

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DOS ALIMENTOS**

**EFEITO DA RADIAÇÃO MICRO-ONDAS SOBRE  
PROCESSOS OXIDATIVOS EM ÓLEO E GORDURA  
SUBMETIDOS À FRITURA DE BATATA INGLESA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Laura Gizele Mascarin**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2014**

**EFEITO DA RADIAÇÃO MICRO-ONDAS SOBRE  
PROCESSOS OXIDATIVOS EM ÓLEO E GORDURA  
SUBMETIDOS À FRITURA DE BATATA INGLESA**

**Laura Gizele Mascarin**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, Área de concentração em Qualidade de Alimentos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Ciência e Tecnologia dos Alimentos.**

**Orientador: Prof. Dr. Roger Wagner**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2014**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Mascarin, Laura Gizele

Efeito da radiação micro-ondas sobre processos oxidativos em óleo e gordura submetidos à fritura de batata inglesa / Laura Gizele Mascarin.-2014.  
102 p. ; 30cm

Orientador: Roger Wagner

Coorientador: Juliano Smanioto Barin

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, RS, 2014

1. Oxidação lipídica. Compostos polares totais. Ácidos graxos. Batata frita. I. Wagner, Roger II. Smanioto Barin, Juliano III. Título.

---

© 2014

Todos os direitos autorais reservados a Laura Gizele Mascarin. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: lauragizele@gmail.com

---

**Universidade Federal de Santa Maria**  
**Centro de Ciências Rurais**  
**Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos**

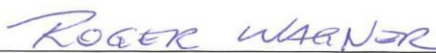
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**EFEITO DA RADIAÇÃO MICRO-ONDAS SOBRE PROCESSOS  
OXIDATIVOS EM ÓLEO E GORDURA SUBMETIDOS À FRITURA DE  
BATATA INGLESA**

elaborada por  
**Laura Gizele Mascarin**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Ciência e Tecnologia dos Alimentos**

**Comissão Examinadora**



---

**Roger Wagner, Dr**  
**(Presidente/ Orientador)**

---

**Juliano Smanioto Barin, Dr**  
**(Co-orientador)**



---

**Paula Rossini Augusti, Dr<sup>a</sup> (UFRGS)**



---

**Cezar Augusto Bizzi, Dr (UFSM)**

Santa Maria, 14 de março de 2014.

Dedico esta dissertação aos meus queridos pais, Jorge e Zélia,  
pelo amor, carinho, otimismo e apoio incondicional.  
Obrigada por todos os ensinamentos transmitidos ao  
longo de minha vida! A vocês devo tudo o que sou.

## AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Santa Maria, por possibilitar a infraestrutura para a realização dos estudos e desta pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos e ao Departamento de Ciência e Tecnologia dos Alimentos da Universidade Federal de Santa Maria, seus professores e funcionários, pela acolhida, oportunidades e experiências que me instigaram na realização desta pesquisa.

A FAPERGS, pelo financiamento do projeto através do Edital 001/2013 PQG, processo 002078-2551/13-0.

A CAPES, pela concessão da bolsa para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Apoio Edital CAPES, nº 27/2010, Pró-equipamentos Institucional (Ultrafreezer).

Ao meu orientador, Professor Roger Wagner, obrigada pela confiança e amizade. Agradeço pela orientação e por tudo que me ensinou.

Ao professor Juliano Smanioto Barin, agradeço pela colaboração, co-orientação e pelas inúmeras “dúvidas” sanadas nos corredores do NTA.

Ao professor Alexandre Cichoski, agradeço pela colaboração, disposição, sugestões e empréstimos de reagentes e equipamentos.

Ao professor Leandro Michels, agradeço pelo desenvolvimento do *hardware* de controle do micro-ondas.

Ao professor Dilson Bisognin, agradeço pelas colaborações a cerca da conservação e qualidade da batata.

Aos professores Paula Augusti e Cezar Bizzi, por aceitarem nosso convite para fazer parte da banca examinadora e por suas contribuições à minha dissertação.

A Deus, por me proteger, iluminar, dar saúde, esperança, a força e a determinação para realizar este trabalho.

Aos meus pais, Jorge e Zélia, por todo amor, apoio, incentivo e amparo em todas as horas. Por tudo que me ensinaram e por proporcionarem sempre as melhores condições de estudo, incentivando as minhas conquistas.

Ao meu irmão Jorge Lauricio e minha cunhada Ana Paula por me incentivarem e torcerem para que tudo desse certo sempre. Obrigada também pelo presente que me deram, minha amada afilhada, Valentina.

Ao meu querido namorado e amigo, Fernando, obrigada por todo amor, companheirismo, compreensão, incentivo. Obrigada por me encorajar e me apoiar em todos os momentos. Obrigada por fazer parte da minha vida e ter feito com que essa caminhada fosse mais leve!

Ao meu sogro (Fernando), à minha sogra (Márcia) e meu cunhado (Felipe), pelos churrascos, “ice’s” e por todo carinho que sempre tiveram comigo. Obrigada por ser a minha segunda família.

Ao Bernardo, por ser a alegria de todos os finais de semana.

À professora Cláudia Sautter, agradeço pelos ensinamentos, conselhos e pelo ombro amigo nos momentos difíceis.

Aos queridos colegas e amigos, Rodrigo Gindri, Fernanda Franco, Taísa Treptow, Roberta Santos, pelas risadas, conselhos e abraços. Obrigada também pela torcida de vocês em todos os meus passos, desde a iniciação científica na graduação, ao mestrado.

Aos queridos colegas e amigos de laboratório, Bruna Tischer, Raquel Vendruscolo, Mariane Bittencourt, Daniele Ferreira, Gabrieli Bernardi, Jossie Donadel, Tassiane Ferrão, Daniele Rodrigues, Caroline Cavalheiro, Jonas Dugatto, Matheus Raschen (*in memoriam*), Carolina Real (*in memoriam*), obrigada pelas horas de conversa, pelos auxílios nos experimentos, experiências trocadas, mas principalmente pelas risadas.

Às minhas queridas “IC’s”, Eduarda Rosa e Stephanie Ribeiro, obrigada por toda a ajuda na condução dos meus experimentos. Espero que essa troca de experiência sirva de motivação na vida acadêmica e profissional de vocês.

Às minhas queridas amigas, Laís, Tiele, Roberta, Elaine, Lívia, obrigada por tudo, principalmente pela compreensão da minha ausência.

À minha “queridona” Maiara Moraes, pela amizade incondicional, que surgiu lá no início da faculdade de Química, nas madrugadas infundáveis de cálculo e orgânica, das festas, carnavais, dos encontros e desencontros amorosos, do ombro em todos os momentos, pela força e incentivo que tu sempre me deste, obrigada por tudo “nega”.

Aos queridos amigos, Alexandre, Márcio, Ricardo, Fernando, obrigada pelas festas, risadas e músicas tocadas e cantadas.

À minha tia, Zenaide, obrigada por ter me disponibilizado moradia nesses anos de graduação e pós-graduação.

A todos que colaboraram de forma direta ou indireta para a execução e conclusão deste trabalho.

**Muito Obrigada!**

“A maior recompensa para o trabalho do homem  
não é o que ele ganha com isso, mas sim,  
o que ele se torna com isso.”

*John Ruski*



## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos  
Universidade Federal de Santa Maria

### **EFEITO DA RADIAÇÃO MICRO-ONDAS SOBRE PROCESSOS OXIDATIVOS EM ÓLEO E GORDURA SUBMETIDOS À FRITURA DE BATATA INGLESA**

AUTORA: LAURA GIZELE MASCARIN  
ORIENTADOR: PROF. DR. ROGER WAGNER  
Local da Defesa e Data: Santa Maria, 14 de março de 2014.

O objetivo deste trabalho foi empregar a radiação micro-ondas em processos de fritura de batata (*Solanum tuberosum* L.) e avaliar o impacto sobre a oxidação dos lipídios e a transferência de massa no produto. As batatas da cultivar Asterix foram cortadas na forma de palito e submetidas à fritura em fritadeira convencional (FC) e micro-ondas adaptado (MW), em óleo de soja (OS) e gordura vegetal (GV), nas mesmas condições de massa, volume, tempo e temperatura. Foram feitas análises dos aspectos físico-químicos das batatas e da qualidade do OS e da GV. Os resultados do teor de umidade indicaram que a desidratação das batatas foi 45% maior em micro-ondas, proporcionando uma maior absorção de lipídios. O teor de compostos polares totais em OS foram maiores do que 25% para MW e FC, a partir de 5 e 7 dias de fritura, respectivamente, enquanto da GV não passou de 19,5% em 20 dias de uso. O índice de peróxidos apresentou maiores valores para OS em MW. Foram observados maiores valores dos parâmetros dienos conjugados, índice de peróxidos, compostos polares e índice de refração nos tratamentos com MW. Possivelmente a maior perda de água do produto tenha favorecido as reações hidrolíticas e oxidativas. Em relação aos ácidos graxos do OS houve uma redução dos monoinsaturados de 4,0 e 2,0%, e de 6,3 e 3,6% dos poli-insaturados, respectivamente para MW e FC. Para a GV o comportamento foi inverso, sendo a redução maior no sistema convencional. O processo de fritura em MW proporcionou maior temperatura no interior das batatas fritas tanto em óleo quanto em gordura. No experimento em que o OS foi somente aquecido com radiação MW observamos, com base nos resultados, um comportamento semelhante ao sistema convencional em quase todos os parâmetros avaliados. A aplicação de MW para fritura de batatas *chips* apresentou valores favoráveis de transferência de massa e calor, obtendo um produto com características semelhante ao produto de referência. Dessa forma foi evidenciado um potencial de uso da radiação MW no processo de fritura de batata, bem como o seu uso apenas como uma fonte de aquecimento para o OS e a GV.

**Palavras-chave:** Oxidação lipídica. Compostos polares totais. Ácidos graxos. Batata frita.

## ABSTRACT

Master Dissertation  
Graduate Program in Food Science and Technology  
Federal University of Santa Maria

### **EFFECT OF MICROWAVE RADIATION IN OXIDATIVE PROCESSES ON OIL AND FAT SUBMITTED TO FRYING OF POTATO (*Solanum tuberosum* L.)**

AUTHOR: LAURA GIZELE MASCARIN.  
ADVISOR: PROF. DR. ROGER WAGNER.  
Date and place: March, 14<sup>th</sup>, 2014, Santa Maria.

The aim of this work was to employ the microwave radiation in the processes of frying potatoes (*Solanum tuberosum* L.), and evaluate of the impact on lipids oxidation parameters and mass transfer in the product. The potatoes (Asterix CV.) were cut in stick form and subjected to conventional system of fry (CF) and adapted microwave system (MW) in soybean oil (SO) and vegetable fat (VF), under the same conditions of mass, volume, time and temperature of process. Physico-chemical quality parameters of the potatoes and SO/VF were determined. The results of the moisture content indicated that dehydration in potatoes was 45% higher in microwave system, and in addition a greater absorption of lipids was observed. The contents of total polar compounds in SO were greater than 25% in MW and CF after 5 and 7 days of frying, respectively, while the VF systems did not exceed 19.5% at 20 days of use. The peroxide values presented higher values for SO in MW system. High values of conjugated dienes parameters, peroxide values, total polar compounds and refractive index in treatments with MW. Possibly the major loss of water from the product in these system has favored the hydrolytic and oxidative reactions. Regarding the SO fatty acids a decreased was observed of monounsaturated 4.0 and 2.0%, and poly-unsaturated 6.3 and 3.6%, respectively for MW and CF, and VF presented an opposite behavior in both systems. The MW frying process provided a higher inside temperature of the potatoes in both fats, SO and VF. When OS was only heated with MW radiation observed, based on the results, a similar behavior to the conventional system in almost all parameters. The application of MW for frying potato in chips form showed favorable values of mass transfer and heat, obtaining a product with similar characteristics to the reference product. Thus it was demonstrated a potential use of MW radiation in the frying potato process and its use only as a heating source for the OS and VF.

**Keywords:** Lipid oxidation. Total polar compounds. Fatty acids. French fries.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1–	Diferentes estruturas de lipídios, onde R, R', e R'' são geralmente grupos alquila de cadeia longa, podendo conter uma ou mais insaturações. Em triacilgliceróis, os grupos R, R', e R'' podem ser todos diferentes. Fonte: Solomons; Fryhle e Snyder (2011).....	20
Figura 2 –	Molécula de triacilglicerol (R1, R2, R3 = unidades de ácidos graxos). Fonte: Allinger (1976).....	21
Figura 3 –	Princípio da transferência de calor por convecção durante fritura. Fonte: Sahin; Sumnu (2009).....	23
Figura 4 –	Reações físico-químicas no óleo ou gordura durante o processo de fritura. Fonte: Akoh; Min (1997). ....	28
Figura 5 –	Alterações físico-químicas nos óleos e gorduras durante o processo de fritura. Fonte: Akoh; Min (1997). ....	30
Figura 6 –	Reações de óleos e gorduras aquecidos em presença de ar: (1) formação de radicais estabilizados por ressonância; (2) formação de hidroperóxidos; (3) decomposição homolítica - A e oxidação induzida da cadeia - B. Fonte: Martins; Mello; Suarez (2013). ....	32
Figura 7 –	Formação de polímero acíclico do ácido oleico (18:1n-9) durante o processo de fritura. Fonte: Choe; Min (2007).....	34
Figura 8 –	Teor de umidade (%) das batatas submetidas à fritura óleo de soja (OS) e gordura vegetal (GV), em fritadeira convencional (FC) e micro-ondas (MW) em função do número de frituras.....	47
Figura 9 –	Teor de lipídios totais – LT (g 100 <sup>-1</sup> g em base úmida) em batatas submetidas à fritura em óleo de soja (OS) e gordura vegetal (GV), em fritadeira convencional (FC) e micro-ondas (MW). ....	47
Figura 10 –	Compostos polares totais (CPT) formados ao longo das frituras de batata em gordura × micro-ondas (GV × MW); gordura × fritadeira (GV × FC); óleo × micro-ondas (OS × MW) e óleo × fritadeira (OS × FC). ....	51
Figura 11 –	Índice de peróxidos (meq O <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> amostra) medidos no OS e GV ao longo das frituras de batata tipo palito - OS × MW: óleo de soja em micro-ondas; OS × FC: óleo × fritadeira; GV × MW: gordura × micro-ondas e GV × FC: gordura × fritadeira.....	53
Figura 12 –	Dienos conjugados (mg mL <sup>-1</sup> ) medidos no OS e GV ao longo das frituras de batata tipo palito - OS × MW: óleo de soja em micro-ondas; OS × FC: óleo × fritadeira; GV × MW: gordura × micro-ondas e GV × FC: gordura × fritadeira. ....	54
Figura 13 –	Índice de refração de óleos e gorduras (40 °C) observado ao longo das frituras de batata em gordura × micro-ondas (GV × MW); óleo × micro-ondas (OS × MW); gordura × fritadeira (GV × FC) e óleo × fritadeira (OS × FC).....	57

Figura 14 – Concentração (mg g <sup>-1</sup> de óleo) dos ácidos graxos majoritários presentes no óleo de soja submetido à 42 frituras de batata em: a) fritadeira convencional; b) micro-ondas. AGS: ácidos graxos saturados; AGMI: ácidos graxos monoinsaturados; AGPI: ácidos graxos poli-insaturados; AGT: ácidos graxos <i>trans</i> .....	62
Figura 15 – Concentração (mg.g <sup>-1</sup> de gordura) dos ácidos graxos majoritários presentes em gordura vegetal submetida à 122 frituras de batata em: a) fritadeira; b) micro-ondas. AGS: ácidos graxos saturados; AGMI: ácidos graxos monoinsaturados; AGPI: ácidos graxos poli-insaturados; AGT: ácidos graxos <i>trans</i> .....	67
Figura 16 – Distribuição da temperatura (°C) no interior das batatas fritas em a) óleo de soja (OS) e b) gordura vegetal (GV), aquecidas em micro-ondas (MW) e fritadeira convencional (FC). .....	69
Figura 17 – Concentração (mg g <sup>-1</sup> de óleo) dos ácidos graxos majoritários presentes no óleo de soja submetido à 42 frituras de batata em: a) fritadeira; b) micro-ondas. AGS: ácidos graxos saturados; AGMI: ácidos graxos monoinsaturados; AGPI: ácidos graxos poli-insaturados e AGT: ácidos graxos <i>trans</i> . .....	73
Figura 18 – Teor de umidade (%) das batatas chips submetidas à fritura óleo de soja (OS) e gordura vegetal (GV), em fritadeira convencional (FC) e micro-ondas (MW). In = in natura; M1 = marca comercial.....	74
Figura 19 – Teor de lipídios totais (%) das batatas chips submetidas à fritura em óleo de soja (OS) e gordura vegetal (GV), em fritadeira convencional (FC) e micro-ondas (MW), comparadas à uma marca comercial de batatas chips (M 1).....	75

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Umidade (%) e lipídios ( $\text{g } 100^{-1}$ em base úmida) das batatas submetidas à fritura em óleo de soja (OS) e gordura vegetal (GV) em fritadeira convencional (FC) e micro-ondas (MW).....	48
Tabela 2 – Concentração dos ácidos graxos ( $\text{mg g}^{-1}$ de óleo) do óleo de soja utilizado durante 42 bateladas de fritura de batata palito em fritadeira convencional .....	59
Tabela 3 – Concentração dos ácidos graxos ( $\text{mg g}^{-1}$ de óleo) do óleo de soja utilizado durante 42 bateladas de fritura de batata palito em micro-ondas .....	60
Tabela 4 – Concentração dos ácidos graxos ( $\text{mg g}^{-1}$ ) da gordura vegetal utilizada durante 122 frituras de batata palito em fritadeira convencional .....	64
Tabela 5 – Concentração dos ácidos graxos ( $\text{mg g}^{-1}$ ) da gordura vegetal utilizada durante 122 frituras de batata palito em micro-ondas .....	65
Tabela 6 – Resultados obtidos na avaliação do efeito do micro-ondas sobre fritura de batata em óleo de soja.....	71

## LISTA DE ABREVIATURAS

AG = Ácidos graxos

AGI = Ácido graxo insaturado

AGMI = Ácidos graxos monoinsaturados

AGPI = Ácidos graxos poli-insaturados

AGS = Ácidos graxos saturados

AGT = Ácidos graxos *trans*

ANVISA = Agência Nacional de Vigilância Sanitária

CG = Cromatógrafo a gás

CPT = Compostos polares totais

DC = Dienos conjugados

DIC = Detector de ionização em chama

EMAG = Ésteres metílicos de ácidos graxos

FC = Fritadeira convencional

GV = Gordura vegetal

IP = Índice de peróxidos

IR = Índice de refração

LA = Ácido linoleico (do inglês "*linoleic acid*")

LNA = Ácido linolênico (do inglês "*linolenic acid*")

LT = Lipídios totais

MW = Micro-ondas (do inglês "*microwave*")

OS = Óleo de soja

TAG = Triacilglicerol

## LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A –	Aspecto visual de cor usado como parâmetro na atribuição do ponto final do tempo de fritura nos sistemas fritadeira convencional e micro-ondas.....	94
Apêndice B –	Imagens da formação de espuma em óleo de soja durante a fritura em micro-ondas e fritadeira. Alterações de cor das batatas e do óleo, observadas na 1ª e 42ª frituras. ....	95
Apêndice C –	Gráfico da concentração de Compostos Polares Totais (%) em óleo de soja, registrados durante as frituras em micro-ondas (MW) e fritadeira convencional (FC): Avaliação do efeito do micro-ondas.....	96
Apêndice D –	Gráfico do teor de umidade (%) das batatas palito submetidas à fritura em óleo de soja nos sistemas micro-ondas (MW) e fritadeira convencional (FC): Avaliação do efeito (Ef) do micro-ondas.....	97
Apêndice E –	Gráfico do teor de lipídios (%) das batatas palito submetidas à fritura em óleo de soja nos sistemas micro-ondas (MW) e fritadeira convencional (FC): Avaliação do efeito (Ef) do micro-ondas. (p<0,05).....	98
Apêndice F –	Gráfico do índice de peróxidos (meqO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> amostra) do óleo de soja das frituras de batata palito nos sistemas micro-ondas (MW) e fritadeira convencional (FC): Avaliação do efeito (Ef) do micro-ondas. (p<0,05).....	99
Apêndice G –	Gráfico da concentração de dienos conjugados (mg mL <sup>-1</sup> de ciclohexano) no óleo de soja das frituras de batata palito nos sistemas micro-ondas (MW) e fritadeira convencional (FC): Avaliação do efeito (Ef) do micro-ondas. (p<0,05).....	100
Apêndice H –	Gráfico do índice de refração (n <sub>D</sub> 40°C) do óleo de soja das frituras de batata palito nos sistemas micro-ondas (MW) e fritadeira convencional (FC): Avaliação do efeito do micro-ondas. ....	101
Apêndice I –	Aspecto visual de cor usado como parâmetro para a atribuição do ponto final do tempo de fritura nos sistemas fritadeira convencional e micro-ondas.....	102

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1 Lipídios .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2 Óleos e gorduras: Características gerais .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3 Fritura por imersão .....</b>	<b>22</b>
<b>2.4 Fritura em micro-ondas .....</b>	<b>24</b>
<b>2.5 Degradação de óleos e gorduras submetidos à fritura .....</b>	<b>27</b>
<b>2.6 Reações de hidrólise, oxidação e polimerização em óleos submetidos à fritura ....</b>	<b>30</b>
2.6.1 Reações de hidrólise.....	30
2.6.2 Oxidação .....	31
2.6.3 Polimerização.....	33
<b>2.7 Métodos para avaliar as alterações oxidativas no meio de fritura.....</b>	<b>34</b>
2.7.1 Compostos polares totais (CPT) .....	35
2.7.2 Índice de Peróxidos (IP).....	36
2.7.3 Dienos conjugados (DC).....	37
2.7.4 Perfil de ácidos graxos (AG).....	37
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>39</b>
<b>3.1 Amostras .....</b>	<b>39</b>
<b>3.2 Tratamentos .....</b>	<b>39</b>
<b>3.3 Condições das frituras .....</b>	<b>40</b>
<b>3.4 Análises físico-químicas das batatas .....</b>	<b>41</b>
<b>3.5 Análise da qualidade do óleo e da gordura.....</b>	<b>42</b>
3.5.1 Compostos polares totais .....	42
3.5.2 Índice de peróxidos .....	42
3.5.3 Dienos conjugados .....	42
3.5.4 Índice de refração - ( $n_D^{40}$ ) .....	43
3.5.5 Composição em ácidos graxos.....	43
3.5.6 Determinação dos ácidos graxos.....	43
3.5.7 Determinação da temperatura por termografia no infravermelho.....	44
<b>3.6 Análise estatística.....</b>	<b>44</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>46</b>
<b>4.1 Uso da radiação micro-ondas no processo de fritura de batata palito .....</b>	<b>46</b>
4.1.1 Aspectos físico-químicos das batatas fritas.....	46



4.1.2 Aspectos da qualidade do óleo e da gordura utilizados em frituras com micro-ondas .....	50
4.1.2.1 Compostos polares totais .....	50
4.1.2.2 Índice de peróxidos (IP) .....	52
4.1.2.3 Dienos conjugados (DC) .....	54
4.1.2.4 Índice de refração .....	56
4.1.2.5 Ácidos graxos (AG).....	58
4.1.2.6 Determinação da temperatura por termografia no infravermelho .....	68
<b>4.2 Uso da radiação micro-ondas no aquecimento do óleo em processo de fritura .....</b>	<b>71</b>
<b>5.3 Uso da radiação micro-ondas no processo de fritura de batata <i>chips</i>.....</b>	<b>74</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>77</b>
<b>Perspectivas .....</b>	<b>78</b>
<b>6 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>79</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>93</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A fritura é uma prática utilizada há, aproximadamente, seis séculos pelos chineses, no cozimento dos alimentos. Esse processo de desidratação de alimentos utiliza óleos ou gorduras como meio de transferência de calor e tem sido amplamente utilizado no preparo de alimentos. O processo é caracterizado pela sua rapidez, simplicidade, conservação de alimentos e alterações nos hábitos alimentares, devido às características organolépticas dos produtos fritos, que atraem os consumidores através do sabor, aparência e textura (KALOGEROPOULOS; et al., 2012).

Durante o processo de fritura ocorre, simultaneamente, transferência de calor e massa, entre o alimento e o óleo ou gordura. Algumas condições do processo, qualidade do meio de fritura e características do alimento, influenciam diretamente na quantidade de lipídios absorvida pelo alimento. Portanto, o meio utilizado como transferência de calor torna-se um componente do produto (RAJKUMAR; MOREIRA; BARRUFET, 2003; OSAWA; GONÇALVES; MENDES, 2010).

Uma série de reações complexas, durante o processo de fritura, provoca alterações irreversíveis na estrutura da fração lipídica. Essas modificações devem-se principalmente: 1) à umidade do alimento, que provoca reações hidrolíticas da molécula do triacilglicerol (TAG); 2) ao oxigênio do ar, que entra em contato com o alimento através da superfície do recipiente, levando às reações de oxidação e 3) à temperatura, que provoca termoxidações (CHOE; MIN, 2007).

As características dos lipídios utilizados no processo de fritura influenciam diretamente no nível de alteração da sua composição. Dessa forma, óleos vegetais que normalmente apresentam grande quantidade de ácidos graxos poli-insaturados (AGPI), mostram maior suscetibilidade às reações oxidativas que as gorduras de origem vegetal ou animal que possuem maior quantidade de ácidos graxos saturados (AGS) (LOLOS; OREOPOULOU; TZIA, 1999; CHEN; et al., 2009).

A presença de produtos de degradação desencadeia modificações físicas no meio de fritura, muitas vezes perceptíveis visualmente, como escurecimento, formação de espuma e fumaça e alterações na viscosidade. Essas transformações afetam as características sensoriais do óleo em uso e influenciam na aceitabilidade do produto frito (TAKEOKA; FULL; DAO, 1997).

Nesse sentido, existem inúmeros estudos avaliando os diferentes tipos de óleos utilizados nos processos de fritura, mostrando a necessidade de se estabelecer medidas para reduzir o grau de degradação dos mesmos, bem como a processos que controlam a formação de substâncias tóxicas, como a acrilamida (CHOE; MIN, 2007; PALAZOĞLU; TUTA; GÖKMEN, 2010; POKORNÝ; DOSTÁLOVÁ, 2010; SAHIN; OZTOP; SUMNU, 2007).

Devido à diversidade de compostos gerados como produtos da degradação, vários métodos analíticos são utilizados na avaliação da qualidade dos óleos e gorduras utilizados para o processo de fritura (PAUL; MITTAL, 1997). Mesmo que alguns pesquisadores recomendem a avaliação dos compostos polares totais (CPT), não há um consenso no meio científico quanto ao emprego de apenas um método para monitoramento da qualidade de óleos e gorduras de fritura.

É sabido que, além das propriedades da matéria-prima, os métodos e condições de fritura afetam a qualidade do produto. Formas alternativas de fritura, como frituras em micro-ondas estão sendo estudadas. Entretanto, os dados discutidos a respeito da qualidade do óleo ainda são bastante incipientes (NGADI; ET AL., 2009; PALAZOĞLU; TUTA; GÖKMEN, 2010; SAHIN; OZTOP; SUMNU, 2007).

O uso da radiação micro-ondas para fritar alimentos a fim de melhorar a qualidade de produtos pode ser uma boa alternativa para a fritura convencional, que envolve aquecimento mediado por resistências e alto consumo de energia. No entanto, os resultados de degradação do óleo/gordura podem ser maiores ou menores que em sistema convencional, devido à complexidade do processo que ocorre através do aquecimento dielétrico (SAHIN; SUMNU, 2009; THOSTENSON; CHOU, 1999).

Pesquisadores como Sensoy, Sahin e Sumnu (2013) mostraram que as taxas de aquecimento em micro-ondas são mais rápidas quando comparadas à fritura em sistema convencional. O aquecimento por micro-ondas já foi simulado através de modelagem matemática por diversos autores (CAMPANONE; ZARITZKY, 2010; SALVI; et al., 2011; SENSOY; SAHIN; SUMNU, 2013), entretanto esse processo de fritura continua sendo um desafio devido a sua complexidade e, principalmente no que diz respeito a formulação de equações que contemplem a distribuição do campo eletromagnético dentro da cavidade do forno (SENSOY; SAHIN; SUMNU, 2013).

Diante de todas as alterações que ocorrem durante a fritura e que afetam a qualidade do óleo e do produto, o aquecimento por micro-ondas pode ser uma alternativa ao método convencional, uma vez de um modo geral demanda relativamente menos tempo para

processamento dos alimentos. Dessa forma, os efeitos da fritura por micro-ondas sobre as mudanças nos principais índices de qualidade do óleo ainda necessitam ser investigados.

Tais circunstâncias levaram ao desenvolvimento desse trabalho, o qual teve como objetivo principal avaliar o impacto da radiação micro-ondas sobre a oxidação lipídica de óleos e gorduras utilizados em processo de fritura descontínuo. Para isso, foram realizados três experimentos.

Experimento 1: Fritura de batata palito em óleo de soja e gordura vegetal, em fritadeira convencional e micro-ondas. No processo de fritura em micro-ondas a fração lipídica e batatas foram aquecidas pela radiação. Foram estudados parâmetros importantes para o processo de fritura, como a transferência de massa, através da absorção de óleo/gordura e perda de água pelas batatas tipo palito; transferência de energia, através da distribuição do calor no interior das batatas. No óleo e gordura foram avaliados os parâmetros de oxidação importantes para a qualidade, como teor de compostos polares totais, índice de peróxidos e de refração, dienos conjugados e decomposição dos ácidos graxos durante as bateladas de fritura.

Experimento 2: Uso da radiação micro-ondas como sistema de aquecimento para óleo de soja e gordura vegetal. Nesse experimento a radiação micro-ondas foi utilizada somente como fonte de aquecimento da fração lipídica. Os parâmetros avaliados foram transferência de massa e os parâmetros de oxidação.

Experimento 3: Fritura de batata *chips* em óleo de soja e gordura vegetal, em fritadeira convencional e micro-ondas. Os parâmetros avaliados foram transferência de massa, a fim de avaliar o potencial de uso da radiação micro-ondas em produtos que necessitam elevada desidratação.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Lipídios

Os lipídios são biomoléculas que se dissolvem em solventes apolares, tais como clorofórmio e éter dietílico, porém são quimicamente diferentes entre si (NELSON; COX, 2002), conforme mostra a Figura 1. A origem do nome vem da palavra grega *lipos*, que significa gordura (SOLOMONS; FRYHLE; SNYDER, 2011).

