

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Revisão Bibliográfica: Efeito dos diferentes tipos de processamento sobre a atividade antioxidante e compostos bioativos das framboesas vermelhas (*Rubus Idaeus* L.)

Jaqueline Barduco

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Banca Examinadora da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências dos Alimentos

**Piracicaba
2016**

Jaqueline Barduco
Bacharel em Ciências dos Alimentos

Revisão Bibliográfica: Efeito dos diferentes tipos de processamento sobre a atividade antioxidante e compostos bioativos das framboesas vermelhas (*Rubus Idaeus* L.)

Orientador:
Profa. Dra. **JOCELEM MASTRODI SALGADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências dos Alimentos,

Piracicaba
2016

DEDICATÓRIA

À minha mãe Jardete, ao meu pai João e às minhas irmãs Jenifer e Julia, por todo apoio e pelo amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me guiar e ensinar a enxergar algo de bom mesmo nas dificuldades.

À minha família, mãe, pai e irmãs por estarem sempre ao meu lado, fortalecendo nossos laços com muito amor e carinho, onde sem eles jamais teria chego até aqui.

À Agência USP de Inovação pela concessão da Bolsa Empreendedorismo para a realização do intercâmbio na Universidade do Algarve (UALG) em Portugal, realizando atividades de pesquisa com framboesas vermelhas.

A Prof^a. Dr^a. Jocelem Mastrodi Salgado pela orientação, apoio e confiança na realização deste trabalho.

À Universidade do Algarve (UALG) pela aceitação do intercâmbio e pela recepção em Faro (Portugal).

À Prof^a. Dr^a. Ana Cristina Lopes Figueira, à Técnica Vera Nunes Gonçalves, à D. Luíza e as estagiárias Adriana e Cristina, pela recepção, companheirismo e apoio na realização das atividades práticas na Universidade do Algarve (UALG).

Às minhas amigas Tamara Amélie Gonçalves dos Reis, Gisele Marcondes Luz, Patrícia Santo André, Amanda Cristina Marabesi, Elóra Gonçalves dos Reis e Heloisa Helena Wolf Antonioli por sempre estarem ao meu lado, dando apoio, incentivo e amor incondicional.

À todos os colegas de curso e demais pessoas que estiveram presentes na minha trajetória da graduação.

EPÍGRAFE

"Tenho pouquíssimas certezas na vida e uma delas é que o ser humano é movido a paixões. Por isso eu amo gente apaixonada. Aprendi que é muito melhor se relacionar com gente que conhece o combustível da própria vida. Gente que não vai sugar o que é meu. Gente que tem uma herança para deixar. Gente que também tem algo a compartilhar. Gente que amando algo, já aprendeu como é amar."

Frederico Elboni

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVO	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1. Frutas Vermelhas	11
3.1.1. Gênero <i>Rubus</i> e Framboesa Vermelha (<i>Rubus Idaeus</i> L.).....	13
3.2. Compostos Bioativos na Framboesa Vermelha (<i>Rubus Idaeus</i> L.).....	15
3.2.1. Compostos Fenólicos	15
3.2.1.1. Flavonóides	16
3.2.1.1. Antocianinas	17
3.2.1.2. Taninos.....	18
3.2.2. Ácido Ascórbico.....	19
3.2.3. Atividade Antioxidante	20
3.3. Processamento de Frutas	22
3.3.1. Desidratação de Frutas	22
3.3.1.1. Secagem Térmica de Frutas.....	23
3.3.1.2. Desidratação Osmótica de Frutas	24
3.3.1.3. Liofilização de Frutas.....	25
3.3.1.4. Secagem à Vácuo de Frutas	26
3.3.1.5. Secagem por Microondas à vácuo de Frutas	26
3.3.1.6. Secagem por Radiação Infravermelha de Frutas	27
3.3.2. Congelamento de Frutas	27
4. MATERIAL E MÉTODOS	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1. Estudos recentes	28
5.2. Condições de Processamento	30
5.3. Parâmetros Avaliados	35
5.4. Compostos Bioativos.....	36
5.4.1. Compostos Fenólicos	36
5.4.1.1. Flavonóides	42
5.4.1.1.1. Antocianinas	45
5.4.1.2. Taninos.....	49

5.4.2. Vitamina C	50
5.4.3. Atividade Antioxidante	51
6. CONCLUSÕES	55
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

RESUMO

Revisão Bibliográfica: Efeito dos diferentes tipos de processamento sobre a atividade antioxidante e compostos bioativos das framboesas vermelhas (*Rubus Idaeus* L.)

Diferentes processos são empregados com a finalidade de se prolongar a vida útil das pequenas frutas vermelhas, bem como a conservação de seus compostos bioativos e de sua atividade antioxidante. Sabe-se que estas frutas são sazonais e altamente sensíveis, sendo assim o processamento das mesmas permitiria sua aquisição em qualquer período do ano. Processos de desidratação como, por exemplo, secagem térmica, desidratação osmótica, liofilização, secagem à vácuo, secagem por microondas, secagem por radiação infravermelha, congelamento e também a combinação de alguns destes métodos de secagem foram avaliados de acordo com a capacidade de retenção de compostos fenólicos totais, flavonóides, antocianinas, taninos, vitamina C e atividade antioxidante, imediatamente após a realização do processamento e em alguns casos após um determinado período de armazenamento. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre o processamento de framboesas vermelhas (*Rubus Idaeus* L.) e seu impacto sobre os compostos bioativos e antioxidantes desta fruta. As diferentes formas de processamento mostraram em praticamente todos os casos a redução dos compostos bioativos, bem como de sua atividade antioxidante, portanto as indústrias alimentícias e o setor de pesquisa devem buscar uma forma de processamento que afetem minimamente estes fatores.

Palavras-chave: *Rubus Idaeus* L.; Desidratação; Antocianinas; Taninos hidrolisáveis; Atividade antioxidante

ABSTRACT

Literature review: Effect of different types of processing on the antioxidant activity and bioactive compounds of red raspberries (*Rubus Idaeus L.*)

Different processes are used to extend the shelf life of small red fruits, as well as the conservation of their bioactive compounds and their antioxidant activity. It is known that these fruits are seasonal and highly sensitive, so processing them would allow their acquisition at any time of the year. Dehydration processes such as, for example, thermal drying, osmotic dehydration, lyophilization, vacuum drying, microwave drying, infrared radiation drying, freezing and also the combination of some of these drying methods were evaluated according to the retention capacity of Total phenolic compounds, flavonoids, anthocyanins, tannins, vitamin C and antioxidant activity, immediately after the processing and in some cases after a certain period of storage. Therefore, the present work aimed to carry out a literature review on the processing of red raspberries (*Rubus Idaeus L.*) and its impact on the bioactive and antioxidant compounds of this fruit. The different forms of processing have shown in almost all cases the reduction of bioactive compounds as well as their antioxidant activity, therefore, the food industry and the research sector should seek a form of processing that affects these factors minimally.

Keywords: *Rubus Idaeus L.*; Dehydration; Anthocyanins, Hydrolysable tannins; Antioxidant activity

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, tem-se notado uma mudança comportamental no que se refere à dieta alimentar. Muitas pessoas têm se mostrado mais preocupadas com sua saúde e buscam um estilo de vida mais saudável (BURTON-FREEMAN; SANDHU; EDIRISINGHE, 2016).

A estreita relação entre o consumo de alimentos e seus benefícios para a saúde humana, tem chamado a atenção para o consumo de alimentos funcionais, como por exemplo, frutas e legumes. Neste contexto encontram-se as berries, pequenas frutas ricas em compostos bioativos (NILE; PARK, 2014).

De acordo com Nile, Park (2014), a ingestão dietética de berries proporciona um impacto positivo sobre o desempenho do organismo, da saúde humana e na supressão de doenças. Este fato está associado a compostos bioativos, tais como flavonóides, ácidos fenólicos, antocianinas, taninos e estilbenos.

Os riscos de desenvolvimento de doenças metabólicas modernas estão ligados à dieta alimentar estabelecida pelas pessoas. Entre estas doenças podem-se citar diabetes mellitus, obesidade, doenças cardiovasculares e Alzheimer. Neste contexto, a potencialidade de determinados alimentos com seus compostos bioativos em prevenir ou reverter a progressão desses processos patológicos assume posição de destaque (BURTON-FREEMAN; SANDHU; EDIRISINGHE, 2016).

As frutas vermelhas surgem como um importante componente funcional da dieta alimentar. Em seu estado fresco são fontes de importantes compostos bioativos e possuem capacidade antioxidante. Entretanto, estas berries *in natura* apresentam tempo de armazenamento limitado em decorrência da rápida perda de firmeza e podridão, portanto, são frutas de alta sensibilidade, que demandam condições especiais de processamento e armazenamento.

A submissão destas pequenas frutas a tratamentos específicos podem prolongar sua vida útil, tanto para seu consumo imediato, quanto para sua utilização como matéria-prima em indústrias para a produção de diversos produtos, entre eles produtos nutracêuticos. Além disso, estes tratamentos permitiriam a aquisição destas frutas ao longo do ano, visto que sua produção é sazonal.

2. OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo reunir estudos recentes sobre o processamento de framboesas vermelhas sob a ação da secagem térmica, desidratação osmótica, liofilização, secagem a vácuo, secagem por microondas, secagem por radiação infravermelha, congelamento e a combinação de alguns destes métodos, bem como seus impactos sobre compostos bioativos e atividade antioxidante.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Frutas Vermelhas

Berries é uma denominação utilizada para se referenciar aos pequenos frutos vermelhos. Estas frutas possuem cores atraentes e um sabor diferenciado, além de serem consideradas como uma importante fonte de antioxidantes naturais. Seu consumo tem sido intensificado e está ligado a prevenção de determinadas doenças crônicas e degenerativas. Como exemplo de frutas pertencentes a este grupo pode-se citar groselha, morango, amora, mirtilo, cereja, framboesa (preta ou vermelha) e cranberry (MANGANARIS et al., 2014).

Em decorrência de suas atividades antimicrobianas, antioxidantes, anti-inflamatória e gastro-protetora, diversos estudos apontam que as frutas vermelhas podem retardar ou prevenir perda da memória, distúrbio cardiovascular, perda da visão e câncer (KRIKORIAN et al., 2010).

Estudo mais recente mostra que o aumento do consumo de berries está associado a redução da mortalidade provocada por acidente vascular cerebral e também pela ocorrência de câncer (HJARTAKER et al., 2015).

As berries são fontes de uma grande diversidade de compostos fenólicos e antioxidantes. Estes compostos fitoquímicos englobam ácidos fenólicos, flavonóides, taninos, estilbenos antocianinas, micronutrientes e fibras (BASU; RHONE; LYONS, 2010; PAREDES-LÓPEZ et al., 2010). Diversos processos fisiológicos realizados pelo organismo são responsáveis por gerar as espécies reativas oxidantes (radicais livres). Diante desta situação o próprio organismo realiza sua defesa antioxidante,

contudo, esta defesa pode ser acelerada e potencializada pela aquisição de antioxidantes via fontes exógenas, como por exemplo, o consumo de berries. O mecanismo de defesa antioxidante é tão importante, que a sua insuficiência está associada a promoção de doenças crônicas, como por exemplo, inflamações, diabetes e doenças cardiovasculares (PAREDES-LÓPEZ et al., 2010).

Diversos estudos apontaram que compostos fenólicos presentes nas berries são capazes de bloquear a produção de espécies reativas de oxigênio e nitrogênio, intervindo desta maneira no ciclo celular, que participam do sistema de transdução e na expressão de genes envolvidos no processo de apoptose e no sistema de reparo de danos oxidativos do DNA (MAZZONI et al., 2016).

Segundo Yang e Kortenesniemi (2015), estudos clínicos evidenciaram que uma dieta rica em berries melhora o perfil de circulação e também a resposta glicêmica. Já a ingestão a longo prazo destas berries pode reduzir as inflamações crônicas, melhora o perfil lipídico e protege também a saúde cardiovascular. Além destes benefícios, o consumo do óleo das sementes destas berries pode reduzir o desenvolvimento de doenças atópicas.

Stapleton et al., (2008), em seu estudo enfatizam a importância destas pequenas frutas coloridas (berries), em virtude de seus compostos fenólicos e atividade antioxidante. As berries, juntamente com seus principais compostos bioativos e alguns de seus possíveis efeitos para a saúde podem ser observados na Figura 1.

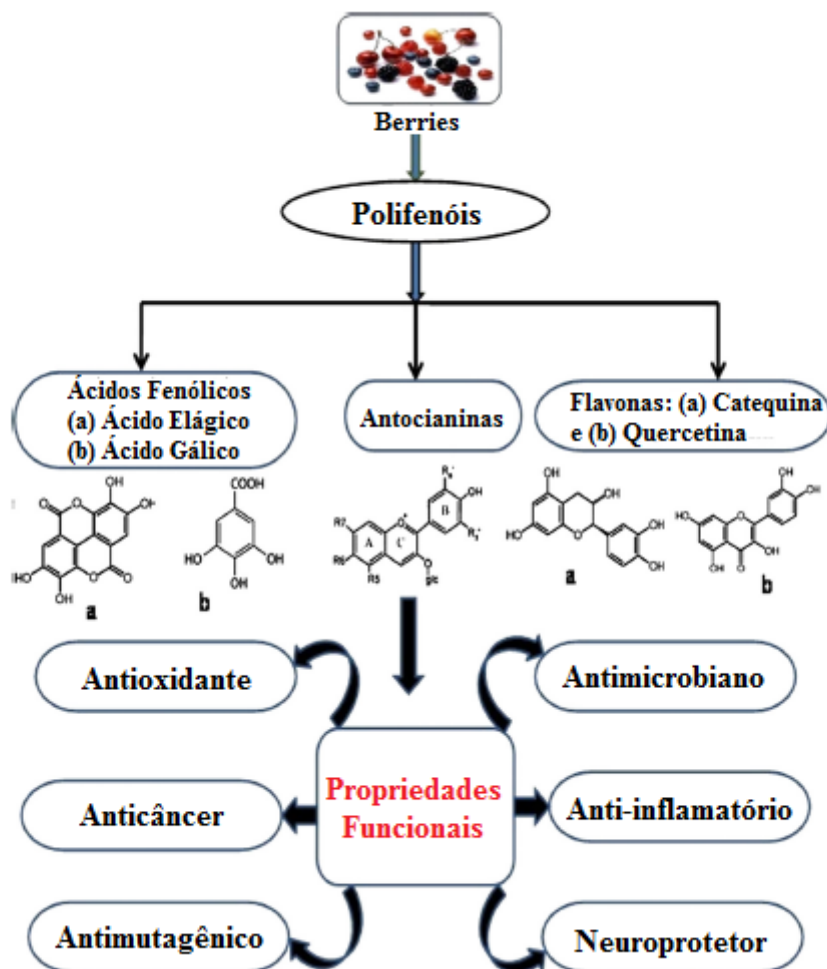


Figura 1 - Compostos fenólicos e flavonóides das berries e seus efeitos benéficos.
Fonte. NILE; PARK, 2014.

