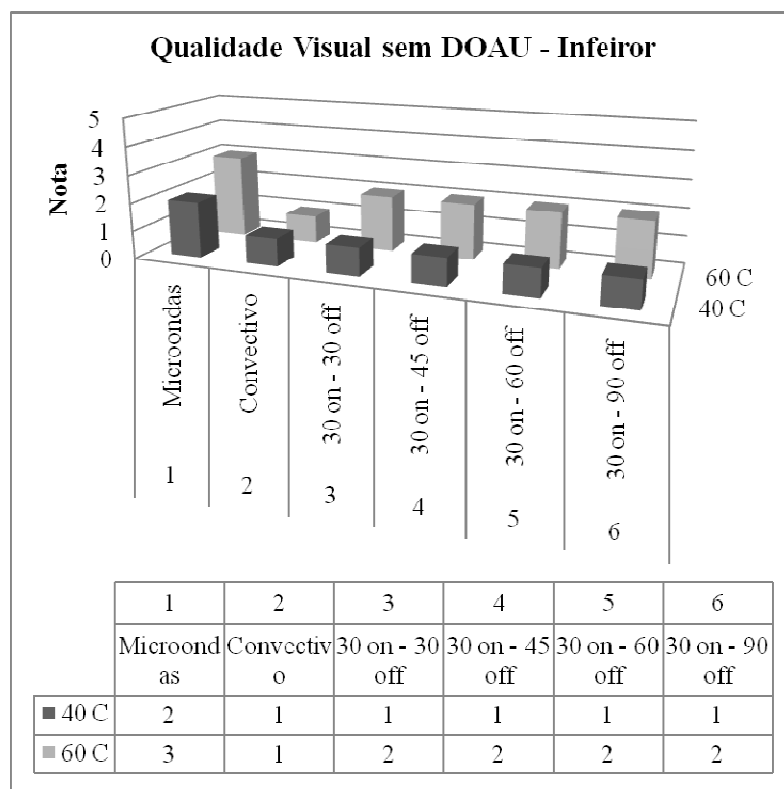


Figura 10 Qualidade Visual para fatias de tomates semi desidratado sem desidratação osmótica assistida por ultrassom da face inferior

Pela figura 9, verificou-se que, na face superior das amostras de tomates após a secagem sem desidratação osmótica assistida por ultrassom, que a condição de temperatura a 40 °C apresentou notas melhores para a qualidade visual. A qualidade visual avalia a amostra com notas de 1 a 5, sendo que a nota 1 representa a qualidade como excelente, com secagem uniforme e sem mudanças aparente na cor. As demais notas apresentam a degradação da amostra devido a ação das micro-ondas em níveis que chegam até a nota 5, sendo a amostra que apresenta a pior aparência, com aspecto sobre e sub secas, e intenso escurecimento das amostras. Avaliando os acionamentos, é possível verificar

uma tendência de acordo com o tempo de exposição da amostra a ação do micro-ondas. Quanto maior o tempo sem ação de micro-ondas (PR4) e a secagem convectiva apresentaram as melhores notas para qualidade visual, sendo avaliadas com a nota 1.

Na figura 10, podemos verificar um comportamento semelhante com relação às temperaturas, sendo os melhores resultados para a temperatura de 40 °C. Sendo que somente o acionamento micro-ondas apresentou nota diferente de 1 na temperatura de 40 °C. A face inferior apresentou melhor qualidade visual, devido ao contato com o prato do micro-ondas, não recebendo diretamente as micro-ondas, diferentemente do que acontece com a face superior.