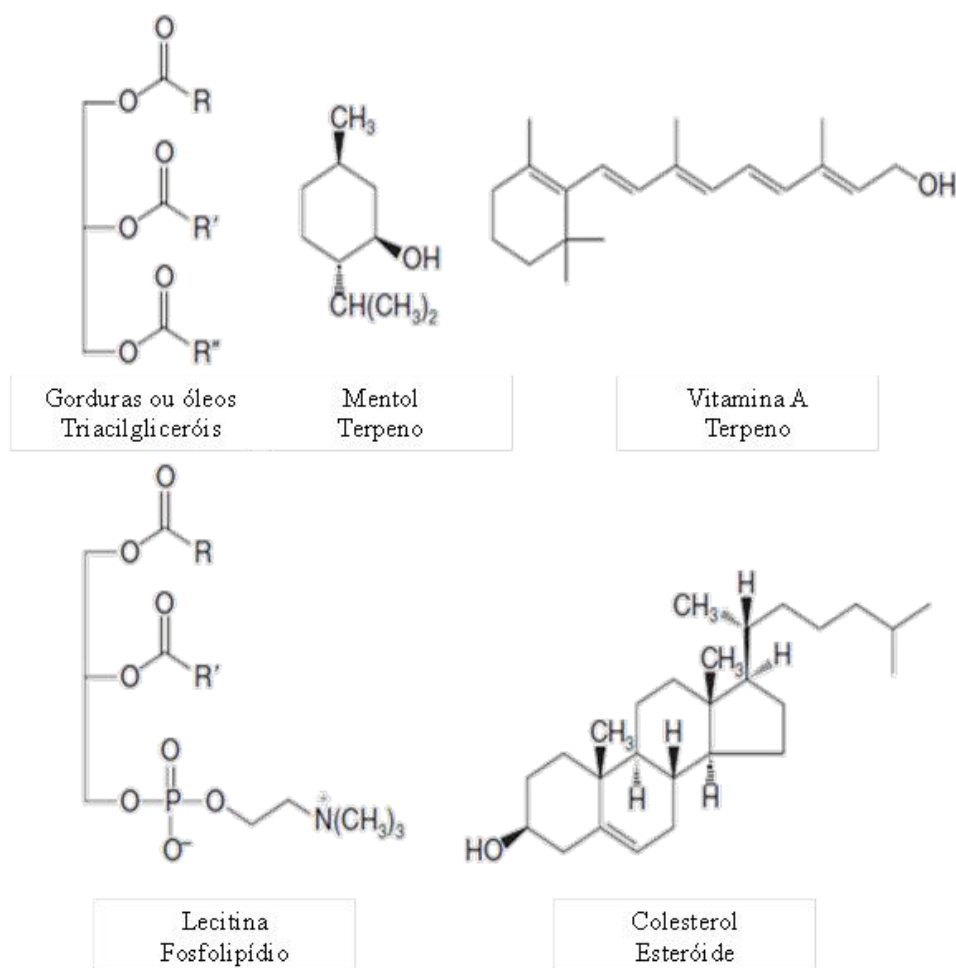


Figura 1– Diferentes estruturas de lipídios, onde R, R', e R'' são geralmente grupos alquila de cadeia longa, podendo conter uma ou mais insaturações. Em triacilgliceróis, os grupos R, R', e R'' podem ser todos diferentes. Fonte: Solomons; Fryhle e Snyder (2011).

Os lipídios apresentam importante contribuição na percepção das propriedades organolépticas dos alimentos e estão relacionados com características de sabor, textura, cor e palatabilidade (NGADI; LI; OLUKA, 2007). Nos alimentos, a fração lipídica é normalmente composta por moléculas de triacilgliceróis, mas também por terpenos, fosfolipídios, ceras, esteróis, ácidos graxos, vitaminas A, D, E e K, entre outras substâncias (NELSON; COX, 2002; SOLOMONS; FHYHLE; SNYDER, 2011).

## 2.2 Óleos e gorduras: Características gerais

Óleos e gorduras são substâncias insolúveis em água (hidrofóbicas), de origem animal, vegetal ou mesmo microbiana, formadas principalmente por moléculas de triacilgliceróis (TAG) (Figura 2). OS TAG são triésteres resultantes da condensação carboxílica entre as hidroxilas do glicerol e radicais carboxílicos de três ácidos graxos (iguais ou diferentes) (ALLINGER, 1976; SOLOMONS; FRYHLE; SNYDER, 2011). Os óleos e gorduras podem conter pequenas quantidades de outros lipídios como fosfolipídios, constituintes insaponificáveis e ácidos graxos livres, naturalmente presentes no óleo ou na gordura (ANVISA, 2005).

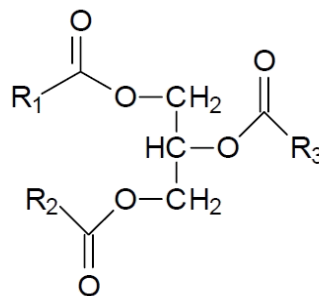


Figura 2 – Molécula de triacilglicerol (R1, R2, R3 = unidades de ácidos graxos). Fonte: Allinger (1976).

As propriedades físico-químicas e biológicas dos óleos e gorduras são dependentes da estrutura e distribuição dos AG presentes nas moléculas dos TAG. A principal diferença entre eles refere-se ao estado físico desses à temperatura ambiente (SOLOMONS; FRYHLE; SNYDER, 2011). A proporção de grupos acila saturados e insaturados presentes nos triglicerídios é o que garante essa diferença. Nos óleos vegetais as cadeias carbônicas são, em

sua maioria, insaturadas, tornando-os líquidos à temperatura ambiente (25 °C). Nas gorduras vegetais as cadeias carbônicas são saturadas, conferindo a essas uma característica pastosa ou sólida a temperatura ambiente (ANVISA, 2005). Do ponto de vista biológico, alguns ácidos graxos insaturados conferem valor nutritivo por serem considerados essenciais, tais como os ácidos linoleico, linolênico e araquidônico (NELSON; COX, 2002).

O consumo de óleos vegetais tem aumentado no mundo todo, substituindo parte do consumo de gorduras animais. A maioria desses óleos é utilizada em processos industriais e na alimentação humana e animal. No Brasil, o consumo anual de óleos vegetais está em torno de 3,72 milhões de toneladas. O óleo de soja, em virtude do menor preço e da alta disponibilidade no mercado interno é o mais consumido, chegando a 3,2 milhões de toneladas em 2006/07 (86% do total consumido) (NUNES, 2007).

O uso cotidiano dos óleos vegetais levou a necessidade de se avaliar melhor o seu grau de resistência, principalmente a sua estabilidade ao armazenamento e estresse térmico. Em vista disso, as gorduras vegetais têm sido muito utilizadas principalmente nos processos de fritura, visto que, devido à presença de ácidos graxos saturados, tornam-se mais estáveis e permitem utilização por um maior período de tempo, sem alterações nas suas características iniciais (REDA; CARNEIRO, 2007).

### **2.3 Fritura por imersão**

O processo de fritura por imersão é um dos métodos mais antigos e populares de preparo de alimentos, que remonta a 1.600 a.C (SAHIN; SUMNU, 2009), sendo até hoje, uma das formas mais tradicionais de processamento térmico de alimentos (SÁNCHEZ-MUNIZ; BASTIDA; 2006; VARELA; RUIZ-ROSO, 2000).

A fritura é um método de processamento de alimentos fácil, rápido, barato e origina produtos muito apreciados pelo consumidor devido às suas características organolépticas únicas de sabor e textura (SÁNCHEZ-MUNIZ; BASTIDA, 2006). Pode ser definido como um processo de secagem e cozimento (OSAWA; GONÇALVES; MENDES, 2010) que envolve a transferência simultânea de calor (através de condução) e de massa (perda de água e absorção de óleo), tornando o óleo, um componente do produto final (DEBNATH; et al., 2003-2009; LOKESH; et al., 2012; SHEN; et al., 2012).

O processo de fritura por imersão (Figura 3) consiste em mergulhar o alimento em banho de óleo ou gordura quente (160 – 180 °C) (ANVISA, 2005; LAWSON, 1994; SAHIN; SUMNU, 2009).

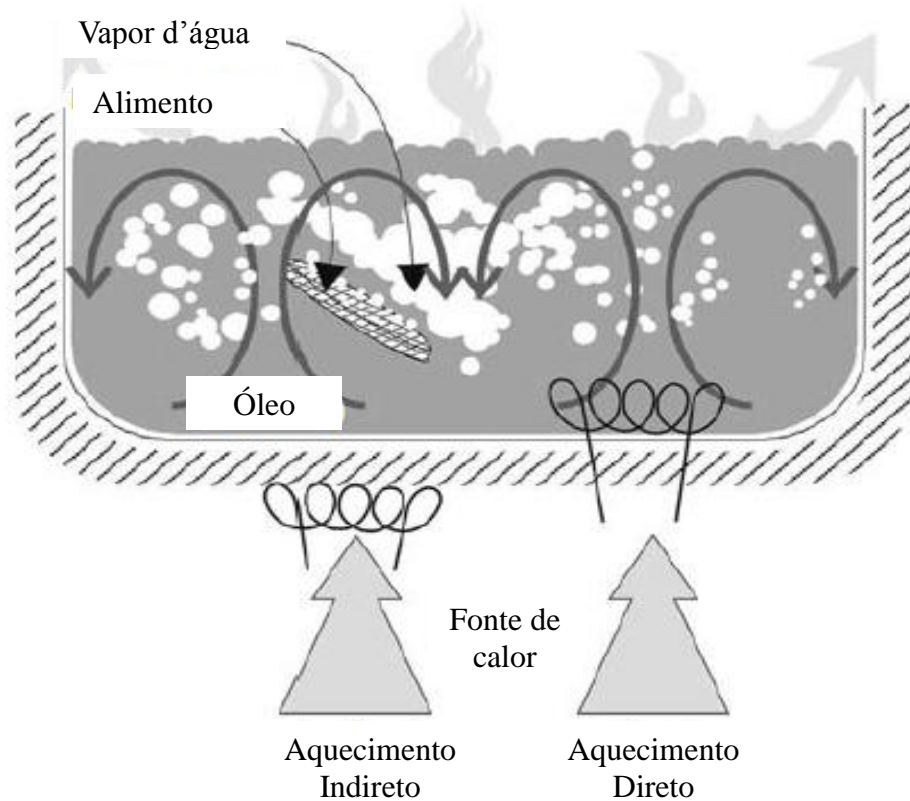


Figura 3 – Princípio da transferência de calor por convecção durante fritura. Fonte: Sahin; Sumnu (2009).

A transferência de calor se dá por convecção no óleo e por condução na superfície do alimento para o seu interior, sendo responsável pelo aumento da temperatura do alimento, fazendo com que haja a vaporização interna da água (HAGHI; AMANIFARDI, 2008; SAHIN; SUMNU, 2009). As principais características dessa técnica de preparo dos alimentos são a alta temperatura e a rápida transferência de calor. Assim, o tempo do processo depende, principalmente, da temperatura do meio de fritura e do tipo de alimento (HALDER, et al., 2007; SAHIN; SUMNU, 2009). O contato direto, entre o meio de fritura e o alimento, faz com que esse processo seja mais eficiente que o cozimento por ar quente em fornos e mais rápido que o cozimento em água (CHA-UM; RATTANADECHO; PAKDEE, 2009; HAGHI; AMANIFARDI, 2008; SAHIN; SUMNU, 2009).



Existem dois tipos de frituras por imersão: a contínua e a descontínua. A fritura contínua é utilizada, principalmente, pelo mercado industrial de grande porte. A fritadeira contínua deve ser constantemente alimentada com óleo novo, de forma a manter a temperatura entre 180 e 190 °C. Por outro lado, a fritura descontínua é caracterizada por ciclos de aquecimento e resfriamento do óleo, e normalmente tem sido utilizada em ambientes domésticos, lanchonetes, restaurantes, pastelarias e empresas de pequeno porte. Nessa última, a temperatura fica em torno de 160 e 180 °C (SANIBAL; MANCINI-FILHO, 2002).

Durante a fritura, há uma absorção de óleo considerável (em torno de 6 a 50%, normalmente), que é dependente do processo e do alimento (SMITH, et al., 1985). Entretanto, o aprimoramento e otimização do processo visa reduzir a absorção do óleo pelo produto, bem como reduzir a formação de compostos danosos à saúde, como a acrilamida que apresenta elevado potencial carcinogênico (SAHIN; SUMNU; OZTOP, 2007).

É sabido que, além das propriedades da matéria-prima, os métodos e condições de fritura afetam a qualidade do produto (MOREIRA; CASTELL-PEREZ; BARRUFET, 1999). Dessa forma, processos alternativos, tais como fritura a vácuo (MOREIRA; CASTELL-PEREZ; BARRUFET, 1999) e fritura em micro-ondas estão sendo avaliados (CHU; HSU, 2001; OZTOP; SAHIN; SUMNU, 2007; SAHIN; SUMNU, 2009; SENSOY; SAHIN; SUMNU, 2013).

## **2.4 Fritura em micro-ondas**

A radiação micro-ondas é um tipo de energia eletromagnética com comprimento de onda que varia de um milímetro a um metro e frequência de 300 MHz a 300 GHz, sendo que as frequências entre 0,95 GHz e 2,5 GHz são comumente utilizadas para aquecimento (DAS; et al, 2009).

As micro-ondas são polarizadas e podem ser transmitidas, absorvidas ou refletidas, dependendo do tipo de material (SUTTON, 1989). Quando são transferidas para o material através da interação do campo eletromagnético, agem a nível molecular (DAS; et al., 2009).

O aquecimento por micro-ondas vem sendo utilizado em vários processos de alimentos, tais como cocção (ARUN; RAJKUMAR, 2011), secagem (GIULIANI; et al., 2008), pasteurização (LAU; TANG, 2002), descongelamento (FARID; THAER, 2001), desinfecção (GIULIANI, 2010; PICOUET; AYMERICH; MONFORT, 2008) e esterilização

(PICOUET; AYMERICH; MONFORT, 2008; YARMAND; HOMAYOUNI, 2009; SUN; TANG; POWERS, 2007). Quando as micro-ondas interagem com um alimento, o calor é gerado na superfície e no seu interior. A taxa de calor gerado é mostrada pela Equação 1 (DATTA 1990):

$$Q = 2\pi\varepsilon_0\varepsilon''fE^2 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde,  $Q$  é a taxa de calor gerado por unidade de volume,  $\varepsilon_0$  é constante dielétrica do vácuo,  $\varepsilon''$  é o fator de perda dielétrica do alimento,  $f$  é a frequência da radiação micro-ondas e  $E$  é a raiz quadrada média da intensidade do campo elétrico. O aquecimento por micro-ondas é também chamado de aquecimento dielétrico, existindo dois mecanismos principais para a transformação de energia eletromagnética em calor: condução iônica (migração de íons dissolvidos quando sob a ação de um campo eletromagnético) e rotação de dipolo (relacionada com o alinhamento das moléculas com o campo elétrico aplicado) (KINGSTON; JASSIE, 1988; SANSEVERINO, 2002; THOSTENSON; CHOU, 1999).

No mecanismo de condução iônica, os íons migram em função da presença do campo eletromagnético. A mudança na direção do campo faz com que haja uma migração eletroforética de íons e, resulta conseqüentemente, no aquecimento por efeito Joule (SAHIN; SUMNU, 2009).

No mecanismo de rotação dipolar, moléculas polares alinham-se ao campo eletromagnético. Na ausência do campo eletromagnético, as moléculas retornam à desordem termodinâmica, liberando energia térmica (SAHIN; SUMNU, 2009).

Como no aquecimento por micro-ondas a energia é absorvida no volume, à medida que a temperatura aumenta, a pressão do vapor de água aumenta e, portanto, a taxa de evaporação aumenta. Uma vez que a taxa de evaporação aumenta, aumenta a pressão no interior do alimento e essa pressão faz com que a água líquida flua através de capilares, (DATTA; RAKESH, 2013), por onde o alimento acaba absorvendo parte do meio de fritura (AKOH; MIN, 1997).

A equação geral para a transferência de umidade durante o aquecimento por micro-ondas inclui os termos de movimento de umidade devido a gradientes de concentração e pressão (DATA; RAKESH, 2013; SAHIN; SUMNU, 2009):

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \alpha_m \nabla^2 M + \alpha_m \delta_p \nabla^2 P \quad (\text{Equação 2})$$

Onde,  $M$  é o teor de umidade (fases líquida e vapor),  $\alpha_m$  é a difusividade de umidade,  $\delta_p$  é o gradiente de pressão,  $P$  é a pressão e  $\nabla$  é o operador rotacional do campo elétrico.

Fundamentalmente em relação ao sistema convencional, o sistema de aquecimento por micro-ondas possui elevadas taxas de aquecimento, embora seja dependente do objeto em questão. Nesses sistemas a distribuição do calor normalmente é mais uniforme e seletiva, uma vez que áreas úmidas aquecem mais rapidamente que as áreas secas (tal seletividade não ocorre em aquecimento convencional). Ao contrário do aquecimento convencional, a evaporação significativa no interior do alimento aquecido leva a mecanismos adicionais de transporte de umidade. Esses mecanismos aumentam a perda de água durante o aquecimento (DATTA; RAKESH, 2013), levando a uma maior absorção de óleo, no caso de frituras (AKOH; MIN, 1997).

Os estudos de aplicação de micro-ondas em processos de fritura ainda são incipientes. Entretanto, os poucos trabalhos encontrados na literatura permitem evidenciar algumas vantagens e desvantagens para o processamento. Atualmente existe uma patente que contempla esse tipo de processo a qualquer alimento de maneira a proporcionar aquecimento uniforme nos alimentos e economizar óleo (CHENG; PENG, 2006). Pesquisadores como Sahin e Summu (2009) e Haghi e Amanifardi (2008) reportaram como as principais vantagens do processamento de fritura com micro-ondas o curto tempo e a economia de energia. Assim, o uso do micro-ondas para fritar alimentos a fim de melhorar a qualidade de produtos fritos pode ser uma boa alternativa em relação a fritura convencional. No entanto, os resultados de degradação do óleo/gordura podem ser maiores ou menores que em sistema convencional, devido à complexidade do processo. As altas taxas de evaporação favorecidas pelo aquecimento em micro-ondas podem aumentar o conteúdo de água no meio de fritura e acelerar reações hidrolíticas (SAHIN; OZTOP; SUMNU, 2007). Chu e Hsu (2001) estudaram o efeito de diferentes tratamentos térmicos na qualidade de cebolas fritas e avaliaram o óleo usado. Observaram que o óleo manteve uma melhor qualidade e os compostos voláteis foram mais preservados em micro-ondas devido ao uso de temperaturas mais baixas e menor tempo de processamento quando comparado ao sistema convencional.

A formação do composto carcinogênico, acrilamida foi estudado por Sahin, Oztop e Sumnu (2007) em frituras com micro-ondas. Nesse estudo foi reportado redução de 74,4% do teor de acrilamida em batatas fritas, utilizando o processo de fritura com potência de 550 W em comparação com sistema convencional de fritura. Ao reduzir o nível de potência de micro-ondas para 400 W, atingiu-se uma redução ainda maior no teor de acrilamida (87,85% em relação ao controle). Os mesmos autores ainda investigaram os efeitos das condições de processamento sobre a qualidade de batatas fritas em micro-ondas, além da origem do óleo (girassol, milho e avelã). Em todos os casos os resultados mostraram que o aumento da potência de micro-ondas aumentou a perda de água (aumento da temperatura) e a absorção de óleo durante a fritura.

Ngadi et al., (2009) avaliaram a influência do pré-tratamento de micro-ondas em diferentes níveis nas variações de umidade e relataram uma redução na absorção de óleo em *nuggets* de frango durante a fritura. Palazoğlu, Tuta e Gökmen (2010) usaram as micro-ondas como pré-tratamento para descongelamento rápido de batata palito, o que reduziu o tempo de fritura e o nível de acrilamida.

## **2.5 Degradação de óleos e gorduras submetidos à fritura**

Apesar das vantagens em se preparar os alimentos através da fritura, esse processo provoca uma série de reações complexas no meio de fritura, como a formação de substâncias que modificam as qualidades funcionais e nutricionais dos óleos e dos alimentos fritos (JORGE, et al., 2005).

As alterações nas qualidades funcionais, sensoriais e nutricionais dos óleos e gorduras ocorrem ao longo do tempo de uso nas frituras, podendo chegar a níveis em que os alimentos perdem qualidade de forma expressiva (DEL RÉ; JORGE, 2006). Além disso, o consumo de alimentos fritos especialmente com óleos/gorduras com grau de alterações pode resultar em um percentual estimável de possíveis danos a saúde, tais como: pré-disposição à arteriosclerose, ação mutagênica ou carcinogênica, devido à elevada toxicidade dos produtos formados durante o processo de fritura, que são ingeridos e absorvidos pelo organismo humano (KUBOW, 1990; TYAGI; VASISHTHA, 1996).

Durante a fritura, parte dos constituintes do alimento, principalmente, água, lipídios, carboidratos e proteínas são transferidos para o meio de fritura (AKOH; MIN, 1997) como mostra a Figura 4.

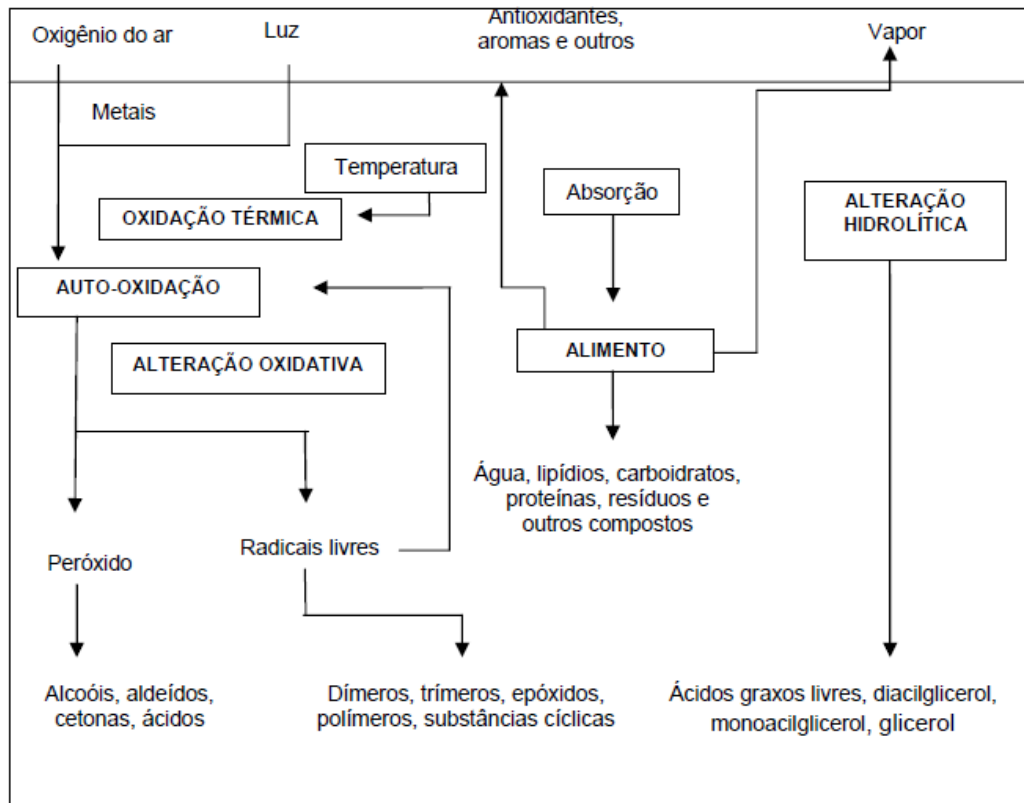


Figura 4 – Reações físico-químicas no óleo ou gordura durante o processo de fritura. Fonte: Akoh; Min (1997).

O mecanismo das alterações termoxidativas e hidrolíticas é complexo, pois depende de uma série de parâmetros, tais como tipo de óleo, tempo e temperatura de fritura, relação superfície/volume do óleo, tipo de aquecimento e natureza do alimento a ser frito (FULLANA et al., 2004; SAGUY; DANA, 2003). A degradação durante um processo de fritura será tanto maior quanto mais prolongado for o período de utilização do óleo e/ou da gordura e maior for sua insaturação (JORGE et al., 2005).

As reações químicas degradativas como a hidrólise, oxidação, isomerização e/ou polimerização são as que ocorrem nesse processo mais intensamente (FUJISAH I et al., 2000; FULLANA et al., 2004; SAGUY; DANA, 2003). Nessas reações, além dos compostos voláteis, formam-se também muitos compostos não voláteis que ao permanecerem no meio

reacional vão afetar as propriedades físicas e químicas de óleos e gorduras (KALOGEROPOULOS; et al., 2012; STIER, 2004; VELASCO; et al., 2009).

No início, a oxidação normalmente ocorre lentamente e, por vezes, decorre da alteração de compostos formados na reação de hidrólise, os ácidos graxos livres. No período inicial, formam-se compostos de grandes dimensões e bastante instáveis (os hidroperóxidos) que se decompõem rapidamente dando origem a uma variedade de produtos secundários, tais como os aldeídos, cetonas, álcoois e hidrocarbonetos, entre outros (WHITE, 1991; BOYD; et al., 1992; HAMILTON, 1994; TAKEOKA; et al., 1996).

A perda de água, pelo alimento, leva à mudança em sua estrutura como a formação de capilares. Por isso, durante o processo, o alimento absorve parte do óleo ou gordura de fritura. O aquecimento provoca ainda, a degradação de compostos, como antioxidantes e voláteis relacionados ao aroma. O nível destas alterações depende das condições do processo (AKOH; MIN, 1997).

A Figura 5 mostra que as principais alterações físicas nos óleos e gorduras de fritura incluem: escurecimento, alterações de viscosidade e formação de espuma e a diminuição do ponto de fumaça. Quanto às alterações químicas, destacam-se: diminuição dos ácidos graxos poli-insaturados, formação de ácidos graxos livres, compostos polares, polímeros, compostos voláteis e peróxidos, os quais são instáveis à temperatura do processo (AKOH; MIN, 1997; FENNEMA, 2000; SAHIN; SUMNU, 2009).

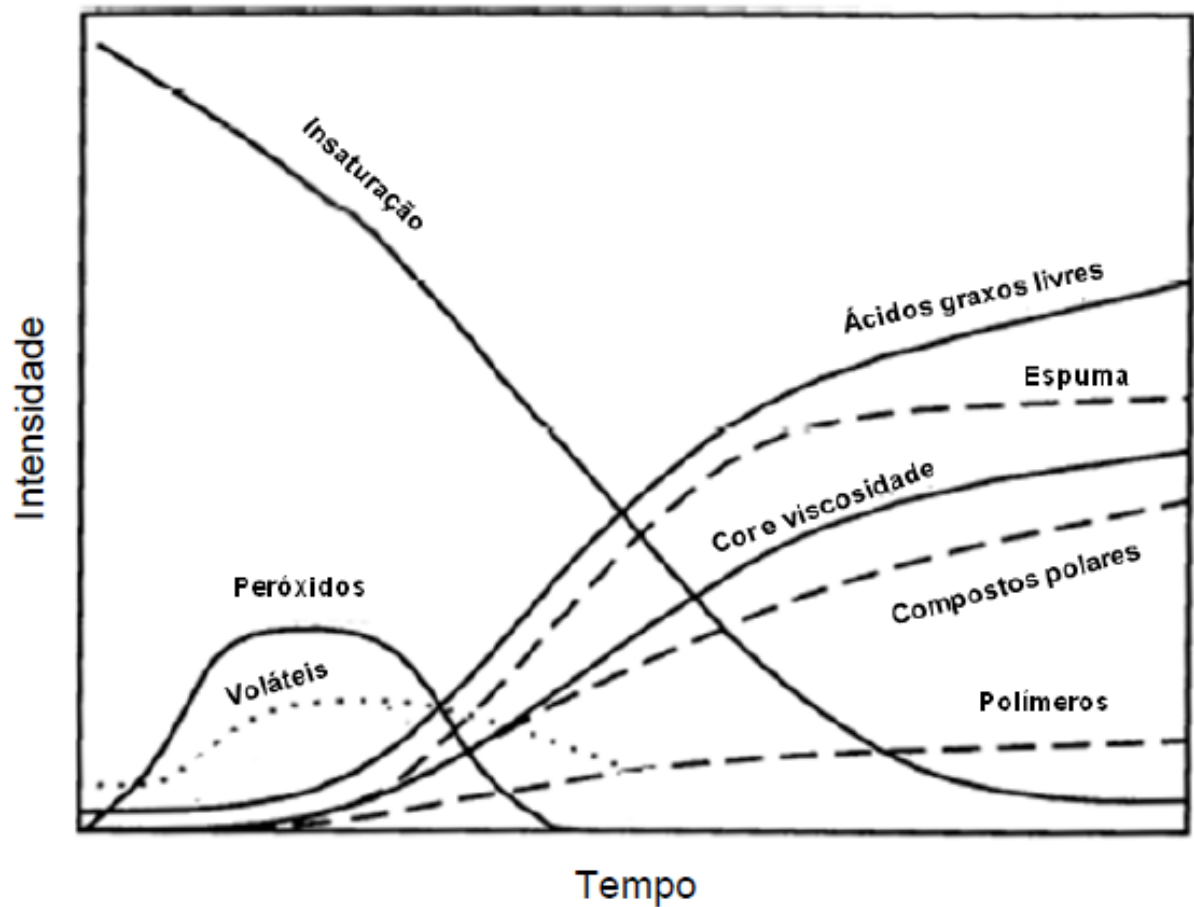


Figura 5 – Alterações físico-químicas nos óleos e gorduras durante o processo de fritura. Fonte: Akoh; Min (1997).

## 2.6 Reações de hidrólise, oxidação e polimerização em óleos submetidos à fritura

### 2.6.1 Reações de hidrólise

Quando o alimento é frito em óleo quente, a água forma vapor que, por sua vez, evapora devido ao aquecimento e agitação do meio de fritura. A evaporação da água vai diminuindo com o desenvolvimento do processo. A água, por ser um agente nucleofílico fraco, ataca a ligação éster do triacilglicerol, formando diacilglicerol, monoacilglicerol, glicerol e ácidos graxos livres, dando origem à rancidez hidrolítica (CHOE; MIN, 2007; SAHIN; SUMNU, 2009).

Além da água, outros componentes do alimento podem ser arrastados para o meio de fritura. Os componentes transferidos, que apresentam caráter ácido ou básico, catalisam a reação de hidrólise do TG (BOBBIO; BOBBIO, 1992). A presença dos produtos da reação, monoacilglicerol, diacilglicerol, glicerol, e ácidos graxos livres, no meio de fritura, também acelera a hidrólise do TG (FREGA; MOZZON; LECKER, 1999).

Segundo Lawson (1994) os principais fatores que aumentam o teor de ácidos graxos livres no meio de fritura dependem da quantidade de água liberada pelo alimento, temperatura do processo, número de frituras e da quantidade de partículas queimadas oriundas do alimento que está sendo frito. Entretanto, a reposição do meio de fritura diminui a velocidade de formação dos ácidos graxos livres.

Uma importante característica comum à maioria dos óleos de origem vegetal e gorduras é o alto percentual de ácidos graxos insaturados nos triacilgliceróis. Em geral, quanto maior o grau de insaturação dos ácidos graxos, mais susceptíveis eles são a deterioração (ZAMBIAZI; ZAMBIAZI, 2000). Ácidos graxos insaturados e de menor cadeia carbônica são mais solúveis em água e, conseqüentemente, mais suscetíveis às reações de hidrólise que os ácidos graxos saturados e os de cadeia carbônica maiores (NAWAR, 1969).

Dessa forma, é essencial saber a composição de ácidos graxos de óleos ou gorduras, a fim de identificar as suas características e determinar mais precisamente as possíveis alterações, bem como para saber a estabilidade destes produtos (St.ANGELO, 1996; ZAMBIAZI, 1999).

### 2.6.2 Oxidação

A oxidação consiste no processo degradativo que ocorre quando o oxigênio atmosférico, ou o oxigênio dissolvido no óleo, reage com ácidos graxos insaturados. As reações químicas envolvidas no processo de oxidação dos óleos são extremamente complexas e geram em seus estados intermediários produtos sensorialmente inaceitáveis, com odores e sabores desagradáveis para o consumo humano.

O processo de oxidação pode ser catalisado por resíduos de metais ou alta temperatura (RAMALHO; JORGE, 2005). Esse processo é essencialmente uma reação em cadeia induzida por radicais, dividido em iniciação, propagação e terminação (NELSON; COX, 2002).



A reação direta entre o ácido graxo insaturado e o oxigênio, em sua forma mais estável, triplete ( $^3\text{O}_2$ ), é endotérmica e improvável. No entanto, o oxigênio triplete pode ser excitado na presença de sensibilizantes como luz, radicais, radiação e aquecimento, dando origem a uma forma mais reativa, o oxigênio singlete ( $^1\text{O}_2$ ) (SAHIN; SUMNU, 2009). Essa espécie reativa do oxigênio é altamente eletrofílica e reage prontamente com substâncias que apresentam alta densidade de elétrons, como ocorre ao longo da cadeia nos ácidos graxos insaturados, produzindo hidroperóxidos alílicos (através da transferência de uma ligação dupla). Por isso, quanto maior o grau de insaturação do ácido graxo, mais suscetível às reações de oxidação (FENNEMA, 2000).

