

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

**EFEITO DO TRATAMENTO COM MICRO-ONDAS EM POLPA DE
GUABIROBA PARA PRODUÇÃO DE SUCO**

Vinicius Rios de Lima

Porto Alegre

2016

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

EFEITO DO TRATAMENTO COM MICRO-ONDAS EM POLPA DE GUABIROBA PARA PRODUÇÃO DE SUCO

Vinicius Rios de Lima

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Ciência e
Tecnologia de Alimentos da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul como
requisito parcial para obtenção do Título de
Engenheiro de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro de Oliveira Rios

Orientador: Profa. Dra. Simone Hickmann Flôres

Porto Alegre

2016

EFEITO DO TRATAMENTO COM MICRO-ONDAS EM POLPA DE GUABIROBA PARA PRODUÇÃO DE SUCO

Vinicius Rios de Lima

Aprovado em: _____/_____/_____

.....
Dr. Alessandro de Oliveira Rios

ICTA – UFRGS

.....
Dra. Simone Hickmann Flôres

ICTA – UFRGS

BANCA EXAMINADORA:

.....
Dra. Giovana Domeneghini Mercali

ICTA – UFRGS

.....
Dra. Médelin Marques da Silva

ICTA – UFRGS

Porto Alegre

2016

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha mãe Maria Helena e a minha noiva Jéssica que estiveram do meu lado me apoiando e me incentivando em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que esteve sempre do meu lado e permitiu que este momento se concretizasse sempre me orientando e me dando forças para seguir.

A minha mãe Maria Helena que sempre me deu todo o apoio e suporte, que dedicou a sua vida para que os filhos pudessem estudar e que está do nosso lado pensando no nosso melhor a cada momento.

A minha noiva Jéssica que esteve comigo desde as primeiras análises realizadas no ICTA e que me deu todo o apoio e carinho durante todos os momentos, especialmente por toda a compreensão e ajuda nos momentos mais difíceis.

A minha sogra Janete, por todo seu apoio diariamente, sem os quais não conseguiria essa conclusão de curso.

Aos meus irmãos Andrius Lima e Andressa Lima, que desde o início da faculdade sempre aguentaram toda minha falta de humor e excesso de estresse, que sempre aguentaram firme do meu lado e pretendem seguir o meu caminho.

Ao meu pai Paulo Cezar, que me deu muita educação e disciplina desde os primeiros anos no colégio até a entrada na universidade.

Aos meus avós Adão e Adaltiva que sempre me apoiaram para estudar e sempre se preocuparam com a minha formatura.

A todos os meus tios, primos e primas que sempre incentivaram a minha educação, em especial ao meu primo Diego Rios que foi a minha inspiração para estudar e entrar na UFRGS e ao meu primo e afilhado Henrique Lima que sempre se me incentivou a estudar e a me formar na UFRGS.

Aos amigos que sempre estiveram na minha vida desde muito antes da faculdade, meu grande amigo e irmão Alexander Martins, que esteve do meu lado desde o início dos estudos, que segue o caminho na mesma área de tecnologia de alimentos e que sempre se esforçou o máximo em tudo que precisei, ao meu grande amigo e irmão Geverson que estudou comido desde a segunda série do fundamental e que esteve sempre do meu lado, até mesmo durante a faculdade, onde dividimos apartamento por um tempo, que sempre seguiu o caminho dos

estudos e sempre me incentivou a estudar. Enfim a todos os amigos Hélio Brauner, Gerson, Vinicius Gouvêia, Vinicius Cardoso, Ramires Giusti.

Aos amigos que Deus me deu durante a faculdade e que sempre estiveram me acompanhando nessa longa Jornada, Wiliam Borges, Josué Martins, Arthur Izé, Fellipe Langmantel, Patric Lima.

Aos professores do curso de Engenharia de Alimentos, especialmente aos professores Alessandro Rios e Simone Flôres que estiveram presente na minha matrícula, trabalharam comigo durante três anos no Programa de Educação Tutorial, me orientaram durante a iniciação científica e principalmente por todo o apoio, dedicação e esforço durante a realização desde trabalho de conclusão de curso que não mediram esforços para que esse fosse concluído.

Enfim, a todos que de alguma forma me ajudaram no trajeto da graduação.

Muito Obrigado!

RESUMO

A polpa da guabiroba (*Campomanesia xanthocarpa* O. Berg.) possui carotenoides que podem ser tanto protetores contra os efeitos da luz, quanto compostos reativos contra espécies químicas que induzem ao dano oxidativo. Seu consumo pode ser incentivado através da produção e comercialização de suco a partir da polpa. O conteúdo de carotenoides presente nos sucos não representa o conteúdo total de pigmentos que pode ser extraído, pois a aplicação de diferentes processos pode melhorar a extração destes compostos. Mecanismos como, por exemplo, eletroporação e ruptura das membranas das células pela aplicação de ondas eletromagnéticas na frequência do micro-ondas podem aumentar a bioacessibilidade dos carotenoides. Sendo assim, tendo em vista o consumo de suco de guabiroba com maior teor disponível de carotenoides, este trabalho visou avaliar o efeito das variáveis tempo e potência de micro-ondas sobre os parâmetros de cor L^* , a^* , b^* e o teor de carotenoides extraídos a partir da polpa para produção de suco. Em relação às medidas de cor foi encontrado menor valor de luminosidade na amostra que não sofreu tratamento (*in natura*) e maior em uma das amostras processadas nas condições centrais do experimento (800 J/s e 80s). O menor valor do parâmetro de cor a^* foi da amostra tratada com o menor nível de potência do micro-ondas (324J/s e 80s), e o maior valor para a amostra tratada com a maior quantidade de energia aplicada por grama (1134J/s e 110s). Para o parâmetro de cor b^* o maior valor registrado foi de uma das amostras processadas a 800 J/s e 80s. Quanto aos teores de carotenoides realizados por espectrometria, os valores variaram de 3648,44 $\mu\text{g}/100$ g polpa para o ensaio sem tratamento a 4246,84 $\mu\text{g}/100$ g de polpa para o experimento a 800J/s e 80s. O resultado da superfície de resposta indicou um ponto ótimo de extração de carotenoides utilizando como tratamento da polpa de guabiroba antes da obtenção do suco uma potência 852,12 J/s durante 78,2 segundos. Na separação dos carotenoides por cromatográfica líquida de alta eficiência a criptoxantina foi o carotenoide em maior abundância com um valor de $1104 \pm 9,66$ $\mu\text{g}/100\text{g}$ de polpa para a amostra tratada por micro-ondas (800J/s e 80s). Os teores de carotenoides totais da análise confirma a diferença entre a amostra *in natura* ($1948,75 \pm 25,14$ $\mu\text{g}/100\text{g}$ de polpa) e a amostra tratada com micro-ondas ($2110,57 \pm 6,61$ $\mu\text{g}/100\text{g}$ de polpa).

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição centesimal e valor energético em frutas de guabiroba	- 16 -
Tabela 2 - Carotenoides ($\mu\text{g/g}$) em frutas de araçá amarelo, guabiroba e uvaia.	- 17 -
Tabela 3- Planejamento experimental 2^2 completo com pontos centrais e axiais.....	- 28 -
Tabela 4 - Ensaio do planejamento experimental (valores codificados).....	- 29 -
Tabela 5 - Temperaturas iniciais e finais dos tratamentos térmicos.	- 33 -
Tabela 6 - Efeitos estimados pelo modelo de regressão para a temperatura final dos ensaios.	- 34 -
Tabela 7 - Resultados do planejamento experimental para os parâmetros de cor L^* , a^* e b^* para as polpas de guabiroba após os tratamentos por micro-ondas.	- 35 -
Tabela 8- Efeitos estimados pelo modelo de regressão para o parâmetro de cor "L" dos ensaios.	- 36 -
Tabela 9 - Efeitos estimados pelo modelo de regressão para o parâmetro de cor "a" dos ensaios.	- 38 -
Tabela 10 - Resultados dos teores de carotenoides para o planejamento experimental composto central 2^2	- 40 -
Tabela 11 - Efeitos estimados pelo modelo de regressão para a quantificação de carotenoides a partir de polpa de guabiroba.	- 40 -
Tabela 12 - Pontos críticos de potência e tempo no qual a extração do conteúdo de carotenoides ($\mu\text{g}/100\text{g}$ polpa) é máxima.	- 42 -
Tabela 13 - Concentração de carotenoides em polpa de guabiroba tratada com micro-ondas (8) e <i>in natura</i> (12).	- 44 -

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Comparação entre tempo e temperatura de tratamento convencional e tratamento por micro-ondas.	- 23 -
Figura 2 - Homogeneização de polpas em processador de frutas.	- 27 -
Figura 3- Medições de cor realizadas em colorímetro portátil.....	- 30 -
Figura 4 - Superfície de resposta para os efeitos da potência e do tempo para a temperatura final dos ensaios.....	- 34 -
Figura 5 - Superfície de resposta para os efeitos da potência e do tempo para o parâmetro de cor "L" dos ensaios.	- 36 -
Figura 6 - Superfície de resposta para os efeitos da potência e do tempo para o parâmetro de cor "a" dos ensaios.	- 38 -
Figura 7 - Superfície de resposta para os efeitos da potência e do tempo para os teores de carotenoides ($\mu\text{g}/100\text{g}$ de polpa) dos ensaios.	- 41 -

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	- 12 -
1.1	Objetivo	- 13 -
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	- 14 -
2.1	Frutas regionais	- 14 -
2.1.1	Guabiroba	- 14 -
2.2	Carotenoides	- 17 -
2.2.1	Estrutura.....	- 17 -
2.2.2	Atividade antioxidante.....	- 18 -
2.3	Sucos	- 19 -
2.3.1	Caracterização da indústria de sucos de frutas.....	- 19 -
2.3.2	O mercado mundial de sucos.....	- 20 -
2.3.3	A indústria de sucos de frutas e inovações.....	- 20 -
2.3.4	Tendências atuais do mercado de sucos	- 20 -
2.3.5	Produção agroindustrial familiar.....	- 21 -
2.4	Tratamento térmico com micro-ondas	- 21 -
2.4.1	Definição	- 21 -
2.4.2	Geração de calor	- 22 -
2.4.3	Vantagens do processamento.....	- 22 -
2.4.4	Fatores críticos do processo.....	- 23 -
2.4.5	Mecanismos de atuação e interferência no conteúdo dos alimentos	- 24 -
2.4.6	Identificação e descrição dos fatores críticos do processo.....	- 25 -
2.4.7	Fatores relacionados ao equipamento de micro-ondas	- 26 -
3.	MATERIAL E MÉTODOS	- 27 -
3.1	Material	- 27 -
3.2	Tratamento com micro-ondas.....	- 28 -
3.3	Caracterização dos parâmetros de cor	- 29 -
3.4	Suco de guabiroba.....	- 30 -
3.5	Extração de carotenoides.....	- 30 -
3.6	Espectrofotometria para quantificação de carotenoides	- 31 -
3.7	Cromatografia líquida de alta eficiência	- 31 -
3.8	Análise de resultados	- 32 -

4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	- 33 -
4.1	Temperatura.....	- 33 -
4.2	Parâmetros de cor das polpas de guabiroba após tratamento por micro-ondas.....	- 34 -
4.2.1	Parâmetro L*	- 35 -
4.2.2	Parâmetro a*	- 37 -
4.2.3	Parâmetro b*	- 39 -
4.3	Determinação do teor de carotenoides por espectrometria.....	- 39 -
4.4	Perfil de carotenoides	- 43 -
5.	CONCLUSÕES.....	- 46 -
6.	Apêndices	- 51 -

1. INTRODUÇÃO

A guabiroba, conhecida popularmente como guabirobeira, guavirova, guabiroba-miúda e guabirobeiro-do-mato, tem nome científico de *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg. A fruta é encontrada no Brasil desde o Espírito Santo até o Rio Grande do Sul. Moradores locais de Irati/PR, Três Barras/SC e Passo Fundo/RS relataram que utilizam a fruta para produção de sucos e outros produtos alimentícios (ADAN, 2010).