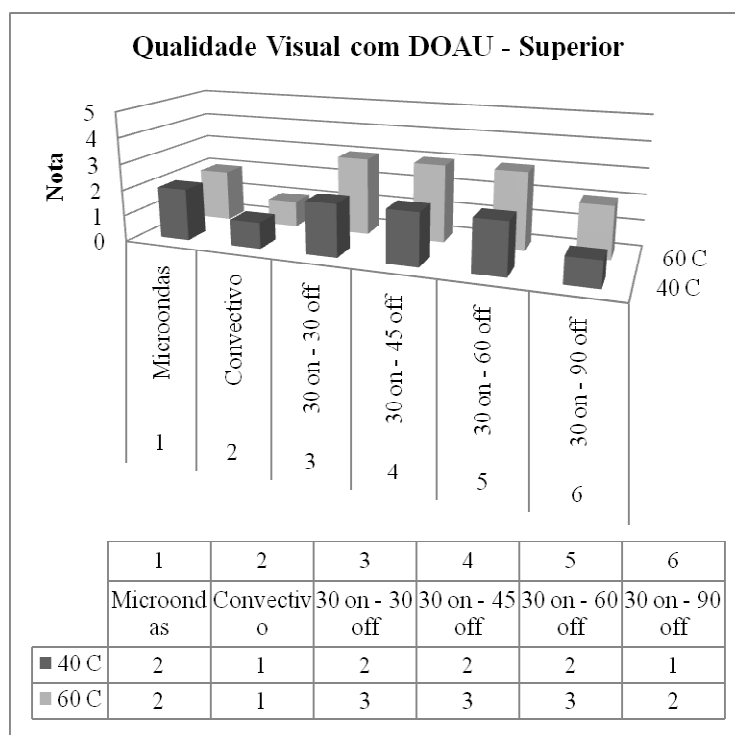


Figura 11 Qualidade Visual para fatias de tomates semi desidratado com desidratação osmótica assistida por ultrassom da face superior

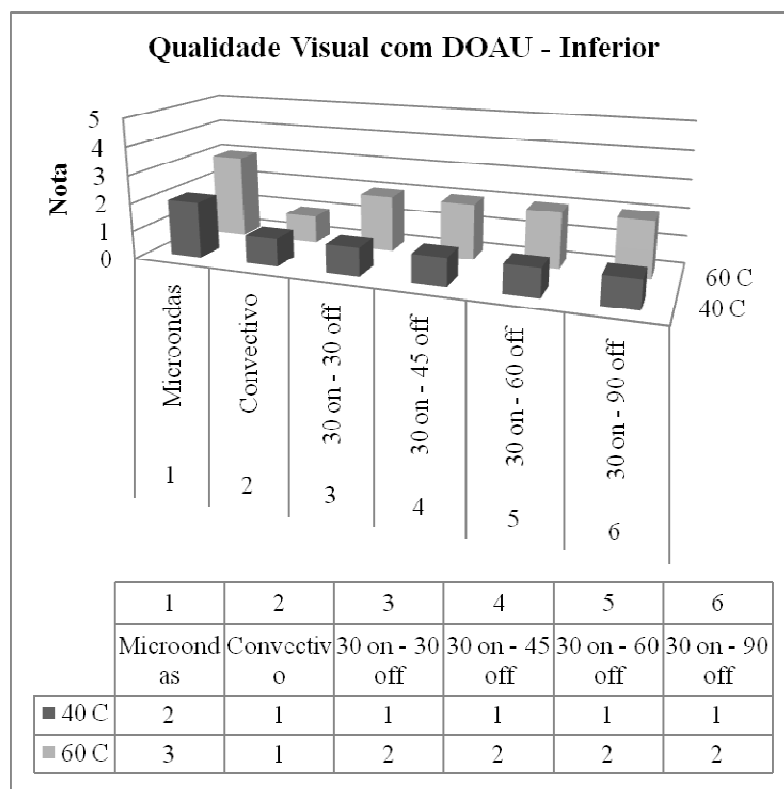


Figura 12 Qualidade Visual para fatias de tomates semi desidratado com desidratação osmótica assistida por ultrassom da face inferior

De acordo com a figura 11 e 12 é possível, verificar o mesmo comportamento das amostras sem a desidratação osmótica assistida por ultrassom para as que tiveram o pré tratamento osmótico com relação às temperaturas, sendo que a 40 °C também apresentaram as melhores notas para a amostra seca.

Observa-se que para as amostras que tiveram o pré tratamento osmótico houve melhora na qualidade visual com relação às que não tiveram observado quando tratamos da condição com temperatura de 60 °C. Onde para a face superior no acionamento de micro-ondas PR1 a nota foi 4 para o tratamento sem

desidratação osmótica assistida por ultrassom e de 3 para o tratamento com DOAU. O pré tratamento osmótico assistido por ultrassom melhora a qualidade visual das amostras secas por micro-ondas (CORRÊA et al., 2011).