Ácidos graxos insaturados como, por exemplo, o ácido linoleico, em contato com oxigênio do ar no estado singlete perde um dos hidrogênios entre as duas ligações duplas, dando origem a um radical livre bis-alílico, estabilizado por ressonância (Figura 6).

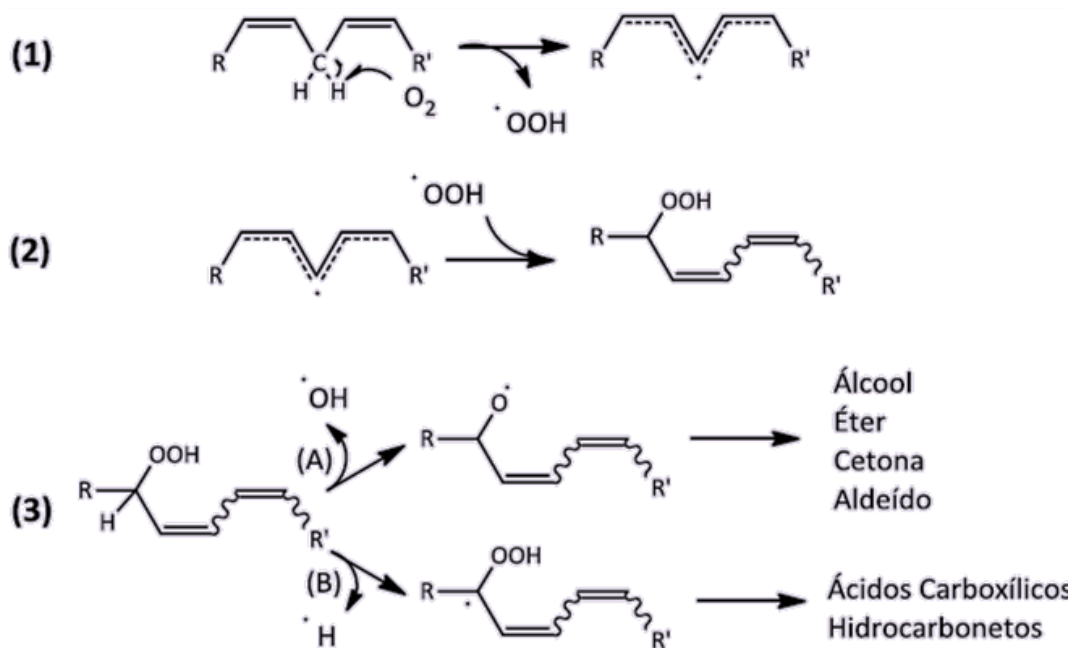


Figura 6 – Reações de óleos e gorduras aquecidos em presença de ar: (1) formação de radicais estabilizados por ressonância; (2) formação de hidroperóxidos; (3) decomposição homolítica - A e oxidação induzida da cadeia - B. Fonte: Martins; Mello; Suarez (2013).

Posteriormente, ocorre a combinação dos dois radicais gerados, levando à formação de um hidroperóxido. Nessa etapa, ocorre a conjugação e a isomerização das ligações duplas. O hidroperóxido, por ser instável, se decompõe por clivagem da ligação O–O (caminho A da

Figura 6, decomposição homolítica) ou da ligação C–H (caminho B da Fig.6, oxidação induzida da cadeia) (MARTINS; MELLO; SUAREZ, 2013).

Essa decomposição leva a formação de diversos compostos, como novos peróxidos, cetonas, aldeídos, éteres e álcoois, ou, através da oxidação induzida da cadeia, esta pode ser clivada com a formação de compostos com menor número de átomos de carbonos (MALLÉGOL; LEMAIRE; GARDETTE, 2000; MARTINS; MELLO; SUAREZ, 2013).

Na etapa de terminação, todo material é degradado irreversivelmente, levando à decomposição total do produto e gerando odor rançoso, proveniente das moléculas voláteis formadas (SILVA; BORGES; FERREIRA, 1999).

Estudos de Corsini e Jorge (2006) mostraram que a estabilidade oxidativa dos óleos de palma, algodão e girassol, diminuíram ao longo dos tempos de fritura. Os mesmos autores verificaram que a estabilidade oxidativa do óleo de palma, mais saturado, foi superior a dos óleos de algodão e girassol, mais insaturados.

Outro fator relevante no estudo da oxidação é o aumento da temperatura, pois a taxa de concentração de oxigênio torna-se menos influente, uma vez que o oxigênio é menos solúvel em temperaturas elevadas (JORGE; et al., 2005; SANIBAL; MANCINI-FILHO, 2002). Quando óleos e gorduras são expostos ao oxigênio atmosférico, a taxa de oxidação aumenta proporcionalmente à área superficial. Malacrida e Jorge (2006) constataram que quanto maior a relação superfície/volume, maior a exposição ao ar e conseqüentemente, maior formação de hidroperóxidos, visto que os peróxidos são originados pelas reações oxidativas devido a presença de oxigênio no ar, catalisadas pelo aumento da temperatura.

### 2.6.3 Polimerização

A polimerização ocorre quando duas ou mais moléculas de ácidos graxos combinam-se em razão de alterações no processo de oxidação e também em altas temperaturas. A maior parte dos produtos de decomposição, do meio de fritura, é formada de compostos polares não voláteis, dímeros do triacilglicerol e polímeros e, em menor quantidade, compostos cíclicos (POKORNÝ; DOSTÁLOVÁ, 2010; REDA; CARNEIRO, 2007; ZHANG; et al., 2012).

A Figura 7 mostra a formação de dímeros, trímeros e polímeros acíclicos, a partir de radicais, durante o aquecimento do ácido oleico, em fritura por imersão. Os polímeros resultantes promovem aumento na viscosidade do óleo, podendo resultar na formação de

compostos cíclicos. Monômeros cíclicos são nutricionalmente indesejáveis, pois podem ser absorvidos pelo organismo juntamente com os ácidos graxos e assimilados pelo sistema digestivo (CHOE; MIN, 2007; MORETTO; FETT, 1998; LIN; et al., 1997).

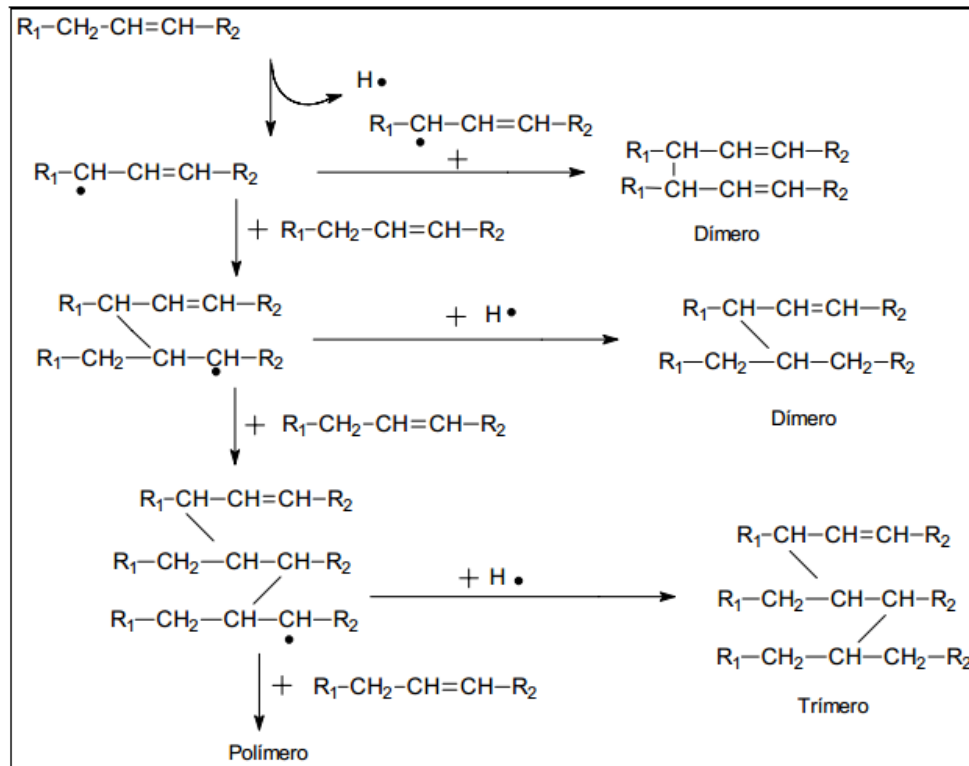


Figura 7 – Formação de polímero acíclico do ácido oleico (18:1n-9) durante o processo de fritura. Fonte: Choe; Min (2007).

Entender as mudanças e as alterações que os óleos e gorduras vegetais sofrem durante o aquecimento pode levar à otimização dos processos de fritura e, conseqüentemente, garantir um produto de melhor qualidade nutricional.

## 2.7 Métodos para avaliar as alterações oxidativas no meio de fritura

Os possíveis riscos a saúde como predisposição à arteriosclerose, ação mutagênica ou carcinogênica, relacionados ao consumo de alimentos submetidos à fritura em óleos aquecidos ou oxidados, têm sido comentados e revisados (JORGE; LUNARDI, 2005).

Entretanto, no Brasil não há regulamento que defina legalmente critérios de monitoramento e controle para reutilização de óleos e gorduras de processos de frituras.

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA (2004) determinou as recomendações de boas práticas, para que a quantidade de ácidos graxos livres não seja superior a 0,9%, o teor de compostos polares não seja maior que 25% e que os teores de ácido linolênico do óleo de fritura não devam ultrapassar o limite de 2%.

O monitoramento das mudanças físicas, químicas e sensoriais provocadas pela oxidação de óleos e gorduras, a fim de estabelecer o ponto de descarte pode ser feito através de diferentes análises, uma vez que, o nível de alteração depende das características do alimento, do óleo ou gordura onde será feita a fritura, presença de ar, temperatura, adição de ácido cítrico, agentes antiespumantes, antioxidantes, equipamentos e demais condições do processo (DEL RÉ; JORGE, 2006). A combinação de todas essas variáveis é que determina a taxa em que as reações de degradação ocorrem. Portanto, um método específico pode ser bom para avaliar um determinado sistema e não ser aplicável a outros (FRITSCH, 1981; STEVENSON; VAISEY-GENSER; ESKIN, 1984).

### 2.7.1 Compostos polares totais (CPT)

Os novos compostos formados diferem na polaridade dos principais compostos inicialmente presentes no óleo fresco. Esse tem sido o método mais importante na análise de óleos/gorduras de fritura. Incluído na maioria dos regulamentos oficiais em diferentes países, estabelece que óleos e gorduras de fritura devam ser rejeitados para consumo humano quando o conteúdo de compostos polares for maior que 25% (FIRESTONE, 1996).

Entende-se por compostos polares totais todos aqueles compostos que tem uma polaridade maior que os triacilgliceróis e que correspondem aos não voláteis, resultantes da alteração oxidativa, térmica e hidrolítica (DEL RÉ; JORGE, 2006).

A determinação dos CPT pelo uso da cromatografia clássica em coluna (CC) tornou-se o método padrão aprovado (IUPAC, 1987), sendo reconhecido mundialmente como método mais confiável (DORBAGANES; VELASCO; DIEFFENBACHER, 2000; GERTZ, 2001).

A determinação dos CPT consiste em fracionar a amostra de óleo, em relação à polaridade de seus constituintes, discriminando as frações polar e apolar utilizando cromatografia de adsorção. A fração não polar contém, basicamente, TAG não alterados e, na

fração polar, se encontram os compostos de degradação ou compostos polares (DORBAGANES; VELASCO; DIEFFENBACHER, 2000).

O uso do método oficial na determinação de CPT apresenta algumas limitações, como a demanda de pessoal treinado, além de ser extremamente trabalhoso e moroso. Algumas pesquisas foram realizadas na tentativa de encontrar técnicas analíticas mais rápidas, na determinação de CPT de óleos e gorduras de fritura (MARMESAT; et al., 2007; GIL; CHO; YOON, 2004).

Dentre os testes rápidos, encontra-se o instrumento analisador da qualidade de óleos e gorduras de fritura Testo, o qual determina a quantidade de CPT baseado na constante dielétrica do meio e permite medida entre 40 a 210 °C (sensibilidade de 0,5%).

As medições em Testo 265 e 270 foram avaliadas repetidamente por diversos pesquisadores (DOBARGANES, 2007; LEE; et al., 2007; JUÁREZ; et al., 2011; OSAWA; et al., 2012; SÁNCHEZ-GIMENO; et al., 2008; TANAMATI; et al., 2010) e os resultados obtidos foram concordantes com os resultados obtidos pelo método cromatográfico, de maneira que esse equipamento foi apontado como uma ferramenta válida, com boa repetibilidade e reprodutibilidade, de fácil manuseio, compacto e não requer mão-de-obra especializada.

### 2.7.2 Índice de Peróxidos (IP)

Os produtos primários da oxidação de lipídios são os hidroperóxidos, geralmente referidos como "peróxidos". Peróxidos são compostos orgânicos formados a partir de triglicerídios instáveis. O índice de peróxido (IP) é o método clássico para a determinação do ponto de oxidação do óleo (LAWSON, 1985; ROSELL, 1983). Mede a formação de hidroperóxidos intermediários em miliequivalentes de oxigênio ativo por kg de amostra e segundo a ANVISA esse índice deve ser no máximo de 10 meq kg<sup>-1</sup>.

Peróxidos são instáveis sob condições de fritura e um aumento no índice de peróxido durante a fase inicial de fritura pode ser observado. Entretanto, em um determinado ponto, esse aumento é seguido por uma diminuição, devido à formação de compostos poliméricos (CHATZILAZAROU; et al., 2006; PERKINS, 1967). Sendo assim, o IP pode não ser um bom indicador do estado de alteração do óleo, pois a velocidade de degradação pelo calor é maior que a velocidade de formação dos peróxidos (JORGE; et al., 2005).

Sanibal e Mancini-Filho (2002) reportaram que a acidez e o índice de peróxidos isolados não são medidas recomendadas para avaliação da deterioração de óleos e gorduras de fritura, mas, mesmo assim, são os únicos parâmetros químicos escolhidos pela norma brasileira para regulamentar a adequação de óleo para o consumo no país.

### 2.7.3 Dienos conjugados (DC)

Os dienos conjugados (DC) são produtos primários da oxidação lipídica (AKOH; MIN, 1997). A oxidação de ácidos graxos poli-insaturados é acompanhada por um aumento de absorção no ultravioleta (WHITE, 1991). A absorção à 232 nm mostra um aumento quase constante em virtude da formação de isômeros de dienos conjugados, a partir dos ácidos graxos naturalmente presente no óleo ou gordura, ao longo do tempo de aquecimento e processo de fritura (TSAKNIS; et al., 1999). O método baseia-se na formação de ligações de alcenos conjugados e a sua medição na região do ultravioleta (UV).

A quantidade de dienos conjugados formada, nos óleos, depende das condições do processo de fritura bem como do tipo de alimento frito. Lake e Scholes (1997) obtiveram maiores teores de dienos conjugados nos óleos de fritura de carnes e peixes do que, nos utilizados na fritura de batata.

### 2.7.4 Perfil de ácidos graxos (AG)

A cromatografia a gás (CG) é a técnica mais utilizada para a análise da composição de ácidos graxos (AG) em lipídios e, conseqüentemente, para verificação da alteração do nível de oxidação dos AGI. Os AG são normalmente analisados por CG depois de sua derivatização a ésteres metílicos de ácidos graxos (EMAG).

O método deve ser escolhido considerando, principalmente as características da amostra a ser analisada (MILINSK et al., 2008) e pode ser promovido por catálise ácida ou básica. Os métodos de esterificação básica não convertem AG livres em EMAG, devido à reação de saponificação. Por isso, a sua aplicação se torna limitada no caso de óleos com elevado índice de acidez (GUTNOKOV, 1995; BANNON et al., 1982).

Como os óleos e gorduras que são submetidos a sucessivos processos de fritura podem apresentar elevados índices de acidez (CELLA; REGITANO-D'ARCE; SPOTO, 2002), o método utilizado nesse trabalho, para obtenção dos EMAGs, foi o de catálise ácida (HARTMAN; LAGO, 1973). A técnica emprega duas etapas: saponificação e esterificação.

Na etapa de saponificação utiliza-se uma mistura de hidróxido de potássio e metanol e na esterificação, utiliza-se o reagente preparado pela mistura de ácido sulfúrico e metanol. Para que a reação de transesterificação seja completa é necessária uma proporção molar de 3:1 de álcool por triacilglicerol, entretanto, devido ao caráter reversível da reação, adiciona-se em excesso o álcool (agente transesterificante) para um bom rendimento da reação (MEHER; et al., 2006). A reação de esterificação ocorre quando se tem ácidos graxos livres na presença de álcool para formar ésteres através da reação de condensação (SOLOMONS; FRYHLE, 2011). Essas reações são catalisadas por ácidos e devido ao caráter reversível da reação, também pode ser adicionado em excesso o álcool para garantir um melhor rendimento da reação (MILINSK, 2007).

A determinação do teor de ácidos graxos poli-insaturados (AGPI) é o principal índice de sua estabilidade oxidativa. Os AGPI altamente insaturados, tais como o ácido linolênico, são mais facilmente oxidados e polimerizados que ácidos graxos com menos insaturações e à medida que aumentam o número de ligações duplas num ácido graxo, aumenta a velocidade relativa de oxidação (BECKMANN, 1983).

Mudanças no perfil de ácidos graxos durante a fritura ocorrem, basicamente, entre os ácidos graxos insaturados, visto que os saturados (mirístico, palmítico e esteárico) podem ser ligeiramente aumentados ou mantidos constantes (TYAGI; VÂSISHTHA, 1996). No entanto, tal como indicado em alguns estudos, a redução do conteúdo de PUFA pode não ser significativa (CHATZILAZAROU; et al., 2006; TSAKNIS; et al., 1999).

A identificação dos EMAG por cromatografia gasosa baseada na comparação dos tempos de retenção dos analitos com padrões de referência, pode por vezes não ser conclusiva. No entanto, a combinação de vários parâmetros pode proporcionar maior confiabilidade na identificação (MILINSK; et al., 2011). A fortificação da amostra com padrão (*spike*) e a comparação dos tempos de retenção em colunas de polaridades diferentes, do tamanho equivalente de cadeia e análise do espectro de massas são parâmetros utilizados para aumentar o grau de confiança na identificação dos analitos. A quantificação dos EMAG normalmente é realizada por calibração interna. Nesse método, o padrão interno e a amostra são injetados em conjunto, permitindo que os resultados de ácidos graxos sejam expressos em massa, através do uso de fatores de correção (VISENTAINER; FRANCO, 2006).

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Amostras

As amostras de óleo de soja – OS (12 litros, com adição de antioxidantes TBHQ e ácido cítrico) e de gordura vegetal - GV (15 kg, composta por óleo de soja e/ou palma e/ou algodão hidrogenado, contendo os antioxidantes TBHQ e ácido cítrico e polidimetilsiloxano como antiespumante) utilizadas nos experimentos foram adquiridas no comércio local.

Foram adquiridos de um produtor local aproximadamente 100 kg de batata inglesa (*Solanum tuberosum* L.) da variedade Asterix, com 5 dias de colheita. As batatas foram mantidas em câmara refrigerada a 8 °C, sendo retiradas somente 24 horas antes do processamento.

As batatas foram descascadas manualmente e cortadas e padronizadas em formato de palito, de 60 × 10 × 10 mm e no formato de *chips*, com dimensões aproximadas de 50 × 2 mm. Em seguida, os pedaços foram imersos em água para a remoção do excesso de amido e, após, foram secos em papel toalha.

### 3.2 Tratamentos

Para os experimentos de fritura das batatas com radiação micro-ondas foi utilizado um forno doméstico da marca Panasonic, modelo Perfect (Manaus, Brasil) capacidade para 22 litros, frequência de 2450 MHz, potência nominal de 800 W e potência real medida segundo Bizzi, et al. (2011) de 604 W. Esse equipamento foi adaptado para atender o processo de fritura.

O controle de temperatura foi feito através do uso de um sensor de infravermelho. Esse sensor foi acoplado a uma placa de processamento que controlava o acionamento do magnetron, não permitindo que o OS/GV ultrapassassem a temperatura máxima do programa de fritura. Para o sistema de fritura em MW foi utilizado um refratário de vidro (dimensões de 18 × 18 × 8 cm – largura × comprimento × altura).



O sistema convencional para comparação utilizou uma fritadeira da marca Mondial, modelo Fast-Fry Ft-01 (China), potência nominal de 1500 W e potência real de 1425 W (dimensões 21,5 × 15,5 × 12,5 cm – largura × comprimento × altura). Em ambos os sistemas a razão superfície/volume de óleo ou gordura foi de aproximadamente 0,3 cm<sup>-1</sup> e a reposição do volume perdido e/ou absorvido foi realizada ao final de cada dia de fritura após a coleta das alíquotas para análise, ou seja, a cada 6 frituras ou 3 horas de uso do óleo. Assim, o efeito MW sobre a oxidação lipídica foi avaliado através da comparação com o método convencional (FC) em sistemas de fritura em óleo de soja e gordura vegetal.

Os processos de fritura foram conduzidos em bateladas até o momento em que OS/GV apresentaram índices de oxidação elevados. Dessa forma, foi definido como parâmetro principal de monitoramento da oxidação a formação de compostos polares totais (CPT), atendendo as recomendações da ANVISA (2004). Nos sistemas de frituras em óleo de soja os CPT atingiram o valor máximo estipulado em 7 dias, perfazendo-se 42 frituras e totalizando 22 horas de uso. Nos sistemas empregando a gordura vegetal, o período experimental foi de 20 dias de fritura, totalizando 122 frituras e 61 horas de uso.

Alíquotas de 15 mL do óleo e da gordura foram coletadas e armazenadas em um ultrafreezer à -80 °C, Thermo Scientific (Marietta, Ohio, USA), em frascos âmbar para a avaliação dos demais parâmetros físico-químicos. As amostras foram coletadas referentes ao número de frituras, sendo para o OS: 0 (in natura), 1, 6, 12, 18, 24, 30, 36 e 42 frituras e para a GV: 0, 1, 6, 12, 18, 24, 30, 60, 94 e 122 frituras.

### **3.3 Condições das frituras**

Um litro de óleo e gordura foram aquecidos por 12 minutos, até atingir a temperatura de 170 ± 2 °C, monitorada através do termômetro do instrumento analisador da qualidade de OS/GV de frituras, marca Testo 270 (Lenzkirch, Alemanha) na fritadeira. No micro-ondas a temperatura do OS/GV foi monitorada pelo sensor de infravermelho (aferido pelo termômetro do Testo 270). A GV foi aquecida à 70 °C até a fusão completa, antes de ser colocada nos sistemas de fritura.

Experimento 1: Uso da radiação micro-ondas no processo de fritura de batata palito.

Foram adicionados, ao óleo/gordura quente, uma porção de  $100 \pm 2$  gramas de batata, que fritou por 6 minutos. Logo após foram retiradas do meio e colocadas sobre papel absorvente para a remoção do excesso de óleo. As batatas fritas foram trituradas em processador doméstico Philips-Walita (Varginha, Brasil) e acondicionadas em papel alumínio, sendo armazenadas à  $-80$  °C para a etapa de análises.

O tempo de intervalo entre frituras foi de 30 minutos, sendo 8 minutos para reaquecimento do OS/GV. Ao final de 6 frituras (após 3 horas) foi coletada a alíquota de OS/GV e o volume remanescente foi filtrado e transferido para proveta de 1 L, onde foram observadas as perdas e realizada a reposição para o volume inicial. Entre os dias o OS/GV foram armazenados em frascos âmbar fechados em abrigo da luz.

Experimento 2: Uso da radiação micro-ondas no aquecimento do óleo em processo de fritura.

O efeito da radiação micro-ondas sobre a degradação do OS foi avaliado através da comparação das frituras nos sistemas irradiando o OS, mas não as batatas. Assim, os sistemas foram conduzidos nas mesmas condições do Experimento 1 (massa e temperatura), sendo as batatas fritas em dois tempos de 1 min (sem acionamento da fonte de aquecimento) com intervalo de 2 min para reaquecimento do OS. Nesse ensaio as batatas foram previamente aquecidas no micro-ondas por 4 minutos (temperatura interna de aproximadamente  $80$  °C) para reduzir o número de imersão das batatas. Os procedimentos de filtragem, coleta de amostra, reposição do OS e número de frituras foram os mesmos relatados anteriormente.

Experimento 3: Uso da radiação micro-ondas no processo de fritura de batata *chips*.

As batatas *chips* foram fritas nas mesmas condições de tempo, temperatura e massa das batatas palito (Experimento 1), e foram analisadas quanto a umidade e o teor lipídico.

### **3.4 Análises físico-químicas das batatas**

Nas amostras de batata *in natura* e batatas fritas foram analisados os teores de umidade e lipídios totais (LT). O teor de umidade foi determinado pelo método 925.09 da AOAC (2005), onde 5 gramas de batata previamente triturada e homogeneizada foram colocados em béqueres previamente secos e pesados. As amostras foram secas em estufa com

circulação a 105 °C até peso constante. Os valores foram expressos em percentagem. Os LT foram determinados pelo método de Bligh e Dyer (1959), onde 3 gramas de amostra foram utilizados para extrair a fração lipídica com uma mistura final de clorofórmio, metanol e água (2:2:1,8 v/v/v) e o teor de LT foi determinado gravimetricamente. Os valores foram expressos em  $\text{g}100\text{g}^{-1}$  de matéria úmida.

### **3.5 Análise da qualidade do óleo e da gordura**

#### **3.5.1 Compostos polares totais**

Os CPT foram determinados pela medida de constante dielétrica através do uso do instrumento Analisador Testo 270 (Lenzkirch, Alemanha), conforme recomendações do fabricante. O sensor foi imerso no OS/GV após 10 minutos da retirada das batatas fritas para as leituras dos CPT e da temperatura. A medida de CPT foi expressa em percentagem do OS/GV.

#### **3.5.2 Índice de peróxidos**

O índice de peróxidos foi determinado conforme método descrito por Shantha e Decker (1994). Dessa forma, o complexo de cor formado foi determinado em espectrofotômetro Aaker, modelo Bel Photonics 1105 (Porto Alegre, Brasil) em 500 nm. O resultado foi expresso em miliequivalentes de oxigênio ativo contidos em um quilograma de amostra.

#### **3.5.3 Dienos conjugados**

A determinação dos dienos conjugados (DC) foi feita empregando o método de Recknagel e Glende (1984). Cerca de 30 miligramas de amostra foram diluídas em

ciclohexano e, após homogeneização, as soluções foram analisadas em Espectrofotômetro UV-Vis, Femto Cirrus 80 ST (São Paulo, Brasil) no comprimento de onda de 232 nm. O teor de dienos conjugados foi expresso em miligramas de DC por mililitros de ciclohexano ( $\text{mg mL}^{-1}$ ).

#### 3.5.4 Índice de refração - ( $n_D^{40}$ )

A determinação foi feita conforme método da AOCS Cc 7-25 (AOCS, 1993). O índice de refração foi medido em 2 gotas de óleo/gordura a 40 °C em refratômetro de Abbé, marca Nova, modelo 2WA (Piracicaba, Brasil), mantido em banho termostatizado.

#### 3.5.5 Composição em ácidos graxos

Cerca de 20 a 30 miligramas de amostra dos óleos e gorduras foram derivatizados a EMAG através do método de saponificação e esterificação por catálise ácida, conforme método proposto por Hartman e Lago (1973). Em cada amostra foi adicionado 1 mg do padrão interno tricosanoato de metila (Supelco, Bellefonte, USA).

#### 3.5.6 Determinação dos ácidos graxos

Os EMAG foram analisados em um cromatógrafo a gás, da marca Varian, modelo Star 3400cx (CA, USA), equipado com detector de ionização em chama (DIC) e amostrador automático, Varian modelo 4200 (CA, USA). Um  $\mu\text{L}$  da amostra foi injetado em um injetor do tipo *split/splitless* operando no modo *split* na razão de 1:50 e temperatura de 250 °C. Hidrogênio foi utilizado como gás de arraste sob pressão constante de 35 psi e vazão inicial de  $1 \text{ mL min}^{-1}$ . A separação dos EMAG ocorreu em coluna capilar de sílica fundida, SP-2560 (Supelco, Bellefonte, USA;  $100 \text{ m} \times 0,25 \text{ mm} \times 0,20 \mu\text{m}$ ). A temperatura inicial da coluna foi de 80 °C, onde permaneceu por 0,5 minuto. Após, aumentou até 175 °C com acréscimo de temperatura de  $15 \text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$ . Em seguida uma programação elevou a temperatura até 190 °C

com acréscimo de  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$  e, então, a uma taxa de  $8\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$  até atingir  $240\text{ }^{\circ}\text{C}$  (15 min). A identificação dos EMAG foi feita por comparação dos tempos de retenção dos analitos com os padrões de referência FAME Mix-37 (Supelco, Bellefonte, USA). A quantificação foi feita com a utilização do padrão interno tricosanoato de metila (23:0) e o método quantitativo foi validado segundo Visentainer (2012).

### 3.5.7 Determinação da temperatura por termografia no infravermelho

As temperaturas no centro das batatas foram monitoradas durante o aquecimento do OS/GV, através do uso de uma câmara de imagem termográfica no infravermelho (modelo FLIR SC-305, com resolução de  $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $8\text{-}13\text{ }\mu\text{m}$ , faixa de trabalho de  $0\text{ a }350\text{ }^{\circ}\text{C}$ , Danderyd, Suécia). As imagens obtidas foram processadas no software FLIR ResearchIR empregando um valor de 0,95 para emissividade.

A câmera foi posicionada sobre um tripé em frente da porta do forno de micro-ondas e ao lado da fritadeira a uma distância de 40 cm, com ângulo mínimo de  $45^{\circ}$  em relação ao objeto de interesse. As imagens foram obtidas imediatamente após o processo de fritura. Amostras de 100 gramas de batatas foram submetidas à fritura em OS/GV e MW/FC nos tempos de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330 e 360 s, onde tanto o óleo quanto a gordura encontravam-se nas mesmas condições de temperatura. Em ambos os sistemas as frituras foram conduzidas a  $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Após, amostras selecionadas aleatoriamente foram cortadas ao meio e foi registrada a imagem termográfica e a temperatura foi medida em 5 pontos centrais, ao longo do comprimento de cada batata cortada, sendo feita a média desses pontos. O tempo decorrido entre a retirada das batatas do OS/GV e o corte foi de aproximadamente 30 segundos. Foi realizada uma fritura para cada tempo, óleo e sistema de aquecimento.

## 3.6 Análise estatística

As análises foram realizadas em três repetições e os resultados submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de tukey ( $p < 0,05$ ). E em alguns casos

compactadas pelo teste  $t$  de Student a 5% de probabilidade. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software Statistica 7.0 (STATSOFT, Inc. 2004).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Uso da radiação micro-ondas no processo de fritura de batata palito

#### 4.1.1 Aspectos físico-químicos das batatas fritas

As batatas utilizadas em todos os experimentos foram da cultivar Asterix pelo fato de apresentarem alto teor de matéria seca e, conseqüentemente, maior rendimento no produto frito, apresentando melhor qualidade em sabor e textura devido à absorção adequada de óleo (CAPEZIO; HUARTE; CARROZZI, 1993; SOUZA, et al., 2011). Adicionalmente, essa variedade apresenta um baixo teor de açúcares redutores frente às demais variedades, o que diminui a quantidade de substrato disponível para as reações de Maillard, que resultam no escurecimento não enzimático dos produtos fritos antes do período de atingir a textura adequada (COELHO, et al., 1999; QUADROS, et al., 2010). As batatas *in natura* utilizadas nesse trabalho apresentaram 82,4% de umidade e 0,1% de teor lipídico, que estão de acordo com os resultados reportados por Jorge e Lunardi (2005).