A guabiroba possui diversos compostos bioativos, dentre eles destacam-se os carotenoides. Tais compostos podem ser fotoprotetores contra os efeitos da luz e do oxigênio (PALLOZA; KRINSKY, 1992). O consumo de produtos que contém carotenoides no mercado está aumentando; o novo relatório do Mercado Global de carotenoides, a Companhia de Comunicações Empresarial Inc projeta que o valor de mercado mundial de carotenoides subirá para mais de \$ 1,4 bilhões antes de 2018, a uma taxa de crescimento anual de 2,3% (BCC, 2011).

Uma alternativa para o uso de frutas como fontes de carotenoides é o seu consumo através de sucos devido à praticidade. Dentre todos os produtos consumidos pelo brasileiro, os sucos apareceram com a terceira maior média per capita (145,0 g/ dia), seguido pelo feijão (182,9 g/ dia) e pelo arroz (160,3 g/ dia). Frutas apresentaram consumo menor em comparação aos sucos, entre as mais consumidas estão a laranja (20,6 g/ dia), a banana (18,6 g/ dia) e a maçã (11,6 g/ dia). Dentre as bebidas selecionadas pela Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF 2009) do IBGE, destacam-se como os mais consumidos por todas as idades (IBGE, 2011). Além do sabor, suco de frutas são fontes naturais de carboidratos, carotenoides, vitaminas, minerais e outros componentes benéficos para a saúde (PINHEIRO *et al.* 2006).

O consumo de sucos permite a ingestão de carotenoides de forma prática e diária. Além disso, incentiva a produção de frutas nativas com diversas finalidades, como por exemplo, a produção de sucos, porém deve-se assegurar de que este composto está sendo amplamente extraído da matéria-prima. Estudos sobre a aplicação de tratamento térmico antes da extração desses pigmentos da matriz

alimentícia têm sido relatados na literatura como benéfico para aumento do teor de compostos bioativos (FRATIANNI *et al.* 2010; KAMEL, 2013; WANG. *et al.* 2008).

Uma possibilidade para melhorar a extração dos compostos bioativos é o uso do micro-ondas. Tal equipamento dissipa energia em forma de ondas de 2,45 GHz, ou seja, a cada segundo as moléculas polares alternam seu polo 2,45 bilhões de vezes por segundo, juntamente com os íons que são conduzidos pela variação de campo na mesma frequência (HOLLAND; SKILLS, 1996). Dois mecanismos são propostos da atuação por micro-ondas; sendo que o primeiro deles é a definição de que o equipamento atua inteiramente por calor, do mesmo modo que mecanismos de outros processos biofísicos induzidos pelo calor, causando desnaturação das enzimas, das proteínas, dos ácidos nucleicos, ou outros componentes vitais, assim como a ruptura das membranas (Heddleson e Doores 1994). Um segundo mecanismo proposto envolve efeitos não térmicos. Quatro teorias predominantes foram usadas para explicar os efeitos não térmicos por micro-ondas: aquecimento seletivo, eletroporação, ruptura da membrana celular, e acoplamento do campo magnético (LENGTH, 2009).

Dessa forma a produção de suco a partir de polpas de frutas tratadas com micro-ondas pode ser benéfica para a obtenção de um produto mais rico em compostos bioativos (FREITAS *et al.* 2015; JÚNIOR *et al.* 2013; SILVA, *et al.* 2010; TOALDO, 2013).

Uma alimentação saudável à base de produtos que possuam substâncias bioativas com princípios benéficos à saúde está cada vez mais relacionada com redução de doenças (BASHO; BIN, 2010). Dessa forma a obtenção de um produto rico em compostos bioativos vem ao encontro com a busca atual do consumidor por uma alimentação saudável, (rica em substâncias que podem ter vários efeitos positivos na saúde humana) (RESENDE, D. De O. *et al.* 2013).

1.1 Objetivo

O objetivo desse trabalho foi a investigação do efeito de condições de potência e tempo de processamento por micro-ondas sobre a temperatura final de processamento, sobre os parâmetros de cor e sobre o teor de carotenoides em polpa de guabiroba para produção de sucos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Frutas regionais

Frutas nativas nacionais devem ser melhor exploradas pela população de um modo geral, como forma de incentivar a produção e o consumo. O Brasil possui em média 55 mil espécies vegetais, sendo que em torno de cinco mil são do Estado do Rio Grande do Sul (BRACK; KINUPP; SOBRAL, 2007).

A alimentação baseada no uso de frutas nativas é uma questão cultural, que preserva os recursos naturais nativos da região. De acordo com DORNELLES *et al.* (2016), a alimentação traz em si questões muito mais profundas do que geração de lucros; a alimentação faz parte da cultura de um povo, preservação dos ecossistemas e da biodiversidade. O cenário visto no mercado atual é o aumento de produtos processados e causadores de doenças crônicas de saúde. DORNELLES *et al.* (2016) organizaram vinte oficinas sobre o processamento de frutas nativas destacando, entre elas, a Guabiroba, a fim de desenvolver estratégias para a valorização e preservação dos elementos da flora local.

Melhor usar nativo

2.1.1 Guabiroba

A guabiroba (*Campomanesia xanthocarpa* O. Berg) é uma frutífera lenhosa da família Myrtaceae que pertence a uma das 3600 espécies distribuídas em mais de 100 gêneros dessa família botânica. No Brasil, a espécie ocorre de Minas Gerais, Goiás e do Espírito Santo até o Rio Grande do Sul, sendo encontrada também no nordeste da Argentina, leste do Paraguai e norte do Uruguai. A espécie se encontra no extrato inferior dos ecossistemas. É abundante em solos úmidos e compactos das submatas dos pinhais, capões e matas de galeria. Esta frutífera se encontra em florestas em estágios médios e avançados de sucessão, sendo que sua época de floração ocorre nos meses de setembro a novembro e a frutificação entre novembro e dezembro (VALLILO *et al.* 2008).

A guabiroba possui um amplo aspecto de exploração, sendo utilizada tanto para fins alimentícios como medicinais. Suas frutas podem ser matérias-primas para fabricação de doces, geleias, licores, sorvetes e aguardente (MARQUES, 2007). As frutas da guabirobeira são de formato esférico variando desde 18,42 mm de até 30,48 mm de diâmetro. Aproximadamente metade da fruta pode ser utilizada para produção de polpa, ou seja, um rendimento de aproximadamente 50% (ALVES, A. M. *et al.* 2013).

De acordo com BARDIVIESSO *et al.* (2011) existem poucas informações relacionadas ao cultivo e produção de espécies nativas, pois a exploração dessas espécies ocorre de forma extrativista. O cultivo dessas espécies para produção traria inúmeras vantagens, pois elas mantêm a integridade ambiental, geram renda para o produtor local e possuem propriedades nutricionais únicas destas espécies.

Com relação a sua denominação como fruto ou como fruta, ambos os termos são aplicáveis neste caso. Fruto é o termo botânico utilizado para o órgão que protege e dissemina as sementes e fruta é o termo popular aplicado aos frutos doces comestíveis.

2.1.1.1 *Composição*

Vallilo *et al.* (2008) (Tabela 1) destacam por meio de análise de macronutrientes que maior parte da fruta é composta de água, seguido de carboidratos e fibras. Para os teores de minerais, os autores determinaram altos valores de sódio e potássio. Para as frutas de guabirobeira coletadas na região central do Estado de Goiás, em áreas com vegetação típica dos Cerrados, no mês de novembro de 2011, Alves *et al.* (2013) destacaram altos teores de água, carboidratos e fibra alimentar total em concordância com Vallilo *et al.* (2008).

Tabela 1 - Composição centesimal e valor energético em frutas de guabiroba

Composição centesimal (g.100g ⁻¹ de peso fresco)	Gabiropa	
	polpa	resíduo (casca e semente)
Umidade	80,87 ± 0,04a	63,70 ± 0,03b
Proteína	1,06 ± 0,00b	3,17 ± 0,04a
Lipídios	0,55 ± 0,03b	5,33 ± 0,02a
Carboidratos totais	10,00 ± 0,06a	3,00 ± 0,15b
Fibra alimentar total	7,10 ± 0,03b	24,05 ± 0,15a
Fibra solúvel	1,49 ± 0,03b	3,48 ± 0,08a
Fibra insolúvel	5,60 ± 0,02b	20,58 ± 0,09a
Cinzas	0,43 ± 0,02b	0,74 ± 0,01a
Valor Energético Total (kcal.100g ⁻¹)	49,19	72,65

Fonte: (ALVES, A. M. et al. 2013)

2.1.1.2 Obtenção da polpa

Industrialmente, a extração da polpa de guabiroba é realizada de forma manual. As frutas são sanitizadas, lavadas com água potável corrente, trituradas em processador e pesadas em porções de 100 g. O cálculo do rendimento é realizado por diferença de peso das frutas higienizadas e após obtenção da polpa.

De acordo com o estudo de Koop *et al.* (2011), o rendimento obtido para obtenção de polpa sem seleção das frutas foi de 38%, devido a perdas no processo como: remoção das sementes, frutas descartadas por injúrias, deterioração e presença de larvas de mosca da fruta. Com a seleção das frutas e descarte dos que apresentavam deterioração ou contaminação por larvas, o rendimento alcançado neste estudo foi de 64 %.

2.1.1.3 Estudos locais e viabilidade econômica

De acordo com o estudo de Adan (2010), nas cidades de Irati/PR, Três Barras/SC e Passo Fundo/RS, os produtores utilizam a guabiroba para produção de licor, suco, sorvete, geleia e medicamentos. Ainda, de acordo com o autor, os agricultores relatam que a espécie possui potencial para comercialização com tanto que a mesma fosse beneficiada, pois as frutas são bastante perecíveis e não seriam viáveis para transporte e/ou comercialização (*in natura*). Dessa forma pode-se

destacar a importância da produção de sucos de guabiroba, como forma de conservar e manter a qualidade das características benéficas fornecidas pela fruta.

2.1.1.4 Compostos bioativos na fruta de guabiroba

Pereira *et al.* (2014) caracterizaram seis frutas nativas da Região Sul do Brasil, entre elas a guabiroba. A partir dos seus resultados, foi verificado que a guabiroba destacou-se por apresentar maior quantidade de compostos fenólicos (1495,27 mg/100g), carotenoides (54,35 µg/g), e vitamina C (5,44 mg/ g), sendo assim uma fruta promissora para consumo tanto (*in natura*) quanto para utilização tecnológica. Como pode ser visto na tabela 2, a guabiroba apresenta altos valores luteína e criptoxantina. Quando comparada com outras frutas, verifica-se que a guabiroba possui 1,3 vezes e 8,57 vezes mais carotenoides totais do que a uvaia e o araçá amarelo, respectivamente.

Tabela 2 - Carotenoides (µg/g) em frutas de araçá amarelo, guabiroba e uvaia.