## **5 X AVALIACAO GLOBAL DA SECAGEM E DA ANÁLISE DE QUALIDADE DO PRODUTO**

No presente estudo, as amostras foram secas com e sem pré tratamento osmótico, em secagem por micro-ondas, secagem convectiva e secagem micro-ondas convectiva de maneira intermitente. A escolha do teor de água final foi baseada em um teor em que se obtivessem amostras sem o mínimo de carbonização. Desta forma, o material final da secagem foi um tomate semi desidratado com uma redução pequena na atividade de água.

O equipamento em que foram conduzidos os experimentos permitiu a observação da cinética de secagem e do tempo necessário para se obter o alimento com o teor de água escolhido, Desta forma, observou se que maiores tempos de secagem são necessários ao se utilizar o pré tratamento osmótico, apesar da menor atividade de água em secagem precedida de DOAU.

As análises de cor, pH, reidratação e encolhimento não apresentaram valores estatisticamente diferentes para as fatias de tomate secas. As análises que conduziram a diferenças significativas foram as de teor de licopeno e de qualidade visual.

Desta forma, a melhor condição de secagem deve ser escolhida com base em tempo de processamento, teor de licopeno e qualidade visual. Os tratamentos em que não foi utilizada desidratação osmótica observaram-se maiores teores de licopeno. Dentre aqueles, os que foram conduzidos a 40 °C apresentaram melhores notas de qualidade visual. Os experimentos que foram executados a 40 °C, com teor de licopeno estatisticamente igual são os de secagem totalmente por micro-ondas, PR1, PR3 e totalmente convectivo. Dentre estes, as melhores notas são obtidas para as condições convectivo, PR1 e PR3. Desta forma, com o objetivo de se trabalhar com o melhor aproveitamento



energético, pode se dizer que a secagem com PR1 seja a mais adequada para se obter fatias de tomate semi desidratadas com melhor qualidade.

## 6 CONCLUSÃO

As cinéticas de secagem obtidas neste trabalho mostraram que a secagem micro-ondas é a que conduz a maiores taxas de secagem e, conseqüentemente a menores tempos de secagem. Com a secagem híbrida micro-ondas convectiva, quanto maior o aspecto convectivo, maior o tempo de secagem.

A temperatura influenciou de maneira inversa o tempo de secagem e o pré tratamento osmótico levou a maiores tempos de secagem.

O modelo de Page ajustou bastante satisfatoriamente as curvas de cinética de secagem.

Os parâmetros de cor definiram melhor qualidade com menor diferenciação do produto *in natura* para secagem, em que o aspecto convectivo, foi predominante nos acionamentos híbridos micro-ondas convectivo.

O pré tratamento osmótico influenciou na diminuição do teor de licopeno, apesar de não seguir uma tendência para diferenciação entre os acionamentos de micro-ondas.

A qualidade visual do alimento semi seco foi melhorada com a utilização do pré tratamento osmótico, e apresentando melhores resultados para secagem convectiva e híbridas com menos tempo de micro-ondas e a temperatura de 40 °C.

A melhor condição de secagem com base principalmente no teor de licopeno, na qualidade visual e no tempo de secagem é aquela conduzida em PR1, ou seja, em uma secagem micro-ondas convectiva de maneira intermitente (30 segundos MW, 30 segundos convectiva) a 40 °C e com velocidade do ar 2,22 m s<sup>-1</sup>.

## REFERÊNCIAS

- AKANBI, R. S.; ADEYEMO, R. S.; OJO, A. Drying characteristics and sorption isotherm of tomato slice. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 73, n. 2, p. 157-163, Mar. 2006.
- ALIBAS, I. Energy consumption and colour characteristics of nettle leaves during microwave, vacuum and convective drying. **Biosystems Engineering**, London, v. 96, n. 4, p. 495-502, Apr. 2007.
- ANDREUCETTI, C. et al. Qualidade pós-colheita de frutos de tomate cv. Andréa tratados com etileno. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 1, p. 122-126, 2007.
- ANTÔNIO, G. C. **Influência da estrutura celular e da geometria da amostra na taxa de transferência de massa no processo de desidratação osmótica de Banana Nanica (Musa Cavendish) e de Mamão Formosa (Carica papaya L.)**. 2002. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 18<sup>th</sup> ed. Raleigh, 2002. 1715 p.
- BORGES, S. V. et al. Drying kinetics of bananas by natural convection: influence of temperature, shape, blanching and cultivar. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 2, p. 368-376, mar./abr. 2011.
- CAMARGO, G. A.; QUEIROZ, M. R. de. Secagem de tomates, variedade Rio Grande: estudo de parâmetros com base na qualidade final. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 17., 2000, Fortaleza. **Resumos...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2000. v. 2, p. 6.123.

