



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

MARAYSA RODRIGUES FURTADO

AVALIAÇÃO DO EFEITO DA SONICAÇÃO EM ENZIMAS NA POLPA DE AÇAÍ
(*Euterpe edulis*)

ALEGRE - ES

2016

MARAYSA RODRIGUES FURTADO

AVALIAÇÃO DO EFEITO DA SONICAÇÃO EM ENZIMAS NA POLPA DE AÇAÍ
(*Euterpe edulis*)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Prof^a. DSc Raquel Vieira da Carvalho.

Coorientadora: Prof^a DSc Pollyanna Ibrahim Silva.

ALEGRE - ES

2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)

(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

Furtado, Maraysa Rodrigues, 1990-

F992a Avaliação do efeito da sonicação em enzimas na polpa de açaí (*Euterpe edulis*) / Maraysa Rodrigues Furtado. – 2016.

62 f. : il.

Orientadora: Raquel Vieira de Carvalho.

Coorientadoras: Pollyanna Ibrahim Silva.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Açaí. 2. Peroxidase. 3. Polifenoloxidase. 4. Ultrassom.
5. Termossonicação. I. Carvalho, Raquel Vieira de. II. Silva, Pollyanna Ibrahim. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDU: 664

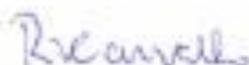
MARAYSA RODRIGUES FURTADO

**" AVALIAÇÃO DO EFEITO DA SONICAÇÃO EM ENZIMAS NA POLPA DE
AÇAÍ (*Euterpe edulis*) "**

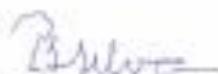
Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Aprovada em 17 de fevereiro de 2016.

COMISSÃO EXAMINADORA:



Profª. Drª. Raquel Vieira de Carvalho
Universidade Federal do Espírito Santo- UFES
Orientadora



Profª. Drª. Pollyanna Ibrahim Silva
Universidade Federal do Espírito Santo- UFES
Coorientadora



Profª. Drª. Jackline Freitas Brilhante de São José
Universidade Federal do Espírito Santo- UFES
Examinadora Externa

A minha família, especialmente aos meus pais, Rachel e Edmardo; ao meu irmão. Aos meus amigos e a todos que me apoiaram.
Dedico e ofereço.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar força e esperança para acreditar que os meus sonhos podem ser realizados.

Aos meus pais e meu irmão pelo incentivo e apoio, me acalmando e me auxiliando nos momentos que eu mais precisei.

À Universidade Federal do Espírito Santo e ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PCTA) do CCA/UFES pela possibilidade de aperfeiçoamento profissional concedida e a oportunidade de realização da pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa e pelos demais recursos disponibilizados.

Aos professores do PCTA pelos ensinamentos passados.

À Professora Raquel pela compreensão, ajuda e direcionamento durante todas as etapas de realização desta pesquisa. Com certeza sem seu apoio o trabalho não seria concluído.

Às Professoras Pollyanna e Jackline por contribuírem com seus conhecimentos para o aperfeiçoamento do trabalho.

Às amigas de república, Ana e Nathália, por tornarem os momentos em casa muito mais divertidos e acompanharem todos os momentos durante a realização da pesquisa.

Aos colegas de curso Gabriel e Brian pela primordial ajuda na realização e condução do projeto.

Meu sincero agradecimento!

RESUMO

FURTADO, Maraysa Rodrigues. **AVALIAÇÃO DO EFEITO DA SONICAÇÃO EM ENZIMAS NA POLPA DE AÇAÍ (*Euterpe edulis*)**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre - ES. Orientadora: Prof^a. Dr^a. Raquel Vieira de Carvalho. Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Pollyanna Ibrahim Silva.

Os tratamentos não térmicos são técnicas promissoras para o processamento de alimentos. O uso do ultrassom é um tratamento capaz de minimizar as alterações durante o processamento e armazenamento dos alimentos. A aplicação de ondas ultrassônicas em alimentos pode inativar as enzimas e microrganismos, assim como auxiliar na extração de componentes. O açaí é um fruto de apreciado valor nutricional e alta demanda comercial, porém perde facilmente algumas de suas propriedades originais devido às reações enzimáticas. Este estudo buscou avaliar e comparar as técnicas de termossonicação e o tratamento térmico convencional para inativação das enzimas peroxidase e polifenoloxidase e manutenção das características físico-químicas da polpa de açaí. Foram avaliadas, teor de umidade, pH, acidez titulável, lipídios antocianinas totais, compostos fenólicos açúcares redutores e atividade das enzimas peroxidase e polifenoloxidase em polpa de açaí tratada e não tratada com o ultrassom e tratamento térmico. Para a termossonicação foram utilizadas temperaturas de 20, 30, 40, 50, 60 °C por 10 minutos. Observou-se que a termossonicação e o tratamento térmico foram capazes de manter as características de cor, pH, teor de água, de lipídios, acidez titulável e antocianinas. Aplicando o tratamento com ultrassom a 20 °C na polpa de açaí obteve-se comportamento semelhante ao do tratamento térmico na atividade da enzima peroxidase. Enquanto no néctar, nenhum dos tratamentos apresentou diferença estatística quando comparado a amostra controle. Assim, observou-se que o tratamento com ultrassom é promissor desde que se reduzam fatores que podem interferir na eficiência da propagação das ondas ultrassônicas, como teor de sólidos solúveis e concentração dos componentes.

Palavras-chave: Jussara, peroxidase, polifenoloxidase, ultrassom, termossonicação.

ABSTRACT

FURTADO, Maraysa Rodrigues. **SONICATION EFFECT IN ENZYMES OF AÇAÍ PULP (*Euterpe edulis*)**. 2016. Dissertation (MSc in Food Science and Technology) - Federal University of Espírito Santo, Alegre - ES. Advisor: Prof^a. Dr^a. Raquel Vieira de Carvalho. Co-advisor: Prof^a. Dr^a. Pollyanna Ibrahim Silva.

The non-thermal treatments are promising techniques for the processing of food. Ultrasound is able to minimize changes during processing and storage of food. The application of ultrasonic waves in foods can inactivate enzymes and microorganisms, as well as assist in the extraction of components. Acai is a fruit with high nutritional value and commercial demand, but easily loses some of its original properties due enzymatic reactions. This study aimed to evaluate and compare the sonication techniques, thermosonication and conventional heat treatment for inactivation of peroxidase and polyphenol oxidase and maintenance of physical-chemical properties of acai pulp. Were evaluated, Moisture content, pH, titratable acidity, lipids anthocyanins, phenolic compounds and reducing sugars activity of peroxidase and polyphenol in acai pulp treated and not treated with ultrasound and heat treatment. For thermosonication temperatures used were 20, 30, 40, 50, 60 ° C for 10 minutes. It was observed that the thermosonication and heat treatment were able to maintain the characteristics of color, pH, water content, lipid, titratable acidity and anthocyanins. Application of treatment with ultrasound at 20 ° C in acai pulp was obtained behavior similar to the heat treatment in the peroxidase activity. While the nectar, none of the treatments showed statistical significance when compared to the control sample. Treatment with ultrasound is promising only if the parameters that interfere with the efficiency of propagation of sound waves, such as soluble solids content and concentration of the components are reduced.

Keywords: Jussara, peroxidase, polyphenol oxidase, ultrasound, thermosonication.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição das espécies <i>Euterpe edulis</i> , <i>Euterpe precatoria</i> , <i>Euterpe oleracea</i> no Brasil. Fonte: SCHIRMANN (2009).....	13
Figura 2 - Palmeira Jussara (<i>Euterpe edulis</i> M.)	14
Figura 3 - Frutos da Palmeira <i>Euterpe edulis</i>	15
Figura 4 - Reação da polifenoloxidase na formação de polímeros escuros. Fonte: ARAÚJO, 2011.....	20
Figura 5 - Reação de escurecimento catalisada pela enzima Peroxidase.	21
Figura 6 - Estrutura do grupo ferriprotoporfirina III presente na peroxidase. Fonte: ONSA et al., (2004).	21
Figura 7- Teores de antocianina (■) e compostos fenólicos (■) da polpa de açaí com e sem tratamento.	39
Figura 8 - Atividade enzimática da Peroxidase (■) e Polifenoloxidase (■) da polpa de açaí com e sem tratamento	41
Figura 9 - Efeito da temperatura na atividade enzimática de peroxidase (◆) e polifenoloxidase (■).....	42
Figura 10 - Atividade enzimática da Peroxidase (■) e Polifenoloxidase (■) no néctar de açaí com e sem tratamento	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tratamentos e condições aplicadas	27
Tabela 2 - Médias e desvios padrão dos teores de água, pH, acidez titulável e lipídios da polpa de açaí (<i>Euterpe edulis</i>) com e sem tratamento	35
Tabela 3 - Médias e desvio padrão de mg de glicose/100g de amostra obtidos para polpas controle e tratadas.	37
Tabela 4 – Parâmetros de cor L*, a*, b*, c, h* e ΔE e obtidos para polpa de açaí controle e tratadas com termossonicação e tratamento térmico	45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	11
2.1. Objetivo geral	11
2.2. Objetivos específicos	11
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	12
3.1. Açaí.....	12
3.1.1. <i>Euterpe edulis</i> Martius	13
3.1.1.1. Processamento do fruto da palmeira <i>Euterpe edulis</i>	16
3.1.1.2. Composição do açaí	17
3.2. Enzimas.....	18
3.2.1. Polifenoloxidase	19
3.2.2. Peroxidase	21
3.3. Ultrassom.....	22
3.3.1. Princípio ultrassom	24
3.3.2. Ultrassom e enzimas	25
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	27
4.1. Tratamentos.....	27
4.2. Planejamento Experimental e Análise Estatística dos Dados.....	28
4.3. Metodologia	28
4.3.1. Caracterização físico-química	28
4.3.1.1. Teor de água.....	28
4.3.1.2. Acidez titulável	29
4.3.1.3. pH	29
4.3.1.4. Conteúdo lipídico	30
4.3.1.5. Açúcares redutores totais	30

4.3.1.6.	Antocianinas.....	30
4.3.1.7.	Compostos fenólicos.....	31
4.3.2.	Determinação da atividade das enzimas peroxidases e polifenoloxidasas	32
4.3.3.	Efeito da temperatura na atividade da enzima Peroxidase (POD)...	33
4.3.4.	Efeito da temperatura na atividade da enzima Polifenoloxidase (PPO).....	33
4.3.5.	Cor instrumental	33
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1.	Caracterização físico-química.....	35
5.2.	Antocianinas e Compostos Fenólicos	38
5.3.	Enzimas.....	40
5.2.	Cor	45
6.	CONCLUSÕES	47
7.	REFERENCIAS	48

1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda dos consumidores por produtos alimentícios com maior qualidade tem estimulado pesquisadores e a indústria de alimentos a investigar tecnologias inovadoras de processamento, com a finalidade de substituir os métodos tradicionais (AWUAH, RAMASWAMY, e ECONOMIDES, 2007).

Dentre as estudadas estão: alta pressão, campo elétrico pulsado, irradiação e tratamentos de ultrassom (SÃO JOSÉ et al., 2014).

Diversas pesquisas avaliaram a aplicação do ultrassom em processos da Ciência e Tecnologia de alimentos, sendo verificados efeitos promissores no processamento e preservação de alimentos (LIANGFU e ZELONG, 2008; LU, DU e LIPSCOMB, 2009; PORTO, DECORT e KIKIC, 2009; ADEKUNTE et al., 2010; CHEMAT, HUMA e KHAN, 2011).

A tecnologia do ultrassom surgiu como uma alternativa para os tratamentos térmicos convencionais em alimentos, utilizando-se, em geral, energia vibracional na frequência gama de 20 a 100 kHz, com uma intensidade de som de 10 a 1000 W/cm² (FENG e YANG, 2005).

Quando as ondas do ultrassom se propagam num líquido, bolhas de cavitação são geradas devido a alterações de pressão. Essas microbolhas entram em colapso violentamente devido aos sucessivos ciclos de expansão e contração formados pela propagação da onda sonora. Isto resulta em regiões de altas temperaturas, chamadas de pontos quentes que podem atingir até aproximadamente 5000 °C e pressões de até 50000 kPa (MASON, 1991; PIYASENA et al., 2003). Os pontos quentes podem induzir o rompimento das interações de van der Waals e ligação de hidrogênio levando a alterações das estruturas secundárias e terciárias da proteína, alterando a atividade biológica da enzima (MAWSON et al., 2011).

Os mecanismos de inativação por ultrassom, entretanto, são específicos para cada enzima e são influenciados pela composição de aminoácidos e pela estrutura conformacional da enzima (OZBEK e ULGEN, 2000). A inativação também depende de propriedades como frequência, potência e fatores como o tipo de enzima, a concentração, temperatura e pH (MAWSON et al., 2011).

A utilização de banho ultrassônico combinado com calor e pressão é um processo eficaz na inativação de enzimas, tais como a lipoxigenase, peroxidase,

pectinametilesterase e polifenoloxidase, bem como da lipase resistente ao calor e de protease com destaque na indústria de laticínios e na indústria de suco de fruta (LÓPEZ, 1994; VERCET, LOPEZ, e BURGOS, 1997; VILLAMIEL e DE JONG, 2000; TEREFE et al., 2009; GAMBOA-SANTOS et al. 2012).

Numerosos estudos têm investigado a utilização desta técnica para a inativação dessas enzimas responsáveis pela deterioração de frutas e hortaliças, tais como, pectinametilesterase, polifenoloxidases e peroxidases (MAÑAS, et al., 2006; AGUILO-AGUAYO et al., 2008; WU et al., 2008; TIWARI et al., 2009; O'DONNELL et al., 2010).

As alterações na cor, sabor e valores nutricionais em sucos, polpas e néctares constituem um fenômeno amplamente observado e conhecido como escurecimento enzimático (GARCIA e BARRET, 2005). Dentre as enzimas responsáveis por estas alterações, destacam-se as polifenoloxidases e as peroxidases, presentes em diversas frutas como o açaí.

O açaí, fruto obtido de *Euterpe edulis*, planta conhecida popularmente como palmeira Jussara, é um fruto com alta demanda comercial que possui alto valor nutricional. Este fruto é composto, em matéria seca, por lipídios (50 %), fibras alimentares (25 %), proteínas (10 %) e açúcares assimiláveis (glicose, frutose e sacarose) entre 2,96 % a 3,55 % (ROGEZ, 2000; ALEXANDRE et al., 2004). Possui ainda quantidades elevadas (45 mg / 100 g de matéria seca) de vitamina E (tocoferóis), com valores máximos de 78 % do total de esteróis encontrados no açaí (ROGEZ, 2000).

Além disso, o açaí tem sido considerado um alimento funcional relacionado com a redução do risco de várias doenças crônicas não transmissíveis (doenças cardiovasculares, diabetes, câncer, dentre outras) devido ao conteúdo de compostos fenólicos e a atividade antioxidante (SCHAUSS et al., 2006 ; ROSSO et al., 2008; SCHULTZ, 2008).