Os resultados de transferência de massa foram avaliados através do teor de umidade e de lipídios das batatas fritas ao longo de sucessivas bateladas de fritura (Figuras 8 e 9). Na determinação do teor de umidade e lipídios as análises foram feitas em triplicata e os resultados mostraram baixos desvios padrão, mesmo se observando variações nas condições de fritura ao longo das repetições, como temperatura do óleo e cor da batata.

O teor de umidade das batatas fritas em micro-ondas apresentou uma tendência em aumentar comparando as primeiras frituras e as bateladas de fritura 30 e 60, para OS e GV, respectivamente (Figura 8). Para GV o teor de umidade reduziu com o aumento de frituras a partir de 60 bateladas. No sistema convencional de fritura pode ser observado um comportamento de redução do teor de umidade das batatas, sendo mais acentuado para o sistema com GV.

A absorção de lipídios pelas batatas ao longo do aumento do número de frituras apresentou um comportamento aparentemente aleatório para todos os tratamentos (Figura 9). Foi observada relação inversa entre a perda de água e o teor de lipídios.

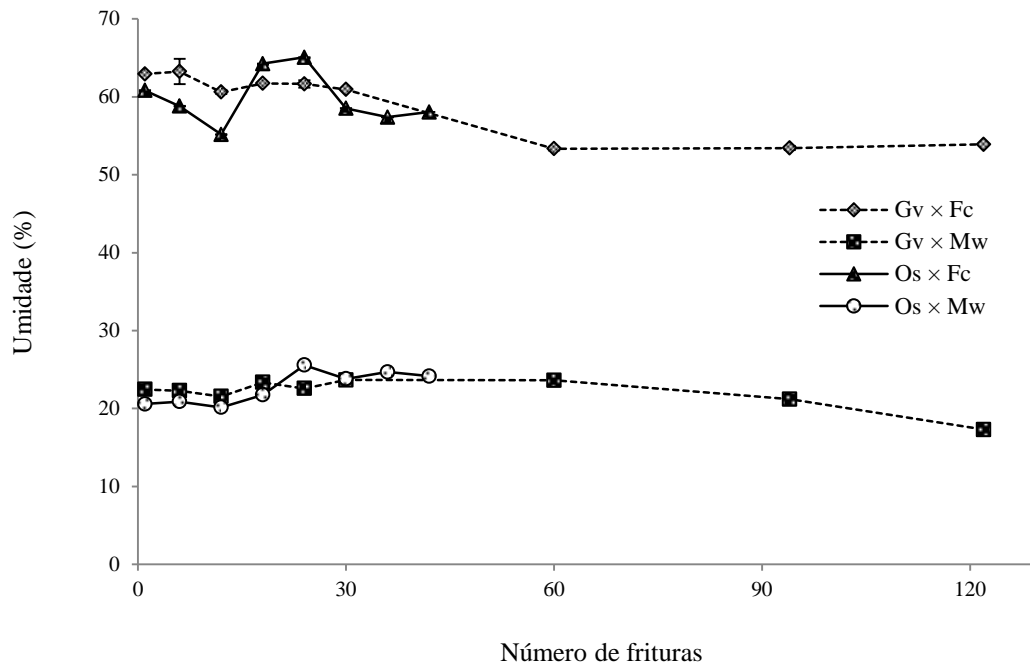


Figura 8 – Teor de umidade (%) das batatas submetidas à fritura óleo de soja (OS) e gordura vegetal (GV), em fritadeira convencional (FC) e micro-ondas (MW) em função do número de frituras.

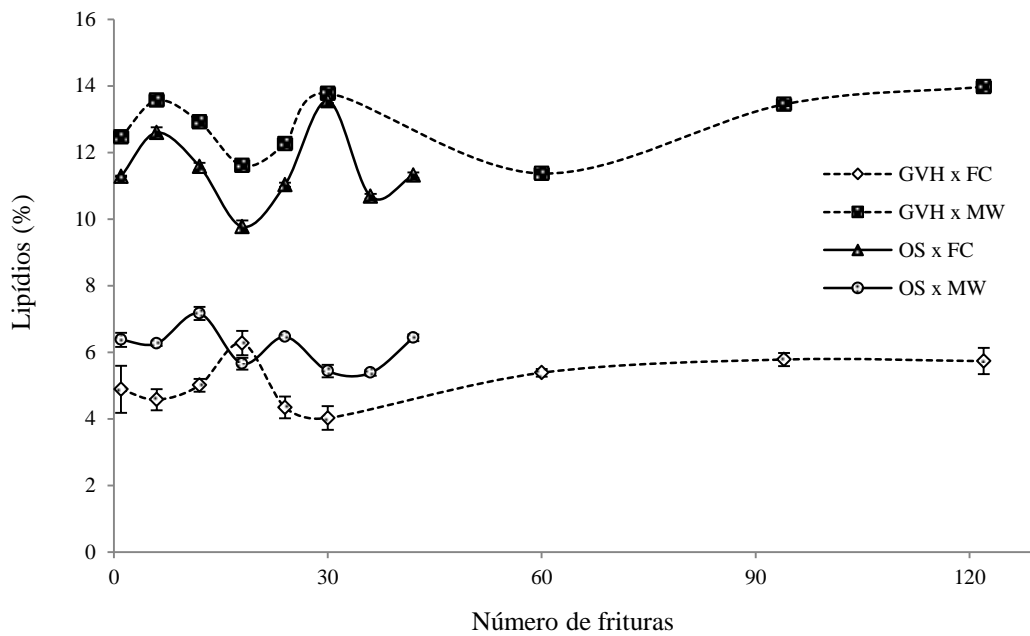


Figura 9 – Teor de lipídios totais – LT ( $\text{g } 100^{-1}\text{g}$  em base úmida) em batatas submetidas à fritura em óleo de soja (OS) e gordura vegetal (GV), em fritadeira convencional (FC) e micro-ondas (MW).



Dessa forma, considerando a diferença entre os tratamentos foram comparadas as médias de todas as observações (Tabela 1). Os valores de umidade das batatas não diferiram para um mesmo sistema de fritura utilizando OS ou GV. Entretanto, quando comparados os sistemas de fritura convencional e micro-ondas foi observada uma redução de aproximadamente 28 e 73% em micro-ondas no teor de umidade da batata em relação às batatas *in natura*, ou seja, a perda de água foi 45% maior em MW comparado a FC.

Em fritura de peito de frango utilizando micro-ondas, Sensoy, Sahin e Sumnu (2013) também observaram maiores perdas de umidade quando comparado à fritura convencional. Os autores atribuíram ao fato de haver turbulência mais elevada no óleo de girassol aquecido no sistema com micro-ondas e, portanto, maior coeficiente de transferência de calor e, conseqüentemente, de massa.

Tabela 1 – Umidade (%) e lipídios ( $\text{g } 100^{-1}\text{g}$  em base úmida) das batatas submetidas à fritura em óleo de soja (OS) e gordura vegetal (GV) em fritadeira convencional (FC) e micro-ondas (MW).

	Umidade (%)		Teste $t^a$
	FC	MW	
Óleo	59,77 $\pm$ 3,29	22,70 $\pm$ 2,02	*
Gordura	59,10 $\pm$ 4,13	21,99 $\pm$ 1,90	*
Teste $t^{b**}$	-	-	
	Lipídios ( $\text{g } 100^{-1}\text{g}$ )		
Óleo	6,15 $\pm$ 0,59	11,48 $\pm$ 1,10	*
Gordura	5,11 $\pm$ 0,71	12,82 $\pm$ 0,96	*
Teste $t^{b**}$	-	-	

Os valores representam a média ( $\pm$  desvio padrão). As médias apresentam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) pelo Teste *t de Student* (5% de significância) ( $n = 24$  para OS e  $n = 27$  para GV)  $a^*$  = entre os sistemas de fritura e  $b^{**}$  = entre óleo e gordura.

A diferença na perda de água entre os sistemas pode ser explicada na forma de transferência de energia térmica. No sistema convencional a fonte de aquecimento transfere por condução a energia térmica para o OS/GV e essa energia, na fração lipídica, é distribuída por convecção. Posteriormente, por condução esta energia é transferida para o alimento. Por outro lado, o aquecimento do OS/GV pela radiação micro-ondas se dá através da energia liberada do atrito originado na rotação de dipolos das moléculas dos triglicerídios e, por sua vez, é transferida para as batatas também por condução.

Entretanto, quando o OS/GV e o alimento são submetidos à radiação MW, além da condução da energia dos lipídios para o alimento, também ocorre a absorção da radiação pela água e outras moléculas com momento dipolar (permanente ou induzido) ou íons contidos no alimento. Esse fato aumenta a geração de vapor d'água no interior do alimento, podendo aumentar a pressão interna de forma significativa, o que explica a maior perda de água do alimento pelo efeito da radiação micro-ondas (Tabela 1) no sistema de fritura com MW (SAHIN; SUMNU, 2009). A saída do vapor de água pelos capilares formados acontece rapidamente no sistema MW, devido ao fluxo orientado de pressão (DATTA; RAKESH, 2013). Esse efeito pode ser considerado como o principal mecanismo envolvido na perda de umidade do alimento, uma vez que a pressão no interior do alimento no aquecimento convencional é menor do que a pressão observada no sistema micro-ondas (DATTA, 1990; DATTA; RAKESH, 2013). Os capilares formados nos alimentos, através da ebulição da água, permitem a absorção do OS/GV pelo alimento (ARROYO; et al., 1992; KROKIDA; et al., 2001), o que explica os elevados teores de LT no sistema aquecido por MW.

Os resultados do teor de lipídios nas batatas variaram entre 5 e 13% em base úmida (10,3 e 18,0% em matéria seca) entre os tratamentos, com valor médio de 8,9%. Segundo Smith, et al. (1985), a absorção de óleo em frituras de alimentos normalmente oscila entre 6,0 e 50,0%, podendo ser influenciada por uma série de parâmetros que atuam sobre as velocidades de transferências de massa e energia, entre o óleo e o alimento, e que são dependentes do próprio alimento, do óleo e das condições de fritura (AGUILERA, 1997; DAMY; JORGE, 2003; PAUL; MITTAL, 1997).

Nos experimentos realizados com MW observaram-se valores significativamente maiores de absorção de lipídios no produto, tanto de OS quanto de GV (Figura 9 e Tabela 1), quando comparados ao sistema convencional. Essa maior absorção está inversamente relacionada com o teor de umidade das amostras. Portanto, como discutido acima, esse fenômeno está relacionado ao processo de fritura convencional a qual o alimento é exposto, uma vez que o MW sendo mais eficiente na eliminação da água o que proporcionou uma maior absorção de lipídios.

Sensoy, Sahin e Sumnu (2013) estudaram alguns parâmetros cinéticos para fritura de peito de frango em micro-ondas e relataram uma redução do tempo de processamento de fritura. No presente estudo os resultados mostraram maior perda de água no sistema MW, onde foi considerado visualmente a cor semelhantes entre as amostras, designando assim o mesmo tempo de fritura em ambos os sistemas (foto ilustrativa do experimento no Apêndice

A). Desse modo para as amostras processadas no sistema FC atingirem o mesmo teor de água do sistema MW, seria necessário um maior tempo de fritura nas mesmas condições.

#### 4.1.2 Aspectos da qualidade do óleo e da gordura utilizados em frituras com micro-ondas

##### 4.1.2.1 Compostos polares totais

Os teores dos CPT iniciais para o óleo e a gordura vegetal foram de 11,5%. Durante o período de utilização do OS e GV foram totalizadas 48 e 122 bateladas durante 8 e 20 dias, respectivamente, avaliando diariamente os CPT nos sistemas MW e FC. Os teores de CPT medidos neste período atingiram valores de 29,0 e 27,5% para os sistemas MW e FC, respectivamente em óleo de soja. Valores semelhantes (19,0%) para ambos os sistemas utilizando gordura foram observados (Figura 10). No Brasil ainda não existe regulamentação para o descarte de óleos e gorduras utilizados em frituras, mas há uma recomendação para o descarte após 25% de CPT (ANVISA, 2004). Valores entre 25-27% são recomendadas em muitos países europeus para determinar do ponto de descarte de OS/GV de frituras (FIRESTONE; et al., 1991).

Em 20 dias de fritura utilizando GV foi observado que os sistemas MW e FC não diferiram entre si nos teores de CPT (Figura 10). Empregando OS o limite do uso em sistema de MW foi de 5 dias (aprox. 30 frituras), enquanto que no sistema FC foi de 7 dias (aprox. 42 frituras). A partir desses pontos as amostras de óleo ultrapassaram os teores de 25% de CPT. Em ambos os sistemas, quando o óleo atingiu o limite máximo indicado do teor de CPT para o descarte, observou-se grande formação de espuma e alterações perceptíveis no odor e na cor do OS e das batatas. As figuras do Apêndice B ilustram a aparência dos OS e das batatas nos amostragens iniciais e nos pontos de descarte.

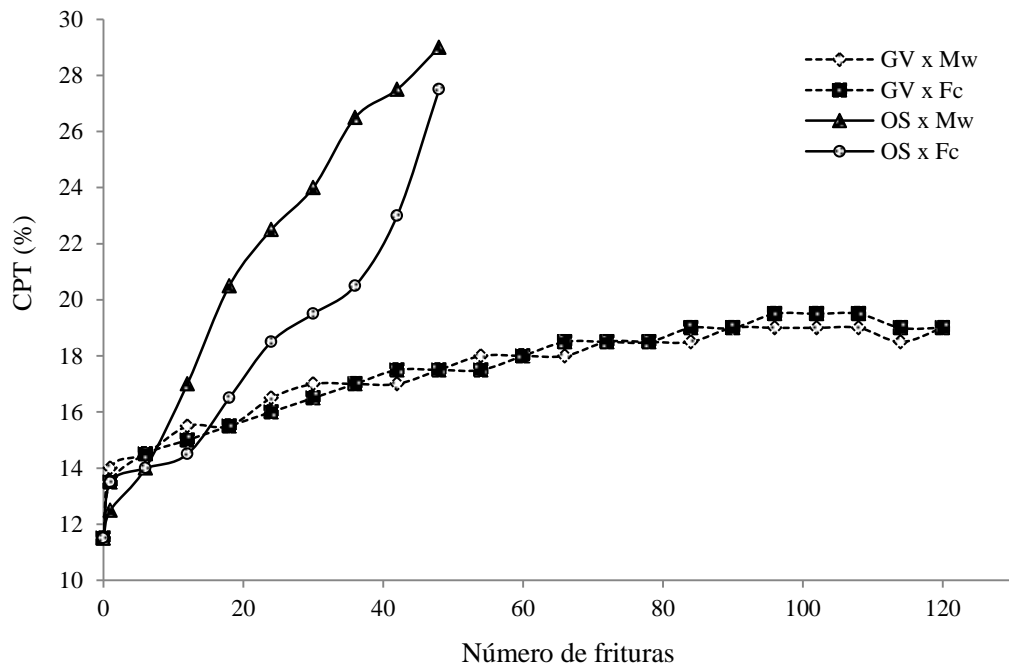


Figura 10 – Compostos polares totais (CPT) formados ao longo das frituras de batata em gordura × micro-ondas (GV × MW); gordura × fritadeira (GV × FC); óleo × micro-ondas (OS × MW) e óleo × fritadeira (OS × FC).

O fato do óleo de soja ter apresentado um aumento significativo na formação de CPT em relação à gordura, deve-se a presença de ácidos graxos poli-insaturados, que possuem taxa de oxidação bem mais elevada que os ácidos graxos saturados da gordura. Ou seja, quanto maior o nível de insaturação de óleos e gorduras, espera-se uma maior formação de CPT (DAMY; JORGE, 2003; JORGE; CORSINI, 2006; TAKEOKA; FULL; DAO, 1997). Os CPT são produzidos quanto há a quebra de peróxidos/hidroperóxidos, e/ou dimerização, e/ou polimerizações de substâncias que contenham oxigênio formando ácidos de cadeia curta, aldeídos, cetonas, álcoois e produtos finais não voláteis no óleo de fritura, o que aumenta a polaridade do meio (DOBARGANES; VELASCO; DIEFFENBACHER, 2000; XU, et al., 1999).

A reposição total durante o período de fritura foi de 560 mL para OS em FC e 650 mL em MW. Para GV nos sistemas de FC e MW foram repostos volumes de 1430 e 1780 mL, de respectivamente. Essas reposições foram feitas a cada seis bateladas de fritura para restituir o volume de OS/GV absorvido pelo alimento e também o volume perdido por projeções durante a fritura, mantendo constante a relação superfície/volume. As reposições com óleo fresco proporciona uma atenuação no aumento do teor de CPT (JORGE; CORSINI, 2006) e é uma prática realizada em indústria e restaurantes (DORBAGANES, 2007; JUÁREZ; et al., 2011;

SÁNCHEZ-GIMENO; et al., 2008). O maior volume total requerido na reposição nos sistemas MW apresentou relação inversa com o teor de umidade da batatas e direta com o teor de lipídios das batatas em massa úmida (média de 5,6% em FC e 12,15% em MW). Esse fato explica o maior gasto de OS/GV nos sistemas com MW.

As diferenças nos teores de CPT observadas entre os tratamentos FC e MW, possivelmente estejam relacionadas às reações hidrolíticas, uma vez que a perda de água das batatas nos sistema MW foi 45% maior do que a observada no sistema convencional.

#### 4.1.2.2 Índice de peróxidos (IP)

Os valores médios de IP observados variaram significativamente entre os tratamentos no período avaliado em cada fração lipídica (Figura 11). Nesses resultados nota-se que os valores das amostras encontram-se abaixo do valor recomendado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA (2004), que estabelece um limite máximo de 10 miliequivalentes de oxigênio ativo por quilograma de amostra, com exceção de um ponto. Nesse caso, na 24ª fritura do tratamento utilizando óleo de soja no sistema de micro-ondas apresentou um IP de 11,67 meq kg<sup>-1</sup> de peróxidos, a qual também foi evidenciada como ponto de descarte para o parâmetro CPT (Figura 10).

Comparando os sistemas de fritura com OS e GV notou-se um aumento mais acentuado na formação de peróxidos nos sistemas com óleo de soja, independentemente do tipo de fonte de aquecimento dos lipídios. Esse comportamento está associado aos maiores teor de compostos insaturados que apresentam maior suscetibilidade as reações termoxidativas encontrados em óleo de soja (RAMALHO; JORGE, 2006).

É importante lembrar que tanto o óleo de soja quanto a gordura vegetal continham antioxidantes TBHQ, ácido cítrico e tocoferóis, empregados intencionalmente para retardar a oxidação lipídica.

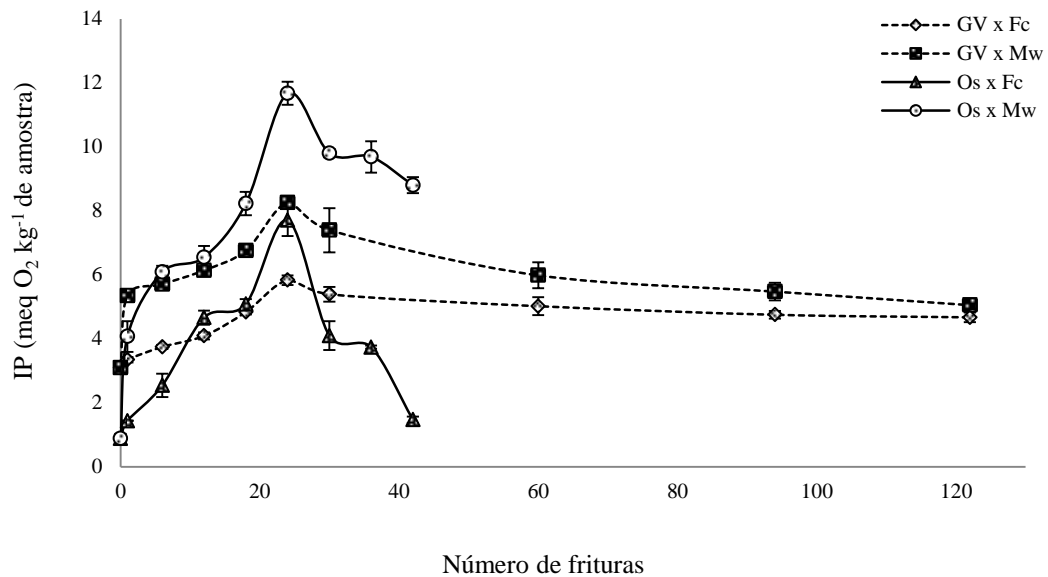


Figura 11 – Índice de peróxidos (meq O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> amostra) medidos no OS e GV ao longo das frituras de batata tipo palito - OS × MW: óleo de soja em micro-ondas; OS × FC: óleo × fritadeira; GV × MW: gordura × micro-ondas e GV × FC: gordura × fritadeira.

Os valores de IP iniciais para gordura vegetal foram superiores ao do óleo de soja, sendo 3,1 e 0,9 meq kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Considerando que o teor do IP está associado a uma medida a ser monitorada principalmente na etapa inicial da oxidação pode-se dizer que através desse parâmetro a gordura vegetal estava em pior estado de conservação, ou então que a maior presença de antioxidantes no óleo de soja tenha inibido a formação inicial de peróxidos. As variações nos valores de IP podem estar atribuídos ao isômero de tocoferol presentes na composição do óleo/gordura. Hassanein, El-Shami e El-Mallah (2003) mostraram que o óleo de girassol (aquecido em MW), composto principalmente de  $\alpha$ -tocoferol, apresentou maior taxa de formação de peróxidos quando comparado a óleo de soja, que continha principalmente  $\gamma$  e  $\delta$ -tocoferóis, com maior atividade antioxidante (YOSHIDA; KAJIMOTO, 1989; YOSHIDA; et al., 1992).

Em todos os sistemas pode ser observado um pico de formação de IP na vigésima quarta fritura e após o decaimento dos IP, indicando uma possível degradação em compostos de menor peso molecular e formação de dímeros e/ou polímeros (CORSINI; JORGE, 2006; CUESTA, et al., 1991; LIMA, 1994). Alguns trabalhos mostram a limitação na metodologia de IP para ser um parâmetro isolado de avaliação da oxidação. Essas substâncias que vão sendo formadas ao longo do processo de fritura aumentam seu peso molecular até que a estrutura se fracione em moléculas menores e, mesmo presentes nos óleos, nem sempre são

detectadas. Além disso, a velocidade de degradação em certos momentos pode ser maior que a velocidade de formação (CUESTA, 1991; LIMA, 1994; MASSON, 1997).

Entre os tratamentos com FC e MW, independente do meio de fritura, pode ser observado uma maior formação de peróxidos nas amostras dos sistemas com MW. Esse fato provavelmente esteja relacionado ao aumento das reações hidrolíticas que foram favorecidas pela maior liberação de água pelas batatas fritas nesse meio de fritura (AKOH; MIN, 1997).

Diante das características observadas, foi possível verificar que o IP foi um parâmetro útil para avaliar a grau de oxidação apenas durante as fases iniciais de oxidação e deve ser complementado com outras avaliações (MALHEIRO, et al., 2011).

#### 4.1.2.3 Dienos conjugados (DC)

Os resultados obtidos para dienos conjugados (Figura 12) mostram que houve formação crescente desses compostos no decorrer do processo de fritura, independentemente dos tipos de produto e óleo utilizados. Os valores iniciais de DC foram de 0,42 e 0,66 mg mL<sup>-1</sup>, para OS e GV, respectivamente.

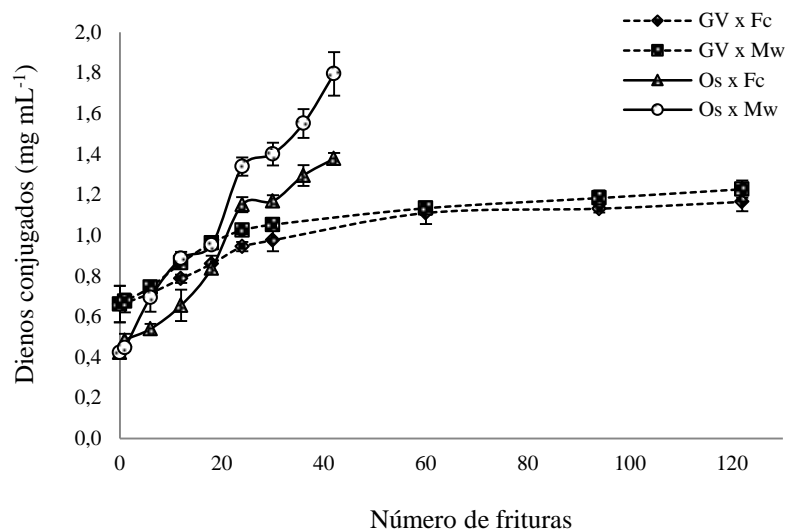


Figura 12 – Dienos conjugados (mg mL<sup>-1</sup>) medidos no OS e GV ao longo das frituras de batata tipo palito - OS × MW: óleo de soja em micro-ondas; OS × FC: óleo × fritadeira; GV × MW: gordura × micro-ondas e GV × FC: gordura × fritadeira.

A Figura 12 apresenta as médias de dienos conjugados ao longo das frituras. Nota-se que na 24ª fritura (4 dias) o óleo de soja apresentou um pico de aumento nos DC, sendo que esse ponto coincide com o ponto máximo de formação de peróxidos. Entretanto, ao contrário do IP, a formação de DC continuou a aumentar até o último dia analisado nos sistemas com OS. Para o sistema com GV os DC aumentaram significativamente até a sexagésima fritura e desse ponto em diante não apresentou mais diferença significativa entre os pontos amostrados ( $p > 0,05$ ). Dessa forma, a avaliação do DC pode ser indicativo da degradação, uma vez que esse parâmetro também apresentou correlações com outros parâmetros de avaliação da oxidação, como os CPT. Ademais, a formação dos compostos com duplas conjugadas ocorrem durante o processo oxidativo concomitantemente com os peróxidos, e, por serem compostos mais estáveis, permanecem no meio de fritura (CELLA; REGINATO-D'ARCE; SPOTO, 2002).

Os valores máximos de dienos obtidos foram 1,80, 1,38, 1,23 e 1,17 mg mL<sup>-1</sup>, para OS × MW, OS × FC, GV × MW, e GV × FC, respectivamente (Figura 12). Foi evidenciada uma diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre o OS aquecido no MW e o óleo aquecido em FC. Maiores valores de oxidação também foram obtidos para aquecimento de OS em MW nas análises de CPT, IP e IR. Esse fato sugere que essas alterações estejam relacionadas às reações hidrolíticas e também à composição majoritária de ácidos graxos poli-insaturados no OS, que ao sofrerem oxidação, geram hidroperóxidos e podendo haver o deslocamento das duplas ligações, com conseqüente formação de dienos conjugados (SILVA, et al., 1999).

Hassenein, El-Shami e El-Mallah (2003) reportaram que o aumento no conteúdo de DC pode estar associado ao processo oxidativo que ocorre durante o aquecimento no MW, uma vez que observaram que os DC de óleo de soja passaram de 0,21% no óleo sem aquecimento para 1,04% após aquecido. Albi, et al. (1997) também observaram que somente o aquecimento convencional resultou em menor dano aos óleos vegetais que o aquecimento por micro-ondas.

Não há recomendações na legislação a respeito do limite de DC considerado aceitável para óleos ou gorduras. Os DC encontrados em nossos estudos foram semelhantes aos valores reportados por Del Ré e Jorge (2006) e por Masson, et al. (1997), onde reportaram valores de 0,3 – 2,6% de DC.



#### 4.1.2.4 Índice de refração

A Figura 13 mostra o comportamento do índice de refração. De maneira geral, verificou-se um aumento no IR para óleos e gorduras, sendo que OS/GV aquecidos em micro-ondas apresentaram maiores índices que OS/GV aquecidos em fritadeira convencional. Devido ao aumento de pressão de vapor de água, no interior das batatas, ter sido mais intenso nos sistemas com MW, foi observada uma maior perda de água pelo produto e, conseqüentemente, um maior carregamento de sólidos para o meio de fritura, os quais são responsáveis por alterar a refringência de OS/GV (MORETTO e FETT, 1998).

As variações do IR também variam de forma paralela à formação de polímeros nos óleos e gorduras aquecidos (GONZÁLEZ-QUIJANO; DORBAGANES, 1988), por isso observou-se correlação entre o aumento do IR e CPT (DOBARGANES; VELASCO; DIEFFENBACHER, 2000). O IR de refração também pode ser correlacionado positivamente com o valor de DC, uma vez que o IR aumenta com o número de duplas ligações, conjugações e tamanho da cadeia hidrocarbonada (JORGE, et al., 2005).

Os maiores IR observados (Figura 13) para óleo de soja em relação à gordura vegetal foram devidos à instabilidade oxidativa dos óleos (maior grau de insaturação), de maneira que os ácidos graxos insaturados são mais sensíveis à oxidação que os saturados (DAMY; JORGE, 2003).

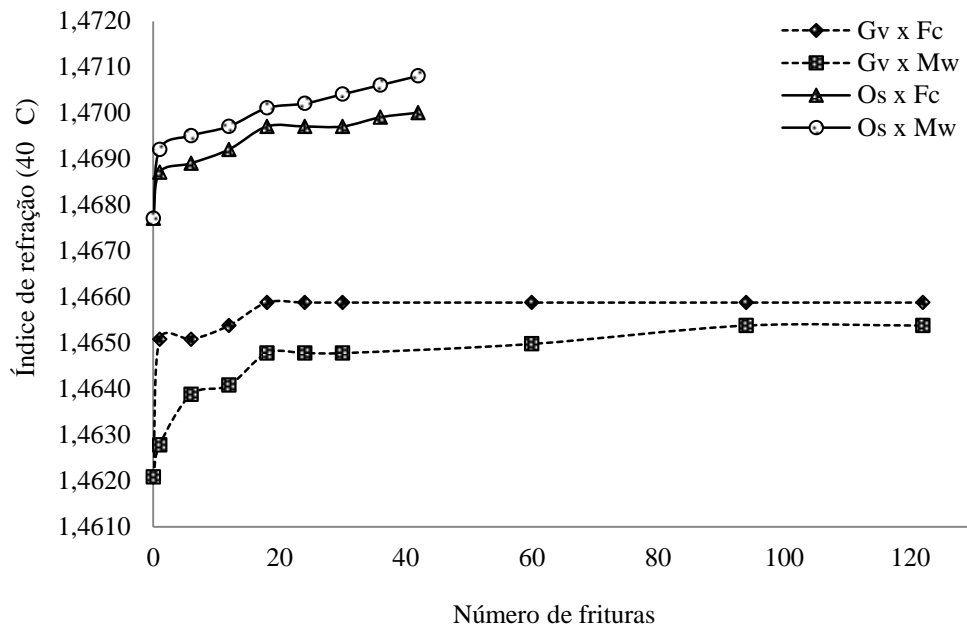


Figura 13 – Índice de refração de óleos e gorduras (40 °C) observado ao longo das frituras de batata em gordura × micro-ondas (GV × MW); óleo × micro-ondas (OS × MW); gordura × fritadeira (GV × FC) e óleo × fritadeira (OS × FC).

O índice de refração é característico para cada tipo de óleo e está relacionado com o grau de insaturação das cadeias, compostos de oxidação e tratamento térmico (MORETTO; FETT, 1998). Esse índice aumenta com o número de duplas ligações, conjugações e tamanho da cadeia hidrocarbonada (JORGE, et al., 2005), como foi observado na comparação entre o OS e a GV.