CÁRCEL, J. A. **Influencia de los ultrasonidos de potencia en procesos de transferencia de material**. 2003. 344 p. Tesis (Doctoral en Ciencia y Tecnología de los Alimentos) - Universidade Politécnica de Valencia, Valencia, 2003.

CÁRCEL, J. A. et al. Influence of high-intensity ultrasound on drying kinetics of persimmon. **Drying Technology**, New York, v. 25, n. 1, p. 185-193, 2007.

CARVALHO, J. L. de; PAGLIUCA, L. G. Tomate: um mercado que não pára de crescer globalmente. **Revista Hortifruti Brasil**, Piracicaba, ano 6, n. 58, p. 6-14, 2007.

COELHO, K. D.; PINTO, L. A. A. Caracterização da secagem convectiva de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) em camada delgada. **Vetor**, Rio Grande, v. 21, n. 2, p. 5-21, 2001.

CONTRERAS, C. et al. Influence of microwave application on convective drying: effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 88, n. 1, p. 55-64, Sept. 2008.

CORRÊA, J. L. G. et al. Analysis of osmotic dehydration variables influences on tomato (*Lycopersicon esculentum*) drying. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 25, n. 2, p. 315-328, jul./dez. 2007.

\_\_\_\_\_. Drying of pineapple by hybrid process: osmotic, microwave-vacuum drying. **Drying Technology**, New York, v. 29, n. 10, p. 1556-1561, Oct. 2011.

\_\_\_\_\_. Mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotic dehydration of guavas. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 96, n. 4, p. 498-504, Feb. 2010.

DURANCE, T. D.; WANG, J. H. Energy consumption, density, and rehydration rate of vacuum microwave and hot-air convection- dehydrated tomatoes. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 67, n. 6, p. 2212-2216, Aug. 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Produção de tomates**. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate>>. Acesso em: 13 fev. 2011.

\_\_\_\_\_. **Sistemas de produção**. 2. ed. Brasília, 2006. Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial\\_2ed/index.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial_2ed/index.htm)>. Acesso em: 15 abr. 2011.

FAGUNDES, A. F. et al. Influência do grau de umidade na textura de tomate seco refrigerado ou envasado em óleo. **UEPG Ciências Exatas Terra**, Ponta Grossa, v. 11, n. 1, p. 35-42, abr. 2005.

FANTE, C. et al. Drying of plums (*Prunus* sp, c.v Gulfblaze) treated with KCl in the field and subjected to pulsed vacuum osmotic dehydration. **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 46, n. 5, p. 1080-1085, May 2011.

FERNANDES, F.; RODRIGUES, S. Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits: dehydration of banana. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 82, n. 2, p. 261-267, Feb. 2007.

FERNANDES, F. A. N.; GALLO, M. I.; RODRIGUES, S. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: melon dehydration. **Food Science and Technology**, Trivandrum, v. 41, n. 4, p. 604-610, May 2008.

FUENTE-BLANCO, S. et al. Food drying process by power ultrasound. **Ultrasonics**, Surrey, v. 44, n. 1, p. 523-527, Dec. 2006.

GARCIA-NOGUERA, J. et al. Ultrasound-assisted osmotic dehydration of strawberries: effect of pretreatment time and ultrasonic frequency. **Drying Technology**, New York, v. 28, n. 2, p. 294-303, Mar. 2010.

GUALBERTO, R.; OLIVEIRA, P. S. R.; GUIMARÃES, A. M. Desempenho de cultivares de tomateiro para mesa em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 2, p. 244-246, abr./jun. 2007.

HEREDIA, A.; BARRERA, C.; ANDRÉS, A. Drying of cherry tomato by a combination of different dehydration techniques: comparison of kinetics and other related properties. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 80, n. 1, p. 111-118, May 2007.