Diante do exposto, este trabalho visou avaliar o efeito da aplicação do ultrassom combinado com diferentes temperaturas na atividade das enzimas peroxidases (POD) e polifenoloxidases (PFO) presentes em polpas de açaí.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar o efeito da sonicação e termossonicação na atividade das enzimas oxidativas polifenoloxidase e peroxidase responsáveis pelo escurecimento e alteração da qualidade da polpa de açaí Jussara.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar a eficiência da sonicação e termossonicação para inativação das enzimas polifenoloxidases e peroxidases presentes naturalmente na polpa e néctar de açaí Jussara;
- Avaliar as características físico-químicas das polpas tratadas com o ultrassom e o ultrassom combinado com temperatura (termossonicação);
- Comparar termossonicação com o tratamento térmico convencional.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Açaí

O consumo de frutas tropicais tem aumentado tanto nos mercados internos e externos e isto tem estimulado as agroindústrias a investirem no processamento para a obtenção de produtos com características semelhantes aos naturais, com melhor qualidade sensorial e nutricional, e longa vida útil (SILVA et al., 2013).

O aumento do consumo de produtos como frutas e hortaliças está relacionado aos efeitos benéficos à saúde, como a prevenção de doenças crônicas degenerativas dentre as quais se destacam as doenças neurodegenerativas, câncer e doenças cardiovasculares (SCANDALIOS, 2005; VALKO et al., 2006).

O açaí tem se destacado no mercado por combater doenças cardiovasculares e prevenir o envelhecimento (MARCASON, 2009; SCHRECKINGER et al., 2010).

A polpa de açaí pode ser consumida 'in natura' ou ser utilizada como um ingrediente para vários produtos alimentícios (ROGEZ, 2000).

Empresas da Europa, Japão e América do Norte tem agregado valor ao açaí, introduzindo-o em diferentes formulações e produtos, como sucos, bebidas energéticas, comprimidos e pós com aplicações funcionais, dentre outros (ENGELS, 2010).

O consumo nacional de açaí teve início a partir dos anos 90. Devido às propriedades energéticas e antioxidantes, a classe média e alta da região Sul e Sudeste do Brasil adotou o fruto como um alimento saudável aconselhado para praticantes de esporte (ROGEZ, 2000).

Na América do Sul, o gênero das palmeiras tropicais nativas é chamado *Euterpe* (SCHAUSS, 2010). Dentre as formas de aproveitamento da planta pode-se citar a obtenção da polpa dos frutos para produção da bebida denominada açaí, utilização do caroço para geração de calor, extração do palmito pelo corte do ápice do estipe e a utilização das folhas na alimentação de animais (CASTRO, 2012).

As espécies de maior importância e distribuição pelo território brasileiro são *Euterpe oleracea* Martius, *Euterpe precatoria* Martius e *Euterpe edulis* Martius, como mostrado na Figura 1 (CASTRO, 2012).

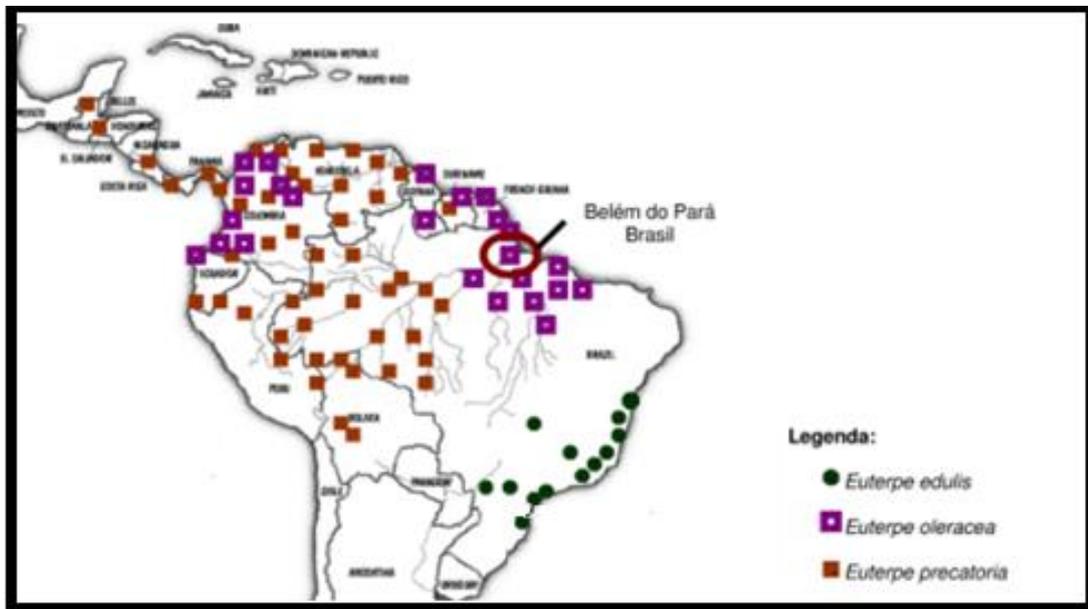


Figura 1 - Distribuição das espécies *Euterpe edulis*, *Euterpe precatoria*, *Euterpe oleracea* no Brasil. Fonte: SCHIRMANN (2009).

A espécie *Euterpe oleracea* M. é uma palmeira tropical, que cresce em solos úmidos e é encontrada na Floresta Amazônica (SCHIRMANN, 2009). A espécie *E. precatoria* M. pertence a florestas de terras baixas, em áreas de inundações periódicas, pertencendo naturalmente ao bioma do Acre, Amazonas, Pará e Rondônia (ROGEZ, 2000). Já a palmeira Jussara (*Euterpe edulis* M.) encontra-se floresta ombrófila densa, Mata Atlântica (HENDERSON, 2000).

3.1.1. *Euterpe edulis* Martius

A espécie *Euterpe edulis* Martius também conhecida por Jussara, pertencente à família *Arecaceae* (LORENZI et al., 2006), é nativa e produzida exclusivamente na Mata Atlântica (LEITMAN et al., 2015). Pode ser encontrada nos estados do Rio

Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Bahia sendo o fruto conhecido como açaí da Mata Atlântica (LORENZI et al., 2006).

A palmeira da espécie *Euterpe edulis* Martius possui grande importância para a Mata Atlântica devido às suas características ecológicas, como atrair animais para região (REIS; KAGEYAMA 2000), e características econômicas, como o fornecimento de matérias-primas como o palmito e o fruto açaí.

As palmeiras da variedade *Euterpe edulis* possuem crescimento rápido em áreas abertas, sendo capazes de produzir sementes e frutos com quatro ou cinco anos de idade (Figura 2). Quando em mata fechada, o período reprodutivo pode chegar até dez ou doze anos (FANELLI et al., 2012). Porém, são capazes de frutificar grande parte do ano (REIS; KAGEYAMA, 2000).

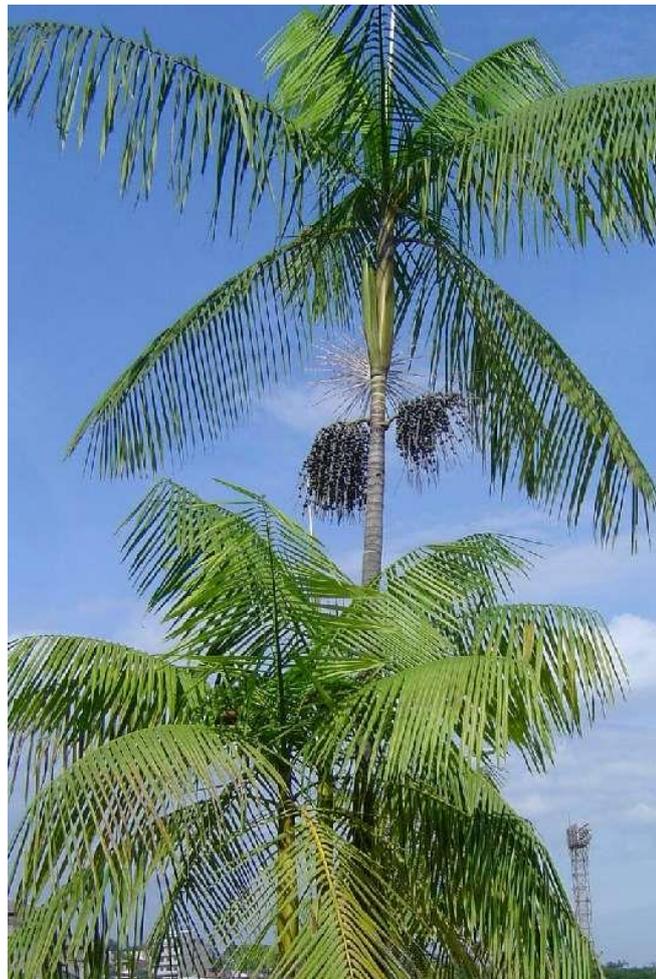


Figura 2 - Palmeira Jussara (*Euterpe edulis* M.).

A palmeira Jussara produz um tipo superior de palmito comparado à qualidade e sabor das demais espécies de *Euterpe*, sendo amplamente consumidos (MANTOVANI; MORELLATO, 2000). Devido à extração indiscriminada, a *Euterpe edulis* encontra-se na lista de espécies ameaçadas de extinção (MARTINELLI; MORAES, 2013). Assim, a exploração dos frutos da palmeira Jussara é uma alternativa que concilia proteção ambiental e rendimento econômico, auxiliando na conservação do bioma ameaçado (SCHULTZ, 2008).

Os frutos obtidos da palmeira possuem formato esférico com 1 a 1,5 cm de diâmetro e coloração roxo escuro (Figura 3) (MANTOVANI; MORELLATO, 2009). Nos últimos anos, os frutos têm se destacado comercialmente por possuir características parecidas com a polpa obtida pelo açaí da Amazônia (FAVRETO, 2010).



Figura 3 - Frutos da Palmeira *Euterpe edulis*.

Segundo Castro (2012) a primeira experiência acadêmica de produção de açaí a partir de frutos de *E. edulis* ocorreu em Santa Catarina no ano de 1998. Em seguida, demais pesquisas foram realizadas utilizando o fruto da palmeira Jussara, ou espécie *E. edulis* (MAC FADDEN, 2005; SILVA, 2005; SCHULTZ, 2008; FARIAS, 2009; SCHIRMANN, 2009; BORGES, 2010; BORGES et al., 2011).

Na região Sul-Sudeste brasileira o manejo de *Euterpe edulis* passou a utilizar os frutos como alternativa à exploração da espécie para obtenção de palmito em 2003 (FARIAS, 2009).

3.1.1.1. Processamento do fruto da palmeira *Euterpe edulis*

Os frutos produzidos pela palmeira *Euterpe edulis* Martius normalmente não são consumidos 'in natura' visto que a polpa apresenta apenas 12 % do peso total (ROGEZ, 2000), por isso, são frequentemente comercializados na forma de polpa, suco e néctar.

A produção da polpa normalmente é feita seguindo as seguintes etapas de processamento: separação de materiais estranhos; seleção dos frutos sadios e maduros; higienização; repouso em água morna (aproximadamente 40 °C) durante 30 minutos, para o amolecimento da polpa e casca e despulpamento. Em seguida, são utilizados processos que condizem com a finalidade do produto, que pode ser consumido imediatamente, ou ser submetido a processos que visem a garantir a conservação para a posterior comercialização (SCHULTZ, 2008).

Com o aumento do consumo e distribuição do açaí, como produto industrializado em grandes centros urbanos nacionais e internacionais, iniciou-se a busca pela padronização e qualidade do produto (PAGLIARUSSI, 2010).

Em processos industriais o produto que sai da despulpadora é transferido em circuito fechado ao envase. O açaí passa pelo processo de homogeneização, pasteurização e envase e congelamento imediato em túneis de congelamento ou em câmara fria (CARNEIRO, 2000; ALEXANDRE; CUNHA; HUBINGER, 2004; HOMMA et al., 2006).

Comercialmente são utilizadas despulpadoras elétricas que possuem produtividade de 100 a 200 litros / máquina / dia. Os frutos são dispostos no cilindro e agitados por 3 a 10 minutos (variando de acordo com a dimensão do cilindro, velocidade de rotação do eixo e tipo de açaí extraído), enquanto água potável é adicionada progressivamente durante o processamento. Em seguida o açaí, por

ação da gravidade, é forçado a passar por uma peneira separando a polpa dos subprodutos obtidos (ROGEZ, 2000).

A pasteurização e congelamento imediato objetivam a minimização de alterações nutricionais, químicas, físicas e sensoriais desfavoráveis em função da atividade de enzimas e de microrganismos (CARNEIRO, 2000; ALEXANDRE; CUNHA; HUBINGER, 2004; HOMMA et al., 2006), pois o açaí é um fruto de alta perecibilidade.

Segundo Alexandre, Cunha e Hubinger (2004), o tempo máximo de conservação do açaí é de 12 horas, mesmo sob refrigeração. Este fato está relacionado, principalmente, à ação de microrganismos deterioradores e à atividade de enzimas, dentre as quais se destacam a peroxidase e a polifenoloxidase (CASTRO, 2012).

3.1.1.2. Composição do açaí

Muitos estudos apontam os potenciais benefícios do açaí à saúde (SCHAUSS et al., 2006; HONZEL et al., 2008; JENSEN et al., 2008; RUFINO et al., 2010) e atribuem principalmente à presença de polifenóis e antocianinas (ROGEZ, 2000; DEL POZO-INSFRAN et al., 2004).

Os compostos bioativos são substâncias presente em alimentos capazes de fornecer benefícios para saúde, principalmente na prevenção doenças ao proteger o organismo contra danos oxidativos causados por radicais livres.

Dentre os compostos bioativos presentes no açaí estão: ácidos benzoico, cafeíco, clorogênico, ferúlico, protocatecuíco, *p*-cumárico, siríngico, vanílico e flavonoides como quercetina e rutina, antocianinas e outros compostos fenólicos (ROGEZ, 2000; DE PAULA, 2007; BORGES, 2013).

As antocianinas são pigmentos hidrossolúveis altamente instáveis à temperaturas elevadas, variações de pH, presença de luz e oxigênio (MARKAKIS, 1982), que podem ser degradadas por enzimas endógenas como glicosidases, polifenoloxidases e peroxidases (MALACRIDA; DA MOTTA, 2006), o que indica a necessidade de controle da atividade enzimática.

A atividade antioxidante das antocianinas está relacionada à doação ou transferência de elétrons dos átomos de hidrogênio presentes em sua estrutura fenólica (ESPÍN et al., 2000). Essa atividade confere efeito protetor contra formação de radicais livres, que são capazes de causar danos oxidativos às células e tecidos do organismo (NOVELLO, 2011).