Os índices de refração recomendados (CODEX, 2003) para óleo de soja  $n_D^{40} = 1,466 - 1,470$  e para gordura vegetal,  $n_D^{40} = 1,454 - 1,456$ . Dessa maneira, o óleo de soja se apresentou dentro dos limites permitidos (1,467-1,470). Entretanto, as amostras de gordura, inclusive na amostra *in natura*, apresentaram valores superiores (1,462-1,465), o que pode ser explicado pela diferença da mistura de óleos que compõe a gordura (soja/algodão/palma). Ao decorrer das frituras a maior variação do IR ocorreu até a 20ª fritura, e a partir desta a variação foi mais tênue, principalmente para as os tratamentos GV × MW, GV × FC e OS × FC. Esse comportamento apresentou correlação com positiva ( $p < 0,05$ ) com os dados de DC e CPT.

#### 4.1.2.5 Ácidos graxos (AG)

A média da concentração ( $\text{mg g}^{-1}$  de óleo) dos ácidos graxos predominantes no óleo de soja e submetidos à sucessivas frituras em fritadeira convencional e micro-ondas encontram-se nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

No óleo de soja sem uso, os AG majoritários foram o linoleico (LA, 18:2 c9,c12)  $402,11 \text{ mg g}^{-1}$ , oleico (18:1 c9)  $222,80 \text{ mg g}^{-1}$ , palmítico (16:0)  $98,79 \text{ mg g}^{-1}$ , linolênico (LNA, 18:3 c9,c12,c15)  $39,82 \text{ mg g}^{-1}$  e esteárico (18:0)  $39,54 \text{ mg g}^{-1}$ . Esses valores se aproximam dos dados encontrados por Tanamati (2008) ao avaliar a instabilidade oxidativa de óleo de soja submetido à fritura de batata palito pré-frita. Os valores reportados por eles foram:  $475,10 \text{ mg g}^{-1}$ ,  $235,98 \text{ mg g}^{-1}$ ,  $99,13 \text{ mg g}^{-1}$ ,  $39,09 \text{ mg g}^{-1}$  e  $32,53 \text{ mg g}^{-1}$ , para os ácidos linoleico, oleico, palmítico, linolênico e esteárico, respectivamente. Em termos nutricionais, a presença de aproximadamente 27% e 55% de AGMI e AGPI, respectivamente, no óleo de soja é desejável.

Benefícios à saúde como a diminuição de riscos de doença coronariana são atribuídos aos AGMI e AGPI (DZISIAK, 2004; MESINK; KATAN, 1990), entretanto, com o decorrer das frituras esses AG vão sendo incorporados ao produto frito e oxidados com o emprego de temperatura mais elevada, principalmente os AGPI, como observado nas Tabelas 2 e 3.

A Figura 14 mostra as variações nas concentrações dos principais ácidos graxos presentes em óleo de soja utilizado como meio de fritura em fritadeira convencional e micro-ondas, respectivamente, ao longo de 42 frituras. Nessas figuras pode-se observar uma diminuição do teor total dos AGMI e AGPI, com diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre alguns resultados (Tabelas 2 e 3). Dentre os AGMI e AGPI houve redução das concentrações dos ácidos linoleico, oleico e linolênico, com diferenças ( $p < 0,05$ ) entre o óleo sem processamento e ao decorrer das frituras. Para os AGT houve aumento na concentração dos isômeros *trans* dos ácidos LA e de alguns LNA (18:3 9c,12t,15c e os isômeros coeluídos 18:3 t9,12c,15c e c9,t12,c15).

Em relação a concentração de AGS não foi observado variação significativa ( $p > 0,05$ ) comparando os diferentes tempos de fritura, bem como entre tratamentos (Tabela 2 e 3).

Tabela 2 – Concentração dos ácidos graxos ( $\text{mg g}^{-1}$  de óleo) do óleo de soja utilizado durante 42 bateladas de fritura de batata palito em fritadeira convencional.

Ácidos graxos	Número de frituras								
	0	1	6	12	18	24	30	36	42
14:0	1,04 ± 0,58 <sup>a</sup>	0,80 ± 0,05	0,77 ± 0,02	0,74 ± 0,02	0,74 ± 0,02	0,75 ± 0,02	0,79 ± 0,04	0,78 ± 0,06	0,83 ± 0,02
16:0	98,79 ± 11,00 <sup>a</sup>	88,60 ± 0,41 <sup>ab</sup>	88,73 ± 0,99 <sup>ab</sup>	87,04 ± 0,89 <sup>b</sup>	89,25 ± 0,51 <sup>ab</sup>	87,97 ± 2,43 <sup>ab</sup>	87,52 ± 0,25 <sup>b</sup>	87,57 ± 2,25 <sup>a</sup>	90,03 ± 1,80 <sup>ab</sup>
16:1	1,08 ± 0,68	0,66 ± 0,06	0,64 ± 0,01	0,64 ± 0,04	0,62 ± 0,00	0,60 ± 0,01	0,56 ± 0,05	0,52 ± 0,03	0,49 ± 0,06
17:0	0,86 ± 0,21	0,77 ± 0,03	0,78 ± 0,04	0,73 ± 0,06	0,73 ± 0,01	0,71 ± 0,07	0,73 ± 0,05	0,72 ± 0,01	0,71 ± 0,06
18:0	39,54 ± 6,31	42,99 ± 1,32	42,26 ± 0,77	41,74 ± 0,58	42,03 ± 0,17	42,10 ± 1,19	42,68 ± 0,23	42,56 ± 1,29	42,10 ± 0,69
18:1 c9	222,80 ± 14,53 <sup>a</sup>	222,25 ± 2,64 <sup>ab</sup>	220,23 ± 5,02 <sup>ab</sup>	219,64 ± 2,88 <sup>ab</sup>	218,09 ± 1,77 <sup>ab</sup>	217,18 ± 1,26 <sup>ab</sup>	214,21 ± 1,16 <sup>ab</sup>	212,72 ± 2,97 <sup>ab</sup>	206,79 ± 3,71 <sup>b</sup>
18:2 c9,t12	1,70 ± 0,04 <sup>b</sup>	2,34 ± 0,09 <sup>a</sup>	2,24 ± 0,09 <sup>a</sup>	2,11 ± 0,15 <sup>a</sup>	2,26 ± 0,01 <sup>a</sup>	2,34 ± 0,19 <sup>a</sup>	2,38 ± 0,18 <sup>a</sup>	2,27 ± 0,14 <sup>a</sup>	2,44 ± 0,11 <sup>a</sup>
18:2 t9,c12	1,06 ± 0,10 <sup>b</sup>	1,91 ± 0,10 <sup>a</sup>	1,81 ± 0,15 <sup>a</sup>	1,65 ± 0,16 <sup>a</sup>	1,62 ± 0,04 <sup>a</sup>	1,88 ± 0,28 <sup>a</sup>	1,83 ± 0,19 <sup>a</sup>	1,73 ± 0,16 <sup>a</sup>	1,93 ± 0,10 <sup>a</sup>
18:2 c9,c12	402,11 ± 4,15 <sup>ab</sup>	405,86 ± 3,39 <sup>a</sup>	398,77 ± 0,63 <sup>ab,c</sup>	395 ± 0,55 <sup>b,c,d</sup>	394 ± 1,19 <sup>b,c,d</sup>	391,77 ± 1,47 <sup>c,d,e</sup>	389,30 ± 1,20 <sup>d,e,f</sup>	384,01 ± 5,80 <sup>c,f</sup>	382,26 ± 4,43 <sup>f</sup>
20:0	3,37 ± 0,18 <sup>b</sup>	4,28 ± 0,23 <sup>a</sup>	4,16 ± 0,14 <sup>a</sup>	4,08 ± 0,12 <sup>a</sup>	4,20 ± 0,12 <sup>a</sup>	4,06 ± 0,20 <sup>a</sup>	4,40 ± 0,15 <sup>a</sup>	4,13 ± 0,04 <sup>a</sup>	4,37 ± 0,14 <sup>a</sup>
18:3 (isom)**	2,19 ± 0,05 <sup>c</sup>	3,05 ± 0,12 <sup>a</sup>	2,85 ± 0,04 <sup>ab</sup>	2,87 ± 0,11 <sup>ab</sup>	2,73 ± 0,07 <sup>ab</sup>	2,69 ± 0,11 <sup>b</sup>	2,74 ± 0,12 <sup>ab</sup>	2,64 ± 0,17 <sup>b</sup>	2,70 ± 0,22 <sup>b</sup>
18:3 9c,12t,15c	-	2,35 ± 0,56	2,46 ± 0,40	2,60 ± 0,08	1,89 ± 0,02	1,94 ± 0,04	2,18 ± 0,59	2,16 ± 0,53	2,15 ± 0,51
18:3 9t,12c,15c	3,43 ± 0,24 <sup>a</sup>	1,99 ± 0,15 <sup>b</sup>	1,85 ± 0,08 <sup>b,c,d</sup>	1,55 ± 0,05 <sup>c,d,e</sup>	1,49 ± 0,03 <sup>d,e</sup>	1,40 ± 0,04 <sup>e</sup>	1,95 ± 0,26 <sup>b,c</sup>	1,76 ± 0,15 <sup>b,c,d,e</sup>	1,70 ± 0,08 <sup>b,c,d,e</sup>
18:3 9c,12c,15c	39,82 ± 0,56 <sup>a</sup>	38,80 ± 1,27 <sup>a</sup>	36,06 ± 0,42 <sup>b</sup>	33,95 ± 0,46 <sup>b,c</sup>	32,86 ± 0,30 <sup>d</sup>	31,36 ± 0,72 <sup>d,e</sup>	30,77 ± 0,33 <sup>d,e</sup>	29,25 ± 1,06 <sup>c,f</sup>	27,46 ± 0,91 <sup>f</sup>
22:0	4,02 ± 0,08 <sup>b</sup>	5,12 ± 0,27 <sup>ab</sup>	4,82 ± 0,31 <sup>ab</sup>	4,69 ± 0,20 <sup>b</sup>	4,90 ± 0,19 <sup>ab</sup>	4,77 ± 0,26 <sup>b</sup>	5,21 ± 0,08 <sup>ab</sup>	4,74 ± 0,25 <sup>b</sup>	6,26 ± 1,37 <sup>f</sup>
NI	1,56 ± 0,05 <sup>c,d</sup>	1,99 ± 0,06 <sup>a</sup>	1,92 ± 0,08 <sup>a</sup>	1,89 ± 0,02 <sup>a</sup>	1,81 ± 0,04 <sup>ab</sup>	1,69 ± 0,12 <sup>b,c</sup>	1,50 ± 0,03 <sup>d,e</sup>	1,37 ± 0,04 <sup>c,f</sup>	1,31 ± 0,06 <sup>f</sup>
∑AGS	147,62 ± 18,29	142,57 ± 1,48	141,50 ± 1,18	139,01 ± 1,25	141,84 ± 0,69	140,37 ± 2,98	141,33 ± 0,26	140,50 ± 3,25	144,27 ± 2,51
∑AGMI	223,88 ± 15,21 <sup>a</sup>	222,91 ± 2,64 <sup>ab</sup>	220,88 ± 5,02 <sup>ab</sup>	220,28 ± 2,88 <sup>ab</sup>	218,70 ± 1,77 <sup>ab</sup>	217,78 ± 1,26 <sup>ab</sup>	214,78 ± 1,11 <sup>ab</sup>	213,24 ± 2,99 <sup>ab</sup>	207,28 ± 3,74 <sup>b</sup>
∑AGPI	450,32 ± 4,67 <sup>ab</sup>	456,30 ± 4,53 <sup>a</sup>	446,05 ± 0,18 <sup>ab,c</sup>	440,21 ± 1,43 <sup>b,c,d</sup>	436,85 ± 1,25 <sup>c,d</sup>	433,39 ± 1,66 <sup>d,e</sup>	431,16 ± 2,57 <sup>d,e,f</sup>	423,82 ± 7,45 <sup>c,f</sup>	420,64 ± 4,01 <sup>f</sup>
∑AGT	8,38 ± 0,20 <sup>b</sup>	11,64 ± 0,86 <sup>a</sup>	11,21 ± 0,32 <sup>a</sup>	10,79 ± 0,54 <sup>a</sup>	9,99 ± 0,04 <sup>ab</sup>	10,26 ± 0,60 <sup>ab</sup>	11,09 ± 1,34 <sup>a</sup>	10,55 ± 1,07 <sup>a</sup>	10,91 ± 0,54 <sup>a</sup>

\*Os valores representam a média ( $\pm$  desvio padrão); Médias acompanhadas pela mesma letra minúscula, na mesma linha, não apresentam diferença significativa ( $p > 0,05$ ) pelo teste Tukey. \*\*Isômeros do ácido linoleico (18:3 t9,12c,15c e c9,t12,c15). NI: não identificado. AGS: ácidos graxos saturados; AGMI: ácidos graxos monoinsaturados; AGPI: ácidos graxos poli-insaturados; AGT: ácidos graxos *trans*.

Tabela 3 – Concentração dos ácidos graxos (mg g<sup>-1</sup> de óleo) do óleo de soja utilizado durante 42 bateladas de fritura de batata palito em micro-ondas.

Ácidos graxos	Número de frituras									
	0	1	6	12	18	24	30	36	42	
14:0	1,04 ± 0,58*	0,74 ± 0,05	0,74 ± 0,09	0,72 ± 0,05	0,87 ± 0,07	0,93 ± 0,05	0,92 ± 0,00	0,81 ± 0,05	0,76 ± 0,02	
16:0	98,79 ± 11,0 <sup>a</sup>	90,43 ± 2,48 <sup>a,b</sup>	88,12 ± 0,25 <sup>a,b</sup>	92,08 ± 2,32 <sup>a,b</sup>	93,61 ± 2,89 <sup>a,b</sup>	92,51 ± 3,54 <sup>a,b</sup>	91,35 ± 2,60 <sup>a,b</sup>	86,44 ± 1,63 <sup>b</sup>	87,05 ± 0,88 <sup>a,b</sup>	
16:1	1,08 ± 0,68	0,63 ± 0,04	0,64 ± 0,05	0,74 ± 0,15	0,72 ± 0,04	0,73 ± 0,07	0,69 ± 0,01	0,75 ± 0,04	0,84 ± 0,07	
17:0	0,86 ± 0,21	0,64 ± 0,0	0,68 ± 0,05	0,75 ± 0,15	0,79 ± 0,04	0,80 ± 0,07	0,80 ± 0,01	0,77 ± 0,04	0,85 ± 0,07	
18:0	39,54 ± 6,31	41,79 ± 1,57	40,63 ± 0,97	41,64 ± 0,91	42,67 ± 0,06	43,64 ± 0,21	42,81 ± 1,68	41,26 ± 0,80	38,77 ± 2,04 <sup>e</sup>	
18:1 c9	222,80 ± 14,53 <sup>a</sup>	224,49 ± 7,05 <sup>a</sup>	222,19 ± 1,48 <sup>a</sup>	221,96 ± 4,29 <sup>a</sup>	225,06 ± 6,60 <sup>a</sup>	223,24 ± 3,59 <sup>a</sup>	222,88 ± 0,57 <sup>a</sup>	220,82 ± 3,0 <sup>a</sup>	190,23 ± 16,28 <sup>b</sup>	
18:2 c9,t12	1,70 ± 0,04 <sup>b</sup>	2,33 ± 0,25 <sup>a</sup>	2,41 ± 0,11 <sup>a</sup>	2,47 ± 0,03 <sup>a</sup>	2,61 ± 0,07 <sup>a</sup>	2,61 ± 0,13 <sup>a</sup>	2,43 ± 0,10 <sup>a</sup>	2,46 ± 0,15 <sup>a</sup>	2,35 ± 0,04 <sup>a</sup>	
18:2 t9,c12	1,06 ± 0,10 <sup>d</sup>	1,94 ± 0,27 <sup>a,b</sup>	2,21 ± 0,03 <sup>a</sup>	1,90 ± 0,03 <sup>a,b,c</sup>	1,92 ± 0,07 <sup>a,b,c</sup>	1,82 ± 0,13 <sup>b,c</sup>	1,67 ± 0,10 <sup>b,c</sup>	1,58 ± 0,15 <sup>c</sup>	1,64 ± 0,04 <sup>b,c</sup>	
18:2 c9,c12	402,11 ± 4,15 <sup>a,b</sup>	414,41 ± 3,49 <sup>a</sup>	405,97 ± 2,18 <sup>a,b</sup>	401,06 ± 5,11 <sup>a,b</sup>	401,73 ± 14,87 <sup>a,b</sup>	390,28 ± 11,47 <sup>b,c</sup>	387,09 ± 2,60 <sup>b,c</sup>	378,03 ± 1,82 <sup>c,d</sup>	362,03 ± 1,89 <sup>d</sup>	
20:0	3,37 ± 0,18 <sup>c</sup>	4,01 ± 0,20 <sup>b</sup>	3,97 ± 0,15 <sup>b</sup>	4,13 ± 0,08 <sup>a,b</sup>	4,28 ± 0,24 <sup>a,b</sup>	4,22 ± 0,24 <sup>a,b</sup>	4,17 ± 0,12 <sup>a,b</sup>	4,47 ± 0,02 <sup>a</sup>	4,14 ± 0,08 <sup>a,b</sup>	
18:3 (isom)**	2,19 ± 0,05 <sup>f</sup>	3,23 ± 0,07 <sup>a,b</sup>	2,93 ± 0,14 <sup>b,c</sup>	3,15 ± 0,08 <sup>a,b,c</sup>	3,34 ± 0,22 <sup>a</sup>	3,01 ± 0,09 <sup>b,c</sup>	2,89 ± 0,12 <sup>c,d</sup>	2,55 ± 0,02 <sup>c</sup>	2,59 ± 0,05 <sup>d,e</sup>	
18:3 9c,12t,15c	-	2,57 ± 0,63 <sup>a,b</sup>	3,00 ± 0,06 <sup>a</sup>	2,14 ± 0,04 <sup>b,c</sup>	2,34 ± 0,27 <sup>a,b</sup>	1,90 ± 0,27 <sup>b,c</sup>	1,59 ± 0,04 <sup>c</sup>	1,85 ± 0,05 <sup>b,c</sup>	1,61 ± 0,17 <sup>c</sup>	
18:3 9t,12c,15c	3,43 ± 0,24 <sup>a</sup>	2,15 ± 0,08 <sup>b</sup>	1,94 ± 0,37 <sup>b,c</sup>	1,72 ± 0,07 <sup>b,c,d</sup>	1,84 ± 0,19 <sup>b,c</sup>	1,56 ± 0,21 <sup>c,d,e</sup>	1,44 ± 0,02 <sup>c,d,e</sup>	1,28 ± 0,10 <sup>d,e</sup>	1,18 ± 0,03 <sup>c</sup>	
18:3 9c,12c,15c	39,82 ± 0,56 <sup>a</sup>	38,51 ± 1,16 <sup>a,b</sup>	37,37 ± 1,02 <sup>a,b</sup>	36,30 ± 0,88 <sup>b,c</sup>	36,19 ± 0,66 <sup>b,c</sup>	34,04 ± 1,60 <sup>c</sup>	30,28 ± 1,00 <sup>d</sup>	27,93 ± 1,57 <sup>d</sup>	27,32 ± 0,06 <sup>d</sup>	
22:0	4,02 ± 0,08 <sup>b,c</sup>	4,96 ± 0,08 <sup>a,b</sup>	4,88 ± 0,08 <sup>a,b</sup>	5,24 ± 0,18 <sup>a,b</sup>	5,73 ± 1,12 <sup>a</sup>	4,59 ± 0,28 <sup>a,b</sup>	4,19 ± 0,15 <sup>b,c</sup>	4,26 ± 0,29 <sup>b,c</sup>	3,31 ± 0,54 <sup>c</sup>	
NI	1,56 ± 0,05 <sup>d</sup>	1,98 ± 0,10 <sup>b,c</sup>	1,94 ± 0,05 <sup>b,c</sup>	2,44 ± 0,04 <sup>a</sup>	2,22 ± 0,03 <sup>a,b</sup>	2,05 ± 0,16 <sup>b</sup>	1,69 ± 0,17 <sup>c,d</sup>	1,38 ± 0,16 <sup>d,e</sup>	1,09 ± 0,08 <sup>c</sup>	
∑AGS	147,62 ± 18,29	142,57 ± 4,30	139,02 ± 0,81	144,57 ± 3,38	147,95 ± 4,22	146,69 ± 4,12	144,24 ± 4,55	138,02 ± 1,67	134,89 ± 3,23	
∑AGMI	223,88 ± 15,21 <sup>a</sup>	225,13 ± 7,08 <sup>a</sup>	222,83 ± 1,44 <sup>a</sup>	222,70 ± 4,39 <sup>a</sup>	225,78 ± 6,63 <sup>a</sup>	223,97 ± 3,58 <sup>a</sup>	223,57 ± 0,56 <sup>a</sup>	221,56 ± 3,04 <sup>a</sup>	191,07 ± 16,23 <sup>b</sup>	
∑AGPI	450,32 ± 4,67 <sup>a,b</sup>	465,13 ± 5,28 <sup>a</sup>	455,84 ± 2,08 <sup>a,b</sup>	448,74 ± 6,15 <sup>a,b,c</sup>	449,96 ± 15,69 <sup>a,b</sup>	435,22 ± 13,44 <sup>b,c,d</sup>	427,40 ± 3,83 <sup>c,d</sup>	415,67 ± 0,88 <sup>d,e</sup>	398,72 ± 1,93 <sup>e</sup>	
∑AGT	8,38 ± 0,20 <sup>d</sup>	12,21 ± 1,06 <sup>a</sup>	12,50 ± 0,64 <sup>a</sup>	11,39 ± 0,24 <sup>a,b</sup>	12,04 ± 1,00 <sup>a</sup>	10,90 ± 0,61 <sup>a,b,c</sup>	10,02 ± 0,23 <sup>b,c,d</sup>	9,72 ± 0,40 <sup>b,c,d</sup>	9,38 ± 0,19 <sup>c,d</sup>	

\*Os valores representam a média (± desvio padrão). Médias acompanhadas pela mesma letra minúscula, na mesma linha, não apresentam diferença significativa (p>0,05) pelo teste Tukey. \*\*Isômeros do ácido linoleico (18:3 t9,12c,15c e c9,t12,c15). NI: não identificado. AGS: ácidos graxos saturados; AGMI: ácidos graxos monoinsaturados; AGPI: ácidos graxos poli-insaturados; AGT: ácidos graxos *trans*.

Foram detectados ácidos graxos *trans* (AGT) no óleo sem uso no processamento, dos quais a maior concentração foi dos isômeros do LNA (18:3 t9,c12,c15 e 9c,12t,15t / 9c,2c,15t). Segundo Tasan e Demirci (2003), a presença desses ácidos graxos indica a utilização de alta temperatura durante o processo de refino, na etapa de desodorização do óleo. Tanamati (2008) obteve composição semelhante em AGT às encontradas no óleo de soja sem uso e durante o processo de fritura (Tabelas 2 e 3).

Algumas alterações na concentração dos AG, nos óleos de fritura podem ser atribuídas às interações lipídicas durante o processo de fritura (DOBARGANES, MÁRQUEZ-RUIZ E VELASCO, 2000). Portanto, variações nas quantidades de AG, durante o processo de fritura, podem ser oriundas dessas trocas lipídicas e não produtos da oxidação lipídica do meio de fritura.

A troca lipídica também foi confirmada no estudo de Tanamati (2008), comparando os resultados entre a concentração dos AG majoritários em empanado de frango, hambúrguer de peixe, hambúrguer bovino e batata palito pré-frita.

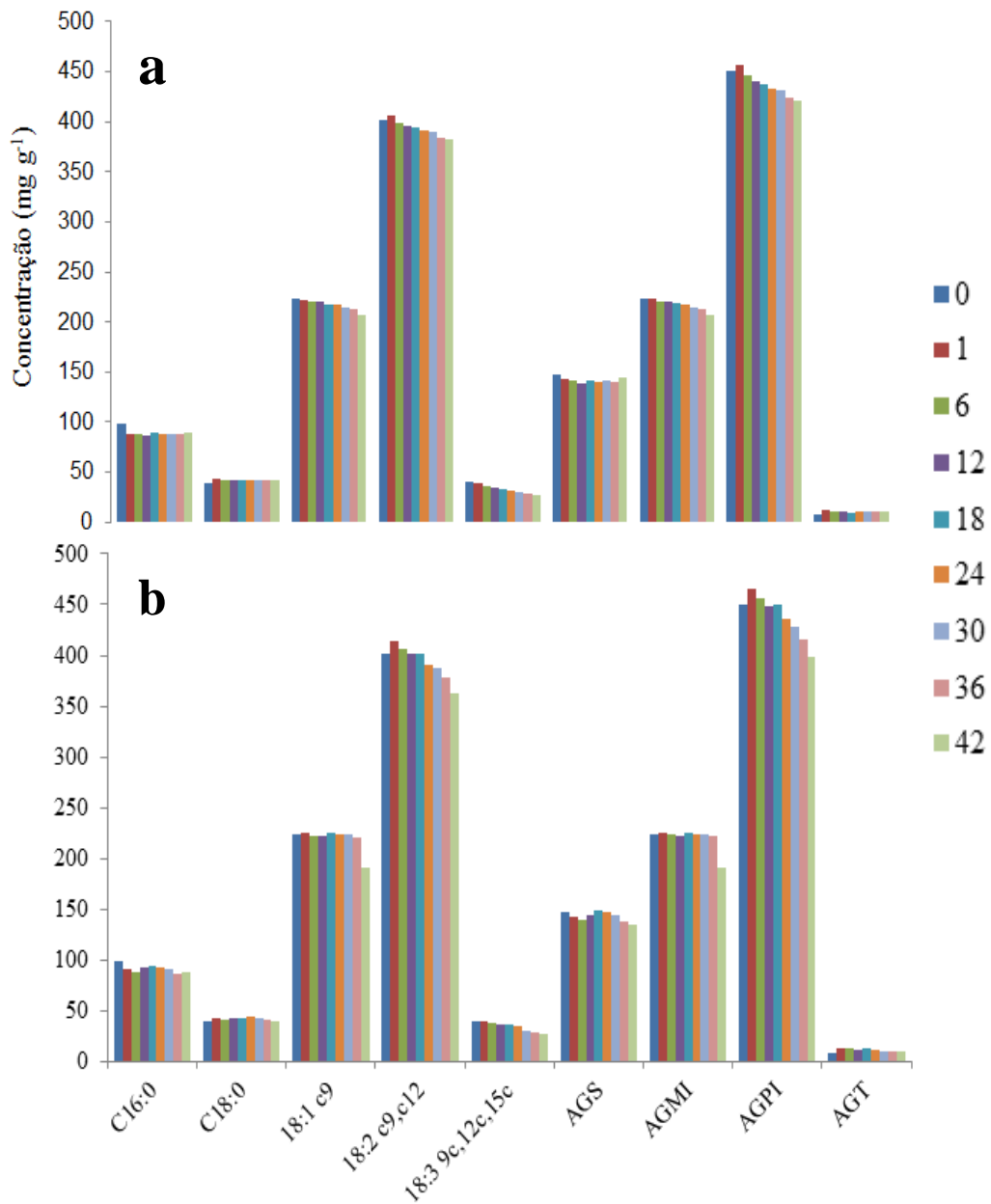


Figura 14 – Concentração (mg g<sup>-1</sup> de óleo) dos ácidos graxos majoritários presentes no óleo de soja submetido à 42 frituras de batata em: a) fritadeira convencional; b) micro-ondas. AGS: ácidos graxos saturados; AGMI: ácidos graxos monoinsaturados; AGPI: ácidos graxos poli-insaturados; AGT: ácidos graxos *trans*.

Ao compararmos os sistemas de fritura: FC e MW (Figura 14) foi possível verificar que ao longo das primeiras 36 frituras os AGMI apresentaram comportamentos distintos e notou-se uma redução mais intensa ao longo das frituras para o sistema FC em relação ao MW. Mas no último ponto avaliado (42) nesse tratamento o teor de ácido oleico reduziu

bruscamente. Assim, o somatório de AGMI apresentou redução de cerca de 4%, em relação ao óleo sem uso, para o sistema de MW e redução de aproximadamente 2% em fritadeira.

Uma perda maior foi observada para os AGPI, em relação ao óleo sem processamento, sendo observada uma redução de aproximadamente 6,3% e 3,6% para os sistemas MW e FC, respectivamente. Os ácidos graxos linoleico (18:2 c9,c12) e linolênico (18:3 c9,c12,c15) apresentaram tendência mais acentuada à redução quando submetidos a aquecimento em micro-ondas, sendo os AG que mais contribuíram no somatório total de AGPI. Essas reduções em ácidos graxos mono e poli-insaturados também foram observadas nos estudos de Yoshida, Tatsumi e Kajimoto (1992), que indicam que a deterioração oxidativa térmica provocou um aumento nos compostos não voláteis, tais como ácidos graxos livres, levando ao desaparecimento dos tocoferóis.

Quanto à formação de AGT, ambos aumentaram de maneira semelhante nos sistemas MW e FC. Isso também foi relatado por Sebedio, et al. (1996) que não observaram diferença significativa, na concentração dos isômeros *trans* dos ácidos LA e LNA no óleo de soja, utilizado em sucessivas frituras de batata pré-frita congelada. Os autores reportaram que um aumento considerável somente foi evidenciado para os isômeros *trans* do ácido LNA em temperaturas superiores a 200 °C.

Dessa forma, as maiores variações indicaram que o sistema MW por apresentar um aquecimento mais efetivo do óleo, resultou em maiores índices de degradação, o que corrobora com os dados de CPT, índice de peróxidos e dienos conjugados, os quais também se apresentaram maiores para frituras em micro-ondas.

Os resultados dos tratamentos realizados com gordura vegetal são mostrados com os teores médios ( $\text{mg g}^{-1}$  de gordura) dos ácidos graxos predominantes durante as sucessivas bateladas de frituras em fritadeira convencional e micro-ondas nas Tabelas 4 e 5, respectivamente. Na gordura antes do processo de fritura, os ácidos graxos majoritários determinados foram o oleico (18:1 c9) 257,94  $\text{mg g}^{-1}$ , linoleico (LA, 18:2 c9,c12) 248,01  $\text{mg g}^{-1}$ , palmítico (16:0) 195,64  $\text{mg g}^{-1}$  e esteárico (18:0) 49,42  $\text{mg g}^{-1}$ .



Tabela 4 – Concentração dos ácidos graxos (mg g<sup>-1</sup>) da gordura vegetal utilizada durante 122 frituras de batata palito em fritadeira convencional.