Pico Nº	Carotenoide	Tempo de retenção (min)	Concentração (µg/g)		
			Araçá amarelo	Guabiroba	Uvaia
1	Luteína	18,03 - 18,10	4,40 ± 0,21	14,57 ± 2,70	16,91 ± 3,74
2	Zeaxantina	21,07 - 21,18	0,55 ± 0,19	5,77 ± 0,62	2,22 ± 0,63
3	Criptoxantina	31,89 - 32,04	0,16 ± 0,09	21,54 ± 1,60	8,75 ± 3,35
4	β-caroteno	42,95 - 43,43	0,49 ± 0,07	6,11 ± 0,37	10,50 ± 3,70
	Totais		5,6 ± 0,23	47,99 ± 3,45	38,38 ± 4,79

Fonte: Adaptado de PEREIRA *et al.* (2014)

2.2 Carotenoides

2.2.1 Estrutura

Os carotenoides são divididos em primários e secundários, de acordo com a classificação metabólica. Os primários são utilizados pelas plantas na fotossíntese, enquanto que os secundários estão presentes em frutas e flores. Os carotenos são

constituídos integralmente de carbonos e hidrogênios, enquanto que as xantofilas possuem carbono, hidrogênio e oxigênio. Todos são derivados da estrutura cíclica $C_{40}H_{56}$ (CARDOUNEL, A. J. *et al.* 2003).

A cor dos carotenoides que varia do amarelo fraco ao laranja forte decorrente das duplas ligações, que são capazes de capturar a energia que é produzida pela excitação causada durante a transferência de um elétron de um orbital externo para outro de maior energia. A energia não absorvida é refletida e/ou refratada para ser capturada pelo olho, e os impulsos neurais gerados são transmitidos para o cérebro onde podem ser interpretados como cor (DELGADO-VARGAS; JIMÉNEZ, PAREDES-LÓPEZ, 2000).

No ser humano são encontrados no plasma o α -caroteno, β -caroteno, licopeno, criptoxantina e luteína. Eles são na grande parte associados a lipoproteínas, ficam estocados no fígado e no tecido adiposo. A maioria dos carotenoides que tem atividade provitamina A são hidrolisados tanto no lúmen intestinal quanto nas células do intestino delgado (MARANGONI, A. G.; ROUSSEAU, 1995).

2.2.2 Atividade antioxidante

Os mecanismos de ação dos carotenoides têm sido muito revistos e discutidos. Eles podem ser tanto protetores contra os efeitos da luz e do oxigênio quanto desativadores de oxigênio singlete e de outras espécies químicas que induzem o dano oxidativo (Palloza; Krinsky, 1992).

Agentes oxidantes são substâncias que aceitam elétrons e levam outro composto a se oxidar através da doação de elétrons. Dessa forma substâncias redutoras doam elétrons e são oxidadas. Quando as reações de oxidação caracterizam uma reação química, estas são chamadas de reação redox. As reações redox são as principais reações de oxidação dos compostos biológicos; nessas reações substâncias oxidantes, como o oxigênio do ar, oxidam compostos e degradam alimentos (Benzie; Strain, 1996).

Os carotenoides protegem as células de danos oxidativos provocados por radicais livres e por espécies reativas que podem ser gerados no citoplasma, nas mitocôndrias ou na membrana, atacando lipídios, proteínas, carboidratos e DNA.

Além disso, exercem função antioxidante devido a sua cadeia acíclica com nove ou mais ligações conjugadas duplas. O licopeno, por exemplo, possui onze duplas ligações e cadeia acíclica, enquanto que o beta-caroteno possui nove ligações conjugadas duplas e cadeia cíclica nas extremidades, dessa forma o licopeno é um antioxidante mais reativo do que o beta-caroteno (MCBRIDE, 1996).

Cinquenta carotenoides possuem atividade provitamina A, sendo o beta-caroteno o mais importante. Os outros são: alfa-caroteno e a beta-criptoxantina, pois apresentam pelo menos um anel ionona no final de sua estrutura. Enquanto isso, a luteína, o licopeno e a cantaxantina têm pouca ou nenhuma atividade provitamina A, pois não apresentam o anel ionona nas suas estruturas químicas (Figura 3) (MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, 2004).

2.3 Sucos

Sucos de frutas são apreciados em todo o mundo, além do sabor, são fontes naturais de carboidratos, carotenoides, vitaminas, minerais e outros componentes benéficos para a saúde (PINHEIRO *et al.* 2006).

2.3.1 Caracterização da indústria de sucos de frutas

A extensão territorial do Brasil aliada as diferentes condições climáticas possibilita o desenvolvimento de grande variedade de frutas, matéria-prima para consumo *in natura* ou industrialização, tais como sucos. Porém, a fruta em que o país mais investe para produção de sucos é a laranja. O Brasil produz anualmente cerca de 18 milhões de toneladas só de laranja, sendo que o Estado de São Paulo é responsável por 74% desse total (IBGE, 2012). Na nova tendência do mercado mundial, o consumo de produtos saudáveis, ricos em sais minerais e vitaminas, está abrindo possibilidades para expansão do desenvolvimento de novos sucos, mix de frutas, néctares de laranja e elaboração de bebidas funcionais a partir do suco de laranja com forte apelo medicinal e de bem-estar. O maior produtor de sucos do mundo, São Paulo credencia-se como um espaço privilegiado de atração de novos investimentos para esse mercado.

2.3.2 O mercado mundial de sucos

A AIJN, (Associação Europeia dos Produtores de Suco de Fruta) publica bianualmente um importante trabalho denominado Liquid Fruit Market Report. No último documento, publicado em 2014 com dados de 2013, temos um panorama do mercado mundial de sucos (AIJN, 2014) O mercado global de sucos de frutas tem um volume de 38,9 bilhões de litros e um faturamento de 94,3 bilhões de euros.

De acordo com o relatório do AIJN (2014), o suco de laranja é o líder nos principais mercados: o sabor laranja tem uma participação de cerca de 40% no mercado total de sucos. O Brasil lidera a produção e a exportação mundial de suco de laranja. São Paulo e Flórida são responsáveis por mais de 86% da produção mundial de suco de laranja e as três maiores empresas do setor que operam em São Paulo e na Flórida controlam mais de 70% dessa produção.

2.3.3 A indústria de sucos de frutas e inovações

Os sucos, ao longo dos últimos anos, disputam uma batalha mercadológica contra os refrigerantes. Porém a busca pela qualidade de vida vem fazendo o consumidor modificar seus hábitos alimentares e optar por uma bebida que lhe proporcione saúde, fato que tem gerado crescimento constante neste mercado. Até as empresas de refrigerantes perceberam esse nicho de mercado e estão investindo na produção de sucos industrializados (JORNAL DCI, 2015). Essa variedade representa grandes oportunidades para as empresas fornecedoras de ingredientes embalagens primárias, secundárias e a granel, além de equipamentos. Gera-se assim um importante ciclo de atividades econômicas interligadas. Os setores macro de diversas atividades podem ser vinculados: produção de frutas, comercialização *in natura*, industrialização de frutas e distribuição.

2.3.4 Tendências atuais do mercado de sucos

Dentre os dez países mais populosos do mundo, o Brasil está em quinto lugar, perdendo apenas para China, Índia, Estados Unidos e Indonésia. Assim, se conclui que um negócio, na área de alimentos líquidos, deverá ter nesta década

taxas de crescimento muito grandes para satisfazer a demanda, tendo em vista a sensibilidade a mudanças no poder de compra (CERVIERI JÚNIOR *et al.* 2014).

2.3.5 Produção agroindustrial familiar

Nesse contexto, a produção de suco na agroindústria familiar torna-se uma grande alternativa de agregação de valor. Elaborar produtos de matérias-primas oriundas de suas propriedades é sem dúvida uma oportunidade para diversificação do trabalho e aumento da renda dos agricultores, além da possibilidade do aproveitamento de frutas, na forma de suco.

Além disso, os consumidores vêm buscando por alimentos sem resíduos de agrotóxicos e que não são geneticamente modificados. Esse episódio proporciona uma maior demanda por produtos que atendam essas características, um exemplo disso é a maior procura por sucos orgânicos em feiras ecológicas. Dessa forma está acontecendo o aumento de interesse dos pequenos agricultores rurais em conhecer esse processo visando um novo mercado que surge (RIBEIRO; AZEVEDO; NACHTIGAL, 2011).

2.4 Tratamento térmico com micro-ondas

2.4.1 Definição

Micro-ondas refere-se à utilização de ondas eletromagnéticas de frequências determinadas para gerar calor num material. Normalmente o processamento de alimentos por micro-ondas utiliza frequências de 2450 e 915 MHz. Destes dois, a frequência de 2450 MHz é utilizada para fornos domésticos (HOLLAND; SKILLS, 1996). A fonte de micro-ondas mais utilizada para aquecimento é o magnéton de onda contínua, o qual é formado basicamente por um cátodo, um ânodo, um ímã e uma saída para transmissão de micro-ondas.

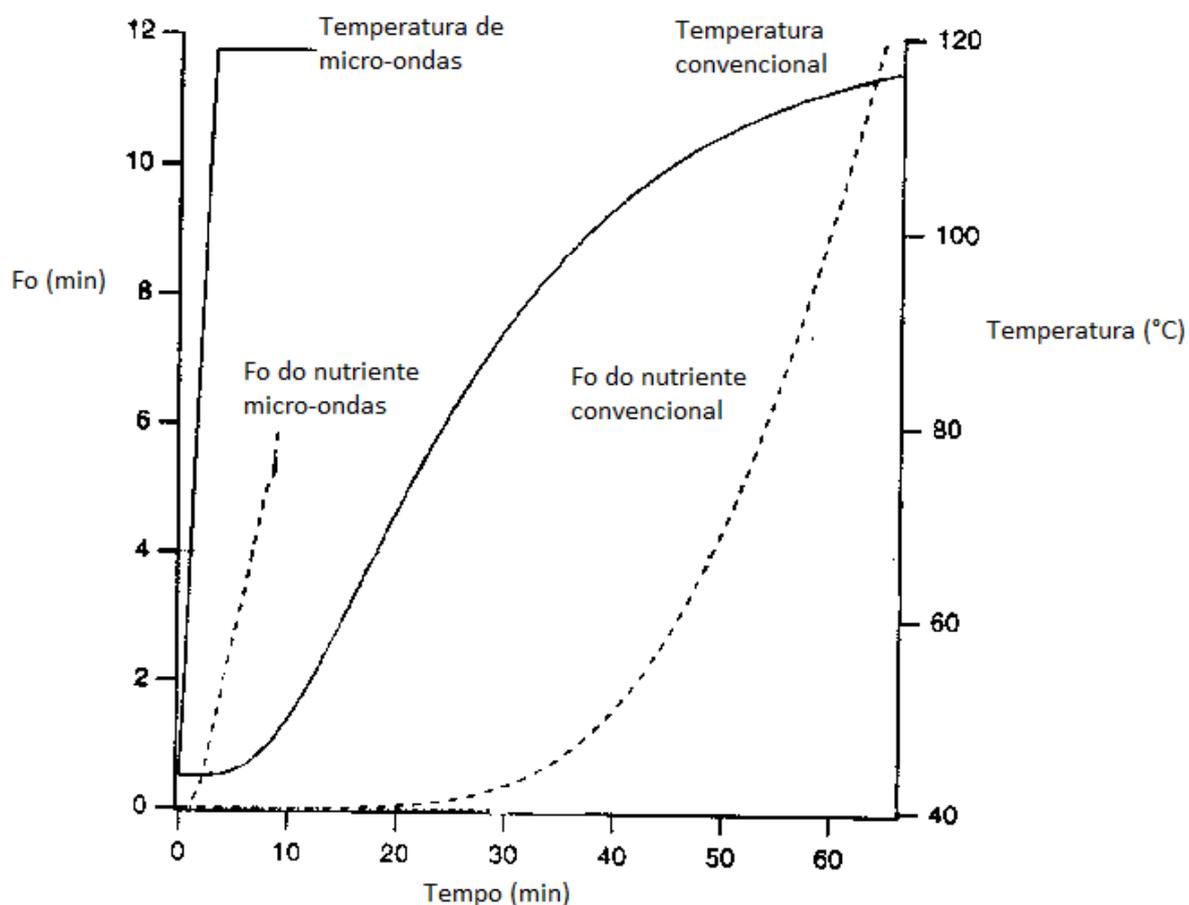
2.4.2 Geração de calor

Aquecimento com micro-ondas envolve principalmente os mecanismos de rotação dipolo e transferência iônica. A água presente nos alimentos é muitas vezes o principal componente responsável pelo aquecimento, devido à sua natureza dipolar, o que faz com que as moléculas de água sigam o campo elétrico associado com a radiação eletromagnética a frequências muito elevadas. Tais oscilações das moléculas de água produzem calor. O segundo mecanismo principal de aquecimento por micro-ondas é através da migração de íons no alimento que geram calor sob a influência do campo elétrico oscilante (BUFFLER, 1993; DATTA, 2000).