3.1.1. Gênero *Rubus* e Framboesa Vermelha (*Rubus Idaeus* L.)

Pertencente à família Rosaceae, o gênero *Rubus* compreende um grande grupo, sendo este distribuído mundialmente. Há estimativas de que o número de espécies varia de 600 a 800. Diversas destas são importantes fontes de alimento, assim como são de grande interesse comercial (THOMPSON, 1995).

As frutas pertencentes ao gênero *Rubus* se destacam e têm se tornado popular em decorrência de seus sabores únicos e característicos (DOSSETT; LEE; FINN, 2008). Além disso, sabe-se que determinadas frutas são ricas em uma vasta variedade de compostos fenólicos (LEE; DOSSETT; FINN, 2012). Ainda assim, este grupo constitui uma importante fonte de vitaminas, minerais e fibras dietéticas (KAUME; HOWARD; DEVAREDDY, 2012). As berries de plantas pertencentes à família Rosaceae, são conhecidas pelo seu alto teor de compostos bioativos, em especial as antocianinas, sendo estas responsáveis pela promoção da saúde

(OANCEA; CĂLIN, 2016). A framboesa vermelha é um exemplo de fruta pertencente ao grupo gênero *Rubus* (MEGIAS-PEREZ et al., 2014).

A framboesa vermelha (*Rubus idaeus* L.) é uma fruta pertencente ao grupo das berries, a qual, por sua vez, se destaca pela sua natureza rica em fitoquímicos e sua versatilidade de consumo. Esta fruta tem sido apreciada em decorrência da diversidade de suas aplicações culinárias, o que está alinhado com o aumento de seu consumo e ao mesmo tempo a procura pela manutenção da saúde, visto o aumento de publicações que relacionam sua composição de fitoquímicos e nutrientes na prevenção e retardamento de quadros clínicos de doenças crônicas (BURTON-FREEMAN, SANDHU, EDIRISINGHE; 2016).

Sua produção é realizada tradicionalmente em regiões temperadas da América do Norte, Ásia e Europa (JIN et al., 2012). Contudo, o seu cultivo no Brasil tem aumentado gradativamente, em especial nas áreas subtropicais nas quais as temperaturas são mais baixas nas estações do outono e inverno, com um verão com temperaturas elevadas, mas de curta duração, sendo que estas condições favorecem o seu cultivo (CAMPAGNOLO; PIO, 2012).

A framboesa vermelha é rica em fibras dietéticas, micronutrientes essenciais e compostos fenólicos. O teor médio de fibras proporcionado é igual a 6,5g/100g de peso fresco, além disso, são possuidoras de nutrientes como potássio, vitamina K, cálcio e ferro e entre os compostos bioativos destacam-se as antocianinas e elagitaninos. Segundo estudos *in vivo* e *in vitro*, o uso da fruta inteira ou do extrato da framboesa, de acordo com os mecanismos de ação das antocianinas e elagitaninos via ácido elágico ou seus metabólitos, podem reduzir ou reverter os riscos de processos patológicos (BURTON-FREEMAN; SANDHU; EDIRISINGHE, 2016).

Os elagitaninos quando submetidos a ação da flora microbiana do colón liberam ácido elágico, sendo este convertido em moléculas menores, as quais são absorvidas pelo sistema circulatório (GONZÁLEZ-BARRIO; EDWARDS; CROZIER, 2011).

Estudos recentes associam o consumo destas frutas com efeitos benéficos obtidos pela ação de elagitaninos e antocianinas (CASSIDY et al., 2013). Elagitaninos, por sua vez, possuem propriedades anti-câncer e ação anti-inflamatória (DEL RIO et al. 2013). Já as antocianinas, como por exemplo, a cianidina-3-O-glicosídeo possui efeitos cardioprotetor (CASSIDY et al., 2013). Além destes

potenciais efeitos de promoção de saúde, tem-se fatores como anti-obesidade, atividades anti-câncer e anti-neurodegenerativas (FU et al., 2015).

Além destes compostos (elagitaninos e antocianinas), a framboesa vermelha possui outros compostos bioativos, como por exemplo, ácidos hidroxibenzóicos, ácidos hidroxicinâmicos, flavonóis em suas formas livres ou conjugadas e taninos condensados, porém estes compostos se apresentam em quantidades menores quando comparadas à concentração de elagitaninos e antocianinas (JAKOBEK et al., 2007).

Entretanto, a concentração dos diversos compostos bioativos presentes na framboesa vermelha, além de serem dependentes de sua própria natureza (fatores genéticos), estão suscetíveis às ações ambientais, e ao mesmo tempo as suas diferentes formas de processamento e armazenamento (BAKKALBASI; MENTES; ARTIK, 2009). Estudos atuais buscam desenvolver formas de processamento que estendam sua vida útil e que afetem minimamente sua qualidade (LEE; DOSSETT; FINN, 2012).

3.2. Compostos Bioativos na Framboesa Vermelha (*Rubus Idaeus L.*)

3.2.1. Compostos Fenólicos

As berries são conhecidas por conterem uma ampla variedade de compostos fenólicos (SZAJDEK; BOROWSKA, 2008), dentro deste grupo encontram-se flavonóides, ácidos fenólicos, taninos e estilbenos (HAN; SHEN; LOU, 2007). O conteúdo destes compostos nas frutas é determinado por uma diversidade de fatores, tais como: manejo, cultivar, fatores climáticos, estágio de amadurecimento, colheita, sistema empregado na pós-colheita e armazenamento (CASTREJÓN et al., 2008). A significativa importância dos compostos fenólicos está relacionada com seus diversos efeitos benéficos para a saúde (SZAJDEC; BOROWSKA, 2008).

Esta classe de compostos apresenta em sua constituição um ou mais anéis aromáticos com grupos hidroxila. Em função de suas características estruturais estes compostos são classificados em ácidos fenólicos, estilbenos, flavonóides, lignanas e taninos (HAN; SHEN; LOU, 2007), como pode ser observada a Figura 2.

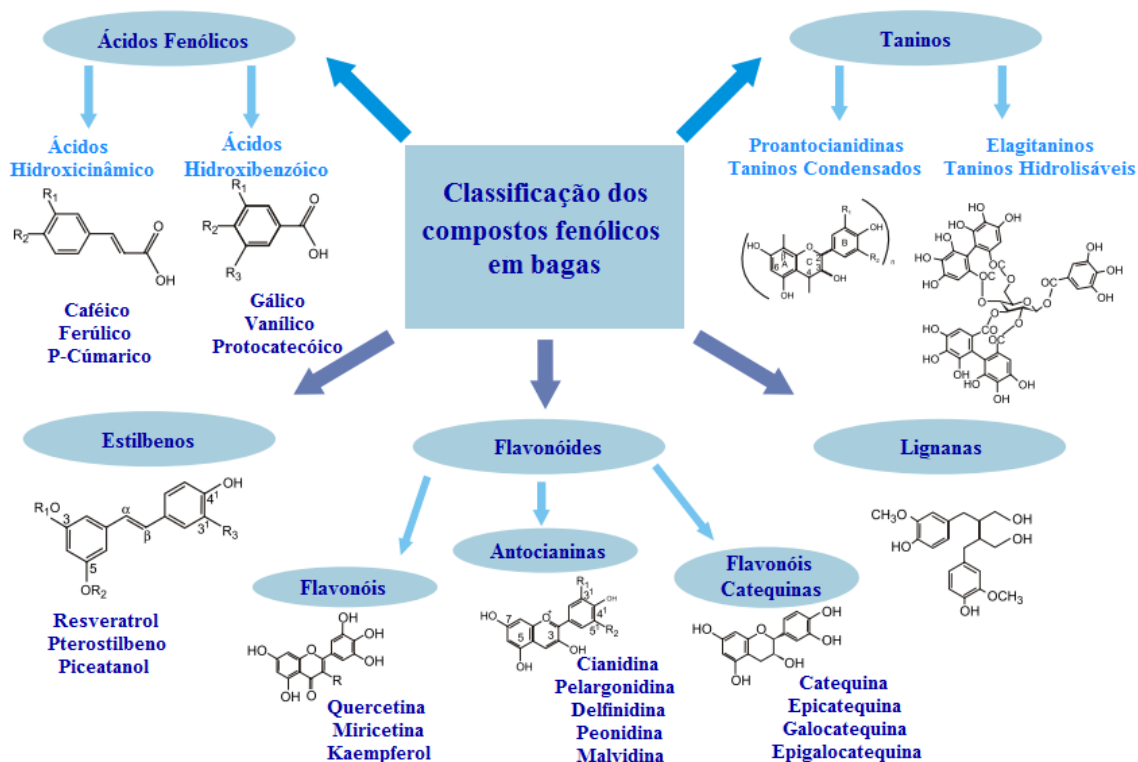


Figura 2 - Compostos fenólicos em frutas vermelhas selecionadas.

Fonte: PAREDES-LÓPEZ et al., 2010.

Grande parte destes compostos presentes nas plantas se apresentam com uma diversidade de formas conjugadas, ou juntamente com açúcares através de ligações O-glicosídicas ou até mesmo com outros polióis, como por exemplo, os ésteres (PIMPÃO et al., 2013). Suas atividades de biodisponibilidade e bioatividade podem ser diferenciadas em função dos diversos pontos possíveis de conjugação por aglicona, sendo esta dependente da classe de compostos também (DAY et al., 2000).

3.2.1.1. Flavonóides

Os flavonóides são compostos polifenólicos, cujas concentrações são variáveis de acordo com as diferentes plantas (BELL et al., 2015). Estes compostos polifenólicos apresentam como estrutura básica a molécula 2-fenil-benzopirano α ou o núcleo flavano, o qual é composto por dois anéis de benzeno, ligados entre si por um anel heterocíclico pirano (KOGAWA et al., 2007), como pode ser observada a Figura 3.

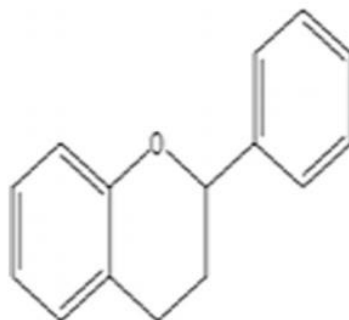


Figura 3 - Estrutura básica de um composto flavonóide. Fonte: AHMAD et al., 2015.

Flavonóis em sua forma livre ou conjugada (quercetina e kaempferol) são encontrados nas framboesas vermelhas, contudo em pequenas quantidades (GU et al., 2004).

3.2.1.1.1 Antocianinas

As antocianinas são compostos pertencentes ao grupo dos flavonóides (POJER et al., 2013), sendo estes pigmentos solúveis em água e que conferem as cores vermelho, roxo e azul em alguns frutos (FANG, 2015). A relação destes compostos e seus benefícios com a saúde têm sido motivo de muitos estudos nos últimos anos, sendo que suas diferentes concentrações e tipos diferem bastante entre as diversas frutas e legumes (BHAGWAT et al., 2013).

Um teor mais elevado de ingestão de antocianinas pode ser alcançado através do consumo regular de frutas, como por exemplo, amoras, mirtilos, uvas vermelhas, morangos e framboesas (PELUSO et al., 2015; WANG et al., 2014a). Segundo Joseph, Edirisinghe, Burton-Freeman (2014) a ingestão destas frutas está associada a melhoras no quadro clínico em pacientes com diferentes condições de saúde. Além disso, diversos estudos apontam que as antocianinas estão ligadas a redução da incidência de diabetes mellitus, doenças cardiovasculares e alguns tipos de câncer (PELUSO et al., 2015; WANG et al., 2014a). Estes benefícios podem ser alcançados através da atividade antioxidante destes compostos (ZAFRA-STONE et al., 2007). As framboesas vermelhas apresentam um teor de antocianinas de aproximadamente 92,1mg/100g de peso fresco (WU et al., 2006). De acordo com De Ancos et al. (2000b), a cianidina – 3 – sofrósídeo e a cianidina – 3 – glucósídeo são

as principais antocianinas encontradas nestas frutas. A estrutura da antocianinas e suas antocianidinas podem ser observadas na Figura 4.

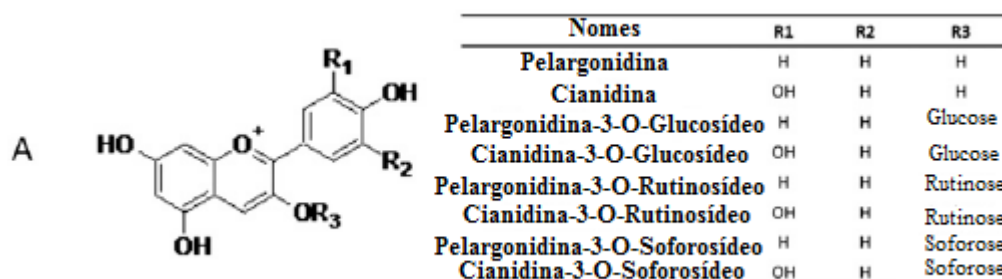


Figura 4 – Estrutura da antocianina (A) e suas antocianidinas encontradas em framboesas vermelhas. Fonte: BURTON-FREEMAN et al. (2016).

3.2.1.2. Taninos

Os taninos, por sua vez, também fazem parte do grupo dos compostos bioativos. Dentro do grupo dos taninos, há os taninos condensados, conhecidos como proantocianidinas, e os taninos hidrolisáveis, como por exemplo, os ésteres de ácido elágico e os ésteres de ácido gálico (PUUPPONEN-PIMIA et al., 2005). Estes compostos são responsáveis pelo gosto azedo e mudança de cor nas frutas, bem como nos sucos das frutas (HANLIN et al., 2010). A estrutura do ácido elágico pode ser observada na Figura 5.

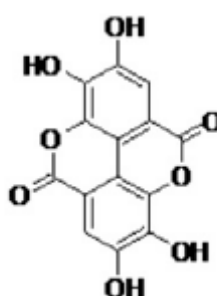


Figura 5 – Estrutura do ácido elágico. Fonte: BURTON-FREEMAN et al. (2016).

Grande parte das frutas contém taninos condensados, contudo taninos hidrolisáveis (elagitaninos) têm sido identificados em amoras, morangos e framboesas (TAMIR; ALUMOT, 2006).

De acordo com Beekwilder et al. (2005), a maior contribuição para a atividade antioxidante em framboesas é proveniente dos taninos hidrolisáveis, onde estes compostos contribuem com mais de 50% da atividade total.

3.2.2. Ácido Ascórbico

O ácido ascórbico também é denominado de vitamina C, sendo este um composto solúvel em água e que proporciona uma diversidade de funções aos seres vivos. As berries, por sua vez, são importantes fontes desta vitamina e sua concentração em frutos vermelhos é determinada por diversos fatores como, por exemplo, variedade, espécie, formas de cultivo, condições meteorológicas, clima, maturação, região e condições de armazenamento (PANTELIDIS et al., 2007).