Ácidos graxos	Número de frituras									
	0	1	6	12	18	24	30	60	94	122
14:0	5,10 ± 0,64	5,13 ± 0,15	5,08 ± 0,18	5,56 ± 0,34	5,43 ± 0,22	5,21 ± 0,71	5,24 ± 0,48	5,80 ± 0,43	5,73 ± 0,89	5,70 ± 0,19
16:0	195,64 ± 13,75	194,28 ± 3,98	194,15 ± 4,18	194,84 ± 3,37	194,22 ± 2,32	192,63 ± 1,28	194,16 ± 3,82	195,29 ± 8,11	193,03 ± 11,23	194,12 ± 1,49
16:1	1,72 ± 0,15	1,43 ± 0,30	1,47 ± 0,13	1,51 ± 0,08	1,49 ± 0,32	1,41 ± 0,09	1,42 ± 0,06	1,48 ± 0,29	1,38 ± 0,06	1,38 ± 0,08
17:0	0,95 ± 0,13	0,75 ± 0,00	0,79 ± 0,06	0,78 ± 0,09	0,79 ± 0,09	0,83 ± 0,14	0,82 ± 0,09	0,81 ± 0,11	0,85 ± 0,06	0,85 ± 0,05
18:0	49,42 ± 8,82	43,75 ± 0,94	46,67 ± 0,74	46,39 ± 2,49	47,30 ± 4,16	47,68 ± 1,49	46,48 ± 0,78	47,38 ± 2,64	45,38 ± 0,77	45,59 ± 2,56
18:1 t9	3,45 ± 0,22 <sup>b</sup>	4,39 ± 0,67 <sup>ab</sup>	4,28 ± 0,20 <sup>ab</sup>	4,80 ± 0,30 <sup>ab</sup>	4,37 ± 0,83 <sup>ab</sup>	4,78 ± 1,17 <sup>ab</sup>	4,87 ± 0,45 <sup>ab</sup>	5,08 ± 0,24 <sup>ab</sup>	5,54 ± 0,51 <sup>b</sup>	5,73 ± 0,34 <sup>a</sup>
18:1 c9	257,94 ± 5,66 <sup>a</sup>	241,44 ± 4,80 <sup>ab</sup>	242,74 ± 5,70 <sup>ab</sup>	235,10 ± 9,13 <sup>b</sup>	237,38 ± 10,46 <sup>b</sup>	231,93 ± 7,38 <sup>b</sup>	227,98 ± 1,36 <sup>b</sup>	226,88 ± 7,40 <sup>b</sup>	226,29 ± 1,78 <sup>b</sup>	226,20 ± 3,03 <sup>b</sup>
18:2 c9,t12	5,11 ± 0,59 <sup>b</sup>	6,45 ± 1,13 <sup>ab</sup>	6,55 ± 0,25 <sup>ab</sup>	6,45 ± 0,36 <sup>ab</sup>	6,57 ± 0,22 <sup>ab</sup>	6,33 ± 0,08 <sup>ab</sup>	6,46 ± 0,53 <sup>ab</sup>	6,79 ± 0,14 <sup>ab</sup>	7,24 ± 1,55 <sup>a</sup>	6,69 ± 0,47 <sup>ab</sup>
18:2 t9,c12	5,17 ± 0,32	6,31 ± 1,19	6,38 ± 0,27	6,20 ± 0,10	6,44 ± 0,47	6,26 ± 1,22	6,52 ± 0,34	6,81 ± 0,19	6,77 ± 1,92	6,44 ± 0,36
18:2 c9,c12	248,01 ± 9,52 <sup>a</sup>	235,75 ± 5,72 <sup>ab</sup>	234,88 ± 1,54 <sup>ab</sup>	234,64 ± 2,81 <sup>ab</sup>	234,13 ± 9,14 <sup>ab</sup>	230,82 ± 10,72 <sup>ab</sup>	227,51 ± 2,34 <sup>b</sup>	227,12 ± 6,50 <sup>b</sup>	224,81 ± 5,14 <sup>b</sup>	219,71 ± 2,60 <sup>b</sup>
20:0	3,74 ± 0,34 <sup>a</sup>	3,68 ± 0,44 <sup>a</sup>	3,37 ± 0,20 <sup>ab</sup>	3,28 ± 0,32 <sup>ab</sup>	3,09 ± 0,29 <sup>ab</sup>	2,91 ± 0,09 <sup>ab</sup>	3,02 ± 0,33 <sup>ab</sup>	3,09 ± 0,59 <sup>ab</sup>	2,81 ± 0,47 <sup>ab</sup>	2,60 ± 0,18 <sup>b</sup>
18:3 9t,12c,15c	2,41 ± 0,08	2,39 ± 0,20	-	-	-	-	-	-	-	-
18:3 9c,12c,15c	2,15 ± 0,10 <sup>a</sup>	1,69 ± 0,08 <sup>b</sup>	1,65 ± 0,04 <sup>b</sup>	1,63 ± 0,10 <sup>b</sup>	1,54 ± 0,33 <sup>b</sup>	1,50 ± 0,11 <sup>b</sup>	1,49 ± 0,02 <sup>b</sup>	1,46 ± 0,06 <sup>b</sup>	1,39 ± 0,02 <sup>b</sup>	1,35 ± 0,04 <sup>b</sup>
NI	0,99 ± 0,01	0,94 ± 0,13	0,85 ± 0,14	0,95 ± 0,20	1,01 ± 0,07	1,02 ± 0,08	1,07 ± 0,14	1,00 ± 0,04	0,99 ± 0,10	0,91 ± 0,06
22:0	1,06 ± 0,17 <sup>b</sup>	1,05 ± 0,07 <sup>b</sup>	1,22 ± 0,24 <sup>ab</sup>	1,37 ± 0,08 <sup>ab</sup>	1,06 ± 0,13 <sup>b</sup>	1,09 ± 0,11 <sup>ab</sup>	1,19 ± 0,14 <sup>ab</sup>	1,21 ± 0,07 <sup>ab</sup>	1,29 ± 0,13 <sup>ab</sup>	1,70 ± 0,52 <sup>a</sup>
NI	2,14 ± 0,04 <sup>a</sup>	1,97 ± 0,17 <sup>ab</sup>	1,84 ± 0,07 <sup>ab,c</sup>	1,71 ± 0,25 <sup>b,c,d</sup>	1,59 ± 0,09 <sup>c,d,e</sup>	1,49 ± 0,04 <sup>d,e</sup>	1,39 ± 0,04 <sup>d,e</sup>	1,37 ± 0,06 <sup>e</sup>	1,37 ± 0,13 <sup>e</sup>	1,35 ± 0,08 <sup>e</sup>
∑AGS	255,90 ± 21,35	248,64 ± 4,64	251,27 ± 3,52	252,23 ± 3,82	251,90 ± 6,70	250,36 ± 2,74	250,91 ± 4,03	253,57 ± 8,34	249,08 ± 10,87	250,55 ± 3,48
∑AGMI	263,11 ± 5,33 <sup>a</sup>	247,25 ± 5,21 <sup>ab</sup>	248,49 ± 5,45 <sup>ab</sup>	241,40 ± 8,92 <sup>b</sup>	243,23 ± 11,09 <sup>b</sup>	238,11 ± 8,19 <sup>b</sup>	234,27 ± 1,76 <sup>b</sup>	233,44 ± 7,52 <sup>b</sup>	233,22 ± 2,15 <sup>b</sup>	233,31 ± 2,84 <sup>b</sup>
∑AGPI	262,86 ± 8,86 <sup>a</sup>	252,59 ± 7,24 <sup>ab</sup>	249,46 ± 2,02 <sup>ab</sup>	248,91 ± 2,52 <sup>ab</sup>	248,67 ± 8,99 <sup>ab</sup>	244,92 ± 10,86 <sup>ab</sup>	241,98 ± 1,81 <sup>b</sup>	242,18 ± 6,59 <sup>b</sup>	240,22 ± 7,33 <sup>b</sup>	234,19 ± 2,78 <sup>b</sup>
∑AGT	16,15 ± 0,83	19,54 ± 2,74	17,20 ± 0,43	17,44 ± 0,05	17,37 ± 1,37	17,37 ± 2,37	17,85 ± 0,37	18,68 ± 0,37	19,55 ± 3,54	18,87 ± 0,09

Os valores representam a média (± desvio padrão). Médias acompanhadas pela mesma letra minúscula, na mesma linha, não apresentam diferença significativa ( $p > 0,05$ ) pelo teste Tukey. NI: não identificado. AGS: ácidos graxos saturados; AGMI: ácidos graxos monoinsaturados; AGPI: ácidos graxos poli-insaturados; AGT: ácidos graxos *trans*.

Tabela 5 – Concentração dos ácidos graxos ( $\text{mg g}^{-1}$ ) da gordura vegetal utilizada durante 122 frituras de batata palito em micro-ondas.

Ácidos graxos	Número de frituras									
	0	1	6	12	18	24	30	60	94	122
14:0	5,10 ± 0,64	5,54 ± 0,44	5,34 ± 0,27	5,65 ± 0,49	6,12 ± 0,70	5,89 ± 0,25	5,96 ± 0,21	6,15 ± 0,13	6,08 ± 0,39	6,10 ± 0,04
16:0	195,64 ± 13,75	194,16 ± 4,28	191,17 ± 6,31	195,73 ± 3,18	195,60 ± 3,77	194,76 ± 9,99	193,90 ± 6,17	196,21 ± 2,04	195,66 ± 19,04	194,20 ± 4,24
16:1	1,72 ± 0,15	1,71 ± 0,10	1,68 ± 0,06	1,74 ± 0,13	1,70 ± 0,16	1,65 ± 0,16	1,67 ± 0,11	1,60 ± 0,04	1,54 ± 0,05	1,45 ± 0,24
17:0	0,95 ± 0,13	0,87 ± 0,06	0,87 ± 0,07	0,77 ± 0,09	0,75 ± 0,27	0,74 ± 0,10	0,79 ± 0,02	0,77 ± 0,04	0,75 ± 0,06	0,77 ± 0,08
18:0	49,42 ± 8,82	48,95 ± 1,12	47,70 ± 1,85	50,05 ± 3,37	49,78 ± 1,95	49,62 ± 2,48	50,11 ± 1,97	49,17 ± 1,22	48,72 ± 1,05	47,13 ± 5,64
18:1 t9	3,45 ± 0,22 <sup>b</sup>	3,54 ± 0,10 <sup>b</sup>	3,87 ± 0,21 <sup>b</sup>	3,85 ± 0,12 <sup>b</sup>	3,94 ± 0,28 <sup>b</sup>	5,24 ± 0,24 <sup>a</sup>	5,06 ± 0,02 <sup>a</sup>	5,19 ± 0,15 <sup>a</sup>	5,17 ± 0,30 <sup>a</sup>	5,28 ± 0,39 <sup>a</sup>
18:1 c9	257,94 ± 5,66 <sup>a</sup>	258,34 ± 2,47 <sup>a</sup>	256,34 ± 3,04 <sup>ab</sup>	255,03 ± 4,82 <sup>ab</sup>	254,09 ± 6,66 <sup>ab</sup>	251,25 ± 5,77 <sup>ab</sup>	248,29 ± 5,45 <sup>ab</sup>	245,81 ± 1,83 <sup>ab</sup>	242,21 ± 6,55 <sup>ab</sup>	237,21 ± 15,20 <sup>b</sup>
18:2 c9,t12	5,11 ± 0,59	5,43 ± 0,36	5,78 ± 0,06	5,88 ± 0,24	5,71 ± 0,27	5,81 ± 0,56	5,95 ± 0,34	5,99 ± 0,10	6,20 ± 0,59	6,00 ± 0,48
18:2 t9,c12	5,17 ± 0,32	5,50 ± 0,26	5,44 ± 0,42	6,00 ± 0,46	6,38 ± 1,24	5,98 ± 0,74	5,88 ± 0,45	6,32 ± 0,19	5,90 ± 0,56	6,74 ± 0,76
18:2 c9,c12	248,01 ± 9,52 <sup>a</sup>	245,65 ± 3,67 <sup>ab</sup>	244,60 ± 2,71 <sup>ab</sup>	242,61 ± 1,80 <sup>ab</sup>	241,34 ± 5,79 <sup>ab</sup>	240,02 ± 4,97 <sup>ab</sup>	237,54 ± 13,93 <sup>ab</sup>	235,18 ± 10,56 <sup>ab</sup>	232,77 ± 14,11 <sup>b</sup>	229,22 ± 20,53 <sup>b</sup>
20:0	3,74 ± 0,34	3,75 ± 0,05	3,78 ± 0,16	3,84 ± 0,61	3,80 ± 0,15	3,70 ± 0,34	3,66 ± 0,64	3,57 ± 0,09	3,57 ± 0,35	3,52 ± 0,27
18:3 9t,12c,15c	2,41 ± 0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18:3 9c,12c,15c	2,15 ± 0,10 <sup>a</sup>	2,10 ± 0,02 <sup>a</sup>	2,10 ± 0,05 <sup>a</sup>	2,08 ± 0,43 <sup>ab</sup>	2,04 ± 0,06 <sup>ab</sup>	1,99 ± 0,21 <sup>ab</sup>	1,89 ± 0,08 <sup>ab</sup>	1,74 ± 0,12 <sup>ab</sup>	1,67 ± 0,10 <sup>ab</sup>	1,51 ± 0,35 <sup>b</sup>
NI	0,99 ± 0,01	0,98 ± 0,10	0,93 ± 0,13	0,93 ± 0,11	0,90 ± 0,15	0,94 ± 0,19	1,21 ± 0,07	1,22 ± 0,03	1,19 ± 0,11	1,21 ± 0,15
22:0	1,06 ± 0,17	1,33 ± 0,08	1,08 ± 0,10	1,10 ± 0,14	1,05 ± 0,36	1,08 ± 0,08	1,04 ± 0,08	1,07 ± 0,05	1,14 ± 0,15	1,21 ± 0,25
NI	2,14 ± 0,04 <sup>a</sup>	2,12 ± 0,03 <sup>a</sup>	2,06 ± 0,09 <sup>a</sup>	2,02 ± 0,08 <sup>ab</sup>	1,96 ± 0,03 <sup>ab</sup>	1,89 ± 0,07 <sup>ab</sup>	1,76 ± 0,15 <sup>bc</sup>	1,60 ± 0,01 <sup>cd</sup>	1,52 ± 0,08 <sup>cd</sup>	1,42 ± 0,20 <sup>d</sup>
∑AGS	255,90 ± 21,35	254,59 ± 3,44	249,93 ± 8,02	257,12 ± 1,06	257,09 ± 4,18	255,80 ± 10,85	255,44 ± 7,13	256,93 ± 0,96	255,93 ± 29,84	252,93 ± 7,68
∑AGMI	263,11 ± 5,33 <sup>ab</sup>	263,60 ± 2,28 <sup>a</sup>	261,89 ± 2,94 <sup>ab</sup>	260,62 ± 4,60 <sup>ab</sup>	259,73 ± 6,37 <sup>ab</sup>	258,14 ± 6,11 <sup>ab</sup>	255,02 ± 5,56 <sup>ab</sup>	252,59 ± 1,64 <sup>ab</sup>	248,92 ± 6,24 <sup>ab</sup>	243,94 ± 15,64 <sup>b</sup>
∑AGPI	262,86 ± 8,86	258,68 ± 3,69	257,93 ± 2,34	256,56 ± 2,73	255,48 ± 6,58	253,80 ± 3,83	251,26 ± 14,42	249,23 ± 10,60	246,53 ± 14,64	243,48 ± 20,49
∑AGT	16,15 ± 0,83 <sup>a</sup>	14,47 ± 0,38 <sup>ab</sup>	15,09 ± 0,17 <sup>ab</sup>	15,73 ± 0,77 <sup>abc</sup>	16,04 ± 1,73 <sup>abc</sup>	17,03 ± 1,46 <sup>abc</sup>	16,89 ± 0,50 <sup>abc</sup>	17,50 ± 0,23 <sup>abc</sup>	17,28 ± 1,43 <sup>bc</sup>	18,02 ± 0,14 <sup>c</sup>

Os valores representam a média ( $\pm$  desvio padrão). Médias acompanhadas pela mesma letra minúscula, na mesma linha, não apresentam diferença significativa ( $p > 0,05$ ) pelo teste Tukey. NI: não identificado. AGS: ácidos graxos saturados; AGMI: ácidos graxos monoinsaturados; AGPI: ácidos graxos poli-insaturados; AGT: ácidos graxos *trans*.

Através das Tabelas 4 e 5 foi possível observar que houve diminuição da concentração total dos AGMI e AGPI e aumento na concentração de AGT, com diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre alguns resultados. Dentre os AGMI e AGPI foi observada redução significativa ( $p < 0,05$ ) somente das concentrações dos ácidos oleico, linoleico e linolênico entre a gordura vegetal sem processamento e as amostras no decorrer das frituras. Os AGT que aumentaram com o processamento foram os isômeros *trans* dos ácidos LA (18:2 c9,t12 e 18:2 t9,c12) e o eláidico (18:1n9t). Os ácidos graxos *trans* (AGT) majoritários encontrados na gordura vegetal sem processamento foram os isômeros do LA (18:2 9c,12t e 9t,12c) somando 10,28 mg g<sup>-1</sup>, eláidico (18:1 9t) 3,45 mg g<sup>-1</sup> e LNA (18:3 t9,c12,c15) 2,41 mg g<sup>-1</sup>, sendo que esse último não foi mais identificado em micro-ondas desde a 1ª fritura e permaneceu presente na gordura até a 6ª fritura em sistema convencional.

Comportamento semelhante ao encontrado para o óleo para os AGS pode ser visto também para a gordura vegetal, não havendo diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre os resultados.

Estudos têm mostrado que a configuração estereoquímica da molécula do ácido graxo é importante no nível de degradação de óleo ou gordura. Essas informações foram confirmadas pela pesquisa de Damy e Jorge (2003), que verificaram as alterações físicas e químicas do óleo de soja e de gordura vegetal hidrogenada durante o processo de fritura descontínua de batata. Os autores observaram que o óleo de soja refinado apresentou maior alteração e maior tendência à polimerização em relação à gordura vegetal hidrogenada, independentemente das temperaturas e dos tempos de fritura. O número, a posição e a geometria das duplas ligações na molécula de ácido graxo afetam a taxa de oxidação dos diferentes tipos de óleo (CHOE; MIN, 2007). Assim, por exemplo, os isômeros *cis* são mais suscetíveis à oxidação do que os isômeros *trans* (URIARTE; GUILLÉN, 2010). Dessa forma, a gordura vegetal sofre menos oxidação do que o óleo vegetal.

A Figura 15 mostra as variações nas concentrações dos principais ácidos graxos presentes em gordura vegetal utilizada como meio de fritura em fritadeira convencional e micro-ondas, respectivamente, ao longo de 122 frituras.

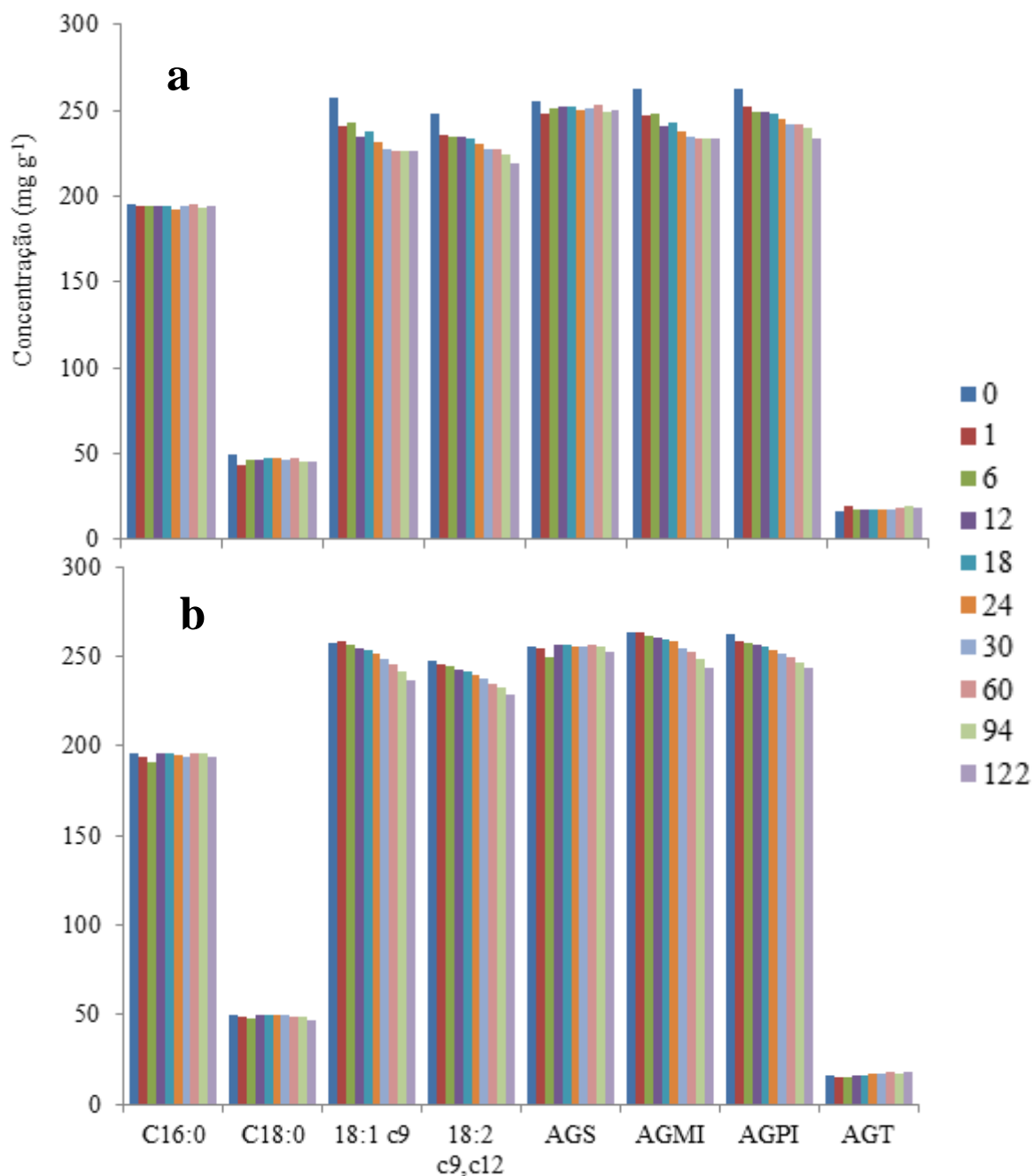


Figura 15 – Concentração (mg.g<sup>-1</sup> de gordura) dos ácidos graxos majoritários presentes em gordura vegetal submetida à 122 frituras de batata em: a) fritadeira; b) micro-ondas. AGS: ácidos graxos saturados; AGMI: ácidos graxos monoinsaturados; AGPI: ácidos graxos poli-insaturados; AGT: ácidos graxos *trans*.

Comparando os sistemas de fritura FC e MW (Figura 15) foi possível verificar que no decorrer de 122 frituras os AGS variaram de forma semelhante em ambos os sistemas, não apresentando variação significativa ( $p > 0,05$ ). O ácido oleico (18:1 c9), reduziu em ambos os sistemas, sendo que no sistema convencional a redução foi de 4,04%, enquanto no micro-ondas a redução foi de 2,64% e o ácido linoleico (18:2 c9,c12) apresentou redução de 3,60% e 2,39% para FC e MW, respectivamente.

De forma geral, os AGMI apresentaram redução de cerca de 3,8%, em relação a gordura sem uso, para o sistema de FC e redução de aproximadamente 2,4% em MW. Já os AGPI, em relação à gordura sem processamento, apresentaram redução de aproximadamente 3,7% e 2,5% para FC e MW, respectivamente.

Os ácidos graxos *trans* aumentaram de maneira similar para ambos os sistemas de aquecimento. O somatório de AGT não diferiu significativamente e partiu de valores que somam 16,2 mg g<sup>-1</sup> e após 122 frituras alcançou concentrações médias de 18,4 mg g<sup>-1</sup> e foram semelhantes aos dados apresentados nos estudos de Tanamati (2008).

#### 4.1.2.6 Determinação da temperatura por termografia no infravermelho

Através das termografias obtidas foi possível monitorar a temperatura interna das batatas durante o aquecimento do OS/GV, a fim de estudar a cinética de aquecimento nos sistemas de fritura.

Conforme a Figura 16 observa-se que o aquecimento do óleo de soja em micro-ondas proporcionou uma temperatura interna maior nas batatas, sendo que em 240 s de fritura o MW atingiu o valor máximo de temperatura (74,0 °C), enquanto a FC nesse mesmo ponto apresentava 70,4 °C. Até 90 s de aquecimento, tanto as batatas fritas em MW, quanto as batatas fritas em FC, apresentaram um aumento na sua temperatura interna. A partir desse ponto, em ambos os sistemas de fritura, houve oscilação entre aumento e queda da temperatura interna. Esse fato pode ser atribuído à dificuldade de controle das variáveis envolvidas no processo de fritura em ambos os sistemas.

Sensoy, Sahin e Sumnu (2013), compararam fritura de peito de frango (1,1×1,7×7,5 cm) em óleo de girassol em micro-ondas e sistema convencional (recipiente de aço, aquecido sobre bico de Bunsen) através de simulação numérica. Observaram que durante a fritura em micro-ondas, a temperatura no centro dos peitos frangos atinge 100 °C em cerca de 30 segundos, enquanto na fritura convencional é preciso mais de 160 segundos para atingir a mesma temperatura.

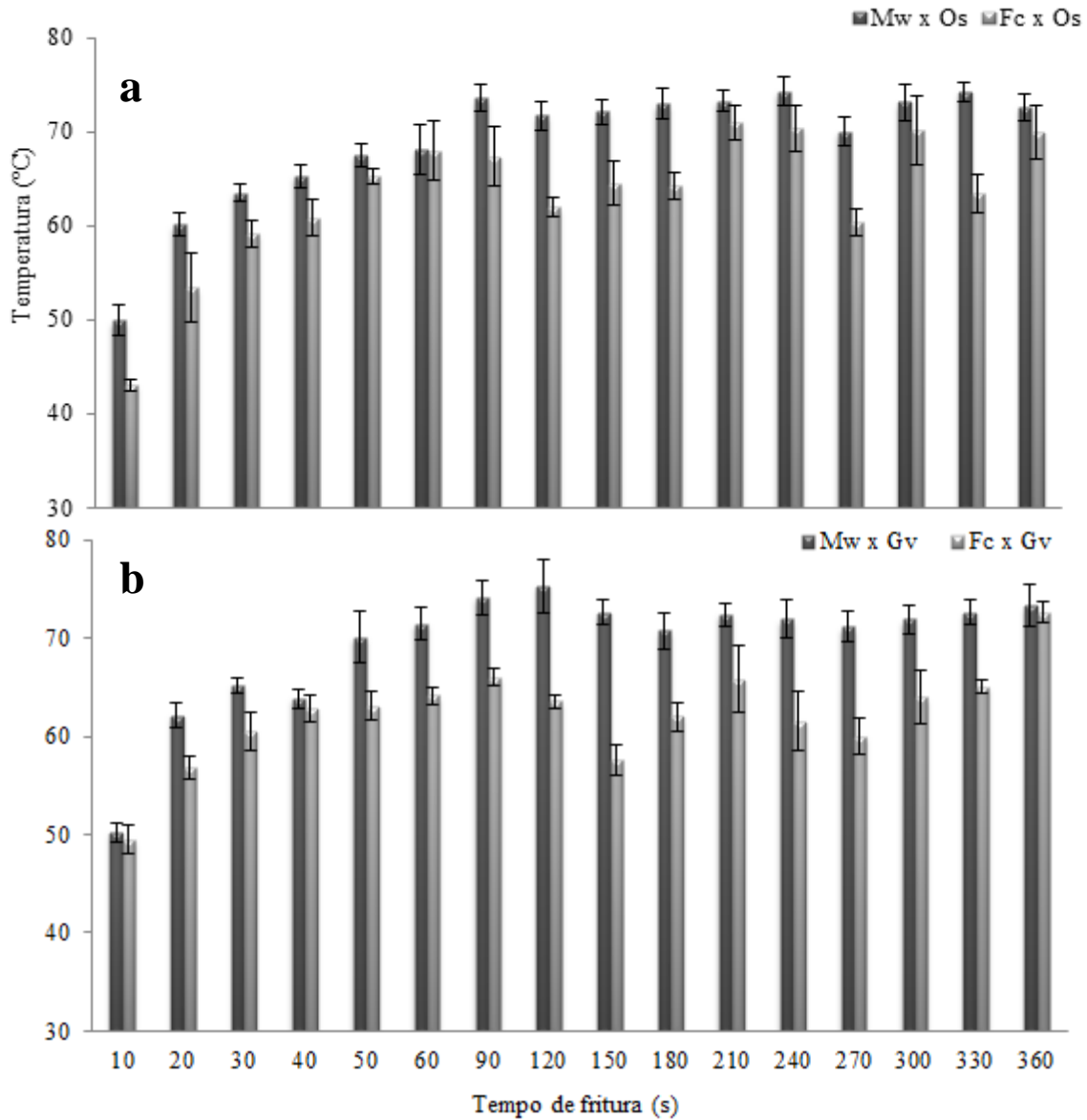


Figura 16 – Distribuição da temperatura (°C) no interior das batatas fritas em a) óleo de soja (OS) e b) gordura vegetal (GV), aquecidas em micro-ondas (MW) e fritadeira convencional (FC).

De acordo com a Figura 16, observa-se que o aquecimento da gordura vegetal em micro-ondas proporcionou uma temperatura interna maior nas batatas, sendo que em 120 segundos de fritura o MW atingiu o valor máximo de temperatura, 75,3°C, enquanto a FC nesse mesmo ponto apresentava 73,3°C.

No decorrer do processo de aquecimento, tanto as batatas fritas em MW, quanto as batatas fritas em FC, apresentaram um aumento na sua temperatura interna, sendo que houve oscilação entre aumento e queda da temperatura interna durante todo o processo. Parte das oscilações de temperatura observadas deve-se ao fato de haverem perdas de calor das batatas entre o tempo de retirá-las do meio de fritura e realizar o corte para registrar as imagens

termográficas. Entretanto, de forma geral, pode-se dizer que as batatas fritas tanto óleo quanto em gordura apresentaram as suas temperaturas internas maiores para o sistema de aquecimento micro-ondas.

Sensoy, Sahin e Sumnu (2013), também obtiveram uma taxa de aquecimento mais rápida em MW quando comparado à fritura convencional, e atribuíram esse fato à absorção de MW pelos alimentos, o que possivelmente colaboraria para a redução do tempo de processamento. Quanto ao coeficiente de transferência de calor por convecção, observaram um valor mais elevado para a fritura em micro-ondas, devido a uma maior turbulência nesse sistema de fritura. Os mesmos pesquisadores atribuíram as variações no coeficiente de transferência de calor às muitas fases durante o processo de fritura. Para Halder, et al. (2007) e Hubbard e Farkas (1999) a transferência de calor do OS/GV para os alimentos fritos pode ser dividida em duas fases: uma fase de ebulição e outra fase onde cessa a ebulição. No início da fritura, OS/GV aquecem por convecção, através da agitação das moléculas, que geram um aumento da turbulência, ocorrendo a transferência de calor e ebulição de água. A fase de ebulição se dá na superfície do alimento, havendo uma perda repentina da umidade (aumenta a transferência de calor) e início da formação da crosta. Em segundo lugar, com a crosta já espessa, há um decaimento na taxa transferência de massa, a liberação de vapor e a transferência de calor diminuem. Para o final da fritura, cessa a ebulição e isso reduz o coeficiente de transferência de calor (HALDER, et al., 2007; HUBBARD; FARKAS,1999; SAHIN; SUMNU, 2009).

Diversos autores simularam o aquecimento por MW através de modelagem (CAMPANONE; ZARITZKY, 2010; CHEN; TANG; LIU, 2007; KNOERZER; REGIER; SCHUBERT, 2008; RAKESH; et al., 2010; SALVI; et al., 2011; SENSOY; SAHIN; SUMNU, 2013). A modelagem do processo de fritura, com equações fundamentais, continua sendo um desafio devido à complexidade do sistema. As dificuldades encontradas estão relacionadas principalmente em relação à formulação do problema físico através de equações matemáticas, bem como a complexidade numérica para resolver essas equações (HALDER; et al., 2007). Nas frituras em MW a complexidade surge devido ao cálculo da distribuição do campo eletromagnético dentro da cavidade do forno (SENSOY; SAHIN; SUMNU, 2013).

#### 4.2 Uso da radiação micro-ondas no aquecimento do óleo em processo de fritura

Comprovadamente o óleo apresentou maior suscetibilidade aos processos oxidativos em relação à gordura vegetal. Entretanto, no experimento anterior, o OS e a GV foram aquecidos em micro-ondas e as batatas foram fritas com a radiação incidindo sobre o sistema, ou seja, sobre o óleo e a batata. Esse sistema proporcionou maior eficiência na transferência de massa no sistema e conseqüentemente, maiores índices de oxidação em quase todos os parâmetros avaliados. Assim, nesse experimento foi utilizada a matriz OS e vários parâmetros foram medidos para fritura das batatas somente aquecendo o óleo com a radiação micro-ondas, sem a irradiar a batatas.