2.4.3 Vantagens do processamento

Micro-ondas é preferido para o aquecimento de alimentos devido ao seu curto tempo de processo. Ele possui os benefícios de processamento de alta temperatura e curto tempo, porém com menor degradação térmica dos componentes. A figura. 1 compara o tempo e a temperatura típicos de micro-ondas e do processo convencional. Outra vantagem do sistema de aquecimento por micro-ondas é que ele pode ser ligado ou desligado imediatamente. Dessa forma o processamento pode ser mais eficiente (DATTA, HU, 1992).

Figura 1- Comparação entre tempo e temperatura de tratamento convencional e tratamento por micro-ondas.



Fonte: Adaptado de DATTA,,HU, 1992)

2.4.4 Fatores críticos do processo

Tal como acontece com outros processos térmicos, os fatores principais do processo são tempo e temperatura. Porém o tempo e a temperatura em micro-ondas dependem da umidade, do conteúdo iônico, da frequência do micro-ondas, dos parâmetros do produto (incluindo massa, densidade, geometria), do calor específico, e da temperatura alcançada no final do processo. Esses fatores afetam a distribuição espacial da absorção das micro-ondas e, por conseguinte, a taxa de aquecimento, o tempo e a temperatura (MARE *et al.* 2010).

2.4.5 Mecanismos de atuação e interferência no conteúdo dos alimentos

Existem dois métodos de ação propostos para o método de micro-ondas. O primeiro deles é a definição de que as micro-ondas atuam inteiramente por calor, do mesmo modo que mecanismos de outros processos biofísicos induzidos pelo calor, causando desnaturação das enzimas, das proteínas, dos ácidos nucleicos, ou outros componentes vitais, assim como a ruptura das membranas (HEDDLESON, DOORES 1994). A energia eletromagnética das frequências de micro-ondas é transformada em energia térmica devido à polarização dipolo e a polarização interfacial de Maxwell-Wagner (MIJOVIC; WIJAWA, 1990).

A polarização de dipolo é o principal mecanismo de aquecimento por micro-ondas. Estruturas orgânicas polares, tais como alguns constituintes dos alimentos, orientam seus dipolos na presença induzida de um dipolo temporário causado por um campo eletromagnético externo. Os dipolos presentes no alimento se alternam e se realinham conforme o campo eletromagnético varia, causando a rotação dos dipolos. A energia eletromagnética é dissipada sob a forma de calor por fricção molecular e perdas dielétricas. Para um micro-ondas comum de 2,45 GHz o alimento reorienta seus dipolos numa frequência de alteração do campo eletromagnético de aproximadamente 2,45 bilhões de vezes por segundo.

Já a polarização de Maxwell-Wagner acontece na fronteira entre dois materiais de diferentes propriedades dielétricas ou em materiais dielétricos sólidos com partículas carregadas livres para movimentação. O fenômeno de Maxwell-Wagner ocorre quando essas partículas carregadas não conseguem acompanhar as mudanças de fase do campo elétrico e ocorre o acúmulo de carga na interface do material e energia se dissipa na forma de calor.

Outro fator importante no aquecimento por ondas de micro-ondas é o grau de penetração da radiação no material. A penetração é nula em materiais condutores e infinita em meios transparentes, como o quartzo e o Teflon (KRUG, 2008). Além disso, o campo eletromagnético aplicado e as condições de operação são também importantes e devem ser considerados (KRUG, 2008).

Um segundo mecanismo proposto envolve efeitos não térmicos. Os efeitos não térmicos são os efeitos devidos à exposição a um processo que não é de origem térmica, isto é, não pode ser explicada por mudanças de temperatura medidas (também chamados de "atérmicos"). Quatro teorias predominantes foram

usadas para explicar os efeitos não térmicos por micro-ondas: aquecimento seletivo, eletroporação, ruptura da membrana celular, e acoplamento do campo magnético (LENGTH, 2009).

A teoria de aquecimento seletivo afirma que os micro-organismos sólidos, ou outros compostos sólidos, são aquecidos de forma mais eficaz por micro-ondas do que o meio ao redor, ou seja, a fricção da rotação de dipolo nas moléculas sólidas é mais intensa do que no meio líquido, ou menos denso. A segunda teoria, afirma que ocorre eletroporação pela formação de poros na membrana dos micro-organismos e células orgânicas devido ao potencial elétrico através da membrana, dessa forma ocorre à formação de poros da membrana e a célula muda o perfil de trocas de componentes através desses poros. A teoria da ruptura da membrana celular está relacionada ao fato de que a queda de tensão da aplicação do campo alternado de energia eletromagnética é tão grande que ocorre a ruptura da membrana celular; dessa forma a célula tem suas organelas celulares e seu citoplasma expostos ao meio em que se encontram. Na quarta teoria, ocorre a lise celular devido ao acoplamento de energia eletromagnética com moléculas críticas dentro das células, ou seja, toda a energia, ou maior parte dela, se concentra em algumas células críticas, devido ao seu conteúdo iônico, umidade, densidade e calor específico diferenciados do meio (FDA, 2015).

Estes mecanismos têm sido estudados extensivamente desde a década de 1970 por vários pesquisadores. Culkin, Fung (1975) relataram estudos que sugeriam que o aquecimento de micro-ondas a 2450 MHz causou maior destruição de microrganismos em alimentos do que o aquecimento convencional.

2.4.6 Identificação e descrição dos fatores críticos do processo

No aquecimento convencional, a temperatura máxima é limitada pela temperatura do meio de aquecimento, tal como vapor em uma autoclave. No aquecimento por micro-ondas a absorção das ondas gera calor e a temperatura continua sempre aumentando. Uma das vantagens do aquecimento por micro-ondas é o curto tempo. Esse menor tempo ajuda a manter as qualidades organolépticas dos alimentos (DATTA, 2000). Forma do alimento, volume, área superficial e composição são fatores críticos para o aquecimento por micro-ondas.

Estes fatores podem afetar a quantidade e o padrão espacial da energia absorvida. O efeito do volume do alimento, por exemplo, interfere na quantidade total de energia absorvida. Uma vez que a energia total absorvida é equivalente ao volume, a quantidade de energia absorvida reduz com o aumento do volume, assim temperatura média cai, fazendo com que o alimento aqueça de forma mais lenta (YANG; GUNASEKARAN, 2004).

A composição, em particular, de umidade e sal, tem uma influência muito maior no aquecimento por micro-ondas do que no processamento convencional, devido à sua influência sobre as propriedades dielétricas. O teor de sal e a umidade aumenta a eficiência de absorção de micro-ondas, diminuindo assim a profundidade de penetração. Assim, o interior recebe menos energia para alimentos com elevados teores de sal e de umidade (DATTA, A. K. AND HU, 1992).

2.4.7 Fatores relacionados ao equipamento de micro-ondas

Vários fatores de processamento e equipamentos são fundamentais para aquecimento por micro-ondas. Desenho (tamanho, geometria, e assim por diante) do forno de micro-ondas pode afetar significativamente a magnitude e / ou a variação espacial da absorção de energia no produto. A colocação dos alimentos no interior do forno também pode ter uma influência significativa sobre a magnitude e a uniformidade de absorção de energia. O nível de potência da entrada do micro-ondas também é um dos fatores críticos do processo de aquecimento por micro-ondas. Devido às diferenças na penetração e capacidade, a frequência das micro-ondas pode afetar drasticamente as taxas de aquecimento. Em uma visão simplificada, menor frequência de 915 MHz tem uma profundidade maior de penetração do que a 2450 MHz usado para micro-ondas domésticos (AHMED; RAMASWAMY, 2007).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

Para o presente estudo foi utilizada polpa de guabiroba adquirida de produtores rurais de Passo Fundo no Rio Grande do Sul. A polpa foi produzida e embalada em unidades de cem gramas, congelada e transportada para Porto Alegre (RS) por meio do Encontro dos Sabores e revendida na loja da agricultura familiar e economia solidária na cidade de Porto Alegre.

As amostras foram transportadas para o Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (ICTA/UFRGS), onde foram homogeneizadas para formar uma matriz única e uniforme em um processador Walitta 200 W (figura 2); posteriormente foram embaladas em sacos plásticos de micro-ondas em quantidades 50 g e estocadas em freezer a -20°C até a realização das análises.

Figura 2 - Homogeneização de polpas em processador de frutas.



Fonte: Autor, 2016.

3.2 Tratamento com micro-ondas

Para avaliar o efeito do tempo e da potência do micro-ondas, bem como da interação destes fatores sobre a temperatura final, parâmetros de cor e teor de carotenoides utilizou-se um planejamento experimental composto com 3 pontos centrais, totalizando 11 experimentos. Um ensaio adicional sem tratamento foi utilizado como padrão para comparação dos resultados (ensaio 12). Como a potência do micro-ondas varia de 10% em 10% os valores escolhidos para os pontos axiais para fator potência foram -1,5 e 1,5. Para valores de tempo determinou-se o valor mais próximo possível de 1,41, obtendo-se valores de tempo de 1,40. A conversão das potências e dos tempos para a denominação do experimento está descrito na tabela 3.

Tabela 3- Planejamento experimental 2² completo com pontos centrais e axiais.

Potência (J/s)				
- α	-1	0	+1	+ α
324	486	810	1134	1296
Tempo (s)				
- α	-1	0	+1	+ α
38	50	80	110	122

Utilizando os dados da tabela 3, foram realizados os ensaios experimentais conforme descritos na tabela 4.

Tabela 4 - Ensaio do planejamento experimental (valores codificados)

Ensaio	Potência	Tempo
1	-1	-1
2	-1,5	0
3	0	-1,4
4	0	0
5	-1	1
6	1	-1
7	0	1,4
8	0	0
9	1,5	0
10	1	1
11	0	0
12	amostra	<i>in natura</i>

As amostras foram tratadas em micro-ondas Electrolux, 127 V, 60Hz e 1620W, de acordo com o design de experimentos. Para todas as amostras foi avaliada a temperatura antes e depois do tratamento.

3.3 Caracterização dos parâmetros de cor

As medições de cor foram realizadas em triplicata em um colorímetro portátil (Konica Minolta modelo CR 400, Singapura). Os parâmetros colorimétricos foram obtidos de acordo com a Comissão Internationale de l'Eclairage (CIELAB sistema) e foram determinados os valores de L^* (luminosidade), e das coordenadas a^* (componente vermelho-verde) e b^* (componente amarelo-azul) (Figura 3).

Figura 3- Medições de cor realizadas em colorímetro portátil.



Fonte: Autor, 2016.

3.4 Suco de guabiroba

Após a realização dos tratamentos térmicos e análise dos parâmetros de cor das amostras, as mesmas foram utilizadas para produção de suco de guabiroba e posterior análise de carotenoides. Os sucos foram diluídos em água na proporção de 7% de polpa e agitados manualmente sem que ocorressem perdas no processo. A diluição do suco na proporção de 7% faz com que os resultados de carotenoides fiquem dentro da curva de calibração de carotenoides. Os resultados dos experimentos de extração de carotenoides do suco de guabiroba estão expressos em $\mu\text{g}/100\text{g}$ de polpa.