A vitamina C é conhecida pelo seu alto poder antioxidante, em função da neutralização de espécies reativas de oxigênio e também de radicais livres, os quais são formados a partir do metabolismo celular e estão associados a diversos tipos de danos nos tecidos e desenvolvimento de doenças (KOYONKU; DILMACUNAL, 2010). A estrutura do ácido ascórbico pode ser observada na Figura 6.

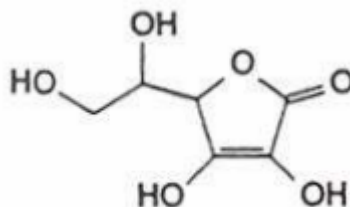


Figura 6 – Estrutura do ácido ascórbico (vitamina C). Fonte: AGUIRRE, MAY (2008).

Com relação às diferentes formas de processamento e armazenamento de alimentos, o teor de ácido ascórbico é tido como um indicador no que se refere a qualidade de nutrientes, visto que em situações em que o ácido ascórbico é bem retido, demais nutrientes presentes nos alimentos sofrem mudanças mínimas, assim como perdas mínimas também (KOYONKU; DILMACUNAL, 2010).

3.2.3. Atividade Antioxidante

As células ativas produzem como resultado do seu metabolismo aeróbio, subprodutos tóxicos conhecidos como espécies reativas de oxigênio (ROS). Os ROS contam com uma ampla variedade de radicais livres agressivos, os quais são produzidos por diversas vias metabólicas das células (MURPHY et al., 2011).

Em condições normais, os ROS são agentes reguladores importantes na rede de sinalização das células, desempenhando papel no crescimento e diferenciação celular, adaptação ao estresse fisiológico e metabólico, proteção contra invasão de patógenos e resposta imune (MURPHY et al., 2011; PANIERI et al., 2013). Entretanto, vários fatores podem provocar um acúmulo excessivo de ROS, de modo a interromper os processos regulares das células, expondo assim os tecidos a condições de estresse oxidativo (GEORGIEV et al., 2014).

Nestas condições de exposição das células ao estresse oxidativo, elas estão altamente vulneráveis aos danos e desenvolvimento de patologias graves como diabetes, câncer, doenças neurodegenerativas, cardiovasculares, hepáticas e rápido envelhecimento (HASSAN, 2012), como pode ser observado na Figura 7.

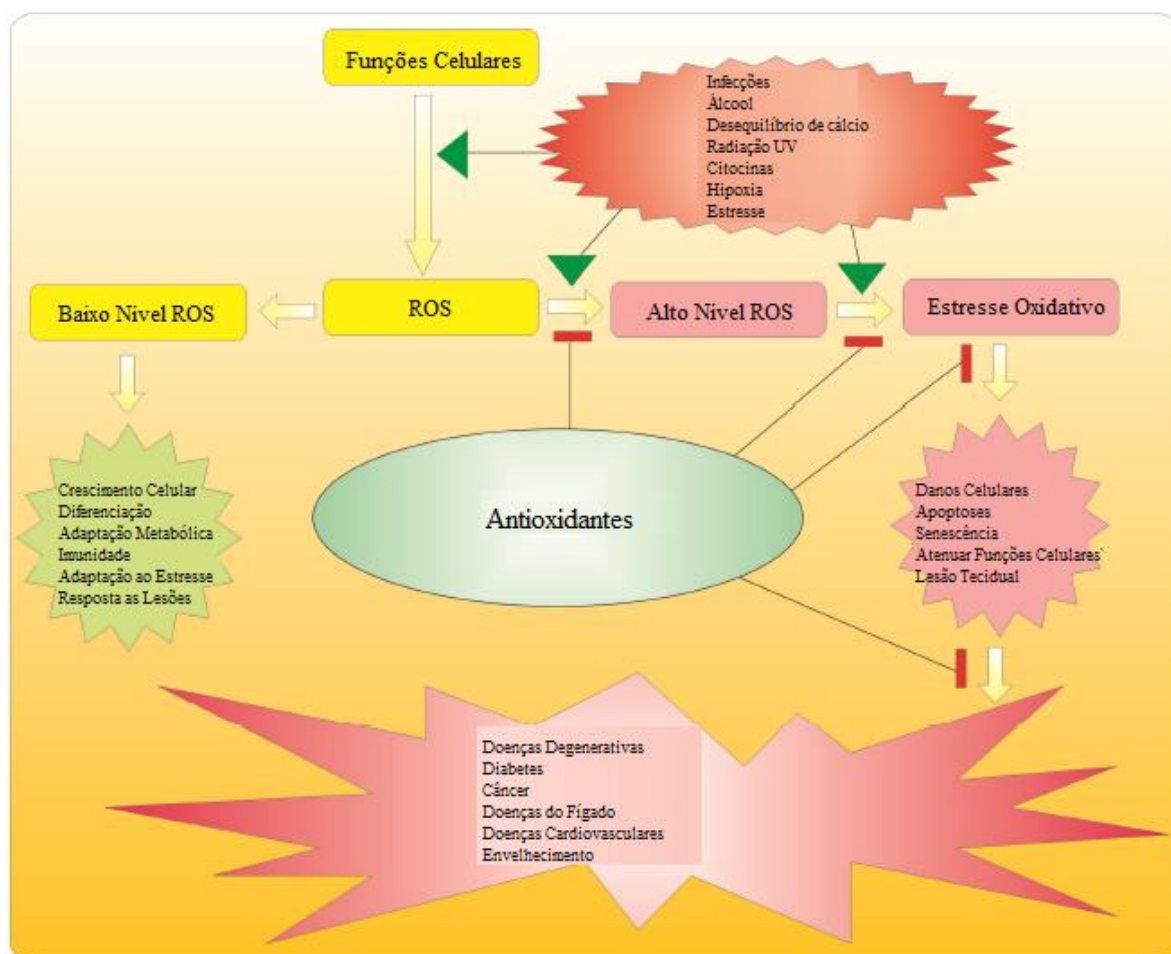


Figura 7 - Espécies reativas de oxigênio (ROS) e sua contribuição para o desenvolvimento de doenças relacionadas ao estresse oxidativo. Fonte: GEORGIEV et al., 2014.

Neste contexto, os compostos fenólicos presentes nas frutas podem proporcionar uma diversidade de benefícios para a saúde humana por intermédio de uma série de mecanismos (QUIÊNONES et al., 2013). Entre estes mecanismos tem-se a atividade antioxidante e a modulação do estresse oxidativo biológico com o objetivo de se prevenir danos as proteínas, lipídios celulares e DNA. Como efeito direto, os compostos fenólicos podem eliminar os ROS, como por exemplo, radicais peróxido e hidroxilo. Por outro lado, de modo indireto, os compostos fenólicos podem estimular sistemas endógenos de defesa antioxidante (GONZALES-GALLEGO et al., 2007).

3.3. Processamento de Frutas

Nos últimos anos, têm-se notado um interesse crescente por parte das indústrias alimentícias e farmacêuticas, em desenvolver formulações utilizando como matéria-prima as berries, sendo que ao mesmo tempo procuram afetar minimamente os compostos bioativos e assim manter elevada a capacidade antioxidante do produto (NILE, PARK; 2014).

Em decorrência do tipo de processamento ao qual são submetidas, a qualidade das frutas frescas pode ser comprometida ou eliminada. Por este motivo, há uma quantidade grande de consumidores dispostos a desembolsar mais, por um produto de melhor qualidade. Este aspecto impulsiona as indústrias a se desenvolverem para poderem competir com o mercado de itens minimamente processados e frutas *in natura* (CELLI; GHANEM; BROOKS, 2016). De acordo com Barret; Beaulieu; Shewfelt (2010), textura, cor, sabor e valor nutritivo são as quatro características que influenciam a qualidade das frutas.

3.3.1. Desidratação de Frutas

O processo de desidratação de alimentos é responsável por prolongar a vida útil do produto, contudo um desafio atual das indústrias alimentícias é obter frutas, bem como vegetais desidratados mantendo suas características originais e também seu poder bioativo, visto que a concentração e a capacidade bioativa podem ser afetadas pelo tratamento térmico, por meio da degradação enzimática, perturbação dos componentes celulares e diversos outros mecanismos (LUTZ; HERNÁNDEZ; HENRÍQUEZ, 2015).

As frutas, assim como os vegetais frescos continuam respirando e transpirando após o processo de colheita, fato este que contribui para sua perda de qualidade e também para a redução de sua vida de prateleira (WOJDYLO et al., 2014).

Com a desidratação há a redução da atividade de água e conseqüentemente há a inibição enzimática, inibição do crescimento de microrganismos e redução da ocorrência de outras reações deteriorantes. Frutas e vegetais desidratados podem ser armazenados por um longo período de tempo à temperatura ambiente,

reduzindo assim custos no que se refere a embalagem, armazenamento e transporte, sendo também bem aceito pelo consumidor (SAGAR; KUMAR, 2010).

3.3.1.1. Secagem Térmica de Frutas

O processo de secagem, por sua vez, compreende fenômenos de transferência de massa e calor, o que culmina com uma série de modificações (MUJUMDAR; LAW, 2010). Parâmetros como temperatura, tempo de secagem e condições de fluxo de ar podem reduzir significativamente a qualidade do produto alimentício (SULTANA et al., 2012).

O processamento térmico é responsável por afetar a atividade antioxidante e o teor de compostos bioativos (RODRIGUEZ, 2016). As frutas, assim como as hortaliças contêm uma diversidade de fitoquímicos (DEVAHASTIN; NIAMNUY, 2010), os quais são naturalmente sensíveis ao calor. Sendo assim, estes compostos se degradam facilmente durante o processo de secagem. Logo estas condições demandam por uma seleção cuidadosa do método de secagem, assim como a escolha do método a ser combinado para sua otimização (SABLANI, 2006).

Estudos apontam que a temperatura pode influenciar nos compostos fenólicos totais (WOJDYLO et al., 2014), flavonóides totais, carotenóides e também sobre a atividade antioxidante (RODRÍGUEZ et al., 2014; DI SCALA; CRAPISTE, 2008). A alteração de cor, durante o processo de secagem, é um indicativo do quão severo é o tratamento. No caso das frutas vermelhas este processo também está associado à concentração de pigmentos, como a antocianina, por exemplo, que se degradam facilmente durante as etapas de processamento e armazenamento, sendo, portanto, altamente instáveis. Logo, o processo de secagem pode interferir consideravelmente na cor do produto e afetar também por consequência suas propriedades nutricionais (WROLSTAD; DURST; LEE, 2005).

O processo de secagem dos alimentos, assim como outros métodos de conservação, não melhora a qualidade dos mesmos, portanto os produtos devem ser selecionados de acordo com critérios específicos. A secagem, quando realizada de maneira adequada e bem-sucedida produz alimentos seguros com cor, sabor e texturas atraentes e agradáveis (ROBINSON, 2012).

3.3.1.2. Desidratação Osmótica de Frutas

O processo de desidratação osmótica (DO) consiste em mergulhar o produto alimentício em uma solução hipertônica durante um período estipulado de tempo, deste modo ocorre a perda de água através das membranas permeáveis e semi-permeáveis para o meio extracelular, enquanto isso a matriz alimentar absorve soluto, usualmente sal ou açúcar, podendo ser soluções de outros compostos também (FALADE; IGBEKA, 2007). Contudo, se a imersão for por um período intenso, há um grande risco de perda de compostos bioativos, vitaminas solúveis como a Vitamina C e nutrientes (TORREGGIANNI, 1993).

De acordo com Kucner et al. (2013), a epiderme das frutas contem ceras e pectinas, as quais formam uma espécie de barreira para as substâncias osmóticas, compostos dissolvidos e água. Em decorrência deste fato, muitas vezes é necessário um pré-tratamento destas frutas em soluções lipolíticas e/ou soluções com enzimas pectinolíticas para o aumento da matéria seca e posteriormente a realização do processo de DO. Neste estudo os métodos de pré-tratamento incluíram a imersão em água em ebulição por 15s e em solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,5%, a uma temperatura de 95°C por 15s, exposição a ultra-sons à pressão atmosférica (sendo a frequência de vibração de 35kHz, a uma potência de 500W, por um período de 15min) e em condições de baixa pressão (0,92kg/cm²). Já o procedimento enzimático utilizou a enzima pectinase e a lipase. Posteriormente o processo de desidratação osmótica foi realizado utilizando-se solução de sacarose a 65°Brix, por um período de tempo que variou de 5-240min e a uma faixa de temperatura de 30-70°C.

A DO surge como um processo barato de desidratação e como uma alternativa para a desidratação de produtos alimentícios com um elevado valor nutricional (BUI et al., 2009).

A DO é capaz de retirar a água do alimento até um determinado ponto, sendo que ainda assim a umidade restante é considerada alta para armazenamento a longo prazo, logo há a necessidade de se aplicar outro processo posteriormente, como secagem à vácuo ou secagem de ar. O processo de DO tem sido combinado com secagem de ar e aplicado para tomates cereja, por exemplo. Neste caso foram avaliados o efeito da DO (utilizando-se de uma solução hipertônica de sacarose)

quando esta é combinada com secagem térmica, utilizando-se de vácuo ou não (AN et al., 2013).

Ainda assim, tecnologias como secagem em leiteo fluidizado, microondas, ultra-som e campo elétrico pulsado também podem ser acoplados a DO (GARCIA-NOGUERA et al. 2010), sendo possível nestas condições reduzir o tempo de exposição do alimento a solução hipertônica e assim reduzir a perda de seus compostos.

3.3.1.3. Liofilização de Frutas

A liofilização ou secagem por congelamento é um processo que toma por base a desidratação de uma matriz alimentar por sublimação através deste material congelado (GEIDOBLE; WINTER, 2013). Em geral, este processo é indicado para secagem de alimentos que contêm componentes sensíveis ao calor, como por exemplo, compostos antioxidantes (SHOFIAN et al., 2011). Este processo pode ser entendido como uma técnica suave no que se diz respeito a danos térmicos por elevadas temperaturas, onde nestas condições aumenta-se a capacidade de retenção de compostos voláteis e proporcionam alterações na textura que são desejáveis (ROSALES-SOTO et al., 2012).

O processo de secagem por congelamento é realizado a temperaturas abaixo de zero com o objetivo de eliminar a degradação de compostos sensíveis a elevadas temperaturas e ao mesmo tempo eliminar a etapa de choque térmico. A alta velocidade em que o processo ocorre permite que as enzimas sejam oxidadas, inibindo assim a oxidação enzimática (GEORGE et al., 2011).