Além disso, as antocianinas são responsáveis por fornecer coloração em flores, frutos, algumas folhas, caules e raízes de plantas nas tonalidades azul, roxo e vermelho (MARKAKIS, 1982) que atraem polinizadores e dispersores de frutos (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Iaderoza et al. (1992) afirmaram que o açaí obtido da Palmeira Jussara (*E. edulis*) apresenta quatro vezes mais antocianinas que o fruto obtido do açai zero (*E. oleracea*). As principais antocianinas presentes na polpa de açaí: cianidina-3-glicosídeo, cianidina-3-rutinosídeo, perlagonidina-3-glucosídeo, cianidina-3-sambiosídeo, peonidina-3-rutinosídeo e peonidina-3-glucosídeo.

Além dos compostos bioativos, o açaí possui alto valor energético, contendo de 40 a 50 % de lipídios, sendo os ácidos graxos palmítico, palmitoleico, esteárico, oleico, linoleico e linolênico, os principais encontrados. Possui também 10 % de proteínas, 30 % de fibras, e 3,5 % de carboidratos, apresentando glicose, frutose e maltose como os principais açúcares encontrados (ROGEZ, 2000; ALEXANDRE; CUNHA; HUBINDER, 2004; DO NASCIMENTO, 2008; VAZ et al., 2009; BORGES, 2013).

3.2. Enzimas

Dentre as reações bioquímicas capazes de alterar a qualidade sensorial da polpa de açaí, as reações enzimáticas são as que requerem maior atenção, pois as enzimas presentes catalisam reações de escurecimento, oxidação, hidrólise, polimerização de compostos, tornando o produto impróprio e inaceitável ao consumidor (LOPES, 2005).

As enzimas peroxidase e polifenoloxidase são as principais responsáveis pelo escurecimento durante o processamento de hortaliças e frutas (CLEMENTE; PASTORE, 1998), sendo o grau de escurecimento influenciado pela presença de oxigênio, substâncias redutoras, íons metálicos, pH, temperatura e atividade de enzimas oxidativas (LÓPEZ-NICOLÁS et al., 2007).

No processo de senescência, na pós colheita e ou no processamento de frutas e hortaliças, as quinonas formadas durante a reação catalisada pela polifenoloxidase podem se polimerizar e ligar a aminoácidos produzindo pigmentos escuros. Esse processo é conhecido como escurecimento enzimático (LÓPEZ-NICOLÁS et al., 2007).

A ruptura dos tecidos vegetais é a principal causa do desencadeamento das reações que promovem o escurecimento enzimático. Porém, quando o tecido ainda está intacto também é percebido o escurecimento (ARAÚJO, 2011).

O controle da atividade das enzimas peroxidase e polifenoloxidase é imprescindível durante o processamento de alimentos (CLEMENTE; PASTORE, 1998). Em torno de 50 % da perda de frutas tropicais no mundo ocorre devido à ação das polifenoloxidase (ARAÚJO, 2011). Por isso, um dos principais objetivos dos tratamentos utilizados para a conservação em frutas e hortaliças é a inativação de enzimas endógenas que desencadeiam a perda de características de qualidade como cor, sabor, textura e valor nutricional (PANKAJ; MISRA; CULLEN, 2013).

Dentre os processos convencionais para inativação enzimática estão os tratamentos que utilizam calor, como o branqueamento, pasteurização ou esterilizações comerciais, que além de inativar enzimas contribuem para a alteração de características sensoriais, cor e sabor, e nutricionais do produto (ANTHON; BARRETT, 2002).

3.2.1. Polifenoloxidase

A enzima polifenoloxidase (PPO) também pode ser chamada de tirosinase, polifenolase, fenolase, catecol oxidase, catecolase e cresolase. É encontrada em algumas bactérias e fungos, em plantas, artópodes e mamíferos e pode ter de 57 a 62 kDa (ARAÚJO, 2011).

A polifenoloxidase (EC 1.14.18.1) faz parte do grupo das oxirredutases. É uma enzima que catalisa a hidroxilação dos monofenóis e a oxidação de o-difenóis a o-quinonas, que por serem altamente instáveis polimerizam-se ou reagem com aminoácidos, peptídeos e proteínas produzindo pigmentos escuros chamados de melaninas (Figura 4). Esse processo é desencadeado devido à presença de Cu^{2+} no sítio ativo da enzima (MARTINEZ; WHITAKER, 1995; ESCRIBANO et al., 1997; SERRADELL et al., 2000; CONCELÓN et al., 2004).

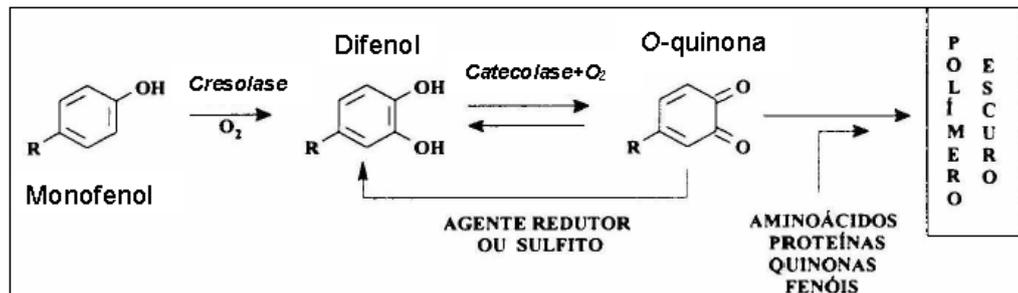


Figura 4 - Reação da polifenoloxidase na formação de polímeros escuros.
Fonte: ARAÚJO, 2011.

A formação da quinona depende da presença de oxigênio e enzima, porém, após a formação desta substância, as reações seguintes ocorrem espontaneamente (ARAÚJO, 2011).

Existem várias formas de inibir a polifenoloxidase, embora, poucos são os métodos que não geram *flavor* desagradável (ARAÚJO, 2011).

Essas enzimas não são termorresistentes podendo ser inativadas ao serem exposta de 70 a 90 °C por um pequeno tempo (ARAÚJO, 2011). Além do tratamento térmico, existem alternativas de inibir a polifenoloxidase, como a adição de ácido ascórbico, cítrico, fosfórico e málico que atuam na redução do pH e restabelecem o valor nutricional e melhoram a cor e palatabilidade do produto (MENDONÇA; GUERRA, 2003).

A faixa de pH ótimo de atuação da enzima está entre 5,0 a 7,0, e em condições de pH menores que 3,0, as polifenoloxidase são inativadas (REIS, 2007).

3.2.2. Peroxidase

As peroxidases (EC 1.11.1.7) são oxirredutases encontradas em seres vivos (RIBEIRO et al., 2013). Possuem alta resistência ao calor e utilizam os peróxidos e substâncias doadores de hidrogênio (como aminas aromáticas primárias, secundárias e terciárias) como substratos (Figura 5) (FREITAS et al., 2008).

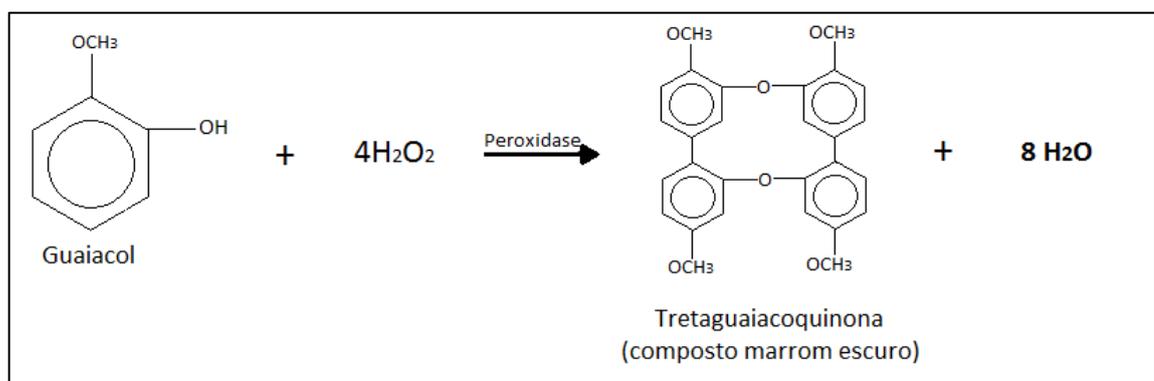


Figura 5 - Reação de escurecimento catalisada pela enzima Peroxidase.

A estrutura da peroxidase contém ferro na forma de um grupo prostético ferriprotoporfirina III (ONSA et al., 2004) (Figura 6).

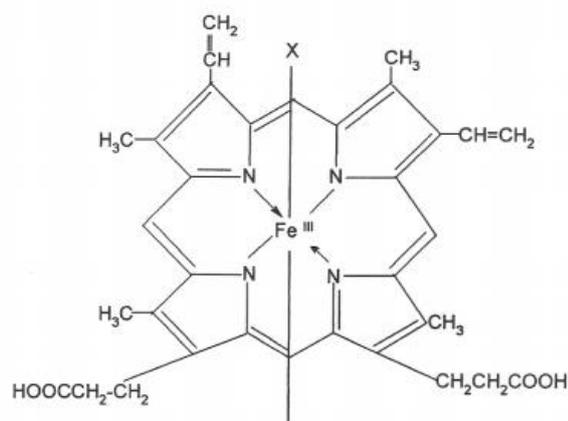


Figura 6 - Estrutura do grupo ferriprotoporfirina III presente na peroxidase. Fonte: ONSA et al., (2004).

A peroxidase também é responsável por afetar a textura de alguns tipos de frutas, participando da síntese de lignina e catalisando a ligação entre moléculas de ácido ferrúlico, substituintes da cadeia de pectina (ADAMS, 1997). O amolecimento além de reduzir a aceitação do produto pelos consumidores facilita a deterioração microbiológica.

A peroxidase provoca tanto alterações nutricionais como sensoriais. É capaz de degradar vitamina C, alterar cor, *flavor* e textura de frutos frescos e processados. Além disso, pode catalisar a degradação de ácidos graxos insaturados e a descoloração de carotenoides e antocianinas (DE PAULA, 2007).

Na presença de peróxido, a peroxidase também catalisa a oxidação de dopamina, sendo o produto dessa oxidação passível de redução eletroquímica (RIBEIRO et al., 2013). Assim, essa enzima tem sido utilizada em muitas aplicações em biossensores para a análise clínica de glicose, hepatite, creatina, ácido úrico e colesterol, todas são fundamentadas pela quantidade residual de peróxido (GALENDE et al., 2012).

Em tecidos vegetais, a peroxidase apresenta-se solúvel e ionicamente ligada à parede celular, e, em ambas as formas, apresentam isoenzimas com diferentes propriedades catalíticas, massas moleculares, composição de aminoácidos e conteúdo de carboidratos (VALDERRAMA; CLEMENTE, 2004).

As peroxidases são termoestáveis, possuindo capacidade de regeneração após desnaturação térmica, por isso sua atividade é utilizada como um indicador da eficiência do branqueamento. Apresentam atividade ótima na faixa de pH de 5,0 a 6,0 e sua atividade é determinada pela reação com guaiacol, formando o Tetraguaiacoquinona, pigmento de coloração escura (CLERICI et al. 2014).

3.3. Ultrassom

Os ultrassons são ondas sonoras inaudíveis, com frequências superiores a 20 kHz (AWAD et al., 2012), que foram descobertas por Pierre Curie no ano de 1880 (SHANKAR;e PAGEL, 2011).

Após 14 anos, Thornycroft e Barnaby observaram que as vibrações geradas pela propagação de ondas ultrassônicas produziam bolhas e os sucessivos processos de compressão e expansão, e até implosão destas bolhas foram chamados de cavitação (SUSLICK, 1994; MARTINES, DAVOLOS, e JÚNIOR, 2000).

A partir de 1920 iniciou-se a investigação sobre o efeito do ultrassom no processamento de alimentos (KNORR et al., 2011). Na década de 1960, o ultrassom já era utilizado para a limpeza de superfícies e soldas de plásticos (MASON, 1998).

Desde então, estudos com resultados promissores foram realizados utilizando a aplicação do ultrassom no processamento e conservação de diferentes alimentos (ADEKUNTE et al., 2010; CAO et al. 2010; SORIA e VILLAMIEL, 2010; TIWARI et al. 2010; FAVA et al., 2011; ARZENI et al., 2012; GABRIEL, 2012; SÃO JOSÉ e VANETTI, 2012; BIRMPA, SFIKA, e VANTAKARIS, 2013)

A utilização de ondas ultrassônicas é uma das tecnologias emergentes desenvolvida com a finalidade de conferir efeitos positivos no processamento de alimentos, reduzindo o tempo, maximizando a qualidade e garantindo a segurança dos produtos alimentícios. É um processo capaz de otimizar a transferência de massa e a conservação de alimentos, podendo ser utilizado para auxiliar os tratamentos térmicos (KNORR et al., 2011).

De acordo com a frequência os processos podem ser classificados em alta potência (frequências de 20 a 100 kHz) e baixa potência (frequências superiores a 100 kHz) (AWAD et al., 2012; SANGO et al. 2014).

Os ultrassons de baixa potência produzem efeitos físicos, químicos e mecânicos nos alimentos sendo capazes de induzir alterações nas propriedades químicas e bioquímicas dos alimentos (AWAD et al., 2012). Já o ultrassom de alta potência tem sido aplicado em meios alimentícios para inativar enzimas e microrganismos, auxiliar no processo de congelamento e secagem, emulsificar, dentre outros (ARZENI et al., 2012).

Durante os últimos anos a aplicação de ultrassom tem atraído crescente interesse na área da Ciência e Tecnologia de alimentos (KNORR et al., 2011), sendo considerado uma das tecnologias mais promissoras para conservação dos alimentos (CONDÓN, RASO e PAGÁN, 2005). Apesar das diferentes aplicações e amplo desenvolvimento, a tecnologia ultrassom ainda é considerada recente (SÃO JOSÉ et al., 2014).

3.3.1. Princípio de aplicação do ultrassom

Os ultrassons são gerados pela conversão de energia elétrica ou mecânica em energia sonora pela ação dos transdutores (O'DONNELL et al., 2010).

Quando propagado através de um meio, o ultrassom promove a compressão e expansão do gás presente no líquido, resultando na produção de uma elevada quantidade de energia, fenômeno conhecido como cavitação (KENTISH e ASHOKKUMAR, 2011). A formação, crescimento e colapso das bolhas de cavitação são responsáveis pela liberação de energia (RASTOGI, 2011). Essas microbolhas formadas entram em colapso violentamente devido aos sucessivos ciclos de expansão e compressão formados pela propagação da onda sonora. Isto resulta em regiões de altas temperaturas, chamadas de pontos quentes que podem atingir até 5000 °C e pressões de até 50000 kPa (MASON, 1991; PIYASENA et al., 2003).

A intensidade de cavitação pode ser estimada pela quantificação de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (MEAD, SUTHERLAND, e VERALL, 1976), que é formado devido ao processo chamado de sonólise da água, no qual as moléculas são rompidas pela energia liberada no colapso das bolhas, gerando H_2O_2 , OH^- e H^+ (SÃO JOSÉ et al., 2014). No entanto, a determinação de peróxido de hidrogênio durante o processo de aplicação da sonicação é dificultada pela presença de íons e outros componentes coloidais (RAVIYAN et al., 2005).