3.5 Extração de carotenoides

A extração dos pigmentos foi baseada no método de extração de carotenoides de MERCADANTE; BRITTON; RODRIGUEZ-AMAYA, (1998). O

procedimento foi realizado com éter de petróleo para leitura em espectrofotômetro e secagem em um fluxo de nitrogênio para quantificação por espectrofotometria e cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE).

3.6 Espectrofotometria para quantificação de carotenoides

Foi utilizado um espectrofotômetro com comprimento de onda ajustado para 450 nm e a concentração dos carotenoides foi determinada de acordo com a equação de CARVALHO *et al.* (2012) (Figura 4), onde A é a absorbância lida em espectrofotômetro, V é o volume de éter de petróleo, P é o peso da amostra e $A_{1\%}/1\text{cm}$ é o coeficiente de betacaroteno em éter de petróleo para leitura em cubeta de 1cm.

Equação 1 - Conteúdo de carotenoides em $\mu\text{g/g}$

$$\text{Carotenoids content}(\mu\text{g} / \text{g}) = \frac{A \times V(\text{mL}) \times 10^4}{A_{1\%}^{1\text{cm}} \times P(\text{g})}$$

Fonte: CARVALHO, L. M. J. DE *et al.* (2012)

3.7 Cromatografia líquida de alta eficiência

A amostra que apresentou melhor resultado quanto ao teor de carotenoides totais determinados por espectrofotometria, foi analisada por cromatografia líquida de alta eficiência. Para tanto, o extrato concentrado foi diluído em éter terc-metil-butílico (MTBE- J. T. Baker, Cas. number 1634-04-4, pureza 99,96 %), colocado em ultrassom (Unique, modelo USC 1400) por 15 minutos e filtrado em filtro (Millex LCR 0,45 μm , 13 mm) para injeção no cromatógrafo.

Foi utilizado um cromatógrafo Agilent, série 1100 (Santa Clara, CA, EUA), equipado com um sistema de bombeamento quaternário de solvente e um detector UV-Visível. A coluna usada para carotenoides foi de 250 mm x 4,6 mm ID, 3 μm , coluna de fase reversa C30 polimérica (YMC, modelo CT99SO3-2546WT). A fase

móvel foi: água / metanol / éter metil-terc-butílico (MTBE) (JTBaker, Cas. Número 1634/04/04, pureza de 99,96%) a partir de 5:90:5, atingindo em 12 minutos 0:95:5 , em 25 minutos, 0:89:11, 0:75:25, em 40 minutos e, finalmente, 00:50:50 depois de um total de 60 minutos, com uma taxa de fluxo de 1 ml / min a 33 ° C. Os cromatogramas foram processados em um comprimento de onda fixo de 470 nm.

A identificação foi efetuada por comparação dos tempos de retenção dos picos das amostras e dos padrões injetados, nas mesmas condições. A quantificação foi feita com uma curva padrão para carotenoides, construída nos intervalos dos carotenoides: β -caroteno (Sigma-Aldrich); α -caroteno (Fluka Analytical); luteína (Indofine Chemical Company); criptoxantina (Sigma-Aldrich), e zeaxantina (Fluka Analytical).

A atividade da vitamina A foi calculada de acordo com o fator de bioconversão proposto por Guillard *et al.* (1995). Esta informação corresponde a um fator de equivalência de 13 mg de β -caroteno:1 mg de retinol com que se refere às configurações estruturais identificadas em β -caroteno.

3.8 Análise de resultados

Os resultados do planejamento experimental da temperatura final da amostra, dos parâmetros de cor L^* e a^* e do teor de carotenoides foram analisados utilizando a metodologia de superfície de resposta (MSR).

Para os parâmetros de cor L^* , a^* e b^* utilizou-se também a análise de variância (ANOVA) com 95% de confiança e a diferença entra as médias verificada por teste de Tukey.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Temperatura

Os resultados da análise de temperatura realizada antes e depois dos tratamentos térmicos estão demonstrados na tabela 5.

Tabela 5 - Temperaturas iniciais e finais dos tratamentos térmicos.

Ensaio	Potência (J/s)	Tempo (s)	L (J/g)	T inicial (°C)	T final (°C)
1	486	50	484,17	-18	-3
2	324	80	515,80	-18	-2,4
3	810	38	612,73	-20	-2
4	810	80	1297,58	-18	38
5	486	110	1065,70	-19	11
6	1134	50	1132,14	-18	12
7	810	122	1969,43	-18	95
8	810	80	1295,74	-18	38
9	1296	80	2071,11	-20	98
10	1134	110	2490,22	-19	99
11	810	80	1293,03	-19	39
12	0	0	0,00	-19	-19

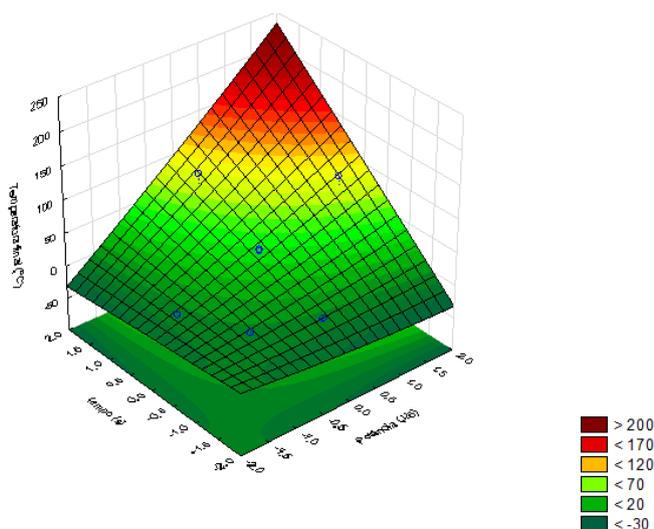
A temperatura final foi analisada pela metodologia de superfície de resposta (MSR) obtendo modelo significativo (R^2 de 0,94 e F calculado > F tabelado (Apêndice 1). Pode-se observar que tanto a potência como o tempo influenciaram positivamente na resposta. (Tabela 6 e Figura 4) Vale salientar que como a interação entre as variáveis foi significativa, uma combinação entre tempo e potência torna-se imprescindível para o controle da temperatura final. O ensaio 1 foi o que obteve a menor temperatura final (-3°C), seguidos dos ensaios 2 e 3 com temperaturas finais de -2,4°C e -2°C respectivamente. Já os ensaios tratados com maiores potências durante maiores períodos de tempo apresentaram as maiores temperaturas finais, foram eles os ensaios 7, 9 e 10, com temperaturas finais de 95°C, 98°C e 99°C, respectivamente. Foi possível observar que o planejamento experimental possibilitou a obtenção de uma ampla faixa de temperatura final (-3°C a 99°C) e não somente uma faixa estreita de temperatura final. A temperatura final

da polpa pode influenciar diretamente nos parâmetros de cor e teor de carotenoides devido à sensibilidade destes diante altas temperaturas.

Tabela 6 - Efeitos estimados pelo modelo de regressão para a temperatura final dos ensaios.

	Efeito	Erro puro	t-valor	p-valor
Média	37,80	7,74	4,88	0,005
(1)Potência(L)	59,67	9,21	6,48	0,001
Potência(Q)	1,91	10,29	0,19	0,860
(2)Tempo (L)	59,80	9,54	6,27	0,002
Tempo (Q)	-0,32	11,57	-0,03	0,979
1L por 2L	36,50	13,42	2,72	0,042

Figura 4 - Superfície de resposta para os efeitos da potência e do tempo para a temperatura final dos ensaios.



Fonte: Autor, 2016.

4.2 Parâmetros de cor das polpas de guabiroba após tratamento por micro-ondas.

Os resultados para os parâmetros de cor das polpas de guabiroba tratadas no micro-ondas para cada ensaio experimental estão apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados do planejamento experimental para os parâmetros de cor L*, a* e b* para as polpas de guabiroba após os tratamentos por micro-ondas.

Ensaio	L*	a*	b*
1	49,34 ± 0,15 ^{bc}	16,58 ± 0,60 ^{abc}	45,26 ± 0,08 ^{ab}
2	49,73 ± 0,27 ^{abc}	16,95 ± 0,61 ^{ab}	44,76 ± 0,38 ^b
3	48,98 ± 0,50 ^c	17,87 ± 0,71 ^a	45,17 ± 0,73 ^{ab}
4	49,96 ± 0,48 ^{abc}	16,94 ± 0,35 ^{abc}	47,77 ± 2,61 ^a
5	49,02 ± 0,95 ^c	17,29 ± 0,99 ^{ab}	44,82 ± 0,62 ^b
6	49,37 ± 0,71 ^{bc}	16,13 ± 0,71 ^{bcd}	44,53 ± 0,70 ^b
7	49,98 ± 0,44 ^{abc}	16,12 ± 0,45 ^{bcd}	44,69 ± 0,26 ^b
8	50,64 ± 0,11 ^{ab}	16,37 ± 0,27 ^{abc}	46,05 ± 1,24 ^{ab}
9	51,00 ± 0,24 ^a	14,60 ± 0,34 ^{ce}	45,64 ± 0,16 ^{ab}
10	50,85 ± 0,36 ^{ab}	13,35 ± 0,27 ^e	45,40 ± 0,65 ^{ab}
11	50,94 ± 0,37 ^a	15,29 ± 0,60 ^{cd}	45,86 ± 0,09 ^{ab}
12	48,71 ± 0,91 ^c	17,52 ± 0,44 ^{ab}	44,91 ± 0,82 ^b

- Experimento 12 – amostra controle

Os parâmetros de cor foram analisados através da análise superfície de resposta. Para os dados do parâmetro “b” não foi possível obtenção de um modelo significativo ($R^2 = 0,37$), sendo assim estes dados foram analisados por ANOVA e teste de Tukey a 95 % de confiança, vale salientar que o teste de Tukey foi feito a partir do desvio das triplicatas das análises e não da realização dos experimentos em triplicata.

Para o parâmetro L e “a”, obteve-se coeficientes de determinação R^2 de 0,75 e 0,70 respectivamente, e estes foram considerados significativos para análise dos efeitos das variáveis respostas já que pela análise da Regressão dos modelos foi constatado significância (F calculado > F tabelado) (apêndice 2 e 3).

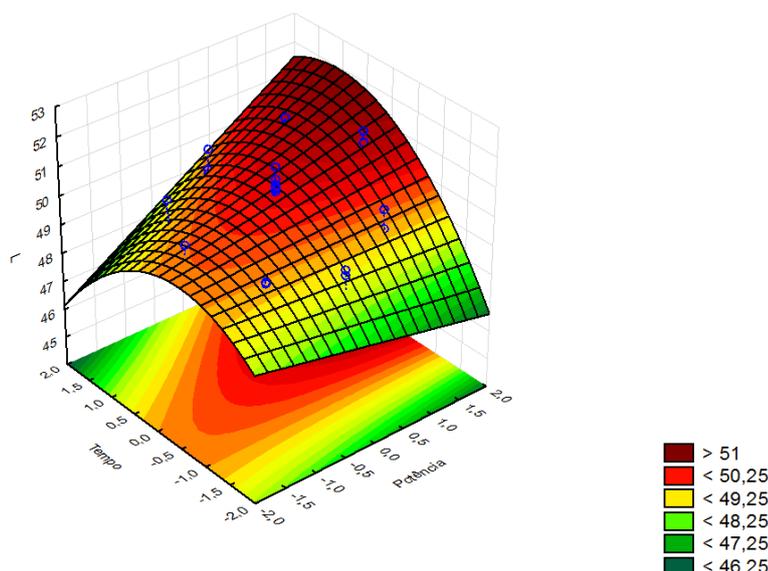
4.2.1 Parâmetro L*

Os valores do componente L* (intensidade de luminosidade) variam de 0 para preto e 100 para branco. Pela tabela 8 e figura 5 observa-se que tanto as variáveis independentes (potência e tempo) como a interação entre elas foram significativas. Sendo assim pode-se concluir que ambas afetaram na mudança de luminosidade da amostra. Com o aumento das variáveis testadas observou-se um aumento no valor de L, mostrando um leve aumento na luminosidade das amostras.