A liofilização torna estes produtos alimentícios mais higroscópicos, logo os mesmos podem ser afetados pelo fator umidade durante o período de armazenamento. Sob condições de umidade e oxigênio, compostos sensíveis ao oxigênio podem se decompor rapidamente. Este processo também é responsável por aumentar a porosidade dos alimentos e desta maneira aumenta-se a superfície exposta do produto para a ação de radicais livres (ABASCAL; GANORA; YARNELL, 2005). Entretanto, há estudiosos que defendem que outros métodos tradicionais de conservação geram danos maiores (KROKIDA; PHILIPPOPOULOS, 2006).

3.3.1.4. Secagem à Vácuo de Frutas

O processo de secagem à vácuo é realizado em sistemas de baixa pressão, o que permite a remoção eficaz de água (JAYA; DAS, 2003). A utilização deste processo em sistemas de secagem pode reduzir a temperatura aplicada durante o procedimento, o que resulta na obtenção de produtos de qualidade superiores (MOTEBALI et al., 2011). A temperatura do sistema é mantida abaixo de 75°C (PAP, 1995). Sendo assim, estes produtos apresentam uma melhor retenção de compostos aromáticos e nutrientes quando comparados a sistemas de secagem convencional (JAYA; DAS, 2003). Ainda assim, tais produtos alimentícios são caracterizados pela menor contração, boa capacidade de desidratação e tempos de armazenamentos elevados (PETROV; MASLENNIKOVA, 2016).

3.3.1.5. Secagem por Microondas à vácuo de Frutas

A radiação por microondas exerce um forte efeito sobre as moléculas de água, maior componente dos legumes e frutas frescas. Como resultado da ação desta radiação há o aquecimento destas moléculas de umidade dentro do produto, o que resulta em melhores taxas de remoção de umidade e tempos de secagem mais curtos (WRAY; RAMASWAMY, 2015).

O rápido aquecimento da amostra é alcançado em virtude do elevado poder de penetração da energia de microondas, como consequência reduz-se o tempo de exposição do produto alimentício a radiação, reduzindo-se também o impacto nas características sensoriais e compostos termolábeis presentes nos alimentos (HEDDLESON; DOORES, 1994).

Um dos pontos a serem considerados durante o processo de secagem por microondas é a distribuição do aquecimento sobre o produto, onde pode haver um aquecimento desigual provocando um aquecimento descontrolado e possíveis pontos de carbonização, enquanto outras áreas ainda podem se apresentar úmidas. Em decorrência deste fato, variações nas técnicas aplicadas para a secagem por microondas são estudadas com o intuito de solucionar tais problemas (WANG et al., 2014b).

Em comparação a outras técnicas de secagem, a secagem que toma por base radiações eletromagnética, permite a obtenção de produtos de qualidade

superior, produzidos em um curto período de tempo, onde em algumas ocasiões pode-se alcançar um produto de qualidade semelhante ao obtido em um processo de liofilização, o qual é tido como o melhor procedimento de secagem (AZARPSZHOOH; RAMASWAMY, 2011).

3.3.1.6. Secagem por Radiação Infravermelha de Frutas

Quando os alimentos são submetidos a efeitos de radiações, a onda penetra diretamente na matriz alimentar, o que resulta em um rápido aquecimento volumétrico (do interior do produto para fora). As moléculas de água são capazes de absorver rapidamente essa energia, provocando assim a evaporação da água, ocorrendo por consequência a desidratação do alimento (NOWAC; LEWICKI, 2005).

Nestas condições, a transferência de massa e o calor são mais eficientes que o processo de secagem por convecção, reduzindo deste modo o tempo de secagem. Diversos estudos mostram os benefícios para a qualidade de alimentos secos por radiação (TAN et al., 2001). A secagem por radiação infravermelha pode ser utilizado como um processo alternativo para a secagem de produtos alimentícios sensíveis ao calor, como por exemplo, as frutas (PUENTE-DÍAZ et al., 2013).

3.3.2. Congelamento de Frutas

Frutas congeladas podem ser transportadas para mercados remotos, onde frutas frescas não conseguiriam chegar a condições aceitáveis e ainda assim, frutas sazonais submetidas a este processo podem ser utilizadas durante todo o ano como, por exemplo, as berries (CELLI; GHANEM; BROOKS, 2016). A extensão da vida útil destas frutas permitem a utilização das mesmas para seu processamento na produção de produtos alimentícios a base de frutas como, por exemplo, sucos, xaropes e compotas (MILLER; KNUDSON, 2012).

As baixas temperaturas de congelamento permitem o processo de cristalização da água, componente que representa cerca de 85 a 90% da fruta. Em decorrência da cristalização da água, há a redução da atividade de água (A_w), crescimento microbiano e redução de reações bioquímicas (CELLI; GHANEM; BROOKS, 2016).

Teoricamente, em decorrência das baixas temperaturas o processo de congelamento pode evitar a perda nutricional durante o armazenamento. Contudo, as observações de estudos contidas na literatura são contraditórias, no que se refere aos efeitos do congelamento sobre a concentração de compostos bioativos nas frutas, sendo necessário a realização de mais estudos neste campo de pesquisa (CELLI; GHANEM; BROOKS, 2016).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Para a análise de estudos recentes sobre o processamento de framboesas vermelhas e o efeito destes sobre compostos bioativos e atividade antioxidante, utilizou-se como fonte de pesquisa a base de dados Web of Science, estipulando-se o período de tempo de 2010 até 2016. No campo de pesquisa foram utilizadas palavras como: berries, red fruits, functional food, health, processing, drying, bioactive compounds, phenolic compounds, flavonoids, anthocyanins, tannins, ascorbic acid e antioxidant activity, bem como a combinação destes termos, utilizando-se como filtro para refino da pesquisa as seguintes áreas do conhecimento: “Food Science Technology” e “Nutrition Dietetics”.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Estudos recentes

Dentro da pesquisa realizada foram encontrados seis trabalhos envolvendo o processamento de framboesas vermelhas (*Rubus Idaeus* L.) e seus efeitos sobre os compostos bioativos e atividade antioxidante.

- **Effect of Dehydration on Raspberries: Polyphenol and Anthocyanin Retention, Antioxidant Capacity, and Antiadipogenic Activity (MEJIA-MEZA et al., 2010)**

Framboesas vermelhas foram fornecidas pelo estado de Washington (EUA) e submetidas a diferentes processos de tratamento para se prolongar sua vida útil. Entre os processos realizados tem-se liofilização (FD), secagem térmica (HAD),

secagem por microondas e vácuo (MIVAC) e secagem por combinação de ar quente, vácuo e microondas (HAD-MIVAC). Foram analisados compostos fenólicos totais, antocianinas totais e atividade antioxidante.

- **The effect of long-term frozen storage on the nutraceutical compounds, antioxidant properties and color indices of different kinds of berries (POIANA et al., 2010)**

Neste estudo berries como Blueberry (*Vaccinium myrtillus*), framboesa vermelha (*Rubus idaeus* L.) e amora preta (*Vaccinium fruticosus*) foram colhidas em seu estado de maturação comercial na Romênia. Após o processo de colheita as frutas foram congeladas. Foram analisados compostos fenólicos totais, antocianinas monoméricas totais, vitamina C e atividade antioxidante.

- **Effect of Freezing and Frozen Storage on Phenolic Compounds of Raspberry and Blackberry Cultivars (TURKBEN et al., 2010)**

Framboesas vermelhas de cinco cultivares diferentes (*Aksu Kirmizisi*, *Rubin*, *Newburgh*, *Holland Boduru* e *Heritage*) foram colhidas na Turquia e levadas a uma indústria para o processo de congelamento. Foram analisados compostos fenólicos totais e flavonóides.

- **Changes of Hydrogen Peroxide and Radical-Scavenging Activity of Raspberry during Osmotic, Convective, and Freeze-Drying (NOVAKOVIC et al., 2011)**

No presente trabalho, framboesas vermelhas da cultivar *Wilamette* foram colhidas e submetidas ao processo de secagem convectiva (secagem por ar), desidratação osmótica e liofilização. Foram avaliados compostos fenólicos totais e atividade antioxidante.

- **Stability of Anthocyanins in Frozen and Freeze-Dried Raspberries during Long-Term Storage: In Relation to Glass Transition (SYAMALADEVI et al., 2011)**

Para a realização deste estudo framboesas cultivadas no estado de Washington foram submetidas ao processo de congelamento e liofilização. O efeito destes tratamentos foram avaliados de acordo com um longo período de tempo, sendo avaliados neste contexto, o teor de antocianinas totais.

- **Comparison of different drying methods on the physical properties, bioactive compounds and antioxidant activity of raspberry powders (SI et al., 2016)**

Para a realização deste estudo, framboesas congeladas de uma empresa chinesa, foram submetidas a diversos tipos de tratamentos de secagem entre eles: secagem térmica (HAD), secagem por radiação infravermelha (IRD), secagem térmica e à vácuo (HA-EPD), radiação infravermelha e secagem a vácuo e por microondas (IV-MVD) e liofilização (FD). Foram analisados antocianinas totais, compostos polifenóis totais, flavonóides totais e atividade antioxidante.

5.2. Condições de Processamento

Os diferentes processamentos foram agrupados da seguinte maneira: técnicas de secagem individuais e combinação de diferentes técnicas de secagem. Nas Tabelas 1, 2, 3, 4 e 5 podem ser observadas as condições de processamento das diferentes técnicas de secagem individuais.

Tabela 1 – Condições de processamento da secagem térmica para os diferentes autores

Processamento	Autor		
Secagem Térmica	MEJIA-MEZA et al. (2010)	NOVAKOVIC et al. (2011)	SI et al. (2016)
Amostra	Framboesas fornecidas pelo estado de Washington (EUA)	Framboesas vermelhas da cultivar <i>Wilamette</i>	Framboesas congeladas de uma empresa chinesa
Temperatura de refrigeração após a colheita	-	5°C	-
Temperatura de secagem	76,6°C/4,5h	60°C (até se atingir proporções de matéria seca igual a 30, 50 e 70%)	70°C/9h
Velocidade do ar	-	1m/s	2,1m/s

Tabela 2 – Condições de processamento da desidratação osmótica

Processamento	Autor
Desidratação Osmótica	NOVAKOVIC et al. (2011)
Amostra	Framboesas vermelhas da cultivar <i>Wilamette</i>
Temperatura de refrigeração após a colheita	5°C
Concentração da solução hipertônica	Diferentes concentrações de solução de sacarose (até se atingir proporções de matéria seca igual a 30, 50 e 70%)

Tabela 3 – Condições de processamento da liofilização para os diferentes autores

Processamento	Autor			
Liofilização	MEJIA-MEZA et al. (2010)	NOVAKOVIC et al. (2011)	SYAMALADEVI et al. (2011)	SI et al. (2016)
Amostra	Framboesas fornecidas pelo estado de Washington (EUA)	Framboesas vermelhas da cultivar <i>Wilamette</i>	Framboesas fornecidas pelo estado de Washington (EUA)	Framboesas congeladas de uma empresa chinesa
T emperatura de pré- congelamento das framboesas	-23°C/1h	-23°C	-35°C	-
Temp. de armazenamento	-34°C	-	-	-
Pressão de liofilização	20 millitorr	13Pa	20Pa	0,01kPa
Temp. de liofilização	-60°C/48h	50°C	-60°C	-56°C/36h
Temp. de armazenamento	-	-	23°C	-

Tabela 4 – Condições de processamento da secagem por radiação infravermelha

Processamento	Autor
Secagem por radiação infravermelha	SI et al. (2016)
Amostra	Framboesas congeladas de uma empresa chinesa
Temperatura	70°C/4h
Potência	675W

Tabela 5 – Condições de processamento de congelamento para os diferentes autores

Processamento	Autor		
Congelamento	POIANA et al. (2010)	TURKBEN et al. (2010)	SYAMALADEVI et al. (2011)
Amostra	Framboesa vermelha (<i>Rubus Idaeus</i> L.)	Framboesas vermelhas das cultivares <i>Aksu Kirmizisi, Rubin, Newburgh, Holland Boduru e Heritage</i>	Framboesas fornecidas pelo estado de Washington (EUA)
Temperatura de refrigeração após a colheita	3-5°C/24h	-	-
Temperatura de congelamento	Congelamento Rápido Individual (IQF)	-35°C/5h	-35°C
Temperatura de armazenamento	-18°C	-22°C	-20, -35 e - 80°C

Nas Tabelas 6, 7, 8 e 9 podem ser observadas as diferentes condições de processamento com relação as diferentes combinações de técnicas de secagem.

Tabela 6 – Condições de processamento da secagem por microondas e vácuo

Processamento	Autor
Secagem por microondas e vácuo	MEJIA-MEZA et al. (2010)
Amostra	Framboesas fornecidas pelo estado de Washington (EUA)
Temperatura de secagem de framboesas congeladas	65,5°C/90min
Potência	3000W
Pressão de vácuo	2,6kPa

Tabela 7 – Condições de processamento da secagem térmica, vácuo e microondas

Processamento	Autor
Secagem térmica, vácuo e microondas	MEJIA-MEZA et al. (2010)
Amostra	Framboesas fornecidas pelo estado de Washington (EUA)
Temperatura de secagem de framboesas frescas	98,8°C/45min
Temperatura de congelamento	-23°C
Temperatura de armazenamento	-34°C
Temperatura de secagem	71,1°C/60min
Potência	3000W
Pressão de vácuo	2,6kPa

Tabela 8 – Condições de processamento da secagem térmica e à vácuo

Processamento	Autor
Secagem térmica e à vácuo	SI et al. (2016)
Amostra	Framboesas congeladas de uma empresa chinesa
Temperatura de secagem térmica	70°C/90min
Temperatura de secagem à vácuo	69°C/150min
Pressão de vácuo	5kPa

Tabela 9 - Condições de processamento da secagem por radiação infravermelha, vácuo e microondas

Processamento	Autor
Secagem por radiação infravermelha, vácuo e microondas	SI et al. (2016)
Amostra	Framboesas congeladas de uma empresa chinesa
Temperatura de secagem	70°C/60min
Potência de radiação infravermelha	675W
Potência de microondas	600W
Pressão de vácuo	15kPa
Tempo	3h

5.3. Parâmetros Avaliados

Nem todos os autores avaliaram os mesmos parâmetros em seus estudos. Sendo assim a Tabela 10 mostra os diferentes autores e seus parâmetros avaliados.

Tabela 10 – Estudos envolvendo o processamento de framboesas vermelhas (*Rubus Idaeus* L.) e os parâmetros avaliados pelos diferentes autores.