Nesse processo também ocorre a liberação de radicais livres, resultado da dissociação do vapor aprisionado nas bolhas (RASTOGI, 2011; GABRIEL, 2012).

Os pontos quentes podem induzir o rompimento das interações de van der Waals e ligação de hidrogênio levando a alterações das estruturas secundárias e terciárias da proteína, alterando a atividade biológica da enzima (MAWSON et al., 2011). Além disso, esse fenômeno possui efeitos bactericidas, pois o DNA das células bacterianas tem sua estrutura alterada pelos radicais livres liberados com a sonólise (BERMUDEZ-AGUIRRE et al., 2011).

Segundo Tsukamoto et al. (2004), a medida da amplitude das ondas está relacionada à cavitação e potência do ultrassom.

3.3.2. Ultrassom e enzimas

O uso de ultrassom isolado (sonicação) ou combinado com temperatura (termossonicação), pressão (manossonicação) ou ambos (manotermossonicação) tem sido eficaz sobre diversas enzimas de importância industrial, tanto na indústria de sucos como em laticínios (LÓPEZ et al. 1994; LÓPEZ e BURGOS, 1995; VERCET, LOPEZ, e BURGOS, 1997; VILLAMIEL e DE JONG, 2000).

Resultados de estudos indicaram a inativação da enzima pectinametilesterase presentes em sucos de tomate e laranja após o tratamento com ultrassom combinado com temperatura e ou pressão (LÓPEZ et al., 1998, VERCET, LOPEZ, e BURGOS, 1999; KULDILOKE, 2002; VERCET, ORIA, MARQUINA, CRELIER, e LOPEZ-BUESA, 2002; SCHUINA, 2014).

Cruz, Vieira, e Silva (2006) reduziram o tempo de branqueamento necessário para inativação da peroxidase em agrião ao se aplicar a termossonicação a 20 kHz. Sendo que para reduzir 90 % da atividade foram necessário 5 s de termossonicação à 90 °C, enquanto para tratamento térmico foram necessários 70 s.

Trabalhos mostram que poucas são as alterações na composição físico-química de sucos de frutas tratados com ultrassom, como suco de laranja (SCHUINA, 2014), suco de goiaba (CHENG et al, 2007) e suco de morango (TIWARI et al., 2009).

A desnaturação da proteína ocorre por efeito químico, ou seja, pela ação dos radicais livres formados pela sonólise da água ($H_2O \rightarrow OH^- + H^+$) ou por efeito físico, ação das forças de cisalhamento, resultado da formação ou o colapso das bolhas de cavitação (O'DONNELL et al., 2010).

O controle da atividade enzimática por ultrassom, depende de fatores intrínsecos e extrínsecos, como concentração enzimática, temperatura, pH, composição do meio (O'DONNELL et al., 2010).

Özbek, e Ulgen (2000), afirmam que os parâmetros que promovem a inativação são específicos para cada tipo de enzima, e depende da composição de aminoácidos e estrutura conformacional da enzima.

Algumas enzimas, em determinadas condições podem ser ativadas quando tratadas com ultrassom. Cheng et al. (2007) relataram um aumento na atividade de

polifenoloxidase de suco de goiaba ao aplicar onda ultrassônicas na frequência de 35 kHz, por 30 minutos.

Cruz et al., (2006) identificaram um aumento na atividade da peroxidase de agrião em sonicação a baixas temperaturas. Isto pode estar relacionado com uma mudança de conformação da enzima, facilitando a interação com o substrato.

Portanto, acredita-se que combinando ultrassons com calor, será observado efeito sinérgico com redução do tempo necessário de aplicação do processamento, por devido a diminuição da resistência térmica de diversas enzimas (O'DONNELL et al., 2010).

4. MATERIAL E MÉTODOS

A polpa de açaí (*Euterpe edulis*) foi obtida no comércio local da cidade de Rio Novo do Sul – ES, caracterizada quanto aos atributos físico-químicos e atividade enzimática, no laboratório de Química de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo localizado em Alegre - Es.

4.1. Tratamentos

As polpas obtidas foram descongeladas colocadas em tubos de ensaio e tratadas em banho ultrassônico, Ultrasonic Power IGBT (CTA do Brasil) com frequência de 25 kHz, potência de 900 W e volume de 10 litros, com temperaturas de 20, 30, 40, 50, 60 °C, por 10 minutos. Para comparação, uma amostra foi submetida ao tratamento térmico (TT), 90 °C/10 min, e outra chamada de controle foi analisada sem a aplicação de nenhum tratamento. Como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Tratamentos e condições aplicadas

Tratamentos	Ultrassom (kHz)	Temperatura (°C)	Tempo (min)
Controle	-	-	-
US20 °C	25	20	10
US30 °C	25	30	10
US40 °C	25	40	10
US50 °C	25	50	10
US60 °C	25	60	10
Tratamento térmico	-	90	10

*US: ultrassom

As amostras tratadas (ultrassom e temperaturas variadas e tratamento térmico) foram comparadas com amostra controle (sem tratamento) quanto às características físico-químicas e medida da atividade das enzimas peroxidases e polifenoloxidase.

Com a polpa descongelada, foi elaborado um néctar de açaí, pela diluição de 30% de polpa em água potável. Este néctar foi submetido aos mesmos tratamentos que a polpa, e em seguida foi determinada a atividade das enzimas peroxidase e polifenoloxidase.

4.2. Planejamento Experimental e Análise Estatística dos Dados

O experimento foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) sendo realizado em triplicata e com 3 repetições. Os resultados obtidos foram analisados utilizando o programa Assistat 7.7 por meio da análise de variância univariada (ANOVA) e teste Tukey. Os valores obtidos para as médias, desvio padrão e o resultado do teste de média foram apresentados em Tabelas e gráficos.

4.3. Metodologia

4.3.1. Caracterização físico-química

4.3.1.1. Teor de água

O teor de água foi determinado de acordo com as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2005), no qual 5 g da amostra foram secas em estufa a 105 °C até peso constante.

4.3.1.2. Acidez titulável

A acidez titulável foi determinada de acordo com Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2005) no qual 10 mL de polpa de açaí foram diluída em 100 mL de água e a solução obtida titulada com hidróxido de sódio (0,1 N) até obter pH 8,2. Os resultados foram calculados seguindo a equação 1 e expressos em porcentagem de ácido cítrico.

$$\text{Acidez (\%)} = \frac{(V * f * 100)}{(P * c)} \quad \text{Equação 1: Cálculo da acidez titulável}$$

Onde:

V: nº de mL da solução de hidróxido de sódio 0,1 ou 0,01 M gasto na titulação

f: fator da solução de hidróxido de sódio 0,1 ou 0,01 M

P: nº de g da amostra usado na titulação

c: correção para solução de NaOH 1 M, 10 para solução NaOH 0,1 M e 100 para solução NaOH 0,01 M.

4.3.1.3. pH

O potencial hidrogeniônico foi determinado pelo método potenciométrico descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (2005) no qual 10 g de amostra foram homogeneizadas em 100 mL de água destilada e a determinação foi realizada pela inserção do eletrodo de pHmetro digital (Del Lab DLA-PH) na solução preparada.

4.3.1.4. Conteúdo lipídico

A análise foi realizada segundo as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2005). Uma amostra de 3 g de polpa de açaí foi colocada em cartucho e transferida ao aparelho extrator tipo Soxhlet, que foi acoplado ao copo extrator previamente seco a 105 °C. Éter de petróleo foi adicionado e a solução foi mantida sob aquecimento em chapa elétrica para extração durante quatro horas.

Em seguida, o cartucho foi retirado do aparelho e o balão com o resíduo extraído foi transferido para estufa à 105 °C por uma hora. Completado o tempo, foi resfriado em dessecador até a temperatura ambiente e pesado. O resultado foi expresso em porcentagem.

4.3.1.5. Açúcares redutores totais

A determinação de açúcares redutores totais foi realizada por análise espectrofotométrica segundo a metodologia de MILLER (1959), no qual o ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) é reduzido alterando a cor do meio de reação.

Foi construída uma curva de calibração utilizando solução de glicose com concentrações variando de 0,01 mg/mL até 0,5 mg/mL .

Para análise a amostra foi diluída na proporção de 1:50 (v/v) e os resultados foram expressos em miligramas de glicose por 100 mL de amostra.

A leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro (Bel Photonics 2000 UV) a 540 nm.

4.3.1.6. Antocianinas

Primeiramente foi realizada a extração das antocianinas totais pela metodologia descrita por Francis (1982). Esta análise ocorreu em três etapas:

obtenção do extrato concentrado e do extrato diluído, seguida da quantificação das antocianinas.

Uma amostra de 5 g de polpa de açaí foi adicionada a 50 mL de solvente extrator (Etanol-Água, proporção 70:30 v/v) e HCl 3M (para obter o pH final igual a 2,0). Para a extração, essa solução permaneceu em descanso por 24 horas a 5 °C, em local isento de luz. Em seguida, para formação do extrato concentrado, a solução foi filtrada, o extrato transferido para balão de 100 mL e completado com solvente extrator.

Para a obtenção do extrato diluído, uma alíquota de 0,5 mL do extrato concentrado foi transferida para balão de 10 mL e o volume completado com solução tampão de etanol e HCl (85:15 v/v).

A quantificação foi realizada pela medida da absorbância do extrato diluído em espectrofotômetro marca Bel Photonics 2000 UV a 510 nm e o resultado foi expresso em mg de cianidina-3-glicosídeo /100g da fração da amostra analisada.

4.3.1.7. Compostos fenólicos

A determinação de polifenóis totais foi realizada utilizando o reagente Folin-Ciocalteu, segundo o método espectrofotométrico de Singleton e Rossi (1965) adaptado.

A mistura de 0,6 mL do extrato da polpa e 3,0 mL de reagente Folin-Ciocalteu (1:10; v/v) permaneceu em repouso por 3 minutos em local isento de luz. Após este tempo, 2,4 mL de solução saturada de Na_2CO_3 (7,5 %; m/v) foi adicionada e após 1 hora de repouso a absorbância foi determinada a 760 nm. Os resultados foram expressos em ácido gálico equivalente (mg AGE / 100 g).

4.3.2. Determinação da atividade das enzimas peroxidase e polifenoloxidase

Para a obtenção do extrato enzimático, a polpa de açaí descongelada foi homogeneizada com tampão fosfato de sódio 0,05 M pH 6, na proporção de 1:1, e em seguida a mistura foi centrifugada em centrífuga refrigerada, marca Hermle Labortechnik, a 8000 x g por 10 minutos à 4 °C.

A atividade da enzima peroxidase (POD) na polpa de açaí foi determinada pelo método descrito por Khan e Robinson (1994) modificado. O meio de reação contendo 1,5 mL de guaiacol 1% (v/v) em tampão fosfato de sódio 0,05 M pH 6 e adicionado mais 1,2 mL de tampão fosfato de sódio 0,05 M pH 6 foi incubado a 25 °C por 10 minutos. Após o tempo determinado, foi adicionado à mistura 0,4 mL de H₂O₂ 0,3% (0,33 mL de H₂O₂ em 100 mL de tampão fosfato de sódio 0,05 M pH 6) e 0,1 mL do extrato enzimático. A reação foi acompanhada durante 5 minutos em espectrofotômetro da marca Bel Photonics 2000 UV a 470 nm e a atividade foi expressa em unidade (atividade capaz de alterar 0,001 de absorbância a 470 nm) por minuto por grama da amostra (U.min⁻¹.g⁻¹). Para o branco, o meio continha 1,5 mL de solução 1% de guaiacol em tampão fosfato 0,05 M pH 6,0, 1,6 mL de tampão fosfato 0,05 M pH 6,0 e 0,1 mL do extrato enzimático.

A atividade da polifenoloxidase (PPO) foi determinada de acordo com o método descrito por Oktay et al. (1995) modificado. Foi adicionado a um tubo de ensaio 2,9 mL de solução de catecol 0,01 M em tampão fosfato 0,1 M pH 6,0 e 0,1 mL do extrato enzimático. A reação foi acompanhada em espectrofotômetro marca Bel Photonics 2000 UV por 5 minutos a 420 nm e o tubo da amostra controle ou o branco foi determinado pela adição de 2,9 mL de catecol 0,05 M em tampão fosfato 0,1 M pH 6,0 e 0,1 mL de tampão fosfato de sódio 0,05 M pH 6. A atividade de PPO foi definida com o aumento de uma unidade de absorbância por minuto/mL.

4.3.3. Efeito da temperatura na atividade da enzima Peroxidase (POD)

O meio de reação para determinação da atividade enzimática da Peroxidase descrito no item 4.3.2. foi incubado a 20, 30, 40, 50 e 60 °C por 10 minutos. Em seguida a reação foi acompanhada durante 5 minutos em espectrofotômetro (Bel Photonics 2000 UV) a 470 nm.

4.3.4. Efeito da temperatura na atividade da enzima Polifenoloxidase (PPO)

O meio de reação para determinação da atividade enzimática da Polifenoloxidase descrito no item 4.3.2. foi incubado a 20, 30, 40, 50 e 60 °C por 10 minutos. Em seguida a reação foi acompanhada durante 5 minutos em espectrofotômetro (Bel Photonics 2000 UV) a 470 nm.

4.3.5. Cor instrumental

A análise de cor foi realizada utilizando o colorímetro da marca Konica-Minolta CM-5 no modo reflectância, sendo utilizada a escala de cor do sistema CIELAB utilizando as coordenadas retangulares de cor L* (luminosidade), a* (intensidade de vermelho e verde) e b* (intensidade de amarelo e azul) .

A partir das coordenadas L*, a* e b* obtidas, foram calculadas as diferenças totais de cor para cada tratamento sendo comparadas à coloração da polpa sem tratamento. Para o cálculo foi utilizada a Equação 2.

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$
 Equação 2: Cálculo da diferença de cor das amostras.

Além disso, utilizando os valores das coordenadas a^* e b^* , foram calculados os valores de C^* (saturação de cor) e H^* (ângulo de tonalidade) de acordo com as Equações 3 e 4.

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$H^* = \arctan(b^*/a^*)$$

Equação 3: Cálculo da saturação de cor.

Equação 4: Cálculo do ângulo de tonalidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização físico-química

As amostras de açaí foram caracterizadas quanto ao teor de água, pH, acidez titulável e lipídios. Os valores encontrados estão apresentados na Tabela 2.

Como na literatura ainda não é possível encontrar trabalhos com a polpa de açaí Jussara, em alguns casos, os resultados obtidos foram comparados com sucos de frutas que apresentam em sua composição as enzimas peroxidase e polifenoloxidase.