A Tabela 6 apresenta os resultados iniciais (sem fritura) e os finais (após 42 frituras) para os parâmetros avaliados sobre o efeito do aquecimento do óleo com micro-ondas para o processo de fritura. Os gráficos com o comportamento ao longo do tempo de uso do óleo pode ser consultado nos Apêndices C a H.

Tabela 6 – Resultados obtidos na avaliação do efeito do micro-ondas sobre o aquecimento de óleo de soja utilizado para fritura de batata.

Análise	OS (sem uso)	OS × MW (42 frituras)	OS × FC (42 frituras)	Teste <i>t</i>
CPT (%)	11,5	26,5	26	-
Umidade (%)	82,43	42,12	44,17	-
Lipídios (%)	0,17	7,79	5,40	*
IP (meq.kg <sup>-1</sup> )	0,88	13,05	7,60	*
DC (mg.mL <sup>-1</sup> )	0,41	1,83	1,82	-
IR (n <sub>D</sub> 40°C)	1,4678	1,4703	1,4704	-

Os valores representam a média dos índices de degradação observados ao longo de 42 frituras de batata óleo × micro-ondas (OS × MW) e óleo × fritadeira (OS × FC). Teste *t de Student* (5% significância).

Conforme os valores obtidos na avaliação do efeito micro-ondas (Tabela 6), pode-se observar que o teor de umidade das batatas fritas foi em média menor no sistema com MW, mas não diferiu significativamente. Entretanto, a absorção de lipídios foi maior no sistema de



fritura aquecido por MW e apresentou diferença significativa entre os tratamentos. Como pode ser visto no Apêndice F a variação no teor de lipídios teve um comportamento aleatório ao longo tempo e não foi observado tendências em aumentar ou diminuir a absorção dos lipídios com o tempo de uso do óleo.

Os compostos polares e dienos conjugados (Apêndices C e G) apresentaram aumento no decorrer das frituras, sendo que ao final de 42 frituras os parâmetros não apresentaram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ).

O índice de peróxidos (Apêndice F) mostrou maior valor para MW, apresentando um valor máximo de  $16,21 \text{ meqO}_2 \text{ kg}^{-1}$  de amostra em aproximadamente 24 frituras, com posterior decaimento. As diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre MW e FC podem estar atribuídas às propriedades dielétricas da água, que, por serem maiores que as propriedades do óleo, a água que se emulsiona no óleo durante a fritura acaba aquecendo mais rapidamente no MW que na fritadeira, ocasionando um aumento na cinética de degradação do óleo (SAHIN; SUMNU, 2009).

O IR (Apêndice H) apresentou um grande aumento após a primeira fritura em sistema convencional, sugerindo que houve maior liberação de sólidos, do alimento para o meio de fritura, que alteraram a capacidade de refringência do óleo. Entretanto, ao decorrer das frituras os valores do IR do MW tendem a se aproximar aos da FC, sendo que ao final de 42 frituras não há diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre os sistemas.

Ao compararmos as variação dos ácidos graxos nos sistemas de fritura FC e MW (Figura 18) foi possível verificar que no decorrer de 42 frituras os AGS e os AGT variaram de forma semelhante em ambos os sistemas, não sendo significativo ( $p > 0,05$ ). O ácido oleico (18:1 c9), reduziu em ambos os sistemas, sendo que no sistema convencional a redução foi de 2,76% ( $22,8 \text{ mg g}^{-1}$ ), enquanto no micro-ondas a redução foi de 3,66% ( $35,7 \text{ mg g}^{-1}$ ) e o ácido linoleico (18:2 c9,c12) apresentou redução de 8,06% ( $66,4 \text{ mg g}^{-1}$ ) e 4,82% ( $39,3 \text{ mg g}^{-1}$ ) para FC e MW, respectivamente. O ácido linolênico (18:3 c9,c12,c15) apresentou redução de 1,31% ( $10,9 \text{ mg g}^{-1}$ ) para FC e 2,68% ( $22,12 \text{ mg g}^{-1}$ ) para MW.

De forma geral, os AGMI apresentaram redução de cerca de 2,78% ( $20,4 \text{ mg g}^{-1}$ ), para o sistema de FC e redução de aproximadamente 4,38% ( $33,5 \text{ mg g}^{-1}$ ) em MW. Já os AGPI, em relação ao óleo sem uso, apresentaram redução de aproximadamente 9,50 ( $78,3 \text{ mg g}^{-1}$ ) e 7,52% ( $61,9 \text{ mg g}^{-1}$ ) para FC e MW, respectivamente.

Os dados mostram maiores taxas de oxidação dos ácidos graxos oleico e linoleico para o sistema convencional, fato que pode ser explicado pela maior reposição de OS no sistema com MW. Os volumes médios de reposição foram de 82,5 e 52,5 mL para MW e FC,

respectivamente. A maior reposição de OS fresco eleva os teores de ácidos oleico e linoleico no óleo em uso, além de repor os antioxidantes (SANIBAL; MANCINI-FILHO, 2002). Apesar da reposição ser maior no sistema com MW, o LNA apresentou maior redução em relação a FC. O LNA, por apresentar três insaturações na molécula, apresenta maior propensão a sofrer oxidação, como foi anteriormente constatado na maior formação de índice de peróxidos no sistema MW (BECKMANN, 1983).

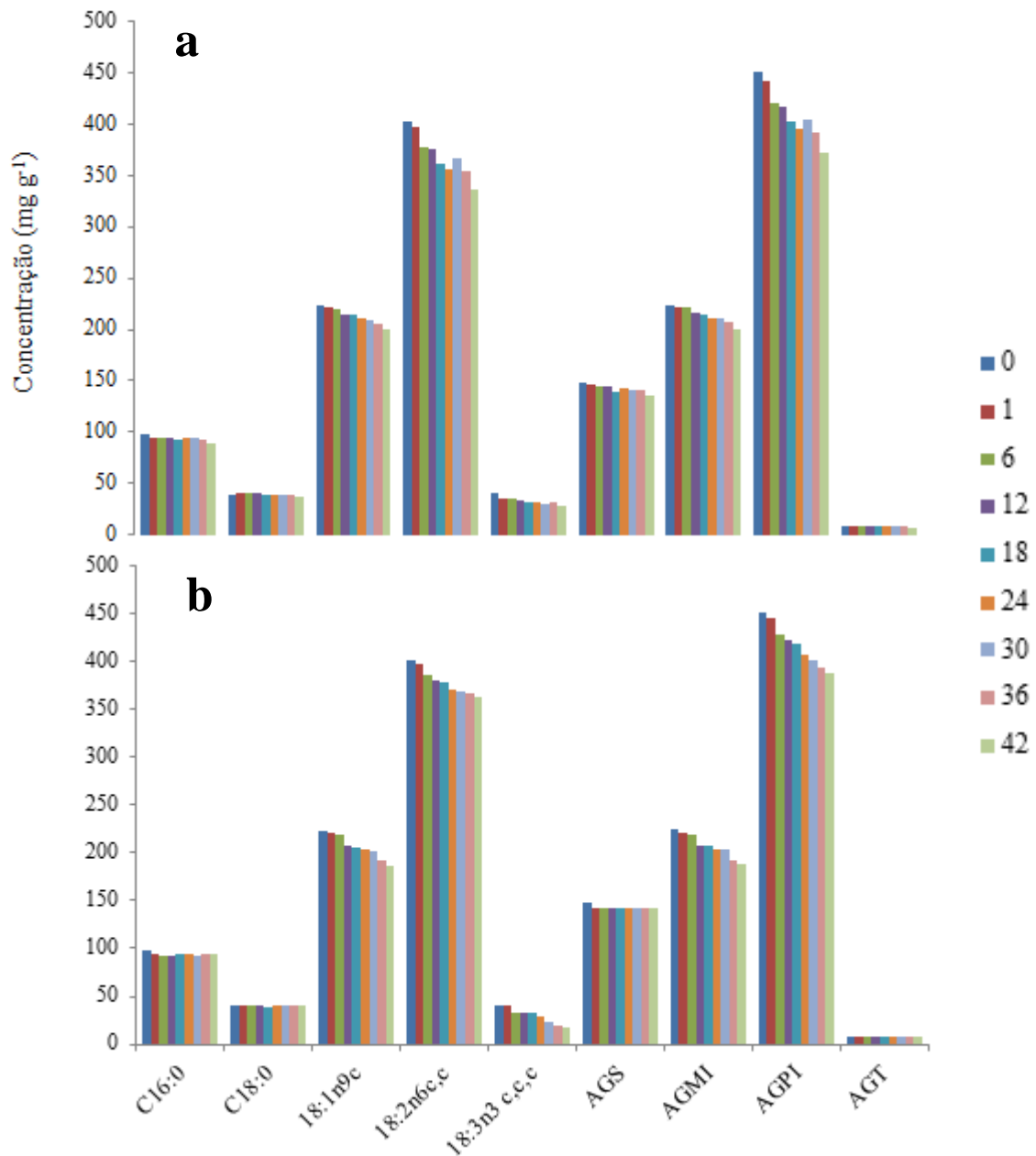


Figura 17 – Concentração ( $\text{mg g}^{-1}$  de óleo) dos ácidos graxos majoritários presentes no óleo de soja submetido à 42 frituras de batata em: a) fritadeira; b) micro-ondas. AGS: ácidos graxos saturados; AGMI: ácidos graxos monoinsaturados; AGPI: ácidos graxos poli-insaturados e AGT: ácidos graxos *trans*.

Dessa forma, os resultados encontrados sugerem que a incidência das micro-ondas apenas sobre o óleo, como forma de aquecimento do sistema, apresenta índices de degradação semelhantes ao sistema convencional.

### 5.3 Uso da radiação micro-ondas no processo de fritura de batata *chips*

Diante dos dados obtidos nos experimentos anteriores, foi notória a maior eficiência da transferência de massa no processamento de fritura com MW. Dessa forma, esse experimento foi realizado em batata tipo *chips*, cuja alta desidratação do produto é desejável e a possibilidade de redução do tempo no processo reflete em um avanço tecnológico.

A Figura 18 mostra o teor de umidade das batatas *chips* após o processo de fritura em OS e GV nos sistemas convencional e micro-ondas. Os dados mostram um alto grau de desidratação tanto para OS quanto para GV no sistema MW, o que evidenciou o maior coeficiente de transferência de calor e conseqüentemente, de massa (SAHIN; SENSOY; SUMNU, 2013). Esse resultado indica que o sistema de micro-ondas pode ser indicado em frituras de batatas *chips*, uma vez que para esse tipo de produto é desejável uma alta taxa de desidratação e baixa atividade de água, a fim de gerar um produto com menor perecibilidade (GUILLAUMIN, 1988).

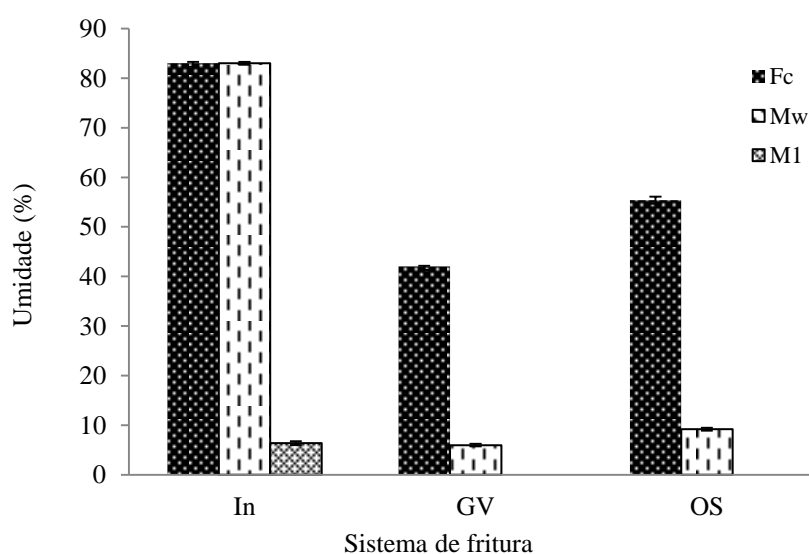


Figura 18 – Teor de umidade (%) das batatas chips submetidas à fritura óleo de soja (OS) e gordura vegetal (GV), em fritadeira convencional (Fc) e micro-ondas (Mw). In = in natura; M1 = marca comercial.

As frituras realizadas em ambos os sistemas convencional e micro-ondas foram submetidas ao mesmo tempo de fritura visando o mesmo aspecto sensorial e de cor (Apêndice I). Entretanto, conforme já foi observado anteriormente (item 5.1.1), para que as amostras processadas no sistema FC atingissem o mesmo teor de água do sistema MW, seria necessário um maior tempo de fritura nas mesmas condições, mas os produtos acabavam ficando com grau de escurecimento demasiadamente acentuado. Assim, os dados mostram a possibilidade de otimização do tempo de processo com o emprego do MW.

Os resultados do teor de lipídios (Figura 19) mostrando a maior eficiência em transferência de massa, foram comparados ao teor de lipídios de uma marca comercial de batatas *chips*, a fim de averiguar qual sistema de fritura (FC ou MW) proporcionava batatas com teores de gordura mais semelhantes à marca comercial (M 1).

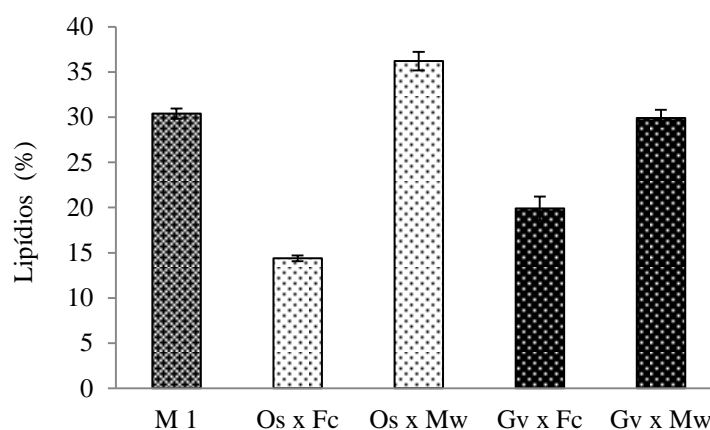


Figura 19 – Teor de lipídios totais (%) das batatas chips submetidas à fritura em óleo de soja (OS) e gordura vegetal (GV), em fritadeira convencional (FC) e micro-ondas (MW), comparadas à uma marca comercial de batatas chips (M 1).

Conforme os resultados expressos na Figura 19 foi possível observar que nos experimentos realizados com MW os valores de absorção de lipídios foram significativamente maiores no produto ( $p < 0,05$ ), tanto para óleo quanto para gordura que na FC. Essa diferença era esperada, tendo em vista a alta taxa de transferência de calor e massa reportada no primeiro experimento. Nas condições empregadas as batatas fritas em MW apresentaram teores de lipídios semelhantes à marca comercial que foi em média de 30,4 %, enquanto que os valores encontrados para fritura em micro-ondas foram de 36,2 e 29,9% para óleo de soja e gordura vegetal, respectivamente. Já os valores encontrados para OS/GV em sistema

convencional foram bem abaixo do valor de referência da marca comercial nas condições avaliadas. Considerando que as batatas comerciais geralmente são preparadas em gordura vegetal, os valores encontrados para as frituras em micro-ondas foram satisfatórios, indicando que esse sistema pode ser utilizado no preparo desse tipo de produto.

Nesse trabalho não foram considerados parâmetros de textura e, como mencionado anteriormente, foi baseado na intensidade de cor do produto (Apêndice I).

Assim, é válido ressaltar a necessidade da realização de análise de textura nas batatas fritas, a fim de otimizar as condições de fritura que proporcionem a equivalência deste atributo em ambos os sistemas de fritura.

De maneira geral, diante das condições analisadas (mesmo tempo de fritura) e pelas características apresentadas pelas batatas, pode-se dizer que o sistema de fritura em micro-ondas pode proporcionar uma redução do tempo de processo de fritura de batata tipo *chips*. Além disso, possibilita a utilização dessa vantagem tecnológica a outros alimentos, devido à redução de custos no consumo de energia.

## 5 CONCLUSÕES

No presente trabalho observou-se que as frituras de batatas tipo palito realizadas em micro-ondas apresentaram maiores índices de degradação da fração lipídica, como observado pelos compostos polares totais, índice de peróxidos, dienos conjugados, índice de refração e ácidos graxos, principalmente em óleo de soja. Por outro lado, foi observado que o processo favorece uma maior transferência de calor e massa, proporcionando uma maior desidratação das batatas. Esse fato possivelmente seja explicado pelo aumento do teor de água emulsionada e o rápido aquecimento, que aumenta a cinética de decomposição.

No aquecimento do óleo utilizado nas frituras de batatas, o sistema com aplicação de micro-ondas apresentou um produto com características semelhantes ao método tradicional de fritura. Os dados indicaram que, de maneira geral, a degradação do óleo de soja e da gordura vegetal não é dependente do aquecimento em micro-ondas, mas sim da interação da radiação com a amostra.

As frituras de batatas *chips* mostraram que devido a maior eficiência em transferência de calor e de massa, o sistema de micro-ondas proporcionou produtos com maior desidratação, sendo os teores de lipídicos semelhantes a um produto de marca comercial. Diante das condições analisadas e pelas características apresentadas pelas batatas, o sistema de fritura em micro-ondas pode proporcionar uma redução do tempo de processo de fritura de batata tipo *chips*.

De forma geral, os resultados apontaram a radiação micro-ondas como uma tecnologia com potencial para ser explorada como fonte direta de aquecimento de óleo e gordura ou em processos de fritura em que a radiação incide no produto. Seu uso pode ser indicado para a produção de alimentos que visam altas taxas de desidratação (baixa atividade de água e menor perecibilidade), com redução no tempo de processamento e, por conseguinte, redução de custos no consumo de energia.

## Perspectivas

- A avaliação do sistema de aquecimento/fritura em micro-ondas poderia ser focada em outras características sensoriais, como a textura. Certamente esse parâmetro sensorial condicionará a utilização das variáveis do processo de fritura de modo a proporcionar um menor tempo de processo.

- Comparar o sistema de micro-ondas ao convencional em relação ao consumo de energia.

- Avaliação sensorial de produto frito em micro-ondas e convencional.

- Um estudo mais aprofundado a respeito do uso de antioxidantes naturais e/ou sintéticos, para controlar o processo oxidativo em óleos de fritura com micro-ondas para aumentar o tempo de utilização.

## REFERÊNCIAS

AGUILERA, J.M. Fritura de alimentos. In \_\_\_\_\_: **Temas em tecnologia de alimentos**. México, DF: Programa Iberoamericano e de Ciencia y Tecnologia para El desarrollo e Instituto Politécnico Nacional, p. 187-214, 1997.

AKOH, C.C.; MIN, D.B. In \_\_\_\_\_: **Food Lipids: Chemistry, Nutrition, and Biotechnology**, New York: Marcel Dekker, Inc. 167-178; p. 377-384, 1997.

ALBI, T.; et al. Microwave and conventional heating effects on some physical and chemical parameters of edible fats. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, p. 3000-3003, 1997.

ALLINGER, N.L.; et al. In \_\_\_\_\_: **Química Orgânica**. p. 171-174, Rio de Janeiro: Guanabara, 1976.

ANVISA - Agência da Vigilância Sanitária Informe Técnico nº 11, de 5 de outubro de 2004: **Óleos e Gorduras Utilizados em Frituras**. Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/ALIMENTOS/informes/11\\_051004.htm](http://www.anvisa.gov.br/ALIMENTOS/informes/11_051004.htm)> Acesso em: 09/12/2013.

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 270, de 22 de setembro de 2005. **Regulamento técnico para óleos vegetais, gorduras vegetais e creme vegetal**, 2005. Disponível em: <[http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/82d8d2804a9b68849647d64600696f00/RDC\\_n\\_270.pdf?MOD=AJPERES](http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/82d8d2804a9b68849647d64600696f00/RDC_n_270.pdf?MOD=AJPERES)> Acessada em 09/12/2013.

AOAC, Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**, 925.096. 18<sup>th</sup> ed., 2005.

AOCS, American Oil Chemist's Society. **Official Method Cc 7-25: Refractive Index**, 1993.

ARROYO, R.; et al. High-performance size-exclusion chromatographic studies on polar compounds formed in sunflower oil used for frying. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 69, n. 6, p. 557-563, 1992.

ARUN K.D.; RAJKUMAR V. Effect of different fat level on microwave cooking properties of goat meat patties. **Journal of Food Science and Technolgy**, v. 50, n.6, p. 1206-1211, 2011.



BANNON, C.D.; et al. Analysis of fatty acid methyl esters with high accuracy and reliability. II. Methylation of fats and oils with boron trifluoride methanol. **Journal of Chromatography**, v. 247, p. 63-69, 1982.

BECKMANN, H.J. Hydrogenation practice. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 60, p. 282-290, 1983.

BIZZI, C. A.; et al. A Fast Microwave-Assisted Procedure for Loss on Drying Determination in Saccharides. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 22, n. 2, p. 376-381, 2011.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid. Extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do Processamento de Alimentos**, São Paulo: Varela, 2ª ed 39-44, 1992.

BOYD, L.C.; et al. A rapid method for determining the oxidation of n-3 fatty acids. **Journal of the American Oil Chemist's Society**, v. 69, p. 325-330, 1992.

CAMPAÑONE, L. A.; ZARITZKY, N. E. (2010). Mathematical modeling and simulation of microwave thawing of large solid foods under different operating conditions. **Food and Bioprocess Technology**, v. 3, p. 813-825, 2010.

CAPEZIO, S.; HUARTE, M.; CARROZZI, L. Selección por peso específico en generaciones tempranas en el mejoramiento de la papa. **Revista Latinoamericana de la Papa**, v. 6, p. 54-63, 1993.

CELLA, R.C; REGINATO-D'ARCE, M.A.B; SPOTO, M.H.F. Comportamento do óleo de soja refinado utilizado em fritura por imersão com alimentos de origem vegetal. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, v. 22, n. 2, p. 11-116, 2002.

CHATZILAZAROU, A.; et al. Physicochemical changes of olive oil and selected vegetable oils during frying. **Journal of Food Lipids**, v. 13, p. 27-35, 2006.

CHA-UM, W.; RATTANADECHO, P.; PAKDEE, W. Experimental and numerical analysis of microwave heating of water and oil using a rectangular wave guide: Influence of sample sizes, positions, and microwave power. **Food Bioprocess Technology**, v. 4, p. 544-558, 2009.

CHEN, H.; TANG, J.; LIU, F. Coupled simulation of an electromagnetic heating process using the finite difference time domain method. **Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy**, v. 41, n. 3, p. 50-68, 2007.

CHEN, S.D.; et al. Effect of batter formula on qualities of deep-fat and microwave fried fish nuggets. **Journal of Food Engineering**, v.95, n. 2, p. 359–364, 2009.

CHENG, F.J.; PENG, K.J. Combined microwave/frying apparatus. United States, **Patent No: 7053346**, 2006. Disponível em: <<http://www.patentgenius.com/image/7053346-8.html>> Acesso em 16/12/2013.

CHOE, E.; MIN, D.B. Chemistry of deep-fat frying oils. **Journal of Food Science**, v. 72, n. 5, p. 77-86, 2007.

CHU Y.; HSU H. Comparative studies of different heat treatment on quality of shallots and their frying oil. **Food Chemistry**, v. 75, p. :37–42, 2001.

CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION (WHO/FAO), **Recommended International Standard for Fats & Oils**, Codex standard for named vegetable oils, Rome, 2003.

COELHO, A.R.; et al. Qualidade de batata (*Solanumtuberosum* L.) para fritura, em função dos níveis de açúcares redutores e de amido, durante o armazenamento refrigerado e à temperatura ambiente com atmosfera modificada. **Ciência e Agrotecnologia**, v.23, n.4, p.899-910, 1999.

CUESTA, C.; et al. Modificaciones de un aceite de olive durante las frituras sucesivas de patatas: correlaciones entre distintos índices analíticos y de evaluación global de La degradación. **Revista Agroquímica Tecnol. Alim.**, v. 31, n. 4, p. 523-531, 1991.

CUESTA, C.; SÁNCHEZ-MUNIZ, F.J. Quality control during repeated fryings. **Grasas y Aceites**, v. 49, n.3-4, p. 310-318, 1998.

DAMY, P.C; JORGE, N. Determinações físico-químicas do óleo de soja e da gordura vegetal hidrogenada durante o processo de fritura descontínua. **Brazilian Journal of food technology**. v.6, n. 2, p. 251-257, 2003.

DAS, S.; et al. Prospects of microwave processing: An overview. **Bulletin of Materials Science**, v. 32, n. 1, p. 1–13, 2009.

DATTA, A.K. Heat and mass transfer in the microwave processing of food. **Chemical Engineering Progress**, n. 86, p. 47–53, 1990.

DATTA, AK.; RAKESH, V. Principles of microwave combination heating. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 12, n. 1, p. 24–39, 2013.

DEBNATH, S., et al. Effect of pre-drying on kinetics of moisture loss and oil uptake during deep-fat frying of chickpea flour based snack food. **Food Science Technology**, v. 36, n. 1, p. 91–96, 2003.

DEBNATH, S., et al. Oil partitioning between surface and structure of potato Slices: a kinetic study. **Food Science Technology**, v. 42, n. 1, p. 1054–1058, 2009.

DEL RÉ,P.V.; JORGE, N. Comportamento de óleos vegetais em frituras descontínuas de produtos pré-fritos congelados. **Ciência e Tecnologia Alimentos**, v. 26, n.1, p. 56-63, 2006.

DOBARGANES, M. C.; MÁRQUEZ-RUIZ, G.; VELASCO, J. Interactions between fat and food during deep-frying. **European Journal Lipid Science Tecnology**, v. 102, p. 521-528, 2000.

DOBARGANES, M.C. **Evaluación del sistema Testo para el control de calidad de los aceites y grasas de fritura.** Disponível em: <[http://www.testo.es/online/embedded/Sites/ESP/MainNavigation/ServiceAndSupport/DownloadCenter/articulostecnicos/Estudio\\_testo\\_265\\_](http://www.testo.es/online/embedded/Sites/ESP/MainNavigation/ServiceAndSupport/DownloadCenter/articulostecnicos/Estudio_testo_265_)> 2007, Acesso em 10/01/2014.

DOBARGANES, M.C.; VELASCO,J.; DIEFFENBACHER, A. Determination of polar compounds, polymerized and oxidized triacylglycerols, and diacylglycerols in oils and fats. **Pure and Applied Chemistry**, v. 72, n. 8, p. 1563-1575, 2000.

DZISIAK, D. New oils reduce saturated and trans fats in processed foods. **Cereal Foods World**, v.49, n.6, p.331-333, 2004.

FARAG, R.S.; ABU-RALIA, S.H.; AL-ASFAHANY, A.M. Influence of microwave and conventional cooking on beef liver lipids. **Grasas y Aceites**, v. 43, n.6, p. 336 – 340, 1992.

FARID, M.M.; THAER, B.J. Cyclic microwave thawing of frozen meat: experimental and theoretical investigation. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 40, n. 4, p. 379-389, 2001.

FENNEMA, O. R. In \_\_\_\_\_: **Química de los Alimentos**. Zaragoza: Acribia, S.A. 2ª Ed, p. 270-376, 2000.

FIRESTONE D. Regulation of frying fat and oil in deep frying. **Chemistry, Nutrition and Practical Applications**, p. 323-334, 1996.

FIRESTONE, D.; et al. Regulation of frying fats and oils. **Food Technology**, Oxford, v. 45, n. 2, p. 90–94, 1991.

FRITSCH, C.W. Measurements of frying fat deterioration: a brief review. **Journal of the American Chemist's Society**, v.58, n 3, p. 272-274, 1981.

FREGA, N.; MOZZON, M.; LECKER, G. Effects of free fatty acids on oxidative stability of vegetable oil. **Journal American Oil Chemistry Society**, v.76, n.3, p.325-329, 1999.

FUJISAKI, M.; et al. The effect of oxygen concentration on oxidative deterioration in heated high-oleic safflower oil. **Journal of the American Oil Chemist's Society**, v. 77, n. 3, p. 231-234, 2000.

FULLANA, A.; et al. Volatile aldehyde emissions from heated cooking oils. **Journal Science Food Agricultural**, v. 84, n. 1, p. 2015-2021, 2004.

GERTZ, C. Routine analysis of deep-frying fats and oils. **Lipid Technology**, v. 13, n. 2, p. 44-47, 2001.

GIL, B.; CHO, Y.J.; YOON, S H. Rapid determination of polar compounds in frying fats and oils using image analysis. **LWT - Food Science and Technology**, v. 37, n. 6, p. 657–661, 2004.

GUILLAUMIN, R. **Kinetics of fat penetration in food**. In \_\_\_\_\_: VARELA, G.; BENDER, A. E.; MORTON, I. A. (Ed) *Frying foods: principles, changes, new approaches*. Chichester, Ellis Horwood, 1988. p. 82-90.

GIULIANI R. et al. Use of microwave processing to reduce the initial contamination by *Alicyclobacillus acidoterrestris* in a cream of asparagus and effect of the treatment on the lipid fraction. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 11, n. 2, p. 328–334, 2010.

GONZÁLEZ-QUIJANO, R.G.; DORBAGANES, M.C. Analytical procedures for the evaluation of used frying fats. In\_\_\_\_\_: VARELA, G.; BENDER, A.E.; MORTON, I.A. (Eds). **Frying foods: principles, changes, new approaches**. Chichester: E. Horwood, p. 141-154, 1988.

GUTNOKOV, G. Fatty acids profiles of lipid samples. **Journal of Chromatography B**, v. 67, n. 1-2, p. 71-89, 1995.

HAGHI, A.K.; AMANIFARDI, N. Analysis of heat and mass transfer during microwave drying of food products. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v.25, n. 3, p. 491-501, 2008.

HALDER, A.; et al. An improved, easily implementable, porous media based model for deep-fat frying. Part I: model development and input parameters. **Food and Bioproducts Processing**, v. 85, p. 209–219, 2007.

HAMILTON, R.J. The chemistry of rancidity in foods. In\_\_\_\_\_: **Rancidity in Foods**. Blackie Academic and Professional, London, p.1–20, 1994.

HARTMAN, L.; LAGO, R. C. A. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. **Laboratory Practice**, v. 22, n. 8, p. 475-476, 1973.

HASSANEIN, M.M.; EL-SHAMI, S.M.; EL-MALLAH, H. Changes occurring in vegetable oils composition due to microwave heating. **Grasas y Aceites**, v. 54, n. 4, p. 343 – 349, 2003.

HUBBARD, L. J.; FARKAS, B. E. A method for determining the convective heat transfer coefficient during immersion frying. **Journal of Food Process Engineering**, v. 22, p. 201–214, 1999.

IUPAC - *International Union of Pure and Applied Chemistry*. Determination of polar compounds in frying fats. In\_\_\_\_\_: **Standard Methods for the Analysis of Oils, Fats and Derivatives**, 7<sup>th</sup> Ed., Oxford, England, 1992.

JORGE, N.; et al. Alterações físico-químicas dos óleos de girassol, milho e soja em frituras. **Química Nova**, v. 28, n. 6, p. 947-951, 2005.

JORGE, N. CORSINI, M.S. Alterações oxidativas em óleos de algodão, girassol e palma utilizados em frituras de mandioca palito congelada. **Alimentos e Nutrição**, v.17, n.1, p. 25-34, 2006.

JORGE, N.; LUNARDI, V.N. Influência dos tipos de óleos e tempos de fritura na perda de umidade e absorção de óleo em batatas fritas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.15, n.2, p. 119-124, 2005.

JUÁREZ, M.D.; et al. Degradation in soybean oil, sunflower oil and partially hydrogenated fats after food frying, monitored by conventional and unconventional methods. **Food Control**, v. 22, p. 1920-1927, 2011.