Parâmetros Avaliados	MEJIA-MEZA et al. (2010)*	POIANA et al., (2010)**	TURKBEN et al. (2010)***	NOVAKOVIC et al. (2011)****	SYAMALADEVI et al. (2011)*****	SI et al. (2016)*****
Compostos Fenólicos Totais	X	X	X	X		X
Flavonóides			X			X
Antocianinas	X	X			X	X
Taninos			X			
Ácido Ascórbico		X				
Atividade Antioxidante	X	X		X		X

Sendo que:

*MEJIA-MEZA et al. (2010): Liofilização (FD), secagem térmica (HAD), secagem por microondas e vácuo (MIVAC) e secagem por combinação de ar quente vácuo e microondas (HAD-MIVAC);

** POIANA et al. (2010): Congelamento;

***TURKBEN et al. (2010): Congelamento;

****NOVAKOVIC et al. (2011): Secagem convectiva (secagem por ar/AD30, AD50 e AD70), desidratação osmótica (OD30, OD50 e OD70) e liofilização (FD);

*****SYAMALADEVI et al. (2011): Congelamento e liofilização;

*****Si et al. (2016): Secagem térmica (HAD), secagem por radiação infravermelha (IRD), secagem térmica e à vácuo (HA-EPD), radiação infravermelha, à vácuo e por microondas (IV-MVD) e liofilização (FD).

5.4. Compostos Bioativos

5.4.1. Compostos Fenólicos

Para a determinação do conteúdo de compostos fenólicos totais Mejia-Meza et al. (2010), Poiana et al. (2010), Novakovic et al. (2011), Syamaladevi et al. (2011) e Si et al. (2016) utilizaram o método de Folin-Ciocalteu, com exceção do trabalho de Turkben et al., 2010 que utilizaram HPLC para identificação de seus compostos. Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 11 e Figuras 8, 9, 10 e 11.

Tabela 11 – Efeito do congelamento e do armazenamento congelado sobre o teor de compostos fenólicos totais

Baga	Frutas Congeladas						
	FR	0-F	2-F	4-F	6-F	8-F	10-F
Framboesa Vermelha	Compostos Fenólicos Totais (mg GAE /100g PF)						
	197,79	197,14	182,23	169,45	153,21	129,75	103,65

Fonte: POIANA et al., 2010.

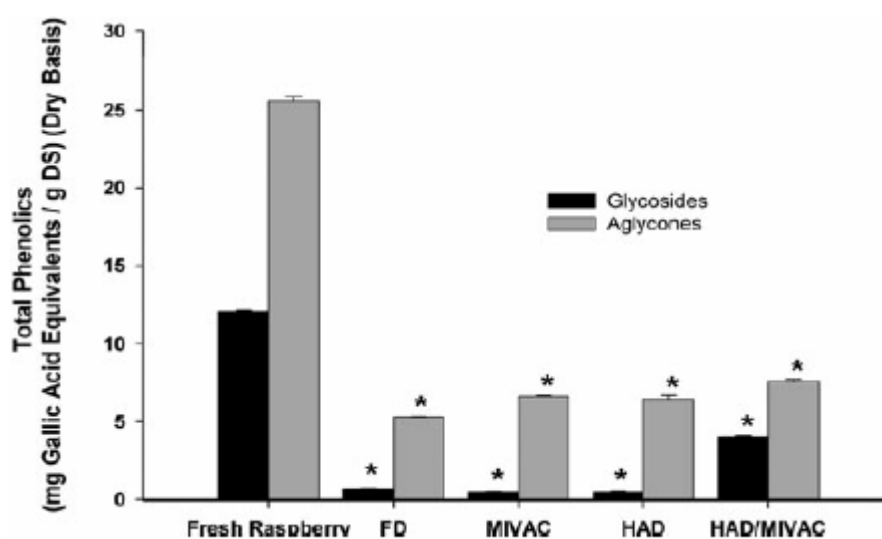


Figura 8 - Efeito da liofilização (FD), secagem térmica (HAD), secagem por microondas e vácuo (MIVAC) e secagem por combinação de ar quente, vácuo e microondas (HAD-MIVAC) sobre o teor de compostos polifenólicos totais. Fonte: MEJIA-MEZA et al., 2010.

Total	
Aksu Kınıması	
Fresh	2,947.42±70.14c
Just frozen	1,478.80±22.09g
Frozen	1,754.71±48.51f
Newburgh	
Fresh	3,231.81±41.10a
Just frozen	1,754.84±34.92f
Frozen	2,107.53±28.5d
Rubin	
Fresh	1,928.75±31.47e
Just frozen	923.01±20.20j
Frozen	1,446.64±31.98g
Heritage	
Fresh	3,064.64±51.07b
Just frozen	1,363.53±2.59h
Frozen	2,068.34±3.16d
Hollanda Bodur	
Fresh	2,113.72±6.76d
Just frozen	1,308.93±3.68h
Frozen	1,115.29±3.52i
LSD ($p < 0.01$)	61.66 ^a

Mean of three determinations±SD

^aLSD values with different letters in the same column indicate significantly different at $p < 0.01$

Figura 9 - Efeito do congelamento e do armazenamento congelado sobre o teor de compostos fenólicos totais. Fonte: TURKBEN et al., 2010.

	FC GAE (mg/100g fw)	FC GAE (mg/g dw)
Fresh	396.3 ± 1,9	26.2
AD 30	483.4 ± 5.2	21.9
AD 50	1276.8 ± 8.7	23.0
AD 70	1956.6 ± 3.4	24.1
OD 30	505.2 ± 1.1	17.5
OD 50	522.9 ± 3.5	9.9
OD 70	393.8 ± 1.7	5.8
FD	1758.0 ± 0.9	24.9

^aData are presented as means ± SD.

^b% = mL of raspberry extract per mL of solution × 100.

Figura 10 - Efeito da secagem térmica (proporções de matéria seca: 30, 50 e 70%, portanto: AD30, AD50 e AD70), desidratação osmótica (proporções de matéria seca: 30, 50 e 70%, portanto: OD30, OD50 e OD70) e liofilização (FD) sobre o teor de compostos fenólicos totais. Fonte: NOVAKOVIC et al., 2011.

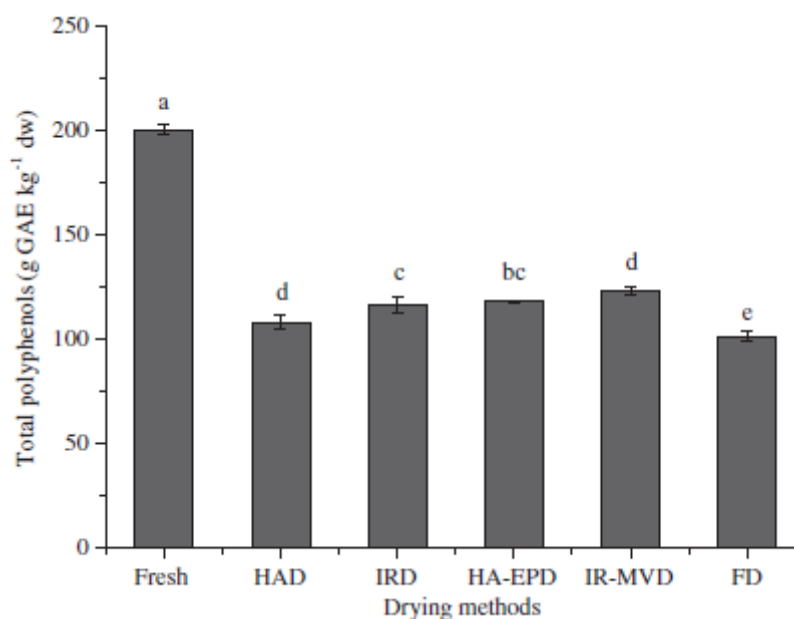


Figura 11 - Efeito da secagem térmica (HAD), secagem por radiação infravermelha (IRD), secagem térmica e à vácuo (HA-EPD), secagem por radiação infravermelha, à vácuo e microondas (IR-MVD) e liofilização (FD) sobre o teor de compostos fenólicos totais. Fonte: SI et al., 2016.

Com relação ao processo de congelamento, pôde-se observar que logo após a realização do processo houve uma diminuição no teor de compostos fenólicos totais, fato observado tanto no trabalho de Poiana et al. (2010), quanto no trabalho de Turkben et al (2010).

Levando-se em consideração o período de armazenamento congelado, Poiana et al (2010) apresentaram uma redução contínua no teor de compostos fenólicos totais no decorrer de um período de 10 meses. Por outro lado, Turkben et al. (2010) apresentaram um aumento no teor de compostos fenólicos totais durante o período de armazenamento congelado (após 6 meses), com exceção da cultivar *Hollanda Boduru*.

De acordo com Poiana et al (2010), a redução significativa destes compostos está relacionado ao teor de água no estado não congelado. Ainda neste caso, pode ser que a taxa de reação enzimática tenha atingido seus valores máximos nas camadas de água líquida em frutas congeladas, sendo que este fenômeno pode ser responsável por contribuir para a alteração de compostos químicos, bem como dos compostos bioativos. As reações enzimáticas são lentas em produtos congelados, entretanto elas não são completamente bloqueadas.

A uma temperatura de -18°C o conteúdo de água congelada em berries é de aproximadamente 89%, sendo 11% compatível ao teor de água líquida. Já a uma

temperatura de -30°C a proporção de água congelada aumenta para 91%, sendo os 9% restantes correspondente ao conteúdo de água líquida. De modo geral, a atividade enzimática em frutas congeladas esta relacionada ao conteúdo de água não congelada (POIANA et al., 2010). Portanto, quanto menor a temperatura do armazenamento congelado, menor a quantidade de água líquida disponível para a atividade enzimática, logo a vida útil do produto é prolongada, visto que a taxa de perda de compostos bioativos será reduzida.

De modo geral, as condições de congelamento rápido preservam melhor a estrutura do alimento. Nestas condições há a produção de uma grande quantidade de cristais de gelo pequenos, o que leva a uma reduzida quebra das paredes celulares, e como consequência um menor grau de deterioração da textura do alimento (BROWN, 1977). Sendo assim, as condições de congelamento as quais foram submetidas as framboesas no estudo de Turkben et al. (2010), pode ter provocado a formação de cristais de gelo maiores, onde houve uma maior degradação das estruturas celulares, aumentando assim a liberação de compostos fenólicos totais, o que pode ser comprovado pelo aumento do valor destes durante o período de armazenamento congelado.

Para o processo de secagem térmica realizado por Novakovic et al. (2011) pôde-se observar que houve redução dos compostos fenólicos totais, sendo que quanto maior a proporção de matéria seca, maior a concentração de compostos fenólicos totais. Em seus estudos Si et al. (2016) também observaram redução dos compostos fenólicos totais após a realização do processo de secagem térmica, contudo o processo de secagem térmica pode obter melhores resultados quando combinado com outra técnica, como por exemplo, a secagem à vácuo. Segundo Novakovic et al., 2011, a perda mínima destes compostos pode ser explicada pela decomposição de uma pequena porção destes polifenóis.

Summen e Erge (2014) estudaram a cinética da degradação térmica em compostos bioativos e aspecto colorimétrico visual na polpa de framboesas. Segundo os autores a degradação de compostos bioativos e a perda de cor seguiram uma cinética de primeira ordem. Este fato leva a considerar que a temperatura é um fator importante na determinação nas condições de secagem de berries, visto a existência de compostos termolábeis e sua possível elevada taxa de degradação.

Observando-se os resultados obtidos para o processo de desidratação osmótica, pôde-se notar uma redução significativa no teor de compostos fenólicos totais, sendo que quanto maior a proporção de matéria seca, menor o teor de compostos fenólicos totais (NOVAKOVIC et al., 2011). De acordo com Stojanovic e Silva (2007), esta redução dos compostos fenólicos pode ser explicada pela transferência destas porções para a solução osmótica.

O processo de liofilização também apresenta perda de compostos fenólicos totais quando comparados a suas respectivas amostras frescas (NOVAKOVIC et al., 2011; SI et al., 2016). Entretanto para o primeiro estudo, a liofilização se apresentou como o melhor método para retenção dos compostos fenólicos totais, fato que foi observado de maneira contrária nos estudos de Si et al., 2016, onde o processo de liofilização realizada apresentou a pior retenção de compostos fenólicos totais.

Os resultados obtidos por Novakovic et al., 2011, estão de acordo com demais estudos encontrados na literatura, onde o processo de liofilização é tido como o processo de desidratação que melhor preserva a qualidade dos produtos alimentícios (MICHALCZYK et al., 2009). Neste contexto, torna-se necessário analisar cuidadosamente os parâmetros estabelecidos para a realização do processo de liofilização no estudo de Si et al. (2016), bem como, se houve alguma falha durante o processo, com o intuito de se verificar a consistência dos resultados obtidos.

No estudo de Mejia-Meza et al. (2010), todos os processos realizados apresentaram redução dos compostos polifenóis totais em comparação a amostra fresca. A maior retenção destes compostos foi obtida pelo processo de secagem por combinação de ar quente, vácuo e microondas (HAD-MIVAC), sendo que a liofilização apresentou uma menor capacidade de retenção do que a esperada. Segundo Kwok et al. (2004), a combinação de métodos de secagem pode resultar em uma maior retenção de compostos polifenóis totais, como foi observado no estudo em questão. Ainda assim, fatores como a pressão de vácuo, tempo e temperatura reduzidos, e aquecimento volumétrico sugerem vantagens do processo de secagem por microondas à vácuo (MIVAC) em relação ao processo de secagem térmica (HAD), assim como o tempo reduzido proporciona vantagens em relação a liofilização (FD) (MEJIA-MEZA et al., 2010).

Para os processos de secagem por radiação infravermelha, e pela combinação da radiação infravermelha com secagem a vácuo e por microondas, tais

técnicas também apresentaram redução no teor de compostos fenólicos totais, contudo, as mesmas apresentaram melhor retenção de compostos fenólicos totais comparativamente à secagem térmica e ao processo de liofilização no estudo de Si et al., 2016.

A secagem por radiação infravermelha é responsável por aquecer rapidamente o produto, e assim eliminar em um rápido processo as moléculas de água, logo o produto sofre uma redução de tempo na exposição do mesmo à radiação. A secagem por microondas segue o mesmo princípio da radiação infravermelha, no que se refere a um reduzido tempo de exposição do alimento a radiação. Já a secagem à vácuo trabalha em um sistema de baixa pressão que permite a remoção eficiente de moléculas de água. Individualmente são técnicas interessantes de serem aplicadas no processo de desidratação de frutas, logo a combinação das mesmas pode apresentar um efeito sinérgico, e assim apresentarem melhores resultados na retenção de compostos fenólicos totais.

5.4.1.1. Flavonóides

Para a determinação do conteúdo de quercetina (flavonol pertencente a classe dos flavonóides), Turkben et al. (2010) utilizaram HPLC. Já para a determinação da concentração de flavonóides totais, Si et al. (2016) utilizaram o método colorimétrico de cloreto de alumínio. Os resultados obtidos podem ser observados nas Figuras 12 e 13.