Tabela 2 - Médias e desvios padrão dos teores de água, pH, acidez titulável e lipídios da polpa de açaí (*Euterpe edulis*) com e sem tratamento

Tratamentos	Teor de água (%)**	pH *	Acidez titulável (% ácido cítrico)*	Lipídio (%) ^{ns}
Controle	90,71 ± 1,25 ^a	5,12 ± 0,20 ^{ab}	0,25 ± 0,03 ^{ab}	33,78 ± 0,53 ^a
US20 °C	91,21 ± 0,17 ^a	5,03 ± 0,19 ^{ab}	0,27 ± 0,03 ^{ab}	33,63 ± 1,59 ^a
US30 °C	91,10 ± 0,36 ^a	4,81 ± 0,09 ^a	0,32 ± 0,02 ^a	31,72 ± 4,36 ^a
US40 °C	89,66 ± 0,23 ^{ab}	4,93 ± 0,03 ^{ab}	0,28 ± 0,04 ^{ab}	33,74 ± 1,43 ^a
US50 °C	91,27 ± 0,67 ^a	5,20 ± 0,10 ^a	0,23 ± 0,02 ^{ab}	34,76 ± 0,33 ^a
US60 °C	87,94 ± 1,16 ^b	5,24 ± 0,12 ^a	0,25 ± 0,01 ^{ab}	37,64 ± 5,68 ^a
Tratamento térmico	91,55 ± 1,18 ^a	5,09 ± 0,13 ^{ab}	0,19 ± 0,08 ^b	34,60 ± 0,97 ^a

Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não apresentaram diferença significativamente pelo teste de Tukey.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0.01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0.01 \leq p < 0.05$)

^{ns} não significativo ($p \geq 0.05$)

Os valores de teor de água, pH e lipídios das amostras não apresentaram diferença significativa após serem submetidos aos tratamentos, termossônica e tratamento térmico, como mostrado na Tabela 2. O tratamento com ultrassom e

tratamento térmico (90 °C) aplicados durante 10 minutos não foram eficientes para gerar alterações pronunciadas nessas características físico-químicas, mantendo-as estatisticamente semelhantes às obtidas para amostra controle.

Comparando os resultados deste estudo com os limites estabelecidos para polpas de açaí *Euterpe oleracea* pela Instrução normativa nº 1 de 7 de janeiro de 2000 do MAPA, devido ao fato de não existir legislação vigente para os frutos de Jussara, percebe-se que os dados encontrados estão de acordo com a legislação que define valores de pH entre 4,0 a 6,2, lipídios de 20 a 60 g/100g, e acidez de 0,27 a 0,45 g/100g.

O teor de água manteve-se por volta de 90 %, valor próximo ao apresentado na Tabela TACO (2011) (88 %) e encontrado por Guimarães e Mascigrande (2011) (90,22%).

Foram encontrados pHs próximos a 5,0 para todas as amostras, caracterizando a polpa em alimento pouco ácido. De Castro (2012) encontrou valores semelhantes ao adquirir e despolpar frutos de *E. edulis*. Zafra-Rojas et al. (2013) ao tratar suco de pêra com ultrassom não encontraram efeito significativo nos valores de pH ao alterar o tempo de aplicação (10 a 25 minutos) e amplitude das ondas. Tiwari et al. (2008), Tiwari et al. (2009) e Adekunte et al. (2010) assim como neste estudo, não observaram diferença significativa nos valores de pH ao tratar ultrassonicamente sucos de limão, laranja e tomate, respectivamente.

Quanto à acidez titulável total presente na amostra analisada, apenas o tratamento com ondas ultrassônicas em banho a 30 °C apresentou diferença significativa ao nível de 5 % de probabilidade do tratamento térmico (90 °C / 10 min).

Adekunte et al. (2010) não observaram diferença significativa na acidez ao tratar suco de tomate a 20 kHz por 2 a 10 minutos. De Castro (2012) observou um aumento na acidez após tratar a polpa de *Euterpe edulis* a 100 °C por 5 s.

Sabe-se que o açaí é considerado um alimento energético devido ao elevado teor de lipídios presentes. Este componente fornece cerca de 90 % das calorias presentes na polpa (ROGEZ, 2000). Neste estudo, foram observados teores próximos a 33 % de lipídios, que não se diferiram significativamente após a aplicação dos tratamentos.

Segundo Borges et al. (2011) os ácidos oleico e linoleico são os ácidos graxos predominantes no açaí, que contém de 18,45 - 44,08% de lipídios. O

conteúdo de lipídio no açaí Jussara é maior que o encontrado em outras espécies, como o *Euterpe oleracea* (DE SOUZA et al., 2014).

Gordon et al. (2012) ao analisarem espécies *Euterpe oleracea* e *Euterpe edulis*, afirmam que o teor de lipídios é alterado com o estágio de maturação do fruto. Os frutos maduros apresentam maior quantidade de lipídios (SCHULZ et al., 2015), o que pode justificar a variação dos resultados encontrados na literatura.

Os resultados das características físico-químicas obtidos podem ser alterados com as condições do tratamento, como frequência, intensidade de som (potência) e, ou, tempo de exposição em banho ultrassônico. Quanto menor a frequência ultrassônica, maiores as bolhas formadas, maior a energia liberada (POVEY e MASON, 1998), portanto, supõe-se que modificando a frequência aplicada, as características obtidas poderão também sofrer alterações.

Sabendo que os açúcares são os sólidos presentes em maior quantidade em polpa de frutas e sucos, foram quantificados açúcares redutores totais. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Médias e desvio padrão de mg de glicose/100g de amostra obtidos para polpas controle e tratadas.

Tratamentos	Açúcar redutor ** (mg de glicose/ 100g)
Controle	1,51 ± 0,32 ^a
US20°C	0,47 ± 0,07 ^b
US30°C	0,70 ± 0,06 ^b
US40°C	0,57 ± 0,05 ^b
US50°C	0,43 ± 0,02 ^b
US60°C	0,51 ± 0,06 ^b
Tratamento térmico	0,59 ± 0,26 ^b

Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não apresentaram diferença significativamente pelo teste de Tukey.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

Foi encontrado 1,51 % de açúcares redutores para polpa de Jussara, enquanto para polpa de *Euterpe oleracea* Mart., Oliveira e Santos (2011) encontraram 1,23 %, provando que ambas as espécies apresentam teores próximos de açúcares redutores totais.

Observando a Tabela 3 pode-se perceber que independente do tratamento aplicado à polpa de açaí Jussara houve redução nos teores de açúcares redutores totais comparando à polpa sem tratamento.

Estudos como de Cheng et al. (2007), que aplicaram ondas ultrassônicas com frequências de 35 kHz para tratar suco de goiaba, e Zafra-Rojas et al. (2013), que trataram suco de pêra sonicamente, não apresentaram alterações nos teores de sólidos solúveis, resultados que estão em divergência com os teores de açúcares redutores encontrados neste estudo.

O Ultrassom possui a capacidade de extrair os açúcares, pois, a cavitação gera a ruptura da parede celular e com isso há um aumento da transferência de massa (MASON, PANIWNYK e LORIMER, 1996). Acredita-se que esse fator pode ter interferido na determinação dos açúcares redutores pelo método DNS, visto que neste método há a reação do reagente DNS convertendo os açúcares que estão na forma reduzida para forma oxidada. Assim, os açúcares extraídos durante os tratamentos podem reagir com outros compostos ou mesmo não conseguirem entrar em contato com o reagente DNS para serem determinados.

5.2. Antocianinas e Compostos Fenólicos

Na Figura 7 estão apresentados os valores obtidos (mg/100g de amostra) para os compostos antocianinas e fenólicos.

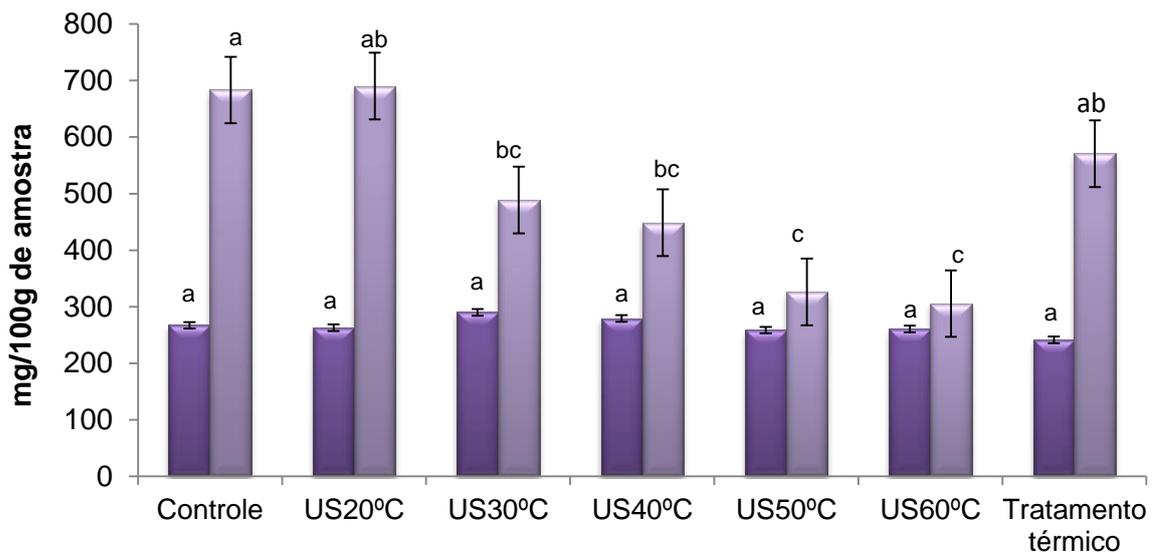


Figura 7- Teores de antocianina (■) e compostos fenólicos (■) da polpa de açai com e sem tratamento.

Os valores de antocianinas das amostras (240 a 290 mg/100 g amostra) não sofreram variação significativa com os tratamentos. No tratamento no qual ultrassom foi aplicado a 30 °C houve um aumento no teor de antocianinas extraídas, enquanto no tratamento térmico isolado houve degradação de 9 %, porém estes valores não apresentaram diferença estatística dos demais pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Assim como neste estudo, Tiwari et al. (2009) observaram que antocianinas apresentam um elevado grau de estabilidade à sonicação ao tratar suco de amora com ultrassom a 20 kHz por tempo de 0 a 10 minutos. Tiwari et al. (2010) observaram retenção nos teores de antocianinas ao tratar suco de uva com ultrassom com frequência constante de 20 kHz e pulsos com durações de 5 segundos.

Segundo Pompeu et al. (2009) as antocianinas estão localizadas nos vacúolos na forma solúvel ou ligada. Assim, a remoção de oxigênio dos espaços intracelulares devido a aplicação de calor facilita a extração de antocianinas na polpa de açai. Isto pode explicar a manutenção deste componente quando a polpa foi tratada termicamente, visto que esperava-se uma redução pronunciado devido ao fato deste componente ser facilmente degradado pelo calor. Portanto, acredita-se

que o aumento da extração superou a degradação durante o tratamento térmico.

Comprovando os fatores citados, Schultz (2008), afirma ter observado aumento na extração de antocianinas após pasteurizar polpa de açaí *Euterpe edulis*.

Para os compostos fenólicos, observou-se redução deste componente quando a polpa foi tratada em banho ultrassônico à 30, 40, 50 e 60 °C, enquanto a aplicação de ultrassons à 20 °C não gerou alteração significativa deste componente ao se comparar com os resultados obtidos para polpa sem tratamento.

Dubrovic et al. (2011) e Rawson et al. (2011) estudaram a aplicação de ultrassons em suco de morango e melancia, respectivamente, e encontraram redução nos teores de compostos fenólicos após os tratamentos.

Provavelmente a redução observada no conteúdo de fenólicos quando a polpa foi tratada pela termossônica pode estar relacionada à formação de radicais livres (WAN et al., 2005). Além disso, vapor de água ou demais gases (O₂ e N₂, provenientes dos alimentos) que favorecem a degradação oxidativa dos fenólicos podem ser liberados após a implosão das bolhas de cavitação (DUBROVIC et al., 2011).

5.3. Enzimas

Os resultados para a atividade das enzimas, peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) encontrada após os tratamentos aplicados à polpa de açaí, estão expostos na Figura 8.

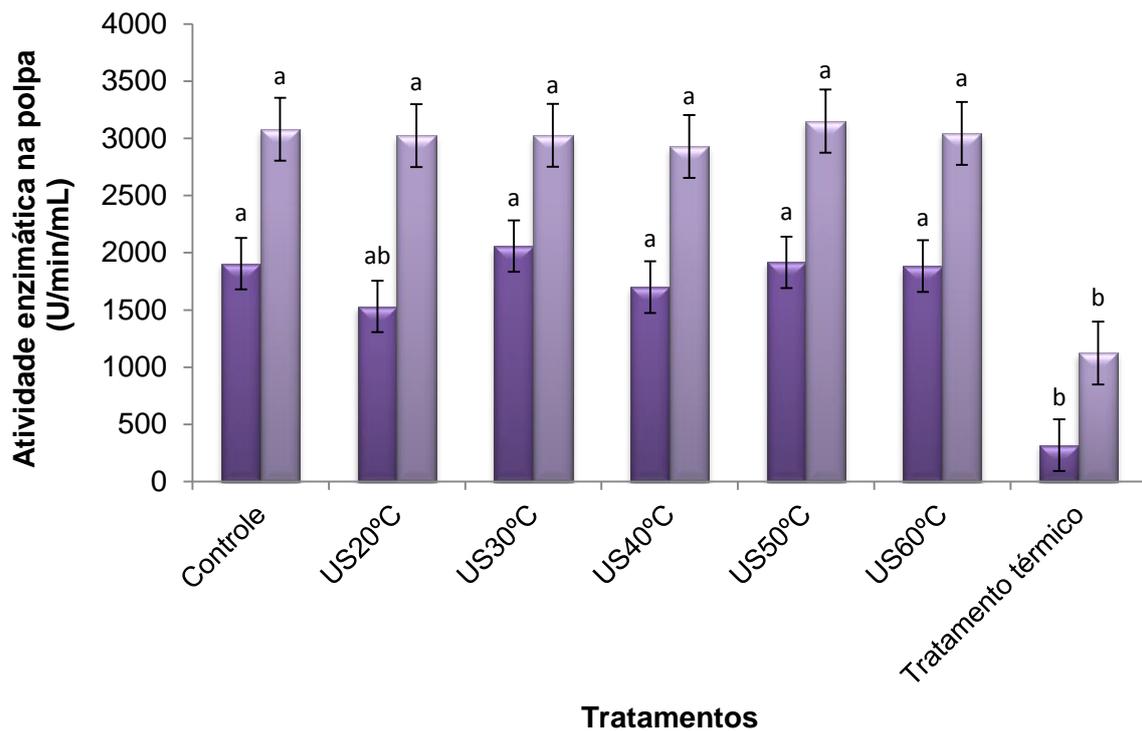


Figura 8 - Atividade enzimática da Peroxidase (■) e Polifenoloxidase (■) da polpa de açai com e sem tratamento

Independente das temperaturas na qual as ondas ultrassônicas foram aplicadas não foi observado diferença significativa na atividade das enzimas polifenoloxidase e peroxidase naturalmente presentes na polpa de açai Jussara, apenas foi obtida redução significativa na atividade destas enzimas com o tratamento térmico (90 °C/10min).