KALOGEROPOULOS, N., et al. Migration of health promoting microconstituents from frying vegetable oils to French fries – Advances in Potato Chemistry, Nutrition and Technology. **Food Chemistry**, v. 133, n.4, p. 1255–1263, 2012.

KINGSTON, H. M.; JASSIE, L. B. Introduction to Microwave Sample Preparation: Theory and Practice. **ACS Professional Reference Book**, Washington, D.C., p. 300, 1988.

KNOERZER, K.; REGIER, M.; SCHUBERT, H. A computational model for calculating temperature distributions in microwave food applications. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 9, p. 374–384, 2008.

KROKIDA, M.K.; et al. Colour changes during deep fat frying. **Journal of Food Engineering**. v. 48, p. 219-225, 2001.

KUBOW, S. Toxicity of dietary lipid peroxidation products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 1, p. 67-71, 1990.

LAKE, R.J.; SCHOLLES, P. Quality and consumption of oxidized lipids from deep-frying fat and oils in New Zealand. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 74, n. 5, p. 1065-1068, 1997.

LAWSON, H.W. In \_\_\_\_\_: **Standards for fats & oils**. The AVI Publishing Co., Inc., Westport, CT, p. 34, 1985.

LAWSON, H.W. In \_\_\_\_\_: **Aceites y grasas alimentarios: Tecnología, utilización y nutrición**. Zaragoza: Acribia, p. 67-93, 333p, 1994.

LEE, J. M.; et al. Development of a method predicting the oxidative stability of edible oils using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl(DPPH). **Food Chemistry**, v.103, p.662-669, 2007.

LIMA, J.R. **Avaliação da qualidade de óleo de soja utilizado para fritura**. 1994. 54 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.

LIN, B.F.; et al. Effects of dietary oxidized frying oil on immune responses of spleen cells in rats. **Nutrition Research**, v. 17, n. 4, p. 729-740, 1997.

LOKESH, B.R. Effect of frying cycles on physical, chemical and heat transfer quality of rice bran oil during deep-fat frying of *poori*: An Indian traditional fried food. **Food and bioproducts processing**, v. 90, n. 1, p. 249–256, 2012.

LOLOS, M.; OREOPOULOU, V.; TZIA, C. Oxidative stability of potato chips: effect of frying oil type, temperature and oxidants. **Journal of Science of Food and Agriculture**, v. 79, n. 11, p. 1524-1528, 1999.

MALHEIRO, R.; et al. Microwave heating: a time saving technology or a way to induce vegetable oils oxidation? In \_\_\_\_\_: **Advances in induction and microwave heating of mineral and organic materials**. Cap 26, p. 597 – 614, 2011.

MALLÉGOL, J.; LEMAIRE J.; GARDETTE, J.L. Drier influence on the curing of linseed oil. **Progress in Organic Coatings**. v. 39, n. 2–4, p. 107-113, 2000.

MARMESAT S.; et al. A rapid method for determination of polar compounds in used frying fats and oils. **Grasas y Aceites**, v. 58, n. 2, p. 179-184, 2007.

MARTINS, G.B.C.; MELLO, V.M.; SUAREZ, P.A.Z. Processos Térmicos em Óleos e Gorduras. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 1, p. 16-25, 2013.

MASSON, L. et al. Comportamiento de aceites poli-insaturados em la preparación de patatas fritas para consumo inmediato: formación de nuevos compuestos y comparación de métodos analíticos. **Grasas y Aceites**, v.48, n. 5, p. 273-281, 1997.

MEHER, L. C.; et al. Technical aspects of biodiesel production by transesterification – a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, p. 10, n. 248-268, 2006.

MENSINK, R.P.; KATAN, M.B. Effect of dietary *trans* fatty acids on high density and low-density lipoprotein cholesterol levels in healthy subjects. **The New England Journal of Medicine**, v. 323, n. 7, p. 439-445, 1990.

MILINSK, M. C. et al. Comparative analysis of eight esterification methods in the quantitative determination of vegetable oil fatty acid methyl esters (FAME). **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 19, n. 8, p. 1475-1483, 2008.

MILINSK, M.C. et al. Influence of the esterification method on the quantification of olive oil fatty acids. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 139-150, 2011.

MOREIRA, R.G.; CASTELL-PEREZ, M.E.; BARRUFET, M.A. In\_\_\_\_\_: **Deep fat frying: Fundamentals and applications**, Ed. Springer, 350p., 1999.

MORETTO, E.; FETT, R. In\_\_\_\_\_: **Tecnologia de Óleos e Gorduras Vegetais**. São Paulo: Varela, p. 29-104, 1998.

NAWAR, W.W. Thermal degradation of lipids. A review. **Journal Agriculture Food Chemistry**, v. 17, p. 18–21, 1969.

NGADI, M.; LI, Y.; OLUKA, S. Quality changes in chicken nuggets fried in oils with different degrees of hydrogenation. **LWT - Food Science and Technology**, v.40, n. 10, p. 1784–1791, 2007.

NGADI, M.O.; et al. Effect of microwave pretreatment on mass transfer during deep-fat frying of chicken nugget. **LWT- Food Science and Technology**, v. 42, n. 1, p.438–440, 2009.

NELSON, D.L.; COX, M.M. In\_\_\_\_\_: **Lehninger Princípios de Bioquímica**. 3ª Ed., p. 280-299, São Paulo, 2002.

NUNES, S.P. Boletim eletrônico do Departamento de Estudos Sócio-Econômicos Rurais – DESER. **Produção e consumo de óleos vegetais no Brasil**. n. 159, Jun/2007. Disponível em: <<http://www.deser.org.br/documentos/doc/Produ%C3%A7%C3%A3o%20e%20consumo%20de%20%C3%B3leos%20vegetais.pdf>> Acesso em 09/12/2013.

OSAWA, C.C.; GONÇALVES, L.A.G.; MENDES, F.M. Avaliação dos óleos e gorduras de fritura de estabelecimentos comerciais da cidade de Campinas – SP. **Alimentos e Nutrição**, v. 21, n. 1, p. 47-55, 2010.

OSAWA, C.C; et al. Study of the effectiveness of quick tests based on physical properties for the evaluation of used frying oil. **Food Control**, v. 26, p. 525-530, 2012.



PALAZOGLU, T.K.; TUTA, S.; GOKMEN, V. Effect of microwave pre-thawing of frozen potato strips on acrylamide level and quality of French fries. **Journal of Food Engineering**, v. 97, n. 2, p.261–266, 2010.

PANTZARIS, T.P. Comparison of monounsaturated and polyunsaturated oils in continuous frying. **Grasas y Aceites**, v. 49, n. 3-4, p. 319-325, 1998.

PAUL, S.; MITTAL, G.S. Regulating the use of degraded oil/fat in deep fat/oil food frying. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 37, n. 7, p. 635- 662, 1997.

PERKINS, E.G. Non-volatile decomposition products in heated fats and oils. **Food Technology**, v. 21, p. 611–16, 1967.

PICOUET P.A.; AYMERICH T.; MONFORT J.M.; Decontamination technologies for meat products, **Meat Science**, v. 78, n. 1-2, p.114–129, 2008.

POKORNÝ, J.; DOSTÁLOVÁ, J. Changes in nutrients, antinutritional factors, and contaminants at frying temperatures. In \_\_\_\_\_: **Frying of food: Oxidation, nutrient and non-nutrient antioxidants, biologically active compounds and high temperatures**. Boca Raton, FL: CRC Press, p.71–104, 2010.

QUADROS, D.A.; et al. Qualidade de batata para fritura em função dos níveis de açúcares redutores e não-redutores durante o armazenamento à temperatura ambiente. **Acta Scientiarum Technology**, v. 32, n. 4, p.439-443, 2010.

RAJKUMAR, V.; MOREIRA, R.; BARRUFET, M. Modeling the structural changes of tortilla chips during frying. **Journal of Food Engineering**, v. 60, p. 167-175, 2003.

RAKESH, V.; et al. Heat Transfer during microwave combination heating: Computational modeling and MRI experiments. **AIChE Journal**, v. 56, p. 2468–2478, 2010.

RAMALHO, V.C.; JORGE, N. Antioxidants used in oils, fats and fatty foods. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 755-60, 2006.

RECKNAGEL, R.O; GLENDE E. A. Jr. Spectrophotometric detection of lipid conjugated dienes. **Methods in Enzymology: Oxygen radicals in biological systems**. v. 105, p. 331-337, 1984.

REDA, S.Y.; CARNEIRO P.I.B. Óleos e gorduras: aplicações e implicações. **Revista Analytica**, n. 27, p. 60-67, 2007.

RIBEIRO, A.P.B; et al. Interesterificação Química: A alternativa para obtenção de gorduras zero trans. **Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1295-1300, 2007.

ROSSELL, J.B. Measurement of rancidity. In \_\_\_\_\_: **Rancidity in foods**, ed. J.C. Allen and R.J. Hamilton, Applied Science, p. 21–46. 1983.

SAGUY, I.S.; DANA, D. Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumers aspects. **Journal of Food Engineering**, v. 56, p. 143–152, 2003.

SAHIN, S.; OZTOP, M.H; SUMNU, G. Optimization of microwave frying of potato slices by using Taguchi technique. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 1, p. 83–91, 2007.

SAHIN, S.; SUMNU, S.G. In \_\_\_\_\_: **Advances in deep-fat frying of foods**. Contemporary Food Engineering Series. CRC Press, 310 p., 2009.

SALVI, D.; et al. Multiphysics model for continuous flow microwave heating of liquids. **Journal of Food Engineering**, v. 104, p. 422–429, 2011.

SÁNCHEZ-GIMENO, A.C.; et al. Some physical changes in Bajo Arago'n extra virgin olive oil during the frying process. **Food Chemistry**, v. 110, n. 3, p. 654-658, 2008.

SÁNCHEZ-GIMENO, A. C.; et al. Aceite de oliva virgen extra del Somontano: evaluación de las modificaciones físico-químicas tras la fritura doméstica de patatas pre fritas congeladas. **Grasas y Aceites**, v. 59, n. 1, p. 57-61, 2008.

SÁNCHEZ-MUNIZ, F.J.; BASTIDA, S. Effect of frying and thermal oxidation on olive oil and food quality. In \_\_\_\_\_: **Olive Oil and Human Health**. QUILES, J.L.; et al. CAB International Publishing, Oxford Shire, UK, p. 74–108, 2006.

SANIBAL, E.A.A, MANCINI-FILHO, J. Alterações físicas, químicas e nutricionais de óleos submetidos ao processo de fritura. **Food Ingredient South American**, v. 1, n. 3, p. 64-71, 2002.

SANSEVERINO, A. M. Micro-ondas em síntese orgânica. **Química Nova**, v. 25, n. 4, 2002.

SENSOY, I; SAHIN, S.; SUMNU, G. Microwave frying compared with conventional frying via numerical simulation. **Food Bioprocess Technol**, v. 6, p. 1414–1419, 2013.

SHANTA, N.L.; DECKER, E.A. Rapid, sensitive, iron-based spectrophotometric methods for determination of peroxide values of food lipids. **Journal of AOAC International**, v. 77, p. 421-424, 1994.

SHEN, Q. et al. Chemical alterations taken place during deep-fat frying based on certain reaction products: A review. **Chemistry and Physics of Lipids**, v. 165, n. 6, p. 662-681, set. 2012.

SILVA, F.A.M.; et al. Métodos para a avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante. **Química Nova**, v. 22, n. 1, p. 94-103, 1999.

SMITH, L.M.; et al. Lipid content and fatty acid profiles of various deep-fat fried foods. **Journal American Oil Chemistry Society**, v. 62, p. 996-999, 1985.

SOLOMONS, T.W.G.; FRYHLE C.B.; SNYDER, S.A. In\_\_\_\_\_ : **Organic Chemistry**. 11<sup>a</sup> Ed., p.1027-1036, 2011.

SOUZA, Z.S.; et al. Seleção de clones de batatas para processamento industrial em condições de clima subtropical e temperado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n.11, p.1503-1512, 2011.

St. ANGELO, A.J. Lipid oxidation in foods. **Critical Review in Food Science and Nutrition**, v. 36, n.3, p. 175-224, 1996.

STATSOFT, Inc. STATISTICA. **Data analysis software system**, version 7, 2004.

STEVENSON, S.G.; VAISEY-GENSER, M.; ESKIN, N.A.M. Quality control in the use of deep frying oils. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 61, n. 6, p. 1102-1108, 1984.

SUN, T.; TANG, J.; POWERS, J. S. Antioxidant activity of asparagus affected by microwave-circulated water combination and conventional sterilization. **Food Chemistry**, v. 100, p. 813-819, 2007.

SUTTON, W.H. Microwave processing of ceramic materials. **The American Ceramic Society Bulletin**, v. 168, p. 376-86, 1989.

TAKEOKA, G.R.; FULL, G.H.; DAO, L.T. Effect of heating on the characteristics and chemical composition of selected frying oils and fats. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, n. 8, p. 3244-3249, 1997.

TANAMATI, A. A. C. **Instabilidade oxidativa do óleo de soja submetido à fritura de alimentos congelados**. 2008. 119f. Tese (Ciências exatas) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

TANAMATI, A.A.C. et al. Parâmetros físico-químicos e quantificação de ácidos graxos cis-trans no óleo de soja e mandioca palito, submetido à fritura descontínua. **Acta Scientiarum Technology**, v. 32, n. 4, p. 427-434, 2010.

TASAN, M.; DEMIRCI, M. *Trans* FA in sunflower oil at different steps of refining. **Journal of American Oil Chemists' Society**, v. 80, n. 8, p. 825-828, 2003.

THOSTENSON, E.T.; CHOU, T.W. In\_\_\_\_\_: Microwave processing: Fundamentals and applications. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 30, n. 9, p. 1055–1071, 1999.

TSAKNIS, J.; et al. Quality changes of *Moringa oleifera*, variety Mbololo of Kenya seed oil during frying. **Grasas Y Aceites**, v. 50, p. 37–48, 1999.

TYAGI, V.K.; VASISHTHA, A.K. Changes in the characteristics and composition of oils during deep-fat frying. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 73, n. 4, p. 449–506, 1996.

VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D. S. Non-uniform temperature distribution during microwave heating of food materials – A review. **Food Bioprocess Technology**. v. 3, n. 2, p. 161-171, 2010.

VARELA, G.; RUIZ-ROSO, B. Some nutritional aspects of olive oil. Harwood, J. Aparicio, R. eds. In\_\_\_\_\_: **Handbook of Olive Oil: Analysis and Properties**, Aspen Publishers Gaithersburg, MD, p. 565-580, 2000.

VELASCO, J.; et al. Chemistry of frying. In\_\_\_\_\_: **Advances in deep-fat frying of foods**. Boca Raton, FL: CRC Press, p. 33–56, 2009.

VISENTAINER, J.V. Aspectos analíticos da resposta do detector de ionização em chama para ésteres de ácidos graxos em biodiesel e alimentos. **Química Nova**, v. 35, n. 2, p. 274-279, 2012.

VISENTAINER, J.V.; FRANCO, M.R.B. In:\_\_\_\_\_. **Ácidos graxos em gorduras: Identificação e quantificação**. Varela, p. 101-113, 2006.

WHITE, P.J. Methods for measuring changes in deep-fat frying oils. **Food Technology**, v.45, p. 75–80, 1991.

YARMAND, M.S.; HOMAYOUNI, A. Effect of microwave cooking on the microstructure and quality of meat in goat and lamb. **Food Chemistry**, v. 112, n. 4, p.782–785, feb. 2009.

YOSHIDA, H., et al. Effects of microwave energy on the relative stability of vitamin E in animal fats. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 58, n. 4, p. 531 - 534, 1992.

YOSHIDA, H.; KAJIMOTO, G. Effects of microwave energy on the tocopherols of soybean seeds. **Journal of Food Science**, v. 54, n. 6, p. 1596-1600, 2006.

YOSHIDA, H.; TATSUMI, M.; KAJIMOTO, G. Influence of fatty acids on the tocopherol stability in vegetable oils during microwave heating. **Journal American Oil Chemist's Society**, v. 69, p. 119–125, 1992.

ZAMBIAZI, R.Z. Oxidation reactions of vegetable oils and fats. **Revista da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.33, n.1, p. 1-7, 1999.

ZAMBIAZI, R.Z.; ZAMBIAZI, M.W. Vegetable oil oxidation: effect of endogenous components. **Revista da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.34, n.1, p. 22-32, 2000.

ZHANG, Q.; et al. Chemical alterations taken place during deep-fat frying based on certain reaction products: A review. **Chemistry and Physics of Lipids**, n. 165, p. 662-681, 2012.

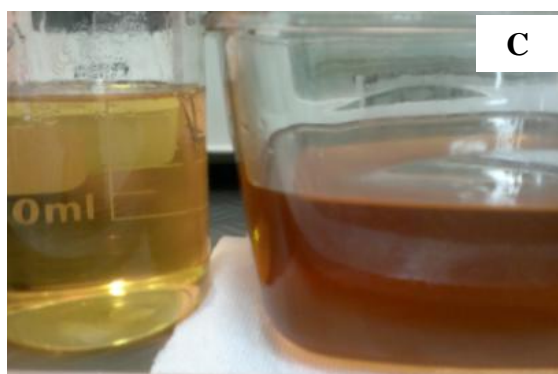
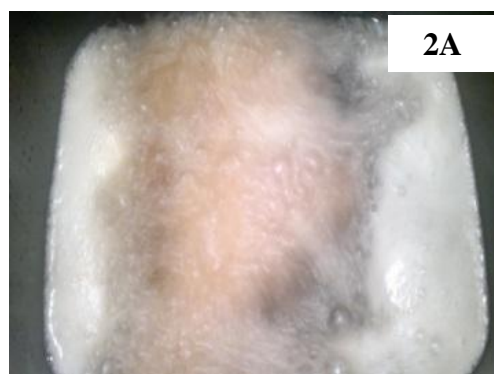
## **APÊNDICES**

**Apêndice A – Aspecto visual de cor usado como parâmetro na atribuição do ponto final do tempo de fritura nos sistemas fritadeira convencional e micro-ondas.**



A = Batatas fritas por 6 minutos em fritadeira convencional (óleo de soja).  
B = Batatas fritas por 6 minutos em micro-ondas (óleo de soja).

**Apêndice B – Imagens da formação de espuma em óleo de soja durante a fritura em micro-ondas e fritadeira. Alterações de cor das batatas e do óleo, observadas na 1ª e 42ª frituras.**



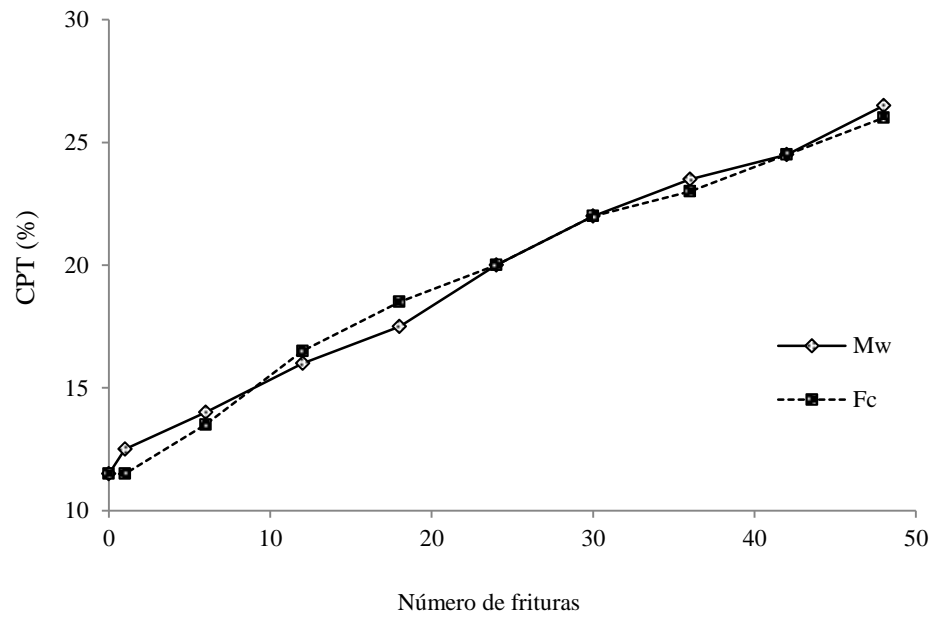
1 A, 2 A = Formação de espuma nas frituras em micro-ondas e fritadeira convencional (a partir 7º dia = 42ª fritura);

1 B, 2 B = Alterações na cor das batatas após 1ª e 42ª frituras, respectivamente;

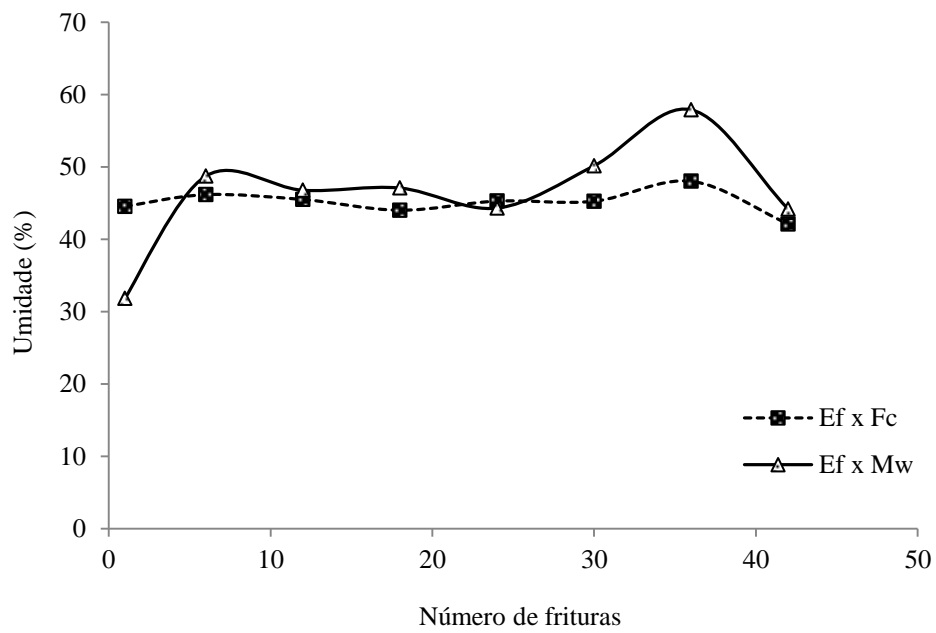
C = Alterações na cor do óleo após 1ª e 42ª frituras, respectivamente.



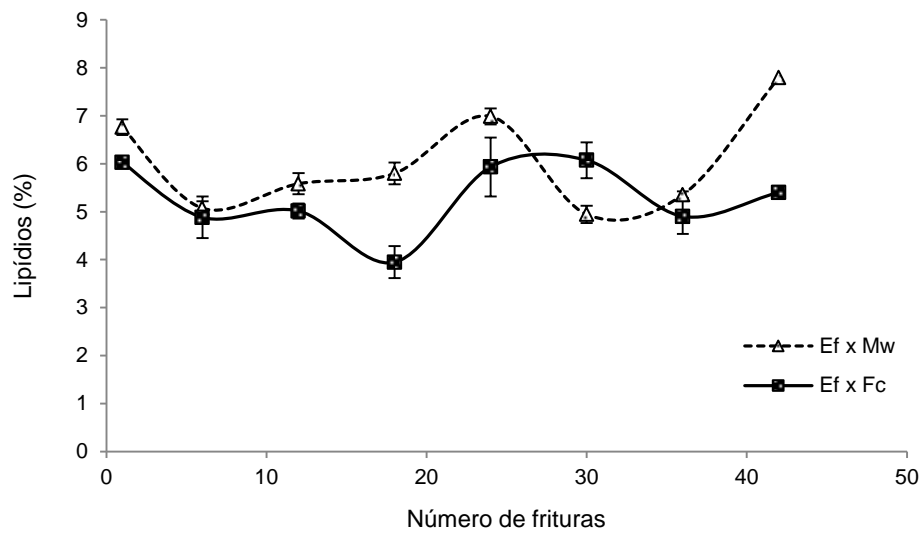
**Apêndice C – Gráfico da concentração de Compostos Polares Totais (%) em óleo de soja, registrados durante as frituras em micro-ondas (MW) e fritadeira convencional (FC): Avaliação do efeito do micro-ondas.**



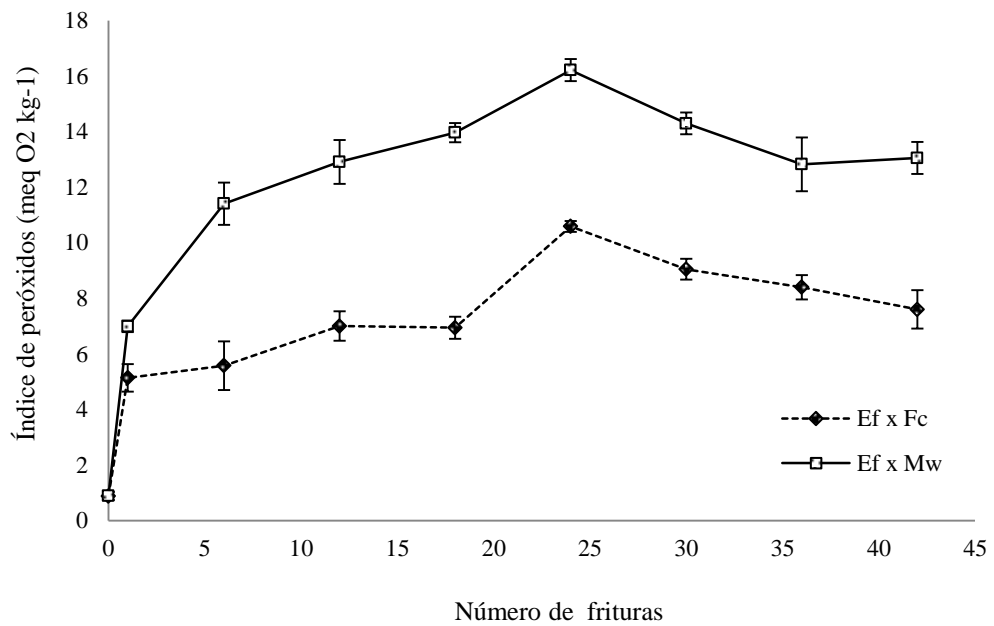
**Apêndice D – Gráfico do teor de umidade (%) das batatas palito submetidas à fritura em óleo de soja nos sistemas micro-ondas (MW) e fritadeira convencional (FC): Avaliação do efeito (Ef) do micro-ondas.**



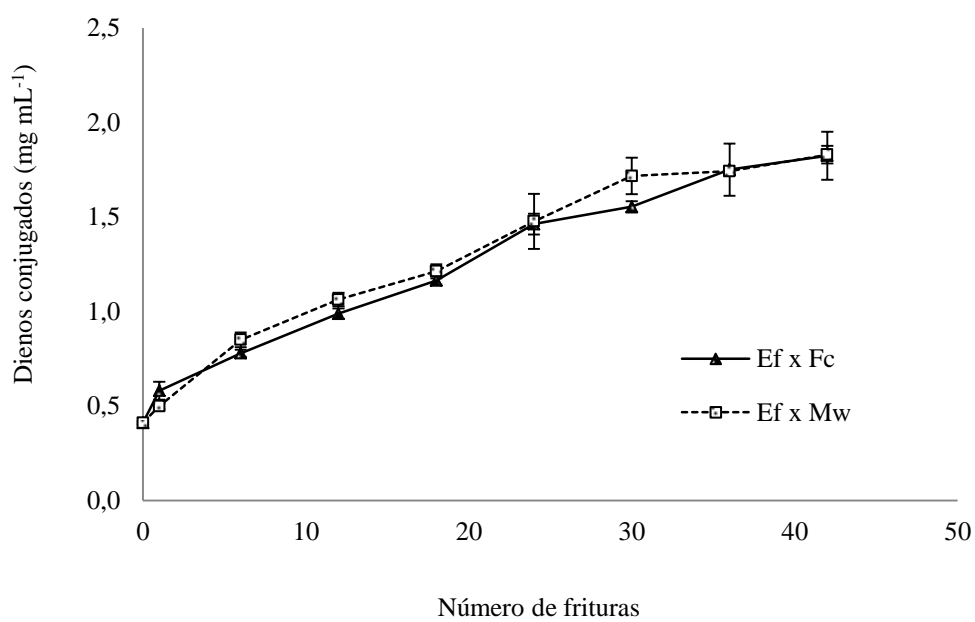
**Apêndice E – Gráfico do teor de lipídios (%) das batatas palito submetidas à fritura em óleo de soja nos sistemas micro-ondas (MW) e fritadeira convencional (FC): Avaliação do efeito (Ef) do micro-ondas. ( $p < 0,05$ )**



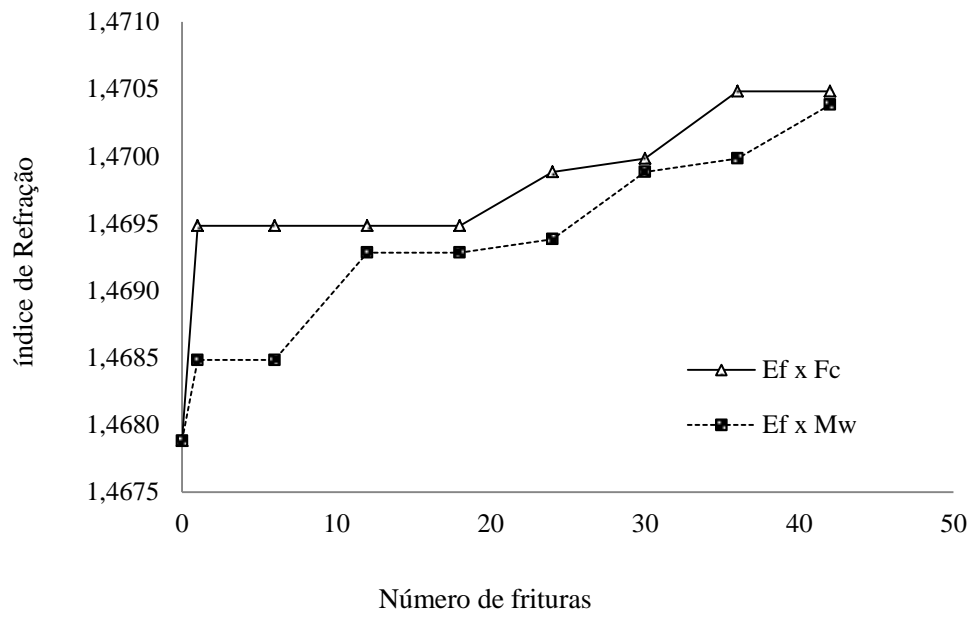
**Apêndice F – Gráfico do índice de peróxidos (meqO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> amostra) do óleo de soja das frituras de batata palito nos sistemas micro-ondas (MW) e fritadeira convencional (FC): Avaliação do efeito (Ef) do micro-ondas. (p<0,05)**



**Apêndice G – Gráfico da concentração de dienos conjugados (mg mL<sup>-1</sup> de ciclohexano) no óleo de soja das frituras de batata palito nos sistemas micro-ondas (MW) e fritadeira convencional (FC): Avaliação do efeito (Ef) do micro-ondas. (p<0,05)**



**Apêndice H – Gráfico do índice de refração (nD 40°C) do óleo de soja das frituras de batata palito nos sistemas micro-ondas (MW) e fritadeira convencional (FC): Avaliação do efeito do micro-ondas.**



**Apêndice I – Aspecto visual de cor usado como parâmetro para a atribuição do ponto final do tempo de fritura nos sistemas fritadeira convencional e micro-ondas.**



A = Batatas *chips* fritas por 6 minutos em fritadeira convencional (óleo de soja).  
B = Batatas *chips* fritas por 6 minutos em micro-ondas (óleo de soja).