HEREDIA, A. et al. Effect of osmotic pre-treatment and microwave heating on lycopene degradation and isomerization in cherry tomato. **Food Chemistry**, London, v. 123, n. 1, p. 92-98, 2010.

\_\_\_\_\_. Influence of process variables on colour changes, carotenoids retention and cellular tissue alteration of cherry tomato during osmotic dehydration. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 22, n. 4, p. 285-294, June 2009.

HOLTZ, E. et al. Influence of dielectric and sorption properties on drying behaviour and energy efficiency during microwave convective drying of selected food and non-food inorganic materials. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 97, n. 2, p. 142-153, Mar. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Índice de produção agrícola**: levantamento sistemático da produção agrícola. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em:  
<[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Levantamento\\_Sistematico\\_da\\_Producao\\_Agricola\\_%5Bmensal%5D/Fasciculo/2008/](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_%5Bmensal%5D/Fasciculo/2008/)>. Acesso em: 22 fev. 2010.

ISQUIERDO, E. P. et al. Drying kinetics and quality of natural coffee. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, Saint Joseph, 2013. In press.

JUSTUS, A. **Influência da aplicação de ondas de ultrassom na desidratação osmótica de tomates (*Lycopersicon esculentum*) cv. Carmem**. 2012. 109 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

KAHYAOGLU, L. N.; SAHIN, S.; SUMNU, G. Physical properties of parboiled wheat and bulgur produced using spouted bed and microwave assisted spouted bed drying. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 98, n. 2, p. 159-169, May 2010.

KOWALSKI, S. J.; MUSIELAK, G.; BANASZAK, J. Heat and mass transfer during microwave-convective drying. **Aiche Journal**, New York, v. 56, n. 1, p. 24-35, Jan. 2010.

LAZANO, J. E.; ROTSTEIN, E.; URBICAIN, M. J. Shrinkage, porosity and bulk density of foodstuffs at changing moisture contents. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 48, p. 1497-1502, 1983.

LENART, A.; FLINK, J. M. Osmotic concentration of potato: II., spatial distribution of the osmotic effect. **Journal Food Technology**, Chicago, v. 19, p. 65-89, 1984.

LIU, C. et al. Comparative experiment on hot-air and microwave-vacuum drying and puffing of blue honeysuckle snack. **International Journal of Food Engineering**, New York, v. 5, n. 4, 2009. Disponível em: <<http://libra.msra.cn/Publication/45461228/comparative-experiment-on-hot-air-and-microwave-vacuum-drying-and-puffing-of-blue-honeysuckle-snack>>. Acesso em: 10 mar. 2013.

LUPINSKA, A. et al. The changes of quality in rapeseeds during microwave drying. **Drying Technology**, New York, v. 27, n. 7/8, p. 857-862, 2009.

MOHSENIN, N. R. **Physical properties of plant and animal materials, structure, physical characteristics and mechanical properties**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Gordon and Breach Science, 1983. 103 p.

MOREIRA, G. R. et al. Divergência genética entre acessos de tomateiro infestados por diferentes populações da traçado-tomateiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 4, p. 893-898, 2005.

MUJUNDAR, A. S. **Handbook of industrial drying**. New York: R. F. Schiffmann, 1987. 304 p.

MULET, A. et al. New food drying technologies: use of ultrasound. **Food Science and Technology International**, London, v. 9, n. 3, p. 215-221, June 2003.

MURPHY, E. W.; CRINER, P. E.; GRAY, B. C. Comparisons of methods for calculating retentions of nutrients in cooked foods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 23, p. 1153-1157, 1975.

NACHTIGALL, A. M. et al. Desenvolvimento de tomate desidratado em conserva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 17., 2000, Fortaleza. **Resumos...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2000. v. 3, p. 11.88.

NAIKA, S. et al. **A cultura do tomate: produção, processamento e comercialização**. Wageningen: Fundação Agromisa; CTA, 2006. 104 p.



NASSUR, R. C. M. R. **Qualidade pós-colheita de tomates tipo italiano produzidos em sistema orgânico**. 2009. 116 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

NORDIN, M. F. M. et al. Combined microwave and vacuum drying of red pitaya slices. In: ASIA-PACIFIC DRYING CONFERENCE, 6., 2009, Bangkok. **Proceedings...** Bangkok: ADC, 2009. 1 CD-ROM.