Analisando-se o teste de média, observa-se que a atividade enzimática da enzima peroxidase após tratamento de ultrassom a 20 °C não se diferenciou estatisticamente da atividade desta mesma enzima quando se aplicou o tratamento térmico. Assim, pode-se afirmar que nessas condições (Ultrassom de 25 kHz à 20 °C) é possível obter redução na atividade desta enzima, como no tratamento térmico.

A inativação enzimática pela aplicação de ultrassom ocorre devido à formação de radicais livres na reação de sonólise e por efeito físico, pelo colapso das bolhas de cavitação. Porém, a eficiência do ultrassom sobre o alimento é influenciada por fatores como pH, sólidos solúveis e viscosidade, sendo estes barreiras que

dificultam a difusão das ondas e assim a formação de bolhas de cavitação (BERMUDEZ- AGUIRRE et al., 2011; SÃO JOSÉ et al., 2014).

A temperatura ótima da peroxidase e polifenoloxidase presentes na polpa de açaí Jussara está na faixa de 20 °C (como mostrado na Figura 9), pois nesta condição é possível observar maior atividade da enzima.

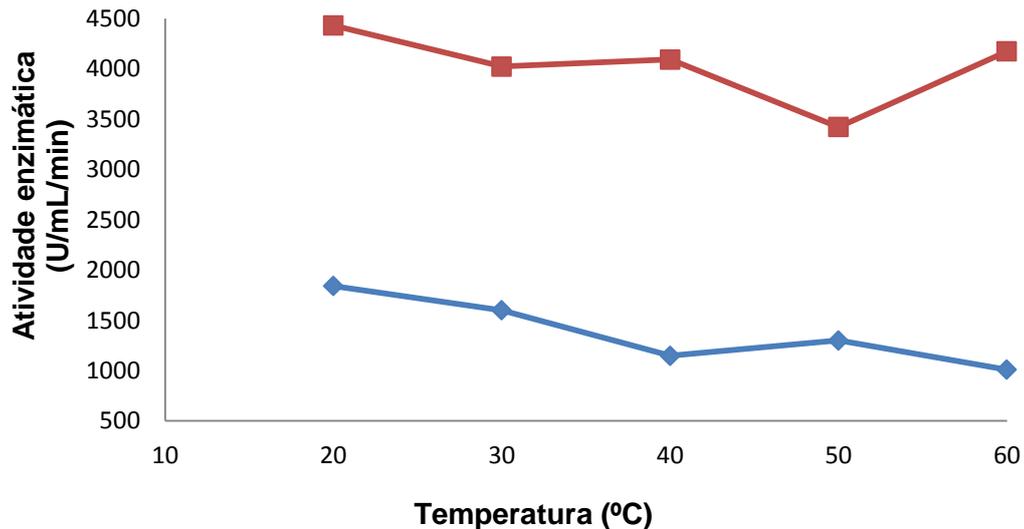


Figura 9 - Efeito da temperatura na atividade enzimática de peroxidase (◆) e polifenoloxidase (■).

Em outro trabalho, Santos (2001) encontrou atividade máxima da polifenoloxidase em temperatura na faixa entre 40-45 °C em tampão fosfato pH 6, e atividade máxima da peroxidase em temperatura de 45 °C e pH 5,0 em açaí (*E. oleracea*).

Em trabalho utilizando ameixa Rubimel, a temperatura ótima encontrada para as enzimas polifenoloxidase foi de 30 a 35 °C em pH 6,5 e para peroxidase 40 °C em pH 4,0 (PAZ, 2010).

A partir dos resultados encontrados, foi elaborado um néctar de açaí (30%) que foi tratado de maneira semelhante à polpa, para assim, verificar se havia diferença na atividade enzimática residual. Os valores obtidos estão apresentados na Figura 10.

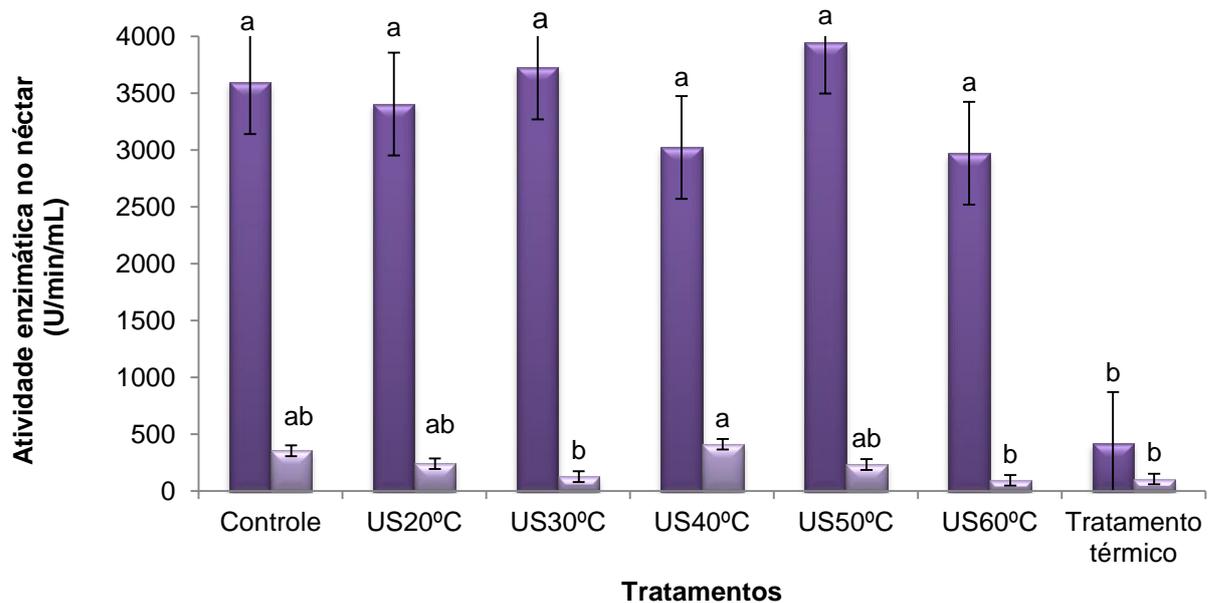


Figura 10 - Atividade enzimática da Peroxidase (■) e Polifenoloxidase (■) no néctar de açá com e sem tratamento.

Para a enzima peroxidase presente no néctar, o tratamento térmico reduziu mais de 90 % a atividade, enquanto a atividade desta mesma enzima tratada com ultrassom não se diferenciou estatisticamente da amostra controle, independente da temperatura aplicada (Figura 10).

Analisando a atividade da enzima polifenoloxidase presente no néctar, observa-se que nenhum dos tratamentos apresentou diferença estatística da amostra controle.

Além das características físico-químicas que interferem no efeito que as ondas sonoras podem provocar, Ozbek e Ulgen (2000) afirmam que o mecanismo de inativação por sonicação é específico para cada enzima, e isso depende da composição de aminoácidos e da estrutura conformacional.

Outro fator que pode justificar a baixa inativação enzimática pela combinação de ultrassom com temperaturas moderadas é o tipo de sonicação aplicada, como a utilização de banho ultrassônico ou por sonda. O equipamento de banho, normalmente consome baixa quantidade de energia com a finalidade de evitar danos cavitacionais à parede do reservatório e, conseqüentemente a energia propagada é menor (CHENG et al., 2007).

Existem compostos fenólicos ligados à parede celular (ESCARPA e GONZALEZ, 2001) e estes, podem ser liberados devido à ruptura da parede causada pela implosão das bolhas de cavitação durante o tratamento de sonicação. Sabendo-se que a polifenoloxidase e peroxidase oxidam compostos fenólicos e polimerizam quinonas com a formação das substâncias escuras, aumentando a quantidade destas substâncias ao meio poderá aumentar também a atividade da enzima.

Além disso, as próprias enzimas podem ser encontradas ligadas à parede celular. Quando esta é rompida há um aumento global na quantidade de enzimas que podem ser identificadas pelo método espectrofotométrico, sugerindo a ativação.

Comparando os resultados obtidos com os de outros estudos, observa-se que demais autores também encontraram diferentes efeitos, ativação e inativação, para as mesmas enzimas ao aplicar o tratamento de ultrassom.

Silva et al. (2015) afirmaram que o tratamento com ultrassom não foi eficiente para inativar POD e PPO de suco e pedaços de maçã. Os mesmos autores observaram um aumento da atividade à medida que se aumentou o tempo de processamento e a potência ultrassônica aplicada, mostrando a importância destes parâmetros para a eficiência do tratamento.

Cheng et al. (2007) ao combinar ultrassom com carbonatação no tratamento de suco de goiaba verificaram a ativação da polifenoloxidase. Baslar e Ertugay (2013) observaram uma taxa de ativação de 20 % ao tratar maçãs com ultrassom e temperaturas de 20 a 60 °C.

Saeeduddin et al. (2015) trataram suco fresco de pêra com ultrassom e temperaturas por 10 minutos, utilizando equipamento de sonda com frequência de 20 kHz e potência de 750 W, à 25, 45 e 60 °C e observaram um aumento na inativação da POD e PPO à medida que se aumentou a temperatura. Os mesmos autores afirmaram que o ultrassom e a temperatura atuam sinergicamente.

5.2. Cor

A cor, além de ser um atributo de importância para aceitação dos alimentos, também é considerado um indicador de qualidade. Para sua determinação, utilizou-se a escala de cor CIELAB ou CIE $L^*a^*b^*$, recomendada em 1976 pela CIE.

A coordenada L^* apresenta valores de luminosidade que variam de 0 (preto) a 100 (branco), a coordenada a^* varia de verde (- 60) ao vermelho (+ 60), e a b^* varia entre azul (- 60) e amarelo (+ 60). Enquanto C^* representa a intensidade e h^* o ângulo de tonalidade (RAMOS e GOMIDE, 2007).

Os valores obtidos para as coordenadas de cor L^* , a^* , b^* , c^* e h^* , e os resultados para índice de escurecimento estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros de cor L^* , a^* , b^* , c^* , h^* e ΔE e obtidos para polpa de açaí controle e tratadas com termostonicação e tratamento térmico

Tratamentos	L^* ^{ns}	a^* ^{ns}	b^* ^{ns}	C^* ^{ns}	h^* ^{ns}	ΔE
Controle	11,03	5,87	- 1,16	6,20	337,57	-
US20	10,36	6,48	- 0,82	6,58	351,44	0,96
US30	15,16	5,94	- 0,59	6,00	356,87	0
US40	11,56	6,35	- 0,95	6,49	350,50	0
US50	13,20	5,62	- 1,06	5,74	349,14	4,17
US60	12,49	7,24	- 0,54	7,27	345,55	0
Tratamento térmico	14,24	4,28	- 0,58	4,56	341,62	0

^{ns} não significativo ($p \geq 0.05$)

Analisando os resultados para as coordenadas de cor (L^* , a^* , b^* , C e H) observou-se que os tratamentos aplicados não influenciaram significativamente a cor da polpa de açaí, ou seja, a cor do produto não foi alterada mantendo-se estatisticamente igual à da amostra controle.

Aday et al. (2013) não observaram diferença significativa nos parâmetros L^* e a^* entre morangos tratados com ultrassom à 25 kHz e morangos sem tratamento.

O índice de escurecimento (ΔE) das amostras tratadas foi obtido a partir dos valores de ΔL^* , Δa^* , Δb^* sendo que se assumiu a amostra controle como padrão. Foi observado que apenas o tratamento de ultrassom a 20 °C e a 50 °C apresentaram diferença global de cor. Porém, essa diferença não é visualmente percebida. Ramos e Gomide (2007), afirmam que apenas diferenças superiores à 5 podem ser facilmente percebidas pelo olho humano, valor superior ao encontrado neste trabalho.

Tiwari et al. (2008) e Cheng et al. (2009) afirmam que a cavitação gerada durante a sonicação pode contribuir na alteração da cor de sucos. Porém, efeito contraditório foi obtido. Esse efeito pode ser justificado pelo fato da sonicação auxiliar no aumento de extração de antocianina, que são os principais pigmentos presentes na polpa de açaí, conseguindo com isso a manutenção da cor natural do produto.

6. CONCLUSÕES

A tecnologia do ultrassom de banho, combinado com temperaturas medianas, foi aplicada à polpa de açaí e demonstrou capacidade manter características como pH, acidez, cor, teor de água, lipídios e antocianinas que são de grande interesse para os consumidores do produto, comprovando que esta tecnologia é capaz de manter a qualidade do produto natural.

Além disso, foi observado que o ultrassom de banho com frequência de 25 kHz aplicado à 20 °C é capaz de atuar na redução da atividade da enzima peroxidase igualmente ao tratamento térmico, mantendo ainda as características físico-químicas do produto.

Entretanto, acredita-se que fatores como componentes químicos dos alimentos interferem na propagação de energia e geração da cavitação, assim como, o tipo de enzima estudada possui resistência às condições ultrassônicas aplicadas.

Assim, sugere-se que sejam estudadas demais formas de reduzir os interferentes à propagação das ondas ultrassônica, ou, verificar a aplicação ultrassom de sonda com variações de amplitude, potência e tempo para se obter maior porcentagem de inativação com a termossonicação.

7. REFERENCIAS

- ADAMS, J.B., Regeneration and the kinetics of peroxidase inactivation, **Food Chemistry**, v. 60, n.2, p. 201-206, 1997.
- ADEKUNTE, A. O.; TIWARIB, B.K.; CULLENC, P.J.; SCANNELLD, A.G.M.; O'DONNELLA, C.P. Effect of sonication on colour, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice. **Food Chemistry**, v. 122, n. 3, p. 500 - 507, 2010.
- ALEXANDRE, D.; CUNHA, R. L.; HUBINDER, M.D. Conservação do açaí pela tecnologia de obstáculos. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 1, 2004.
- AGUILO´-AGUAYO, I.; SOBRINO-LÓPEZ, Á.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MARTÍN-BELLOSO, O. Influence of high-intensity pulsed electric field processing on lipoxygenase and b-glucosidase activities in strawberry juice. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 9, n. 4, p. 455 - 462, 2008.
- ANTHON, G. E. e BARRETT, D. M. Kinetic parameters for the thermal inactivation of quality-related enzymes in carrots and potatoes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 14, p. 4119–4125. 2002.
- ARAÚJO J. M. A. **Química de Alimentos, Teoria e Prática**, 15 ed. Ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2011.
- ARZENI, C., MARTÍNEZ, K., ZEMA, P., ARIAS, A., PÉREZ, O. E., & PILOSOFF, A. M. R. Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality. **Journal of Food Engineering**, v. 108, n. 3, p. 463-472. 2012.
- AWAD, T.S. ; MOHARRAM, H.A.; SHALTOUT, O.E. ; ASKER, D. ; M.M. Youssef. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. **Food Research International**, v. 48, p. 410–427. 2012.
- AWUAH, G. B.; RAMASWAMY, H. S. e ECONOMIDES, A. Thermal processing and quality: principles and overview. **Chemical Engineering and Processing**, v. 46, p. 584 – 602, 2007.
- BASLAR, M., ERTUGAY, M.F. The effect of ultrasound and photosonation treatment on polyphenoloxidase (PPO) activity, total phenolic component and colour of apple juice. **International Journal of Food Science & Technology**. V. 48, p. 886–892, 2013.
- BERMÚDEZ-AGUIRRE, D., MOBBS, T., BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Ultrasound applications in food processing. **Ultrasound technologies for food and bioprocessing**. 2011.
- BIRMPA, A., SFIKA, V., VANTAKARIS, A. Ultraviolet light and ultrasound as non thermal treatments for inactivation of micro-organisms in fresh ready-to-eat foods. **International Journal of Food Microbiology**, v. 167, n. 1, p. 96 -102, 2013.