QU	
Aksu Kırmızısı	
Fresh	nd
Just frozen	nd
Frozen	nd
Newburgh	
Fresh	nd
Just frozen	nd
Frozen	nd
Rubin	
Fresh	nd
Just frozen	nd
Frozen	nd
Heritage	
Fresh	46.97±0.32b
Just frozen	38.82±0.37c
Frozen	57.34±2.65a
Hollanda Boduru	
Fresh	27.31±0.27e
Just frozen	35.24±2.40d
Frozen	48.35±0.89b
LSD ($p<0.01$)	2.17 ^a

Mean of three determinations ±SD

^a LSD values with different letters in the same column indicate significantly different at $p<0.01$

Figura 12 - Efeito do congelamento e do armazenamento congelado sobre o teor de quercetina.
Fonte: TURKBEN et al., 2010.

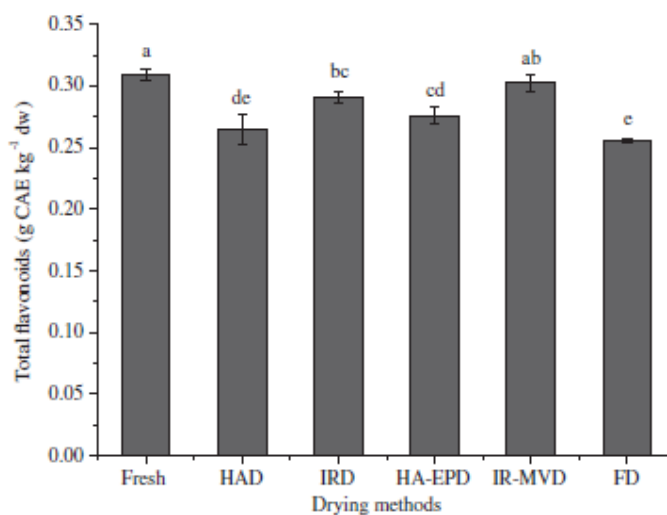


Figura 13 - Efeito da secagem térmica (HAD), secagem por radiação infravermelha (IRD), secagem térmica e à vácuo (HA-EPD), secagem por radiação infravermelha, à vácuo e microondas (IR-MVD) e liofilização (FD) sobre o teor de flavonóides totais. Fonte: SI et al., 2016.

O processo de congelamento foi responsável pela queda imediata do teor de quercetina após a realização do processo na cultivar *Heritage*, sendo observado efeito contrário na cultivar *Hollandia Boduru* no trabalho de Turkben et al. (2010). Com relação ao período de armazenamento congelado (após 6 meses), houve aumento no teor de quercetina destas duas cultivares.

Uma alta concentração de vitamina C pode inibir a degradação de quercetina durante o processo de congelamento, atuando neste caso como um antioxidante durante o congelamento. Alinhado a este raciocínio, pode-se inferir que o baixo teor de quercetina logo após o congelamento ocorre em função do baixo teor de vitamina C em berries. Ainda assim, durante o congelamento pode haver também a degradação da quercetina, bem como reações enzimáticas e oxidativas. O processo de congelamento também pode ser responsável por provocar mudanças no teor de vitamina C (HAKKINEN et al., 2000a) e por conseqüência interferir no teor de quercetina.

Já o aumento da concentração de quercetina após o período de 6 meses pode ser explicado pela degradação da estrutura celular da framboesa, sendo que a quercetina poderia ser facilmente hidrolisada e extraída (TURKBEN et al., 2010).

No trabalho de Si et al. (2016) todos os tratamentos apresentaram redução no teor de flavonóides totais após a realização dos procedimentos, com exceção da secagem por radiação infravermelha, à vácuo e microondas que não apresentou diferença significativa com relação a amostra fresca, o que indica que este método, neste caso foi o melhor para a retenção de compostos flavonóides totais. O processo de secagem térmica (HAD), secagem térmica e à vácuo, e por fim, a liofilização, representam os processos com a maior degradação de flavonóides totais.

Segundo Korus (2011), a perda de flavonóides pode ser explicada pelo processo de oxidação e polimerização durante a secagem. A perda destes compostos também pode estar associada ao efeito de combinação entre a temperatura e tempo empregados no processo realizado (SCHIEBER; KELLER; CARLE, 2001). No caso da liofilização, a temperatura de -56°C e o tempo equivalente a 36h não apresentaram efeito sinérgico na preservação de compostos flavonóides, em relação aos outros tratamentos realizados no estudo.

5.4.1.1.1. Antocianinas

Para a determinação de antocianinas totais, Poiana et al. (2010) e Syamaladevi et al. (2011) utilizaram como metodologia o método diferencial de pH. Mejia-Meza et al. (2010) utilizaram uma metodologia descrita por Jiang et al. (2001) e Vicente et al. (2002). Já Si et al. (2016) utilizaram o método diferencial de pH, contudo uma versão modificada. Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 12 e nas Figuras 14, 15, 16 e 17.

Tabela 12 – Efeito do congelamento e do armazenamento congelado sobre o teor de antocianinas monoméricas totais

Baga	Frutas Congeladas						
	FR	0-F	2-F	4-F	6-F	8-F	10-F
Framboesa Vermelha	Antocianinas Totais (mg/100g PF)						
	39,71	41,67	39,95	37,85	37,56	34,85	33,51

Fonte: POIANA et al., 2010.

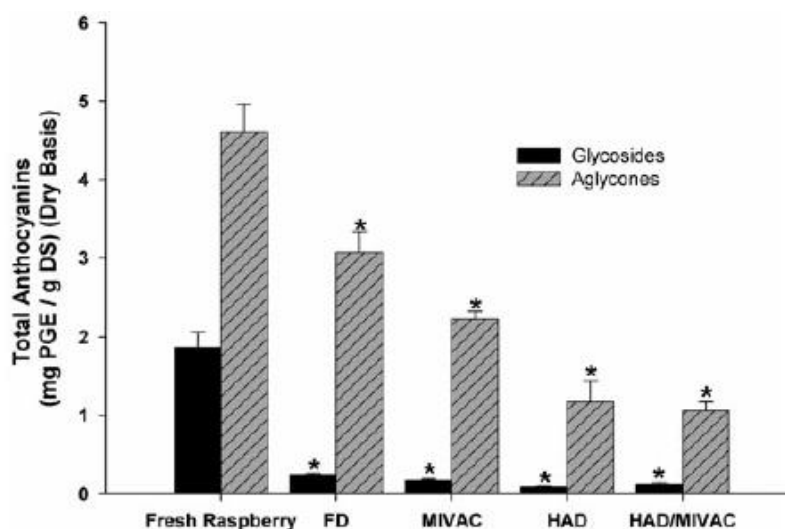


Figura 14 - Efeito da liofilização (FD), secagem térmica (HAD), secagem por microondas e vácuo (MIVAC) e secagem por combinação de ar quente, vácuo e microondas (HAD-MIVAC) sobre o teor de antocianinas totais. Fonte: MEJIA-MEZA et al., 2010.

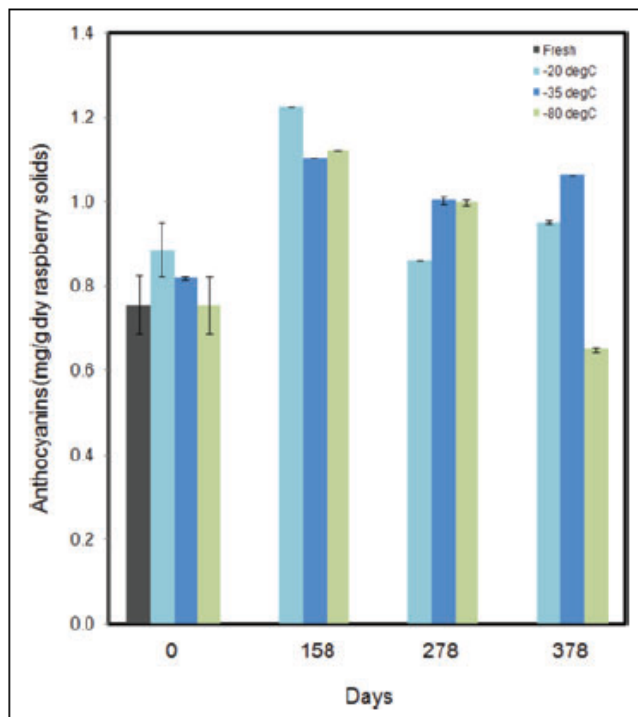


Figura 15 - Efeito do congelamento (-35°C) e do armazenamento congelado (-20, -35 e -80°C) sobre o teor de antocianinas totais. Fonte: SYAMALADEVI et al., 2011.

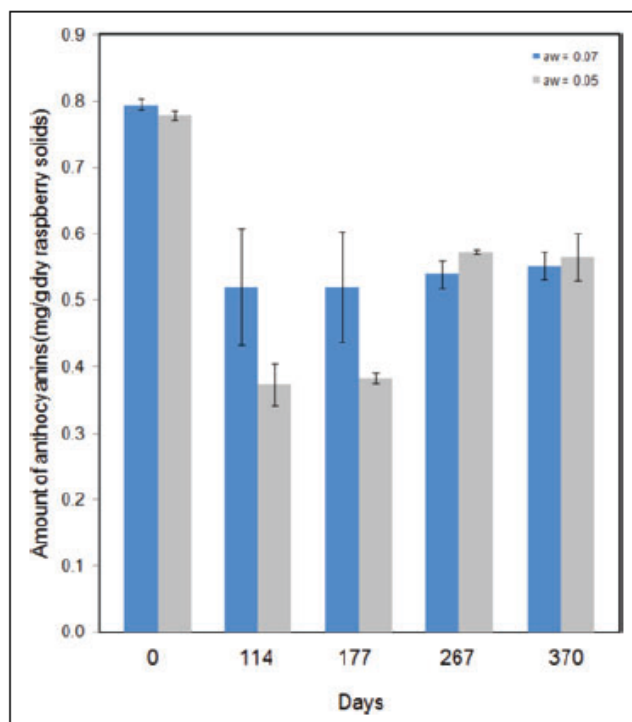


Figura 16 - Efeito da liofilização e do armazenamento do produto liofilizado sobre o teor de antocianinas totais. Fonte: SYAMALADEVI et al., 2011.

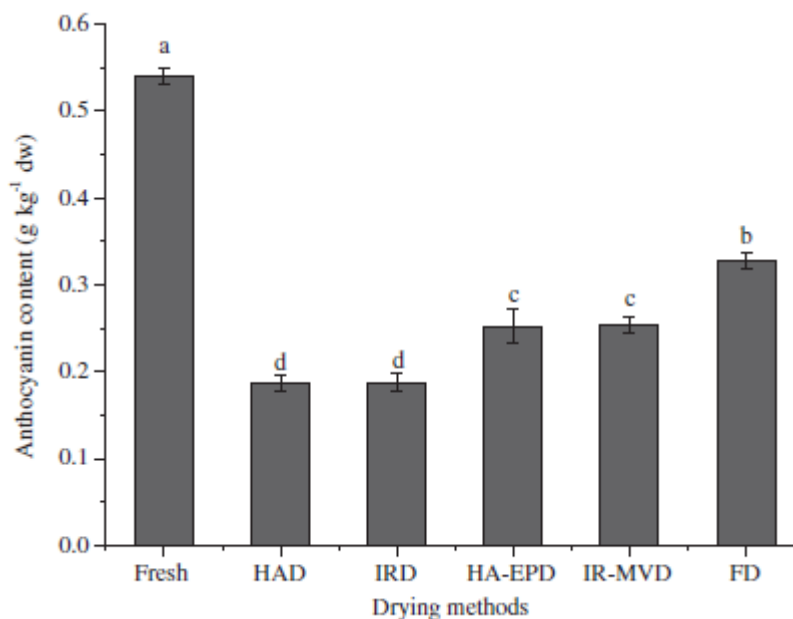


Figura 17 - Efeito da secagem térmica (HAD), secagem por radiação infravermelha (IRD), secagem térmica e à vácuo (HA-EPD), secagem por radiação infravermelha, à vácuo e microondas (IR-MVD) e liofilização (FD) sobre o teor de antocianinas. Fonte: SI et al., 2016.

Levando-se em consideração o processo de congelamento e o armazenamento congelado realizado por Poiana et al. (2010) pôde-se observar que a concentração de antocianinas apresentou um aumento em seu teor logo após a realização deste processo. Nestas condições, é provável que as antocianinas tornam-se mais facilmente extraíveis, por meio da degradação das estruturas celulares das berries (POIANA et al., 2010). O processo de cristalização da água durante o congelamento tem por conseqüência a ruptura das paredes celulares facilitando a liberação de antocianinas, assim como outros compostos fenólicos, aumentando assim o seu conteúdo. Entretanto, ao mesmo tempo, pode ocorrer seu processo de degradação em função da atividade de enzimas como a polifenol oxidase (PPO), a qual pode permanecer ativa e assim causar reações bioquímicas (BASSIL et al., 2005). A redução de antocianinas pode ser observada ao longo do armazenamento congelado realizado por Poiana et al., 2010.

Syamaladevi et al. (2011) também observaram o efeito do congelamento e do armazenamento congelado em diferentes temperaturas. Assim como o observado no estudo de Poiana et al. (2010), imediatamente após a realização do processo de congelamento houve um aumento no teor de antocianinas, o que nos leva a inferir que as antocianinas se tornam facilmente extraíveis com a degradação da estrutura celular provocada pelo congelamento. Contudo, no decorrer do armazenamento, para o período de 158 dias houve aumento no teor de antocianinas para as três

temperaturas distintas, para o período de 278 dias houve redução no teor deste composto nas três temperaturas distintas e por fim, para o período de 378 dias houve aumento no teor de antocianinas para as temperaturas de armazenamento de -20 e -35°C e redução no teor deste composto a uma temperatura de -80°C.

No estudo de Mejia-Meza et al. (2010), para todos os processos de desidratação realizados houve perda de antocianinas totais, contudo o processo de liofilização (FD) foi o que apresentou a melhor capacidade de retenção destes compostos. As antocianinas são compostos sensíveis ao calor, fatores enzimáticos e a oxidação, sendo consideradas, portanto como compostos altamente instáveis (KWOK et al., 2004). Frente a estas condições espera-se naturalmente que processos que envolvam a utilização de temperaturas mais elevadas por um período de tempo considerável apresentem menores teores de antocianinas, bem como a mudança de cor, em decorrência das antocianinas serem responsáveis pela coloração das framboesas vermelhas.

O teor de antocianinas também foi estudado sobre o efeito do processo de liofilização por Syamaladevi et al. (2011). Após o processo de liofilização, as amostras foram transformadas em pó com o auxílio de almofariz e pistilo. Ao longo do período de armazenamento as amostras liofilizadas foram avaliadas de acordo com duas atividades de água de armazenamento diferentes: 0,07 e 0,05. Observando-se o período de armazenamento como um todo, houve um decréscimo no teor de antocianinas, para as duas atividades de água distintas. Por outro lado, observando-se os períodos de 114, 177, 267 e 370 dias, pôde-se observar que para a atividade de água de 0,07 o teor de antocianinas sofreu pequenas flutuações, contudo se apresentou bem mais estável em relação à atividade de água de 0,05.