ORSAT, V. et al. Microwave-assisted drying of biomaterials. **Transactions of IChemE, Part C, Food and Bioproducts Processing**, Rugby, v. 85, n. 3, p. 255-263, Sept. 2007.

PAGE, C. **Factors influencing the maximum rates of air drying of shelled corn in thin layers**. 1949. Dissertation (Master in Mechanical Engineering) - Purdue University, West Lafayette, 1949.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção de isotermas de sorção em modelagem matemática para pêra bartlett (*Pyrus* sp.) com e sem desidratação osmótica. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001.

PEREIRA, N. R.; MARSAIOLI, A.; AHRNE, L. M. Effect of microwave power, air velocity and temperature on the final drying of osmotically dehydrated bananas. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 81, n. 1, p. 79-87, July 2007.

POKHARKAR, S. M.; PRASAD, S.; DAS, H. A model for osmotic concentration of bananas slices. **Journal Food Science and Technology**, Mysore, v. 34, n. 3, p. 230-232, 1997.

RAUPP, D. S. et al. Tomate longa vida desidratado em diferentes temperaturas de secagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 1, p. 33-39, 2007.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoids analysis in foods**. Washington: International Life Science Institute, 1999. 64 p.

ROMERO-PEÑA, L. M.; KIECKBUSH, T. G. Influência de condições de secagem na qualidade de fatias de tomate. **Brazilian Journal of Food Science**, Campinas, v. 6, n. 1, p. 69-76, Jan./Feb. 2003.

RAGHAVAN, G. S. V.; ORSAT, V.; MEDA, V. Microwave processing of foods. **Stewart Postharvest Review**, Quebec, v. 1, n. 2, p. 1-8, Aug. 2005.

SANGA, E.; MUJUMDAR, A. S.; RAGHAVAN, G. S. V. Principles and applications of microwave drying. In: MUJUMDAR, A. S. (Ed.). **Drying technology in agricultural and food sciences**. Enfield: Science, 2000. p. 283-289.

SERVILLI, M.; MONTEDORO, G. Contribution of phenolic compounds to virgin olive oil quality. **European Journal of Lipid Science and Technology**, Weinheim, v. 104, n. 3, p. 602-613, 2002.

SILVA, V. F. et al. Resistência mediada por aleloquímicos de genótipos de tomateiro à mosca-branca e ao ácaro-rajado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 9, p. 1262-1269, set. 2009.

SIMAL, S. et al. Use of ultrasound to increase mass transport rate during osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 36, n. 3, p. 323-336, May 1998.

SOYSAL, Y. et al. Intermittent microwave–convective drying of red pepper: drying kinetics, physical (color and texture) and sensory quality. **Biosystems Engineering**, London, v. 103, n. 4, p. 455-463, Aug. 2009.

SOYSAL, Y.; OZTEKIN, S.; EREN, O. Microwave drying of parsley: modelling, kinetics, and energy aspects. **Biosystems Engineering**, London, v. 93, n. 4, p. 403-413, Apr. 2006.

STEPIEN, B. Effect of vacuum-microwave drying on selected mechanical and rheological properties of carrot. **Biosystems Engineering**, London, v. 99, n. 2, p. 234-238, Feb. 2008.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; HUBINGER, M. D. Osmotic dehydration of tomato in ternary solutions: influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 82, n. 4, p. 509-517, Oct. 2007.

TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **Food Research International**, Oxford, v. 26, n. 1, p. 59-68, 1993.

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

UNITED STATES OF DEPARTMENT AGRICULTURE. **Vegetables and fruits dehydration**. College Park: Bureau of Agricultural and Industrial Chemistry, 1944. 29 p.

VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D. S. Changes in quality of microwave-treated agricultural products: a review. **Biosystems Engineering**, London, v. 98, n. 1, p. 1-16, Sept. 2007.

WOJDYLO, A.; FINGEL, A.; OSZMIANSKI, J. Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 57, n. 4, p. 1337-1343, Feb. 2009.

YAN, W. Q. et al. Studies on different combined microwave drying of carrot pieces. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 45, n. 10, p. 2141-2148, 2010.

ZHANG, J. et al. Microwave-vacuum heating parameters for processing savory crisp bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) slices. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 79, n. 3, p. 885-891, Apr. 2007.