BORGES, G. S. C. **Caracterização química e avaliação da atividade antioxidante *in vitro* de frutos de Jussara (*Euterpe edulis*)**. 2010. 119f. Dissertação (mestrado em Ciências dos Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

BORGES, G.S.P. et al. Optimization of the extraction of flavanols and anthocyanins from the fruit pulp of *Euterpe edulis* using the response surface methodology. **Food Research International**, v. 44, p. 708-715, 2011.

BORGES, G. S. C. **Determinação de compostos bioativos e avaliação da atividade antioxidante das diferentes frações dos frutos de Jussara (*Euterpe edulis* Mart.) cultivados no estado de Santa Catarina**. 2013. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa nº 01, de 7 de Janeiro de 2000: **Regulamento técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de fruta**, 2000.

CAO, S., HU, Z., PANG, B., WANG, H., XIE, H., WU, F. Effect of ultrasound treatment on fruit decay and quality maintenance in strawberry after harvest. **Food Control**, v. 21, n. 4, p. 529 – 532, 2010.

CARNEIRO, F. R. B. D. **Conservação de polpa de açaí por métodos combinados**, 2000. 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas, 2000.

CASTRO, A. **O extrativismo do açaí na Amazônia central**. In: A floresta em jogo. Editora científica Laure Emperaira. São Paulo: editora UNESP: Imprensa Oficial do Estado, 2012.

CASTRO, R. W. **Caracterização de açaí obtido de frutos de *Euterpe edulis* Martius tratados termicamente**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Título de Engenheiro Agrônomo) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CHENG, L. H., SOH, C. Y., LIEW, S. C., TEH, F. F. Effects of sonication and carbonation on guava juice quality. **Food Chemistry**, v. 104, p. 1396-1401. 2007.

CHEMAT, F.; HUMA, Z.; KHAN, M. K. Application of ultrasound in food technology: Processing preservation and extraction. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 18, p. 813-835, 2011.

CLEMENTE, E.; PASTORE, G. M. Peroxidase and polyphenoloxidase, the importance for food technology. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 32, n. 2 p. 167- 171, 1998.

CLERICI, M. T. P. S.; SEBASTIÃO, R. H.; OLIVEIRA, L. C.; DOS SANTOS, M. L.; MORAES, A. L. L.; CLARETO, S. S. Escurecimento enzimático: uma aula prática. **Revista de ensino de bioquímica**. v. 12, n. 2, 2014.

CONCELLÓN, A.; AÑÓN, M. C.; CHAVES, A. R. Characterization and changes in polyphenol oxidase from eggplant fruit (*Solanum melongena* L.) during storage at low temperature, **Food Chemistry**, v. 88, p.17-24, 2004.

CONDÓN, S. RASO, J. PAGÁN, R. Microbial inactivation by ultrasound. In: BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; TAPIA, M. S.; CANO, M. P. **Novel food processing technologies**. 2ª ed. Boca Raton: Editora CRC Press, cap. 19, p. 423-442, 2005.

CRUZ, R. M. S., VIEIRA, M. C., SILVA, C. L. M. Effect of heat and thermosonication treatments on peroxidase inactivation kinetics in watercress (*Nasturtium officinale*). **Journal of Food Engineering**, v. 72, n.1, p. 8 – 15, 2006.

DEL- POZO INSFRAN, D., TALCOTT, S.; BRENES, C. H. Phytochemical composition and pigment stability of Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p. 1539-1545, 2004.

DE CASTRO, R. W. **Caracterização de açaí obtido de frutos de *Euterpe edulis* Martius tratados termicamente**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo; Centro de Ciências Agrárias; Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

DE PAULA, G. A. **Caracterização físico-química e estudo do escurecimento enzimático em produtos derivados de açaí (*Euterpe Oleracea* mart.)**. 2007. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará, Ceará. 2007.

DE SOUZA, V.R., PEREIRA, P.A., DA SILVA, T.L., DE OLIVEIRA LIMA, L.C., PIO, R., e QUEIROZ, F. Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. **Food Chemistry**, v. 156, p. 362–368, 2014.

DO NASCIMENTO, R. J. S.; COURI, S.; ANTONIASSI, R.; FREITA, S. P. Composição em ácidos graxos do óleo da polpa de açaí extraído com enzimas e com hexano. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 2008.

DUBROVIC, I., HERCEG, Z., JAMBRAK, A. R., BADANJAK, M., DRAGOVIĆ-UZELAC, V. Effect of high intensity ultrasound and pasteurization on anthocyanin content in strawberry juice. **Food Technology and Biotechnology**, n. 49, p. 196–204, 2011.

ESCRIBANO, J.; CABANES, J.; CHAZARRA, S.; GARCIA-CARMONA, F.; Characterization of monophenolase activity of table beet polyphenol oxidase. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** v. 45, p. 4209-4214, 1997.

ESCARPA, A., GONZALEZ, M. C. Approach to the content of total extractable phenolic compounds from different food samples by comparisons of chromatographic and spectrophotometric methods. **Analytica Chimica Acta**, 2001.

FANELLI, L. A.; TATTO, N. L; GOMES, E. P. C; OLIVEIRA JUNIOR, C J. F. Incentivos e impedimentos na conservação de *Euterpe edulis* em comunidades

quilombolas do Vale do Ribeira. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, RS, v. 7, n. 2, p. 51-62, 2012.

FARIAS, M. **Reinventando a relação humano - *Euterpe edulis***: do palmito ao açaí. 2009. 85f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

FAVRETO, R. **Aspectos etnoecológicos e ecofisiológicos de *Euterpe edulis* Mart. (*Arecaceae*)**. 2010. 144 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

FENG, H. e YANG, W. Power ultrasound. In Y. H. Hui (Ed.), **Handbook of Food Science, Technology and Engineering**. New York: CRC Press, p. 3632, 2005.

FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. Anthocyanins as food color. **New York: Academic Press**, p. 181-207, 1982.

FREITAS, A. A. de; FRANCELIN, M. F.; HIRATA, G. F.; CLEMENTE, E.; SCHMIDT, F. L. Atividades das enzimas peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) nas uvas das cultivares benitaka e rubi e em seus sucos e geleias. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 28, n. 1, p. 172-177, 2008.

GABRIEL, A. A. Microbial inactivation in cloudy apple juice by multi-frequency Dynashock power ultrasound. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 19, n. 2, p. 346 -351, 2012.

GALENDE, P. P.; MUNOS, T. M.; ROIG, M. G.; DE MARIA, C. G. Use of crude extract of lentil plant (*Lens Culinari Medikus*) in peroxidase-based analyses; fast kinetic determination of hydrogen peroxide and sarcosine in urine. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**. v. 404, n. 8, p. 2377-2385, 2012.

GAMBOA-SANTOS, J.; MONTILLA, A.; SORIA, A. C.; VILLAMIEL, M. Effects of conventional and ultrasound blanching on enzyme inactivation and carbohydrate content of carrots. **European Food Research and Technology**, p. 1071-1079, 2012.

GARCIA, E.; BARRET, D. M. Fresh-cut fruits. Processing fruits: science and technology. **CRC Press**, 2005.

GUIMARÃES, D. H. P.; MASCIGRANDE, D. D. Polpas de Jussara e Açaí: diferenças reológicas em função da temperatura e teor de sólidos suspensos. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v.4, n.1, p.169–181, 2011.

HENDERSON, A. The genus *Euterpe* in Brazil. In: *Euterpe edulis* Martius – (Palmito) biologia, conservação e manejo. Editores: Maurício Sedrez dos Reis, Ademir Reis. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 2000.

HOMMA, A. K. O., et al. Açaí: novos desafios e tendências. **Amazônia: Ciência & desenvolvimento**. Belém, v. 1, n. 2, p. 7-23, 2006.

HONZEL, D., CARTER, S. G., REDMAN, K. A., SCHAUSS, A. G., ENDRES, J. R., & JENSEN, G. S. Comparison of chemical and cell-based antioxidant methods for evaluation of foods and natural products: Generating multifaceted data by parallel testing using erythrocytes and polymorphonuclear cells. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2008.

HUNTERLAB. **Applications Note**: CIELCh Color Scale. v. 8, n. 11, 2008.

IADEROZA, M.; BALDINI, V.L.S.; DRAETTA, S.E.; BOVI, M.L.A. Antocyanins from fruits of açai (*Euterpe oleracea* Martius) and Jussara (*Euterpe edulis* Martius). **Tropical Science**, v. 32, p.41-46, 1992.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**, 4ª ed. Brasília, 2005.

JENSEN, G. S., WU, X., PATTERSON, K. M., BARNES, J., CARTER, S. G., SCHERWITZ, L., et al. In vitro and in vivo antioxidant and anti-inflammatory capacities of an antioxidant-rich fruit and berry juice blend. Results of a pilot and randomized, double-blinded, placebo-controlled, crossover study. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2008.

KHAN, A. A.; ROBINSON, D.S. Hydrogen donor specificity of mango isoperoxidases. **Food Chemistry**, Londres, v. 49, n. 4, p. 407-410, 1994.

KENTISH, S., ASHOKKUMAR, M. The physical and chemical effects of ultrasound. **Ultrasound technologies for food and bioprocessing** , 2011.

KNORR, D., FROEHLING, A., JAEGER, H., REINEKE, K., SCHLUETER, O., SCHOESSLER, K. Emerging technologies in food processing. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 2,p. 203–235. 2011.

KULDILOKE, J. Effect of ultrasound, temperature and pressure treatments on enzyme activity and quality indicators of fruit and vegetable juices. **Technical University of Berlin**, 2002.

LEITMAN, P.; HENDERSON, A.; NOBLICK, L.; MARTINS, R.C. Arecaceae. In **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2013. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB15712>> Acesso em: 20 set. 2015.

LIANGFU, Z.; ZELONG, L. Optimization and comparison of ultrasound/microwave assisted extraction (UMAE) and ultrasonic assisted extraction (UAE) of lycopene from tomatoes. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 15, p. 731-737, 2008.

LOPES, A. S. **Pitanga e acerola: estudo de processamento, estabilidade e formulação de néctar misto**. 2005. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

LÓPEZ, P.; SALA, F. J., DE LA FUENTE, J. L., CONDON, S., RASO, J.; BURGOS, J. Inactivation of peroxidase, lipoxygenase and polyphenol oxidase by

manothermosonication. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 42, p. 252 e 256, 1994.

LÓPEZ-NICOLÁS, J. M.; PÉREZ-LÓPEZ, A. J.; CARBONELL-BARRACHINA, A.; GARCIA-CARMONA, F. Use of natural and modified cyclodextrins as inhibiting agents of peach juice enzymatic browning. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.55, n.13, p. 5312- 5319, 2007.

LOPEZ, P., VERCET, A., SANCHEZ, A. C., BURGOS, J. Inactivation of tomato pectic enzymes by manothermosonication. **Zeitschrift fur Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung**, v. 207, p. 249 - 252. 1998.

LORENZI, H.; BACHER, L.; LACERDA, M. **Frutas brasileiras e exóticas cultivadas (de consumo in natura)**. São Paulo. Instituto Plantarum de Estudos da Flora. 1 ed. 640 p. 2006.

LU, J.; DU, X.; LIPSCOMB, G. Cleaning Membranes with Focused UltrasoundvBeams for Drinking Water Treatment, **International Ultrasonics Symposium Proceedings**, p. 1195-1198, 2009

MAC FADDEN, J. **A produção de açaí a partir do processamento dos frutos do palmitero (*Euterpe edulis Martius*) na Mata Atlântica**. 2005. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MALACRIDA, C. R., DA MOTTA, S. Antocianinas em suco de uva: composição e estabilidade. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 24, n. 1, p. 59-82. 2006

MANTOVANI, A.; MORELLATO, L.P.C. Fenologia da Floração, frutificação, mudança foliar e aspectos da biologia floral do palmitero. In: M. S. REIS & A. REIS (Eds.). **Euterpe edulis Martius – (Palmitero) biologia, conservação e manejo**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, p.23-38, 2000.

MARTINELLI G., MORAES, M. A. **Livro vermelho da flora do Brasil**. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, p. 1100, 2013.

MARTINEZ, M.V., WHITAKER, J.R. The biochemistry and control of enzymatic browning. Review. **Trends In Food Science & Technology**, v. 6, p. 195-200. 1995.

MASON, T. J. **Practical sonochemistry user's guide to application in chemistry and chemical engineering**. New York: Ellis Horwood,1991.

MASON, T. J.; PANIWNYK, L.; LORIMER, J. P. The uses of ultrasound in food technology. **Ultrasonics Sonochemistry**, Amsterdam, v. 3, n. 3, p. S253-S260, 1996.

MAÑAS, P.; MUNOZ, B.; SANZ, D.; CONDO´ N, S. Inactivation of lysozyme by ultrasonic waves under pressure at different temperatures. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 39, n. 6, p. 1177 – 1182, 2006.