A água presente nos alimentos pode exercer função de solvente ou atuar como reagente de diversas reações químicas. Deste modo, em atividades de água mais baixas, a água pode atuar como reagente, aumentando a degradação das antocianinas. Por outro lado, em atividades de água com valores maiores, as taxas de difusão limitada são aumentadas em decorrência da oxidação, atividade enzimática e mobilidade molecular como resultado de um maior teor de água disponível (SYAMALADEVI et al., 2011).

Em seu estudo Si et al. (2016) avaliaram o efeito de diversos processamentos sobre o teor de antocianinas. Para todos eles, houve perda significativa de antocianinas em comparação às framboesas frescas. Dentre os métodos de

processamento utilizados a liofilização (FD) se mostrou como o menos agressivo à degradação de antocianinas e a secagem térmica (HAD) e secagem por radiação infravermelha (IRD) os mais agressivos. Os métodos combinados apresentaram resultados intermediários.

5.4.1.2. Taninos

Para a determinação de ácido elágico, Turkben et al. (2010) utilizaram HPLC para identificação de seus compostos. Os resultados obtidos podem ser observados na Figura 18.

EA	
Aksu Kimizasi	
Fresh	1,018.75±20.16b
Just frozen	420.68±1.12h
Frozen	518.30±8.61fg
Newburgh	
Fresh	898.51±17.12c
Just frozen	392.76±8.50h
Frozen	558.56±1.51f
Rubin	
Fresh	727.90±9.21d
Just frozen	214.50±5.70k
Frozen	492.22±8.71g
Heritage	
Fresh	1,350.36±13.85a
Just frozen	547.65±6.39f
Frozen	675.21±2.97e
Hollanda Boduru	
Fresh	864.24±3.63c
Just frozen	522.09±4.06fg
Frozen	549.95±4.12f
LSD ($p < 0.01$)	50.46 ^a

Mean of three determinations±SD

^aLSD values with different letters in the same column indicate significantly different at $p < 0.01$

Figura 18 - Efeito do congelamento e do armazenamento congelado sobre o teor de ácido elágico. Fonte: TURKBEN et al., 2010.

Em todas as cultivares analisadas pôde-se observar que o teor de ácido elágico apresentou um decréscimo logo após a realização do processo de congelamento. Por outro lado, com o decorrer do armazenamento congelado houve aumento no teor de ácido elágico.

A perda de ácido elágico durante o processo de congelamento a -22°C pode ser explicado pela atuação da enzima polifenol oxidase (PPO) ligadas a parede celular, as quais podem ser liberadas com o rompimento das células destas berries (DE ANCOS et al., 2000a). Outro ponto a ser considerado é que o ácido elágico em

sua forma livre, é capaz de reagir com radicais livres, atuando como quelante de metais, como por exemplo, Mg^{2+} e Ca^{2+} (HAKKINEN et al., 2000b).

O fato do teor de ácido elágico ser maior nas amostras congeladas do que nas amostras recém congeladas pode ser explicado pela degradação de elagitaninos, liberando determinados ácidos que depois serão convertidos em ácido elágico. Ainda assim, uma outra explicação é que o ácido elágico se apresenta fortemente ligado à parede celular, sendo assim este ácido poderia ser facilmente extraído durante o armazenamento congelado com a ruptura da célula (DE ANCOS et al., 2000a).

5.4.2. Vitamina C

Para a determinação do teor de vitamina C, Poiana et al. (2010) utilizaram como metodologia o processo de titulação com 2,6 – diclorofenolindofenol, sendo utilizado clorofórmio para extratos intensamente corados. Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 13.

Tabela 13 – Efeito do congelamento e do armazenamento congelado sobre o teor de vitamina C

Baga	Frutas Congeladas						
	FR	0-F	2-F	4-F	6-F	8-F	10-F
Framboesa	Vitamina C (mg/100g PF)						
Vermelha	31,55	31,41	29,91	27,15	26,22	25,15	22,13

Fonte: POIANA et al., 2010.

Neste estudo, semelhante ao comportamento dos compostos fenólicos totais, o teor de vitamina C apresentou desde o processo imediato após o congelamento, taxas de decréscimo em seu teor. Neste caso, a perda deste composto também está associada ao teor de água não congelado, assim como no caso dos compostos fenólicos totais (POIANA et al., 2010).

5.4.3. Atividade Antioxidante

Para a determinação da atividade antioxidante, Mejia-Meza et al. (2010) utilizaram a metodologia de ABTS, Poiana et al. (2010) utilizaram a metodologia de Redução de Ferro (FRAP), Novakovic et al. (2011) utilizaram a metodologia de inibição de radicais de DPPH e Si et al. (2016) utilizaram a metodologia de determinação de atividade antioxidante total por ABTS, DPPH e FRAP. Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 14 e Figuras 19, 20 e 21.

Tabela 14 – Efeito do congelamento e do armazenamento congelado sobre a atividade antioxidante

Baga	Frutas Congeladas						
	FR	0-F	2-F	4-F	6-F	8-F	10-F
Framboesa Vermelha	Atividade antioxidante (mM Fe ²⁺ /kg PF)						
	40,16	39,21	37,89	35,72	31,88	28,37	24,84

Fonte: POIANA et al., 2010.

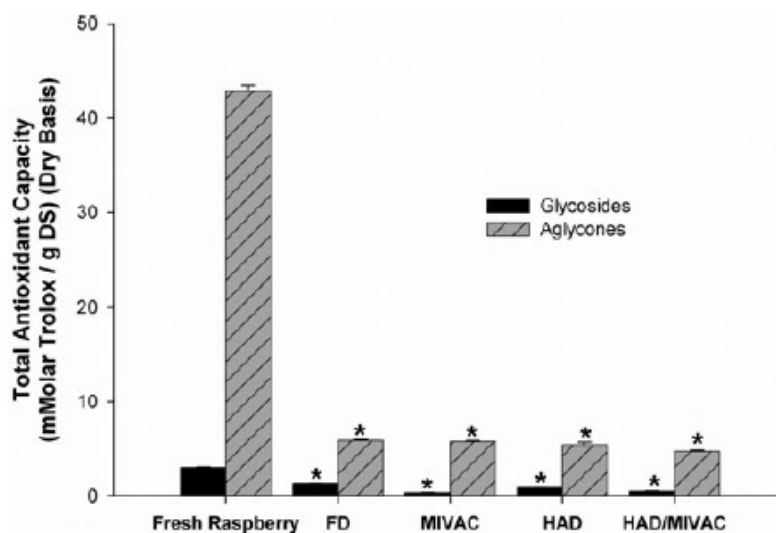


Figura 19 - Efeito da liofilização (FD), secagem térmica (HAD), secagem por microondas e vácuo (MIVAC) e secagem por combinação de ar quente, vácuo e microondas (HAD-MIVAC) sobre a atividade antioxidante. Fonte: MEJIA-MEZA et al., 2010.

	EC ₅₀ (%) ^b	1/EC ₅₀ (% ⁻¹)	HPS500 (%)
Fresh	13.39 ± 0.26	7.463	24.2
AD 30	6.63 ± 0.09	15.083	40.0
AD 50	2.60 ± 0.05	38.461	56.6
AD 70	1.48 ± 0.19	67.567	63.7
OD 30	8.03 ± 0.14	12.453	30.6
OD 50	5.57 ± 0.07	17.953	37.0
OD 70	5.84 ± 0.10	17.123	34.6
FD	1.76 ± 0.54	56.818	61.7

^aData are presented as means ± SD.

^b% = mL of raspberry extract per mL of solution × 100.

Figura 20 - Efeito da secagem térmica (proporções de matéria seca: 30, 50 e 70%, portanto: AD30, AD50 e AD70), desidratação osmótica (proporções de matéria seca: 30, 50 e 70%, portanto: OD30, OD50 e OD70) e liofilização (FD) sobre a atividade antioxidante. Fonte: NOVAKOVIC et al., 2011.

Drying method ^a	ABTS (μmol TE g ⁻¹ dw)	DPPH (μmol TE g ⁻¹ dw)	FRAP (μmol TE g ⁻¹ dw)
Fresh	6240.68 ± 48.20a	5702.67 ± 70.24a	8361.29 ± 895.14a
HAD	4532.08 ± 12.06b	2786.93 ± 17.65bc	5345.32 ± 52.87c
IRD	4625.42 ± 53.42b	2860.34 ± 35.81b	6230.13 ± 168.42b
HA-EPD	4509.63 ± 65.59b	2733.99 ± 62.94c	5679.39 ± 56.55bc
IR-MVD	4586.98 ± 11.23b	2816.03 ± 09.50bc	5918.03 ± 40.57bc
FD	4251.83 ± 169.78c	2587.59 ± 54.45d	5281.89 ± 101.36cd

Results are expressed as mean ± SD of triplicate determinations. Means in the same column with a common letter are not significantly different ($P < 0.05$).

^a HAD, hot air drying; IRD, infrared radiation drying; HA-EPD, hot air and explosion puffing drying; IR-MVD, infrared radiation and microwave vacuum drying; FD, freeze drying.

Figura 21 - Efeito da secagem térmica (HAD), secagem por radiação infravermelha (IRD), secagem térmica e à vácuo (HA-EPD), secagem por radiação infravermelha, à vácuo e microondas (IR-MVD) e liofilização (FD) sobre a atividade antioxidante. Fonte: SI et al., 2016.

Beekwilder et al. (2005) descreveram em seu estudo que a atividade antioxidante em framboesas é determinada por cerca de 50% em função dos elagitaninos e 25% em função das antocianinas. Logo, espera-se que onde houver maior retenção destes compostos, maior a atividade antioxidante. Por outro lado, há relatos de que a atividade antioxidante está ligada ao teor de compostos polifenólicos totais, sem levar em consideração os componentes glicosídeos e agliconas separadamente (MEJIA-MEZA et al., 2010).

De acordo com o estudo de Poiana et al. (2010), após o processo de congelamento e durante o armazenamento congelado, houve perda contínua de atividade antioxidante. O mesmo comportamento foi observado pelos compostos fenólicos totais, sendo que para antocianinas totais houve um ligeiro aumento logo após o processo de congelamento, seguido por redução contínua no teor destes compostos.

O aumento do teor de compostos fenólicos totais por matéria seca é acompanhado pelo aumento da atividade antioxidante, no estudo de Novakovic et al. (2011). Neste caso a atividade antioxidante não é destruída pela secagem térmica a 60°C, sendo que esta se torna ainda maior comparativamente a amostra fresca, em decorrência do efeito de concentração, provocada pela perda de água durante o processo de secagem (NOVAKOVIC et al., 2011).

Com relação ao processo de desidratação osmótica (OD), o aumento do teor de matéria seca foi acompanhado pela redução de compostos fenólicos totais, sendo que esta redução pode ser explicada pela migração destes compostos para a solução osmótica. Esperava-se então que esta redução de compostos fenólicos totais fosse acompanhada pela redução de atividade antioxidante, contudo o que foi observado de fato foi um efeito contrário. Neste caso, pode-se inferir que antioxidantes fracos migraram para a solução osmótica no processo de OD 30 a OD 50, levando a concentração de antioxidantes fortes no processo de OD 50 a OD 70, aumentando-se assim a atividade antioxidante (NOVAKOVIC et al., 2011).

A liofilização foi o processo que apresentou a melhor retenção de compostos fenólicos totais, sendo que esta melhor retenção foi acompanhada por uma elevada taxa de atividade antioxidante, sendo este valor posicionado entre os melhores (NOVAKOVIC et al., 2011).

Sob diferentes formas de processamento, Mejia-Meza et al. (2010), observaram que a liofilização (FD) e a secagem por microondas à vácuo (MIVAC), foram os processos que apresentaram as melhores atividades antioxidantes, sendo estes mesmos processos que apresentaram a melhor retenção de antocianinas totais, visto que a FD apresentou um processo menos agressivo as antocianinas que a MIVAC.

No estudo de Si et al., 2016, os resultados para atividade antioxidante avaliada por ABTS revelaram que não houve diferença significativa de perda de atividade antioxidante entre as diferentes metodologias, com exceção do processo de liofilização (FD) que apresentou a menor capacidade de seqüestrar radicais livres. Para as análises de atividade antioxidante por DPPH e FRAP, também observou-se um resultado menos eficiente para o processo de liofilização (FD).

Para a análise de atividade antioxidante, diversos métodos são utilizados, entre eles: ABTS, DPPH, ORAC e FRAP. Para a interpretação e confiabilidade dos resultados é de grande interesse que se realizem os diferentes testes. Os alimentos

são constituídos por uma diversidade de compostos fenólicos, sendo assim apresentam uma complexa matriz, no que diz respeito a polaridade e comportamento químico, fato este que reafirma a adoção de diferentes métodos para análise da atividade antioxidante.

6. CONCLUSÕES

Atualmente, um grande desafio da indústria alimentícia é o desenvolvimento de processos que prolonguem a vida útil das pequenas frutas vermelhas e ao mesmo tempo forneçam melhores taxas de retenção de compostos bioativos, nutricionais e de sua atividade antioxidante. Ao mesmo tempo, deseja-se preservar a boa aparência do produto, bem como seus aspectos sensoriais.

Para todos os processos realizados, salvo poucas exceções, logo após a realização do procedimento houve redução dos compostos e também da atividade antioxidante. No decorrer do armazenamento congelado em alguns casos houve aumento da concentração dos compostos e em outros casos houve redução. Em alguns estudos a liofilização esteve de acordo com a literatura, sendo considerado o melhor processo de desidratação, já em outros não se obteve o resultado esperado.

Em alguns trabalhos pôde-se observar que a combinação de diferentes técnicas de secagem estão associadas à redução da temperatura utilizada no processo, bem como redução do tempo de exposição das berries ao processamento, o que culmina com um efeito sinérgico melhorando a retenção de compostos bioativos, nutricionais e da atividade antioxidante.

Poucos foram os estudos que avaliaram o efeito destes processamentos ao longo do armazenamento por determinados período de tempo. Além deste fato, grande parte dos estudos determinaram a atividade antioxidante sob a avaliação de um único método analítico.