Tabela 8- Efeitos estimados pelo modelo de regressão para o parâmetro de cor "L" dos ensaios.

	Efeito	Erro puro	t-valor	p-valor
Média	50,51	0,17	297,15	0,0001
(1)Potência(L)	0,88	0,20	4,38	0,0002
Potência(Q)	-0,24	0,23	-1,06	0,2986
(2)Tempo (L)	0,65	0,21	3,09	0,0046
Tempo (Q)	-1,19	0,25	-4,70	0,0001
1L por 2L	0,90	0,29	3,04	0,0052

Figura 5 - Superfície de resposta para os efeitos da potência e do tempo para o parâmetro de cor "L" dos ensaios.



Fonte: Autor, 2016.

Nesse experimento os menores valores de luminosidade foram medidos nos ensaios 12, 3 e 5. O ensaio 12 foi a amostra padrão que não foi processada termicamente e os ensaios 3 e 5 obtiveram temperaturas finais de -2°C e 11°C respectivamente. Pode-se observar que as amostras com menores temperaturas finais foram as que apresentaram valores de luminosidade mais próximos aos da amostra padrão (sem tratamento).

Os maiores valores de luminosidade foram observados nos ensaios 8, 9, 11 e 10, sendo que os ensaios 8 e 11 são os pontos centrais do experimento que obtiveram temperatura final após o tratamento em torno de 39°C , já o ensaio 9 e 10

foram as amostras processadas em condições mais extremas, (2017,11 J/g e 80 s e 1134 J/s e 110 s, respectivamente) e atingiram temperaturas finais de 98°C e 99°C.

Observa-se que os valores de luminosidade das amostras processadas nas condições dos pontos centrais (800 J/s e 80 s) foram as que apresentaram os maiores valores de luminosidade, indicando uma forte influência da combinação das variáveis analisadas.

SILVA *et al.* (2005) avaliaram a influência dos estágios de maturação na qualidade do suco de maracujá-amarelo e verificaram que o parâmetro de luminosidade aumentava conforme a maturação das frutas. A modificação ocorreu devido à mudança da cor verde para cor amarela com revelação de pigmentos amarelos e vermelhos. Considerando o relato de SILVA *et al.* (2005) o aumento da luminosidade está relacionado com a mudança de cor com mais exposição de pigmentos amarelos e vermelhos; o que pode ser observado pelos valores de luminosidade das amostras processadas nas condições do ponto central do planejamento experimental.

Outras teorias podem explicar o aumento da luminosidade, dentre elas a atividade enzimática na guabiroba e a extração de compostos, porém estudos extras podem ser realizados para comprovar isso.

4.2.2 Parâmetro a*

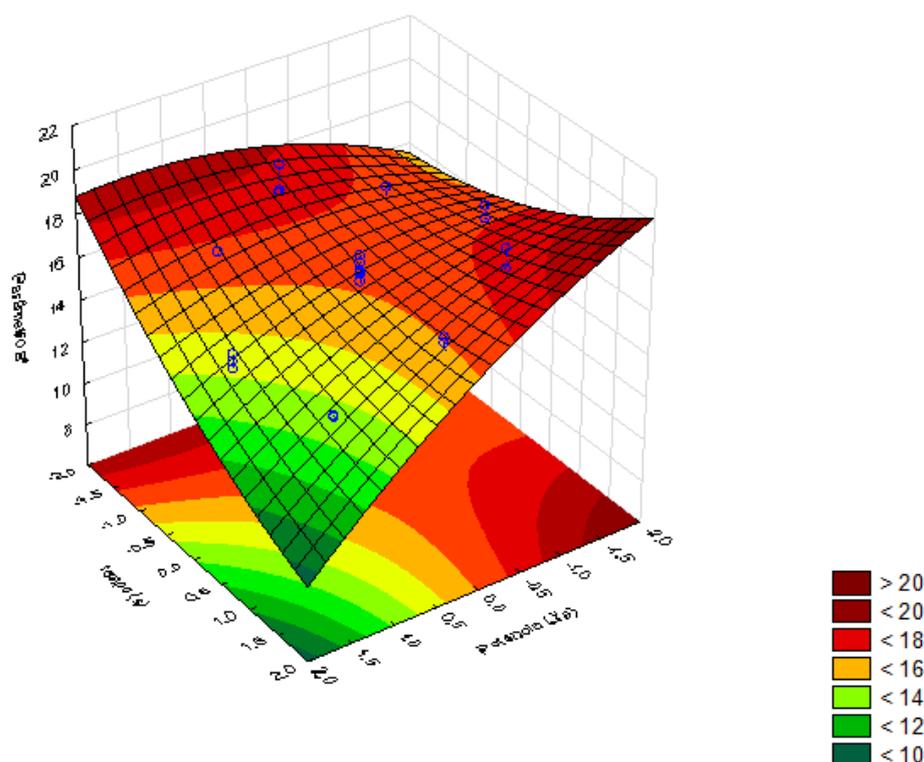
O parâmetro a* varia de verde (para valores negativos) e vermelho (para valores positivos). Quanto maior o parâmetro de cor a*, mais avermelhada é a amostra.

Pela tabela 9 e pela superfície de resposta (Figura 6) pode-se observar que ambas variáveis analisadas bem como a interação entre elas tiveram efeito significativo para o parâmetro a*, indicando uma forte influência destas variáveis da modificação do tom avermelhado das amostras.

Tabela 9 - Efeitos estimados pelo modelo de regressão para o parâmetro de cor "a" dos ensaios.

	Efeito	Erro puro	t-valor	p-valor
Média	16,18	0,24	66,71	0,000001
(1)Potência(L)	-1,87	0,29	-6,47	0,000001
Potência(Q)	-0,60	0,32	-1,85	0,074985
(2)Tempo (L)	-1,14	0,30	-3,82	0,000710
Tempo (Q)	0,52	0,36	1,43	0,164689
1L por 2L	-1,75	0,42	-4,16	0,000290

Figura 6 - Superfície de resposta para os efeitos da potência e do tempo para o parâmetro de cor "a" dos ensaios.



Fonte: Autor, 2016.

O parâmetro de cor a^* foi o parâmetro que obteve as maiores variações, dentre os avaliados, sendo que o maior valor observado foi o do ensaio 3, o qual foi processado com o menor nível de potência do micro-ondas (324 J/s), na qual a temperatura final deste ensaio, após o tratamento, manteve-se negativa (-2,4°C). O menor valor para o parâmetro a^* foi o ensaio 10 com o tratamento de maior

quantidade de energia aplicada por grama, dentre todas as amostras (2490,22J/g) e atingiu a maior temperatura após o tratamento térmico (99°C).

Percebe-se que o parâmetro de cor a^* é bastante afetado por pequenas variações de energia de micro-ondas aplicada ao produto. Sua variação ocorre tanto em temperaturas baixas, como é intensificado por temperaturas altas. Sendo assim tal parâmetro pode ser um indicador da intensidade do processo, uma vez que o valor inicial é alto e reduz com aumento da potência e do tempo aplicados.

4.2.3 Parâmetro b^*

O parâmetro b^* vai do azul para valores negativos e amarelo para valores positivos. Quanto maior o parâmetro de cor b^* , mais amarelo é a amostra.

O parâmetro de cor b^* foi o que teve a menor influência com o tratamento, porém percebe-se que o maior valor registrado foi de uma das amostras centrais (ensaio 4) com potência de 810 J/s e tempo de 80 segundos.

4.3 Determinação do teor de carotenoides por espectrometria

A tabela 10 demonstra o resultado final para o teor de carotenoides expressos em $\mu\text{g}/100\text{g}$ de polpa de cada um dos ensaios.

Tabela 10 - Resultados dos teores de carotenoides para o planejamento experimental composto central 2².

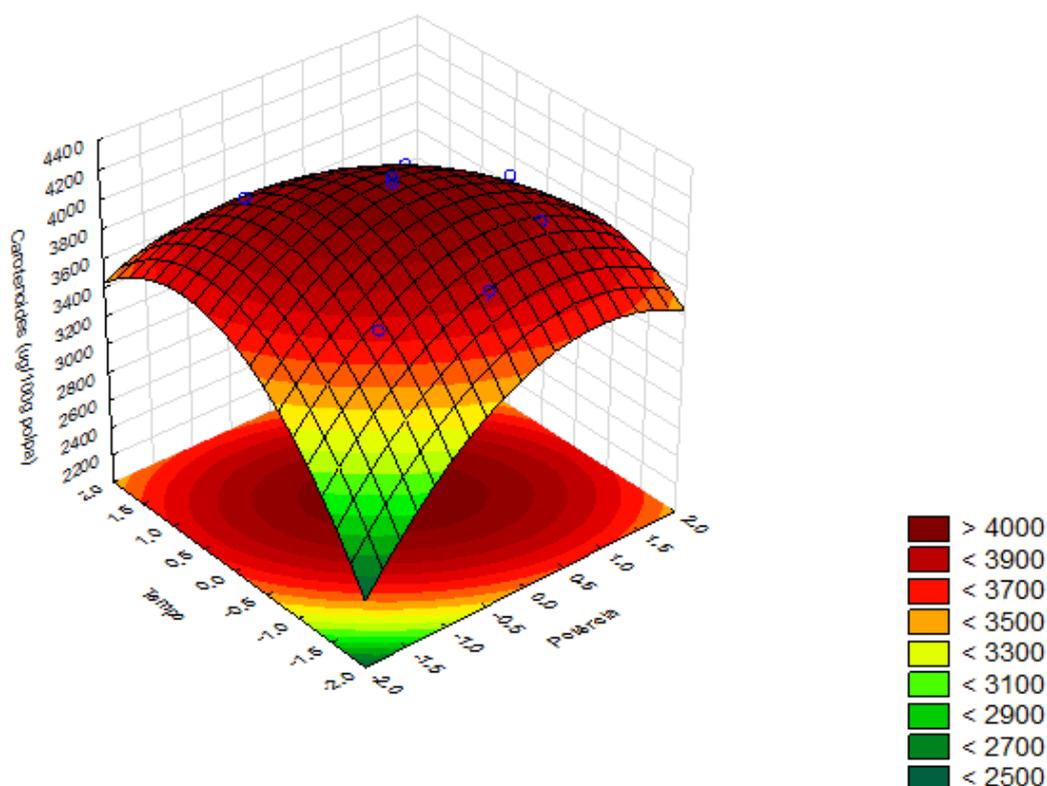
Ensaio	Potência (J/s)	Tempo (s)	Carotenoides (µg/100g polpa)
1	486	50	3738,16
2	324	80	3778,82
3	810	38	3882,57
4	810	80	4205,99
5	486	110	4058,34
6	1134	50	4003,99
7	810	122	3754,06
8	810	80	4246,84
9	1296	80	3917,57
10	1134	110	3841,98
11	810	80	4102,04
12	0	0	3648,44

Pela tabela de efeitos (Tabela 11) e de superfície de resposta (Figura 7) pode-se observar que os valores obtidos na extração de carotenoides variaram de 3648,44 a 4246,84 µg/100 g de polpa. O ensaio 12 (sem tratamento térmico) foi o que apresentou menor valor, o ensaio 8 (ponto central) foi o que apresentou maior valor, (810 J/s e 80 segundos).

Tabela 11 - Efeitos estimados pelo modelo de regressão para a quantificação de carotenoides a partir de polpa de guabiroba.