- MANTOVANI, A., MORELLATO, L. P. C. Fenologia da floração, frutificação, mudança foliar e aspectos da biologia floral do palmito. In M. S. Reis, & A. Reis (Eds.), *Euterpe edulis* Martius—(Palmito) biologia, conservação e manejo (pp. 23–38). Itajaí: **Herbário Barbosa Rodrigues**. 2009.
- MARKAKIS, P. Stability of anthocyanins in foods. **Anthocyanins as food colors**. New York: Academic Press, p. 163-180, 1982.
- MARTINES, M. A. U., DAVOLOS, M. R., JÚNIOR, M. J. O efeito do ultra-som em reações químicas. **Química Nova**, v. 2, n. 23, p. 251-256, 2000.
- MASON, T. J. Power ultrasound in food processing and the way forward. In M. J. W. Povey, & T. J. Mason (Eds.), **Ultrasound in food processing**. 1998.
- MAWSON, T. J. **Practical sonochemistry user's guide to application in chemistry and chemical engineering**. New York: Ellis Horwood, 1991.
- MAWSON, T. GAMAGE, M.; TEREFE, M. S.; KNOERZER, K. Ultrasound in enzyme activation and inactivation. **Ultrasound technologies for food and bioprocessing**, 2011.
- MEAD, E. L.; SUTHERLAND, R. G.; VERRALL, R. E. The effect of ultrasound on water in the presence of dissolved gases. **Canadian Journal of Chemistry**, 1976.
- MENDONÇA, S. C. ; GUERRA, N. B. Métodos físicos e químicos empregados no controle do escurecimento enzimático de hortaliças. **Boletim SBCTA**, Campinas, v. 37, n. 2, p. 113- 116, 2003.
- MILLER, G.L. Use for dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, n. 3, p.426-428, 1959.
- NOVELLO, A. A. **Extração de antocianinas dos frutos de açaí da mata atlântica (*Euterpe edulis* Martius) e sua atuação nas atividades antioxidante e antiaterogênica em camundongos apõe**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências da Nutrição) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2011.
- O'DONNELL, C. P.; TIWARI, B.K., BOURKE, P e CULLEN, P.J. Effect of ultrasonic processing on food enzymes of industrial importance. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, p. 358-367, 2010.
- OKTAY, M.; KÜFREVIDGLU, I.; KOCACALISKAN, L.; SAKIROGLU, H., Polyphenoloxidase from amaya apple. **Journal of Food Science, Chicago**, v.60, n.3, p.494-496, 1995.
- OLIVEIRA, E. N. A.; SANTOS, D. C. Processamento e Avaliação da Qualidade de Licor de Açaí (*Euterpe oleracea* Mart). **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 70, n. 4: p, 534-541. São Paulo, 2011.

ONSA, G. H.; SAARI, N.; SELAMAT, J., BAKAR, J. Purification and characterization of membrane bound peroxidases from *Metroxylon sagu*. **Food Chemistry**, v.85, p.365–376, 2004.

OZBEK, B.; ULGEN, K. The stability of enzymes after sonication. **Process Biochemistry**, 35(9), 1037-1043, 2000.

PAGLIARUSSI, M. S. **A cadeia produtiva agroindustrial do açaí: estudo da cadeia e proposta de um modelo matemático**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

PANKAJ, S.K.; MISRA, N.N.; CULLEN, P.J. Kinetics of tomato peroxidase inactivation by atmospheric pressure cold plasma based on dielectric barrier discharge. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 19, p. 153–157, 2013.

PAZ, J. C. S. N. **Caracterização bioquímica da polifenoloxidase e da peroxidase de ameixa Rubimel, polpa de cacau e estudo do efeito de agentes anti-escurecimento**. 2010. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2010.

PIYASENA, P., MOHAREB, E., e MCKELLAR, R. C. Inactivation of microbes using ultrasound: a review. **International Journal of Food Microbiology**, v. 87, 207-216, 2003.

POMPEU, D. R.; SILVA, E. M.; ROGEZ, H. Optimization of the solvent extraction of phenolic antioxidants from fruits of *Euterpe oleracea* using response surface methodology. **Bioresource Technology**, vol. 100, p. 6076–6082, 2009.

PORTO, C; DECORTI, D.; KIKIC, I. Flavour compounds of *Lavandula angustifolia* L. to use in food manufacturing: Comparison of three different extraction methods. **Food Chemistry**, v. 112, p. 1072-1078, 2009.

POVEY, M., e MASON, T. Ultrasound in food processing. **London: Blackie Academic and Professional**, 1998.

RAMOS, E. M; GOMIDE, L.A.M.. **Avaliação da qualidade da carne**. Viçosa: UFV, 2007.

RASTOGI, N. Opportunities and challenges in application of ultrasound in food processing. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 51, n. 8, p. 705 – 722, 2011.

RAVIYAN, P., ZHANG, Z., FENG, H. Ultrasonication for tomato pectinmethylesterase inactivation: effect of cavitation intensity and temperature on inactivation. **Journal of Food Engineering**, v. 70, p. 189 - 196, 2005.

RAWSON, A., PATRAS, A., TIWARI, B. K., NOCI, F., KOUTCHMA, T., BRUNTON, N. B. K. Effect of thermal and nonthermal processing technologies on the bioactive

content of exotic fruits and their products: Review of recent advances. **Food Research International**, n. 44, p. 1875–1887. 2011.

REIS, M. S.; KAGEYAMA, P. Y. Dispersão de sementes de *Euterpe edulis* Martius Palmae. **Sellowia**, Itajai, v. 49-52, p. 60-92, 2000.

REIS, F. R. **Efeito dos processos de branqueamento e acidificação sobre a cor e a absorção de gorduras de batatas-palha**. Dissertação de Mestrado (Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Paraná. 2007.

RIBEIRO, F. A. S.; TARLEY, C. R. T.; BORGES, K. B.; PEREIRA, A. C. Development of a square wave voltammetric method for dopamine determination using a biosensor based on multiwall carbon nanotubes paste and crude extract of Cucurbita pepo L. **Sensors and Actuators B**, v. 185, p. 743-745, 2013.

ROGEZ, H.. **Açaí: Preparo, Composição e Melhoramento da Conservação**. Belém: EDUFPA, 2000.

ROSSO, V.V., HILLEBRAND, S.; MONTILLAB, E. C.; BOBBIOA, F. O.; WINTERHALTERB, P.; MERCADANTE, A. Z. Determination of anthocyanins from acerola (*Malpighia emarginata* DC.) and açai (*Euterpe oleracea* Mart.). **Journal of Food Composition and Analysis**, v.21, n.4, p.291-299, 2008.

RUFINO, M. S. M., ALVES, R. E., BRITO, E. S., PÉREZ-JIMÉNEZ, J., SAURACALIXTO, F., e MANCINI-FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996–1002. 2010.

SAEEDUDDIN, M.; ABID, M.; JABBAR, S.; WU, T.; HASHIM, M. H.; AWAD, F. N.; HU, B.; LEI, B.; ZENG, X. Quality assessment of pear juice under ultrasound and commercial pasteurization processing conditions. **Food Science and Technology**, v. 64, p. 452-458. 2015.

SANTOS, E. R. **Caracterização Bioquímica da Peroxidase e Polifenoloxidase de Açai (*Euterpe oleracea*)**. Campinas, 2001. 104 p. Dissertação - (Mestrado em Ciência de Alimentos), Faculdade de Engenharia de alimentos - UNICAMP. 2001.

SANGO, D. M.; ABELA, D.; MCELHATTON, A.; VALDRAMIDIS, V.P. Assisted ultrasound applications for the production of safe foods. **Journal of Applied Microbiology**. v.116, p. 1067-1083, 2014.

SÃO JOSÉ, J. F. B.; ANDRADEB, N. J.; RAMOSB, A. M.; VANETTIC, M. C. D.; STRINGHETAB, P.C.; CHAVES, J. B. P. Decontamination by ultrasound application in fresh fruits and vegetables. **Food Control**, v. 45, p. 36-50, 2014.

SÃO JOSÉ, J. F. B., VANETTI, M. C. D. Effect of ultrasound and commercial sanitizers on natural microbiota and *Salmonella enterica* Typhimurium on cherry tomatoes. **Food Control**, v. 24, n.1 e 2, p. 95 – 99, 2012.

SHANKAR, H., PAGEL, P. S. Potential adverse ultrasound-related biological effects: a critical review. **Anesthesiology**, v. 5, n.115, p. 1109 -1124, 2007.

SCANDALIO, J. G. Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defense (review). **Brazilian Journal of Medicine and Biological Research**, v. 38, p. 995-1014, 2005.

SCHAUSS, A.; WU, X.; PRIOR R. L.; OU, B.; HUANG, D.; OWENS, J.; AGARWAL, A.; JENSEN, G. S.; HART, A. N.; SHANBROM, E. Antioxidant capacity and others bioactivities of the freeze-dried Amazonian palm berry *Euterpe oleracea* Mart. (açai). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, p.8598-8603, 2006.

SCHAUSS, A. G. Acai (*Euterpe oleracea* Mart.): A macro and nutrient rich palm fruit from the Amazon rain forest with demonstrated bioactivities in vitro and in vivo. **Bioact foods promot health** p. 479–490. Oxford: Academic Press. 2010.

SCHIRMANN, G.S. **Composição em ácidos graxos do açai (*Euterpe edulis*) de diversas regiões de Santa Catarina**, 2009, 91f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SCHRECKINGER, M. E., LOTTON, J., L., M.A., ZALEZ, DE M., E.. Berries from South America: a comprehensive review on chemistry, health potential, and commercialization. **J. Med. Food**, 2010.

SCHUINA, Guilherme Lorencini. **Utilização de ultrassom na conservação de suco de laranja: efeito sobre características físico-químicas, enzimáticas, microbiológicas e sensoriais**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, Espírito Santo, 2014.

SCHULTZ, J. **Compostos fenólicos, antocianinas e atividade antioxidante de açai de *Euterpe edulis* Martius e *Euterpe oleracea* Martius e influência de diferentes métodos de pasteurização sobre o açai de *Euterpe edulis***. 2008. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

SCHULZ, M.; BORGES, G. DA S. C.; GONZAGA, L. V.; SERAGLIOA, S. K. T.; OLIVO, I. S.; AZEVEDO, M. S.; NEHRINGA, P.; GOIS, J. S. DE; ALMEIDA, T. S. DE; VITALI, L.; SPUDEIT, D. A.; MICKE, G. A.; BORGES, D. L. G.; FETT, R. Chemical composition, bioactive compounds and antioxidant capacity of Jussara fruit (*Euterpe edulis* Martius) during ripening. **Food Research International**, v. 77, 2015.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J.A. Jr. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**. v.16, p. 144-158, 1965.

SUSLICK, K. S. Yearbook of Science and the Future. **Encyclopedia Britannica**, 1994.

SERRADELL, M. A.; ROZENFELD, P. A.; MARTINÉZ, G. A.; CIVELLO, P. M.; CHAVES, A. R.; ANON, M. C. Polyphenoloxidase activity from strawberry fruit (*Fragaria ananassa*, Duch., cv Selva): characterization and partial purification, **Journal of the Science of Food and Agriculture** v. 80, p.1421-1427, 2000.

SILVA, J. L. V. F. **Análise econômica da produção e transformação em ARPP, dos frutos de *Euterpe edulis* Martius em açaí, no município de Garuva, no estado de Santa Catarina.** 2005. 65f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SILVA, P. P. M da; CARMO, L. F.; SILVA, G. M.; SILVEIRA-DINIZ, M. F.; CASEMIRO, R. C.; SPOTO, M. H. F. Physical, chemical, and lipid composition of Jussara (*Euterpe edulis* Mart.) Pulp. **Journal of Food and Nutrition**, Araraquara v. 24, n. 1, p. 7-13. 2013.

SILVA, L. C. A.; ALMEIDA, P. S.; RODRIGUES, S.; FERNANDES, F.A. N. Inactivation of polyphenoloxidase and peroxidase in apple cubes and in apple juice subjected to high intensity power ultrasound processing. **Journal of Food Processing and Preservation**. 2015.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J.A. Jr. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**. v.16, p. 144-158, 1965.

SORIA, A. C., e VILLAMIEL, M. . Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, n. 7, p. 323 -331, 2010.

TACO. **Tabela brasileira de composição de alimentos.** Campinas: NEPA-UNICAMP, 4 ed. P 161, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia hortaliças.** 5. ed. Porto Alegre: ARTMED, 2013.

TEREFE, N. S.; GAMAGE, M.; VILKHU, K.; SIMONS, L.; MAWSON, R.; VERSTEEG, C. The kinetics of inactivation of pectin methylesterase and polygalacturonase in tomato juice by thermosonication. **Food Chemistry**, v. 117, n. 1, 2009.

TSUKAMOTO, I., YIM, B., STAVARACHE, C. E., FURUTA, M., HASHIBA, K., MAEDA, Y. Inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* by ultrasonic irradiation. **Ultrasonic Sonochemistry**, v.11, p. 61 – 65, 2004.

TIWARI, K. MUTHUKUMARAPPAN, C.P. O'DONNELL, P.J. CULLEN. Colour degradation and quality parameters of sonicated orange juice using response surface methodology. **LWT-Food Science Technology**, 2008.

TIWARI, B.K. ; O'DONNELL, C.P. E CULLEN, P.J. Effect of sonication on retention of anthocyanins in blackberry juice. **Journal of Food Engineering**, 2009.

TIWARI, B. K.; MUTHUKUMARAPPAN, K.; O'DONNELL, C. P.; CULLEN, P.J.. Inactivation kinetics of pectin methylesterase and cloud retention in sonicated orange juice. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 10, n. 2, p.166 - 171, 2009.

TIWARI, B. K., PATRAS, A., BRUNTON, N., CULLEN, P. J., e O'DONNELL, C. P. Effect of ultrasound processing on anthocyanins and color of red grape juice. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 17, n. 3, p. 598 - 604, 2010.

VALDERRAMA, P., CLEMENTE, E. Isolation and thermostability of peroxidase isoenzymes from apple cultivars Gala and Fuji. **Food Chemistry**, 2004.

VALKO, M. RHODES, C. J.; MONCOL, J.; IZAKOVIC, M. e MAZUR, M. Free radical, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. **Chemico-Biological Interactions**. , v. 160, p. 1-40, 2006.

VASCONCELOS, N. M.; PINTO, G. A. S.; ARAGÃO, F. A. S. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento: Determinação de Açúcares Redutores pelo Ácido 3,5-Dinitrosalicílico: Histórico do Desenvolvimento do Método e Estabelecimento de um Protocolo para o Laboratório de Bioprocessos. **EMBRAPA**, 2013.

VAZ, A. P. L.; FARO, Z. P.; SCHULLER, A. Perfil cromatográfico dos ácidos graxos do fruto do açaizeiro. **Revista Higiene Alimentar**, v. 23, n. 170/171, p. 123-126, 2009.

VERCET, A., LOPEZ, P., e BURGOS, J. Inactivation of heat-resistant lipase and protease from *Pseudomonas fluorescens* by manothermosonication. **Dairy Science**, v. 80, p. 29-36, 1997.

VERCET, A., LOPEZ, P., BURGOS, J. Inactivation of heat-resistant pectinmethylesterase from orange by manothermosonication. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 47, p. 432-437. 1999.

VERCET, A., ORIA, R., MARQUINA, P., CRELIER, S., LOPEZ-BUESA, P. Rheological properties of yoghurt made with milk submitted to manothermosonication. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 21, p. 6165 - 6171, 2002.

VILLAMIEL, M., DE JONG, P. Influence of high-intensity ultrasound and heat treatment in continuous flow on fat, proteins and native enzymes of milk. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, p. 472-478, 2000.

WAN, J., MAWSON, R., ASHOKKUMAR, M., RONACHER, K., COVENTRY, M. J., ROGINSKI, H. Emerging processing technologies for functional foods. **Australian Journal of Dairy Technology**, n. 60, p. 167-169, 2005.

WU, J.; GAMAGE, T. V.; VILKHU, K. S.; SIMONS, L. K.; MAWSON, R. Effect of thermostosonication on quality improvement of tomato juice. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 9, n. 2, p.186 -195, 2008.