	Efeito	Erro puro	t-valor	p-valor
Média	4186,93	49,06	85,35	0,000000004
(1)Potência(L)	60,61	58,33	1,04	0,346336466
Potência(Q)	-275,40	65,19	-4,22	0,008290266
(2)Tempo (L)	-5,49	60,43	-0,09	0,931140909
Tempo (Q)	-342,27	73,27	-4,67	0,005477454
1L por 2L	-241,09	85,03	-2,84	0,036437880

Figura 7 - Superfície de resposta para os efeitos da potência e do tempo para os teores de carotenoides ($\mu\text{g}/100\text{g}$ de polpa) dos ensaios.



Fonte: Autor, 2016.

Os resultados indicam que foram significativos a variável potência quadrática ($p=0,01$), a variável tempo quadrático ($p=0,01$) e a interação potência/tempo ($p=0,04$). Isso indica que para melhorar a extração de carotenoides as variáveis devem ser modificadas em pequenos intervalos com um aumento significativo na resposta e que o controle do binômio tempo e potência torna-se bastante importante para a otimização do processo.

O modelo desenvolvido por meio de análise de superfície de resposta para o total de rendimento de carotenoides foi significativo ($p < 0,05$) e 89% da variabilidade foi explicada pelo modelo ($R^2 = 0,89$). Através da ANOVA da regressão (Apêndice 4), observou-se que F calculado (14,67) foi maior que o F tabelado (4,35), validando o modelo e tornando possível, dessa forma, a apresentação das superfícies de resposta e contorno.

A partir dos dados obtidos e da verificação da veracidade e falta de erro do experimento foi possível gerar a superfície de contorno para o teor de carotenoides em relação às variáveis avaliadas. De acordo com a derivação do modelo da

regressão e obtenção dos pontos críticos foi possível verificar o ponto de máxima extração de carotenoides (valores codificados) (Tabela 12)

Tabela 12 - Pontos críticos de potência e tempo no qual a extração do conteúdo de carotenoides ($\mu\text{g}/100\text{g}$ polpa) é máxima.

	Menor valor observado	Ponto crítico	Maior valor observado
Potência	-1,5	0,13	1,5
Tempo	-1,4	-0,05	1,4

Uma vez que o menor valor de potência (-1,5) é 324 J/s que equivalem a 20% de potência do micro-ondas de 1620 W e que o maior valor de potência (+1,5) é 1296 J/s que equivalem a 80% do mesmo micro-ondas, obteve-se que o ponto ótimo de potência para o tratamento da amostra foi (0,13) que equivale a 852,12 J/s ou 52,6% do mesmo micro-ondas.

Para valores de tempo, obteve-se o ponto ótimo (-0,6) equivalente a 78,2 segundos. Os valores críticos do experimento foram próximos aos valores centrais do experimento, dessa forma o valor ótimo para máxima extração de carotenoides foi de 810 J/s e 80 segundos, totalizando um montante de 1296 J/g de amostra. O ponto crítico muito próximo do ponto central demonstra que o experimento foi planejado com base em experimentos prévios e que a escolha do ponto central foi bem apropriada.

Este resultado está de acordo com WANG, J. *et al.* (2008), que estudaram as características de secagem e qualidade de cenouras utilizando processo por micro-ondas em dois estágios. Em seu estudo foram avaliados amostras de 100 gramas, 200 gramas e 300 gramas com uma intensidade de micro-ondas de 120W, 160W e 240W. Durante o primeiro estágio de aquecimento, o autor observou que a quantidade de carotenoides aumentou nos primeiros minutos para o teste com potências mais baixas enquanto que a quantidade de carotenoides decaiu com o tempo e o aumento da potência. De acordo com os autores, o experimento com melhor extração de conteúdo de carotenoides foi para uma aplicação de 200 J/s em 100g durante 12 minutos, totalizando uma aplicação de 1440 J/g de amostra.

BENLLOCH-TINOCO *et al.* (2015) comparam resultados de clorofila e carotenoides de um purê de kiwi aquecidos por micro-ondas e aquecimento

convencional. No estudo foram utilizados 100 gramas de purê de kiwi aquecidos em micro-ondas de 1000 Watts durante 340 segundos. A conclusão foi que tanto o aquecimento convencional quanto o aquecimento por micro-ondas degradaram os carotenoides e as clorofilas. Percebe-se que foram aplicados 3400 J/g e que o teor de carotenoides diminuiu ao fim do tratamento. Sendo assim, uma aplicação de 3400 J/g foi considerada um limitante para aplicação de energia para tratamento por micro-ondas.

Para o presente estudo e com base na literatura foi considerado que valores abaixo de 500 J/g não afetam os valores de carotenoides e valores superiores a 3400 J/g degradam os pigmentos devidos principalmente à alta temperatura final das amostras processadas.

O aumento observado no teor de carotenoides após o tratamento moderado de micro-ondas (810 J/s e 80s) pode ser explicado pelos efeitos térmicos e não térmicos das ondas eletromagnéticas na frequência de micro-ondas. Provavelmente, tanto a rotação dipolo e a condução iônica, quanto a seletividade, a formação de poros, o acoplamento eletromagnético e a ruptura das paredes celulares facilitaram a bioacessibilidade destes pigmentos para a extração.

4.4 Perfil de carotenoides

Após a análise dos resultados do planejamento experimental composto para os valores de carotenoides, foi verificado que os ensaios que apresentaram melhores resultados em relação ao padrão (ensaio 12) foram exatamente os ensaios realizados nas condições dos pontos centrais. Sendo, as amostra relativas aos ensaios 12 (padrão) e 8 (central) analisadas em triplicatas por cromatografia líquida de alta eficiência para determinação dos carotenoides. Os resultados estão expressos na tabela 13.

Tabela 13 - Concentração de carotenoides em polpa de guabiroba tratada com micro-ondas (8) e *in natura* (12).

Pico Nº	Carotenoides	Tempo de retenção (min)	Ensaio	Concentração (µg/100g polpa)		
1	Luteína	18,03 - 18,10	8	106,72	± 11,25	^a
			12	124,25	± 2,80	^a
2	Zeaxantina	21,07 - 21,18	8	277,84	± 44,48	^a
			12	237,50	± 6,78	^a
3	Criptoxantina	31,89 - 32,04	8	1104,62	± 9,66	^a
			12	1031,47	± 29,23	^b
4	B-caroteno	42,95 - 43,43	8	643,64	± 12,49	^a
			12	587,38	± 13,14	^b
Totais			8	2110,57	± 6,61	^a
			12	1948,75	± 25,14	^b

O perfil de carotenoides dos ensaios com tratamento térmico (8) em comparação com o ensaio *in natura* (12) apresentou diferença significativa com 95% de confiança para Criptoxantina, β -Caroteno e Carotenoides totais. Criptoxantina é o carotenoide em maior abundância da polpa de guabiroba e foram encontrados valores de $1031,47 \pm 29,23 \mu\text{g}/100\text{g}$ polpa para a amostra *in natura* e $1104,62 \pm 9,66 \mu\text{g}/100\text{g}$ de polpa para a amostra tratada por micro-ondas. Este resultado está de acordo com PEREIRA, M. C. et al. (2014), que caracterizaram frutas nativas da região Sul do Brasil e identificaram que o carotenoide majoritário na guabiroba é a criptoxantina. O β -caroteno foi o segundo maior em abundância, sendo seu valor maior na amostra tratada por micro-ondas do que na amostra sem tratamento. A quantidade total de carotenoides da amostra tratada com micro-ondas ($2110,57 \pm 6,61 \mu\text{g}/100\text{g}$ de polpa) também foi superior a amostra que não foi processada com micro-ondas ($1948,75 \pm 25,14 \mu\text{g}/100\text{g}$ de polpa).

Luteína e Zeaxantina foram encontradas em menor quantidade quando comparado aos demais carotenoides. De um modo em geral a luteína é encontrada em maiores quantidades em vegetais verdes. RODRIGUES-AMAYA, D. B. KIMURA, M. & AMAYA-FARFAN, (2008) encontraram valores de $4500 \mu\text{g}/100\text{g}$ em espinafres, $5000 \mu\text{g}/100\text{g}$ em couve, $750 \mu\text{g}/100\text{g}$ em pimentas e $420 \mu\text{g}/100\text{g}$ em milho. Luteína é, normalmente, encontrada em menores quantidades em frutas, tais como

laranjas (350 $\mu\text{g}/100\text{g}$), pera (200 $\mu\text{g}/100\text{g}$), mamão papaia (200 $\mu\text{g}/100\text{g}$) e nectarina (200 $\mu\text{g}/100\text{g}$).

5. CONCLUSÕES

O tratamento por micro-ondas com aplicação de 810 J/s durante 80 segundos, em 50g de polpa de guabiroba, mostrou aumentar a bioacessibilidade de carotenoides retidos em células orgânicas. Criptoxantina, β -caroteno e carotenoides totais apresentaram maiores teores para a amostra processada com ondas eletromagnéticas de micro-ondas do que para a amostra *in natura*. O teor de carotenoides totais final entre a amostra *in natura* ($1948,75 \pm 25,14 \mu\text{g}/100\text{g}$ de polpa) e a amostra tratada por micro-ondas ($2110,57 \pm 6,61$) demonstra o efeito positivo do tratamento de micro-ondas, que aumentou o teor de carotenoides em aproximadamente 8,3%.

A temperatura final da amostra após o tratamento influenciou diretamente os parâmetros de cor, sendo os maiores valores de luminosidade L^* e de cor b^* das amostras tratadas com 810 J/s durante 80 segundos, enquanto que o parâmetro de cor a^* foi apenas um indicativo da intensidade de tratamento, sendo que as amostras com tratamentos mais intensos foram as que mais reduziram seu valor.

Novos estudos podem ser realizados avaliando o efeito do tratamento com aplicação de 810 J/s durante 80 segundos em clorofilas, antocianinas, betalainas e outros compostos bioativos presentes em polpas de frutas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAN, N. Estrutura demográfica, conhecimento e uso local de guabiroba (*campomanesia* spp.). 2010.
- AHMED, J.; RAMASWAMY, H. S. Microwave pasteurization and sterilization of foods. **Handbook of food preservation**, 2007. p. 691–711.
- AIJN. Liquid fruit market report. [S.l.], 2014. Disponível em: <<http://aijn.org/files/default/aijn2014-full.pdf>>.
- ALVES, A. M. *et al.* Physical and chemical characterization, total phenolics and antioxidant activity of the guabiroba pulp and residue. **Revista brasileira de fruticultura**, 2013. v. 35, n. 3, p. 837–844. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452013000300021&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>.
- BARDIVIESSO, D. M. *et al.* Different environments and recipients in seedling production of guabiroba (*campomanesia pubescens* o. berg)”. **Revista científica eletrônica de agronomia**, 2011. v. 18, n. 1, p. 52–59. Disponível em: <http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/h1kpQ5xFL2BZdeC_2013-5-17-11-38-40.pdf>.
- BASHO, S. M.; BIN, M. C. Propriedades dos alimentos funcionais e seu papel na prevenção e controle da hipertensão e diabetes. **Interbio**, 2010. v. 4, n. 1, p. 48–58.
- BCC. The global market for carotenoids. [S.l.], 2011.
- BENLLOCH-TINOCO, M. *et al.* Chlorophylls and carotenoids of kiwifruit puree are affected similarly or less by microwave than by conventional heat processing and storage. **Food chemistry**, 2015. v. 187, p. 254–262. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.052>>.
- BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (frap) as a measure of “antioxidant power”: the frap assay. **Analytical biochemistry**, 1996. v. 2369, p. 70–76.
- BRACK, P.; KINUPP, V. F.; SOBRAL, M. E. G. Levantamento preliminar de espécies frutíferas de árvores e arbustos nativos com uso atual ou potencial do rio grande do sul. **Revista brasileira de agroecologia**, 2007. v. 2, n. 1, p. 1769–1772. Disponível em: <<http://www.aba-agroecologia.org.br/revistas/index.php/rbagroecologia/article/download/6655/4960>>.
- BUFFLER, C. R. Microwave cooking and processing: **Engineering fundamentals for the food scientist**. 1993.
- CARDOUNEL, A. J.; DUMITRESCU, C.; ZWEIER, J. L.; LOCKWOOD, S. F. Direct superoxide anion scavenging by disodium disuccinate astaxanthin derivative: relative efficacy of individual stereoisomers versus the statistical mixture of stereoisomers by electron paramagnetic resonance imaging. **lochemical and biophysical research communications**, 2003. v. 307, p. 704–712.
- CARVALHO, L. M. J. DE *et al.* Total carotenoid content, α -carotene and β -carotene, of landrace pumpkins (*cucurbita moschata* duch): a preliminary study. **Food research international**, 2012. v. 47, n. 2, p. 337–340. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.07.040>>.
- CERVIERI JÚNIOR, O. *et al.* O setor de bebidas no Brasil. **Banco nacional de**

desenvolvimento econômico e social, 2014. v. 40, p. 93–129. Disponível em: <http://www.mzweb.com.br/cremer/web/conteudo_pt.asp?idioma=0&tipo=15684&conta=28>.

CULKIN, K. A. AND FUNG, D. Y. C. Destruction of escherichia coli and salmonella typhimurium in microwave-cooked soups. **J milk food technol.** 1975. p. 38.

DATTA, A. K. AND HU, W. Quality optimization of dielectric heating processes. **Food technol.** 1992. v. 46, p. 53–56.

DATTA, A. K. Fundamentals of heat and moisture transport for microwaveable food product and process development. **Handbook of microwave technology for food applications.** 2000.

DELGADO-VARGAS, F.; JIMÉNEZ, R.; PAREDES-LÓPEZ, O. Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains – characteristics, biosynthesis, processing and stability. **Critical reviews in food science and nutrition**, 2000. v. 40, p. 173–289.

DORNELLES, C. P. N. . *et al.* Culinary workshops: giving new meaning to the use of native fruits to feed the farmers of campos de cima da serra – rs. **Ix congresso brasileiro de agroecologia**, 2016. v. 10, n. 2009. Disponível em: <<http://www.aba-agroecologia.org.br/revistas/index.php/cad/article/view/19614/12030>>.

FDA. Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies -- microwave and radio frequency processing. **Foodscienceresearch**, [S.l.], 2015. Disponível em: <<http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/SafePracticesforFoodProcesses/ucm100250.htm>>. Acesso em: 16 nov. 2016.

FRATIANNI, A.; CINQUANTA, L.; PANFILI, G. Degradation of carotenoids in orange juice during microwave heating. **Lwt - food science and technology**, 2010. v. 43, n. 6, p. 867–871. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2010.01.011>>.

FREITAS, V. O. *et al.* Avaliação de diferentes técnicas de processamento na conservação de compostos bioativos presentes no butia quaraimana. **Vii salão internacional de ensino, pesquisa e extensão**, 2015. n. 1, p. 3–4.

HOLLAND, A.; SKILLS, H. T. A book on electroheat : worth a look . 1996. p. 50–51.

IBGE. **Pesquisa de orçamentos familiares: 2008-2009. análise do consumo alimentar pessoal no brasil**. [S.l.]: [s.n.], 2011.

_____. Levantamento sistemático da produção agrícola. [S.l.], 2012. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_%5Bmensal%5D/Fasciculo/2012/lspa_201208.pdf>. Acesso em: 12 out. 2016.

JORNAL DCI. No titledemanda menor por refrigerantes amplia concorrência em sucos e chás. [S.l.], 2015. Disponível em: <<http://sbvc.com.br/2002293-demanda-menor-por-refrigerantes-amplia-concorrencia-em-sucos-e-chas/>>.

JÚNIOR, E. Da S. P. *et al.* Suco de uva : fonte de compostos bioativos com benefício à saúde. **Nutrição brasil**, 2013. v. 12, n. 3, p. 185–191.

KAMEL, S. M. Effect of microwave treatments on some bioactive compounds of parsley (*petroselinum crispum*) and dill (*anethum graveolens*) leaves. **Journal of food processing & technology**, 2013. v. 4, n. 6. Disponível em: <<http://www.omicsonline.org/2157-7110/2157-7110-4-233.digital/2157-7110-4-233.html>>.

KOOP, B. L. *et al.* Testes preliminares de obtenção de polpa congelada de guabiroba

orgânica nativa: aspectos relevantes. 2011.

KRUG, F. J. Digestão de amostras assistidas por microondas. **Métodos de preparo de amostras: fundamentos sobre preparo de amostras orgânicas e inorgânicas para análise elementar**. 2008. p. 300.

LENGTH, F. Simple method to study the mechanism of thermal and non thermal bactericidal action of microwave radiations on different bacterial species. 2009. v. 1, n. 5, p. 58–63.

MARANGONI, A. G.; ROUSSEAU, D. Engineering triacylglycerols: the role of interesterification. **Trends in food sciences & technology**, 1995. v. 6, p. 329–335.

MARE, B. *et al.* Preliminary researches regarding the microwaves influence. 2010. p. 103–107.

MARQUES, T. P. Subsídios à recuperação de formações florestais ripárias da floresta ombrófila mista do estado do paraná, a partir do uso espécies fontes de produtos florestais não-madeiráveis. **Curitiba**, 2007.

MCBRIDE, J. . It plants pigments paint an antioxidants substance rainbow. **Agricultural research**, 1996. v. 44, p. 4–8.

MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A. Estabilidad de los pigmentos carotenóides em los alimentos. **Archivos latinoamericanos de nutrición**, 2004. v. 54, p. 209–2015.

MENDES, A.; CUNHA, R. Mercado brasileiro de biodiesel e perspectivas futuras. **Bndes setorial**, 2013. v. 31, p. 253–280.

MERCADANTE, A.Z.; BRITTON, G.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Carotenoids from yellow passion fruit (*passiflora edulis*). **J. agric. food chem.** 1998. v. 46, p. 4106.

MIJOVIC, J.; WIJAWA, J. Review of cure of polymers and composites by microwave energy. **Polymer composites**, 1990. v. 11, n. 3, p. 16.

OLIVEIRA, L. F. C.; DANTAS, S. O.; VELOZO, E. S.; SANTOS, P. S.; RIBEIRO, M.; C. C. Resonance raman investigation and semi-empirical calculation of the natural carotenoid bixin. **Journal of molecular structure**, 1997. v. 435, p. 101–107.

PAES, J.; DOTTA, R.; CAMPINAS, U. E. De. Concentração de compostos bioativos do suco e do resíduo de mirtilo usando separação por. 2011. p. 1–8.

PALLOZA, P.; KRINSKY, N. I. Antioxidant effects of carotenoids in vivo and in vitro: an overview. **Methods in enzymology**, 1992. v. 213, p. 403–420.

PEREIRA, M. C. *et al.* Mineral characterization of native fruits from the southern region of brazil. **Food science and technology**, 2014. v. 34, n. June, p. 258–266.

PINHEIRO, A. M. *et al.* Chemical, physico-chemical and microbiological evaluation of single strenght fruit juices: pineapple, cashew apple and passion. **Ciência e tecnologia de alimentos**, 2006. v. 26, n. 1, p. 98–103. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/cta/v26n1/28856.pdf>>.

Potencial do suco de laranja na modulação da microbiota intestinal humana. 2014. p. 4448.

RAMASWAMY, H. Et. Al. Enhanced thermal effects under microwave heating conditions. **International conference of engineering and food [icef-8]**, 2000.

RESENDE, D. De O. *et al.* Guia para comprovação da segurança de alimentos e ingredientes. **Brasil anvisa**, 2013. p. 45. Disponível em:

<<http://nutrimalimentos.com.br/guia.pdf>>.

RIBEIRO, A. A.; AZEVEDO, E. C.; NACHTIGAL, J. C. Produção de sucos de frutas como alternativa para agroindústria familiar. **Cadernos de agroecologia**, 2011. v. 6, n. 2, p. 4–7.

RODRIGUES-AMAYA, D. B. KIMURA, M. & AMAYA-FARFAN, J. Tabela brasileira de composição de carotenóides em alimentos. **Fontes brasileiras de carotenóides**, 2008. v. 5, p. 34–39.

SILVA, C. M. Comércio justo: uma perspectiva regional comércio justo: uma perspectiva regional. 2008.

SILVA, D. S. DA *et al.* Stability of bioactive compounds of unsweetened tropical guava juice obtained by hot fill and aseptic processes [estabilidade de componentes bioativos do suco tropical de goiaba não adoçado obtido pelos processos de enchimento a quente e asséptico]. **Ciência e tecnologia de alimentos**, 2010. v. 30, n. 1, p. 237–243. Disponível em:
<<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-77952858115&partnerID=40&md5=9d694859f067fe13b4c48d721a27d4ba>>.

SILVA, T. V. *et al.* Influence of the ripening stages on quality of the yellow passion fruit juice. 2005. p. 472–475.

TOALDO, I. M. Tese isabela. **Journal of chemical information and modeling**, 2013. v. 53, n. 9, p. 1689–1699.

VALLILO, M. I. *et al.* Composição química dos frutos de campomanesia xanthocarpa bergmyrtaceae. **Ciência e tecnologia de alimentos**, 2008. v. 28, p. 231–237.

WANG, J. *et al.* Drying characteristics and drying quality of kidney beans using a two-stage microwave process. **Journal of food process engineering**, 2008. v. 31, n. 3, p. 413–430.

YANG, H. W.; GUNASEKARAN, S. Comparison of temperature distribution in model food cylinders based on maxwell's equations and lambert's law during pulsed microwave heating. **Journal of food engineering**, 2004. v. 64, n. 4, p. 445–453.

YIN, C. Microwave-assisted pyrolysis of biomass for liquid biofuels production. **Bioresource technology**, 19496BC. n. 0960–8524, p. 273–284.

ZLOTORZYNSKI, A. The applications of microwave radiation to analytical and environmental chemistry, critical reviews. **Analytical chemistry**, 1995. v. 25, p. 34.

6. Apêndices

Apêndice 1 - Análise de variância (ANOVA) para a análise de regressão da temperatura final dos ensaios.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F calculado	F tabelado
Regressão	15986,24	5	3197,25	17,74	5,05
Resíduo	901,00	5	180,20		
Total	16887,24	10			

Apêndice 2 - Análise de variância (ANOVA) para a análise de regressão para o parâmetro de cor "L" dos ensaios.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F calculado	F tabelado
Regressão	15,41	4	3,85	14,73	2,71
Resíduo	7,32	28	0,26		
Falta de ajuste	0,80	4	0,20	0,74	2,78
Erro Puro	6,52	24	0,27		
Total	22,73	32			

Apêndice 3 - Análise de variância (ANOVA) para a análise de regressão para o parâmetro de cor "a" dos ensaios.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F calculado	F tabelado
Regressão	39,08	3	13,03	20,40	2,93
Resíduo	18,52	29	0,64		
Falta de ajuste	7,00	5	1,40	2,92	2,62
Erro Puro	11,51	24	0,48		
Total	57,60	32			

Apêndice 4 - Análise de variância (ANOVA) para a análise de regressão para o teor de carotenoides ($\mu\text{g/g}$ de polpa) dos ensaios.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F calculado	F tabelado
Regressão	276651,64	3	92217,21	14,67	4,35
Resíduo	44014,63	7	6287,80		
Falta de ajuste	32867,98	5	6573,60	0,74	19,30
Erro Puro	11146,65	2	5573,32		
Total	320666,27	10			