Portanto, recomenda-se a realização de mais estudos dentro deste campo de pesquisa, afim de se confirmar a eficiência da liofilização e de diferentes métodos de secagem combinados, bem como a avaliação da atividade antioxidante sob o ponto de vista de diferentes métodos de avaliação para a validação de tais resultados. Além disso, a indústria alimentícia pode adequar seu processo de conservação em função da finalidade a que se destina o produto, sendo que em algumas ocasiões se requer a retenção de compostos específicos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABASCAL, K.; GANORA, L.; YARNELL, E. The effect of freeze-drying and its implications for botanical medicine: A review. **Phytotherapy Reserach**, v. 19, p. 655-660, 2005.
- AGUIIRE, R.; MAY, J. M. Inflammation in the vascular bed: Importance of vitamin C. **Pharmacology & Therapeutics**, v. 119, p. 96-103, 2008.
- AHMAD, A.; KALEEM, M.; AHMED, Z.; SHAFIQ, H. Therapeutic potential of flavonoids and their mechanism of action against microbial and viral infections – A review. **Food Research International**, v. 77, p. 221-235, 2015.
- AN, K.; LI, H.; ZHAO, D.; DING, S.; TAO, H.; WANG, Z. Effect of osmotic dehydration with pulsed vacuum on hot-air drying kinetics and quality attributes of cherry tomatoes. **Drying Technology**, v. 31, n. 6, p. 698–706, 2013.
- AZARPAZHOOH, E.; RAMASWAMY, H. S. Optimization of microwave-osmotic pretreatment of apples with subsequent air-drying for preparing high-quality dried product. **Intl. J. Microw. Sci. Technol**, p. 1-12, 2011.
- BAKKALBASI, E.; MENTES, O.; ARTIK, N. Food ellagitannins-occurrence, effects of processing and storage. **Crit Rev Food Sci Nutr**, v. 49, p. 283–98, 2009.
- BARRET, D. M.; BEAULIEU, J. C.; SHEWFELT, R. Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: Desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. **Crit. Rev. Food Sci. Nutr.**, v. 50, p. 369–389, 2010.
- BASU, A.; RHONE, M.; LYONS, T. J. Berries: emerging impact on cardiovascular health. **Nutrition Reviews**, v. 68, n. 3, p. 168-177, 2010.
- BASSIL, D.; MAKRIS, D. P. KEFALAS, P. Oxidation of caffeic acid in the presence of L-cysteine: isolation of 2-S-cysteinylcaffeic acid and evaluation of its antioxidant properties. **Food Research International**, v. 38, p. 395-402, 2005.
- BEEKWILDER, J.; JONKER, P.; MEESTERS, R. D.; HALL, I. M.; MEER, V. D.; VOS, C. H. R. Antioxidant in raspberry: On-line analysis links antioxidant activity to a diversity of individual metabolites. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 3313-3320, 2005.
- BELL, L.; LAMPORT, D. J.; BUTLER, L. T.; WILLIAMS, C. M. A Review of the Cognitive Effects Observed in Humans Following Acute Supplementation with Flavonoids, and Their Associated Mechanisms of Action. **Nutrients**, v. 7, p. 10290-10306, 2015.
- BHAGWAT, S.; HAYTOWITZ, D. B.; WASSWA-KINTU, S. I.; HOLDEN, J. M. USDA develops a database for flavonoids to assess dietary intakes. 36th Annual National Nutrient Databank Proceedings. **Procedia Food Sci.**, v. 2, p. 81-86, 2013.

BROWN, M. S. Texture of frozen fruits and vegetables. **J Texture Stud.**, v. 7, p. 391-404, 1977.

BUI, H. T.; MAKHLOUF, J.; RATTI, C. Osmotic dehydration of tomato in sucrose solutions: Fick's Law classical modeling. **J. Food Sci.**, v. 74, n. 5, p. 250-258, 2009.

BURTON-FREEMAN, B. M.; SANDHU, A. K.; EDIRISINGHE, I. Red Raspberries and Their Bioactive Polyphenols: Cardiometabolic and Neuronal Health Links. **Advances in Nutrition An International Review Journal**, v. 7, p. 44-65, 2016.

CAMPAGNOLO, M. A.; PIO, R. Phenological and yield performance of Black and redberry cultivars in western Paraná State. *Acta Scientiarum*. **Agronomy**, v. 34, p. 439-444, 2012.

CASSIDY, A.; MUKAMAL, K. J.; LIU, L.; FRANZ, M.; ELIASSEN, A. H.; RIMM, E. B. High anthocyanin intake is associated with a reduced risk of myocardial infarction in Young and middle-aged women. **Circulation**, v. 127, p. 188-196, 2013.

CASTREJÓN, A. D. R.; EICHHOLZ, I.; ROHN, S.; KROH, L. W.; HUYSKENS-KEIL, S. Phenolic profile and antioxidant activity of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) during fruit maturation and ripening. **Food Chemistry**, v. 109, p. 564-572, 2008.

CELLI, G. B.; GHANEM, A.; BROOKS, M. S. Influence of freezing process and frozen storage on the quality of fruits and fruit products. **Food Reviews International**, v. 32, n. 2, p. 280-304, 2016.

DAY, A. J.; CANADA, F. J.; DIAZ, J. C.; KROON, P. A.; MCLAUCHLAN, R.; FAULDS, C. B.; PLUMB, G. W.; MORGAN, M. R. A.; WILIAMSON, G. Dietary flavonoid and isoflavone glycosides are hydrolysed by the lactase phlorizinhydrolase. **FEBS Lett**, v. 468, p. 166-170, 2000.

DE ANCOS, B.; GONZÁLEZ, E. M., CANO, M. P. Ellagic Acid, Vitamina C, and Total Phenolic Contents and Radical Scavenging Capacity Affected by Freezing and Frozen Storage in Raspberry Fruit. **J. Agric. Food Chem.**, v. 8, n. 10, p. 4565-4570, 2000a.

DE ANCOS, B.; IBANEZ, E.; REGLERO, G.; PILAR CANO, M. Frozen storage effects on anthocyanins and volatile compounds of raspberry fruit. **J. Agric. Food Chem**, v. 48, p. 873-879, 2000b.

DEL RIO, D.; RODRIGUEZ-MATEOS, A. M.; SPENCER, J. P. E.; TOGNOLINI, M.; BORGES, G.; CROZIER, A. Dietary (poly)phenolics in human health and disease: structures, bioavailability, evidence of protective effects and potential mechanisms. **Redox Signaling**, v. 18, p. 1818-1892, 2013.

DEVAHASTIN, S. NIAMNUY, C. Modelling quality changes of fruits and vegetables during drying: a review. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 45, p. 1755-1767, 2010.

DI SCALA, K.; CRAPISTE, G. Drying kinetics and quality changes during drying of red pepper. *LWT – Food Science and Technology*, v. 41, p. 789-795, 2008.

DOSSETT, M.; LEE, J.; FINN, C. E. Inheritance of phenological, vegetative, and fruit chemistry traits in black raspberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v. 133, p. 408-417, 2008.

FALADE, K. O.; IGBEKA, J. C. Osmotic dehydration of tropical fruits and vegetables. *Food Rev. Int.*, v. 23, p. 373-405, 2007.

FANG, J. Classification of fruits based on anthocyanin and relevance to their health effects. *Nutrition*, v. 31, p. 1301-1306, 2015.

FU, Y.; ZHOU, X.; CHEN, S.; SUN, Y.; SHEN, Y.; YE, X. Chemical composition and antioxidant activity of Chinese wild raspberry (*Rubus hirsutus* Thunb.). *LWT – Food Science and Technology*, v. 60, n. 2, p. 1262-1268, 2015.

GARCIA-NOGUERA, J.; OLIVEIRA, F. I. P.; GALLIO, M. I.; WELLER, C. L.; RODRIGUES, S.; FERNANDES, F. A. N. Ultrasound-assisted osmotic dehydration of strawberries: Effect of pretreatment time and ultrasonic frequency. *Drying Technology*, v. 28, n. 2, p. 294–303, 2010.

GEIDOBLE, R.; WINTER, G. Controlled ice nucleation in the field of freeze-drying: fundamentals and technology review. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, v. 85, n. 2, p. 214–222, 2013.

GEORGE, S.; TOURNIAIRE, F.; GAUTIER, H.; GOUPY, P.; ROCK, E.; CARISVEYRAT, C. Changes in the contents of carotenoids, phenolic compounds and vitamin C during technical processing and lyophilization of red and yellow tomatoes. *Food Chemistry*, v. 124, p. 1603-1611, 2011.

GEORGIEV, V.; ANANGA, A.; TSOLOVA, V. Recent Advances and Uses of Grape Flavonoids as Nutraceuticals. *Nutrients*, v. 6, p. 391-415, 2014.

GONZÁLEZ-BARRIO, R.; EDWARDS, C. A.; CROZIER, A. Colonic catabolism of ellagitannins, ellagic acid, and raspberry anthocyanins: in vivo and in vitro studies. *Drug Metab.*, v. 39, p. 1680-1688, 2011.

GONZALEZ-GALLEGO, J. S.; SANCHEZ-CAMPOS, S.; TUNON, M. J. Antiinflammatory properties of dietary flavonoids. *Nutr. Hosp.*, v. 22, p. 287-293, 2007.

GU, L.; KELM, M. A.; HAMMERSTONE, J. F.; BEECHER, G.; HOLDEN, J.; HAYTOWITZ, D.; GEBHARDT, S.; PRIOR, R. L. Concentrations of proanthocyanidins in common foods and estimations of normal consumption. *J. Nutr.*, v. 134, p. 613-617, 2004.

HAKKINEN, S. H.; KARENLAMPI, S. O.; MYKKANEN, H. M.; HEINONEN, I. M.; TORRONEN, A. R. Ellagic acid content in berries: Influence of domestic processing and storage. *Eur Food Res Technol*, v. 212, p. 75-80, 2000b.

HAKKINEN, S. H.; KARENLAMPI, S. O.; MYKKANEN, H. M.; TORRONEN, A. R. Influence of domestic processing and storage on flavonol contents in berries. **J. Agric. Food Chemistry**, v. 48, n. 7, p. 2960-2965, 2000a.

HÁN, X.; SHEN, T.; LOU, H. Dietary Polyphenols and Their Biological Significance. **Int. J. Mol. Sci.**, v. 9, n. 8, p. 950-988, 2007.

HANLIN, R. L.; HRMOVA, M. M.; HARBERTSON, J. F.; DOWNEY, M. O. Review Condensed tannin and grape cell wall interactions and their impact on tannin extractability into wine. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 16, n.1, p. 173-188, 2010.

HASSAN, H. M. M. Hepatoprotective effect of red grape seed extracts against ethanol-induced cytotoxicity. **Glob. J. Biotechnol. Biochem.**, v. 7, p. 30-37, 2012.

HEDDLESON, R. A.; DOORES, S. Factors affecting microwave heating of foods and microwave-induced destruction of foodborne pathogens – A Review. **J. Food Prot.**, v. 57, p. 1025-1037, 1994.

HJARTAKER, A.; KNUDSEN, M. D.; TRETLI, S.; WEIDERPASS, E. Consumption of berries, fruits and vegetables and mortality among 10,000 Norwegian men followed for four decades. **Eur. J. Nutr.**, v. 54, p. 599-608, 2015.

JAKOBEK, L.; SERUGA, M.; NOVAK, I.; MEDVIDOVIC-KOSANOVIC, M. Flavonols, phenolic acids and antioxidant activity of some red fruits. **Dtsch Lebensm Rundsch**, v. 103, p. 369-378, 2007.

JAYA, S.; DAS, H. A vacuum drying model for mango pulp. **Drying Technology**, v. 21, p. 1215-1234, 2003.

JIANG, Y.; JOYCE, D. C.; TERRY, L. A. 1-methylcyclopropene treatment affects strawberry fruit decay. **Postharvest Biol Technol**, v. 23, p. 227-232, 2001.

JIN, P.; WANG, S. Y.; GAO, H.; CHEN, H.; ZHENG, Y. WANG, C. Y. Effect of cultural system and essential oil treatment on antioxidant capacity in raspberries. **Food Chem**, v. 132, p. 399–405, 2012.

JOSEPH, S. V.; EDIRISINGHE, I.; BURTON-FREEMAN. Berries: anti-inflammatory effects in humans. **J. Agric. Food Chem.**, v. 62, p. 3886-3903, 2014.

KAUME, L.; HOWARD, L. R.; DEVAREDDY, L. The blackberry fruit: A review on its composition and chemistry, metabolism and bioavailability, and health benefits. **Journal of the Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, p. 5716-5727, 2012.

KOGAWA, K.; KAZUMA, K.; KATO, N.; NODA, N.; SUZUKI, M. Biosynthesis of malonylated flavonoid glycosides on the basis of malonytransferase activity in the petals of *Clitoria tematea*. **Journal of Plant Physiology**, v. 164, n. 7, p. 886-894, 2007.

KORUS, A. Effect of preliminary processing, method of drying and storage temperature on the level of antioxidants in kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) leaves. **LWT – Food Sci Technol**, v. 44, p. 1711-1716, 2011.

KOYUNKU, M. A.; DILMACUNAL, T. Determination of Vitamin C and Organic Acid Changes in Strawberry by HPLC during Cold Storage. **Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj**, v. 38, p. 95–98, 2010.

KRIKORIAN, R. SHIDLER, M. D.; NASH, T. A.; KALT, W.; VINQVIST-TYMCHUK, M. R.; SHUKITT-HALE, B. JOSEPH, J. A. Blueberry Supplementation Improves Memory in older Adults. **J. Agric. Food Chem**, v. 58, n. 7, p. 3996-4000, 2010.

KROKIDA, M. K.; PHILIPPOPOULOS, C. Volatility of apples during air and freeze drying. **Journal of Food Engineering**, v. 73, p. 135-141, 2006

KUCNER, A.; KLEWICHI, R.; SÓJKA, M. The Influence of Selected Osmotic Dehydration and Pretreatment Parameters on Dry Matter and Polyphenol Content in Highbush Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) Fruits. **Food Bioprocess Technol**, v. 6, p. 2031-2047, 2013.

KWOK, B. H. I.; HU, C.; DURANCE, T.; KITTS, D. D. Dehydration Techniques Affect Phytochemical Contents and Free Radical Scavenging Activities of Saskatoon berries (*Amelanchier alnifolia* Nutt.). **Journal of Food Science**, v. 69, n. 3, 2004.

LEE, J.; DOSSETT, M.; FINN, C. E. Rubus fruit phenolic research: The food, the bad, and the confusing. **Food Chemistry**, v. 130, p. 785-796, 2012.

LUTZ, M.; HERNÁNDEZ, J.; HENRÍQUEZ, C. Phenolic content and antioxidant capacity in fresh and dry fruits and vegetables grown in Chile. **Journal of Food**, v. 13, n. 4, p. 541-547, 2015.

MANGANARIS, G. A.; GOULAS, V. VICENTE, A. R.; TERRY, L. A. Berry antioxidants: small fruits providing large benefits. **J. Sci. Food Agric.**, V. 94, p. 825-833, 2014.

MAZZONI, L.; PEREZ-LOPEZ, P.; GIAMPIERI, F.; ALVAREZ-SUAREZ, J. M.; GASPARRINI, M.; FORBES-HERNANDEZ, T. Y.; QUILES, J. L.; MEZZETTI, B.; BATTINO, M. The genetic aspects of berries: from Field to health. **J. Sci. Food. Agric.**, v. 96, p. 365-371, 2016.

MEGIAS-PEREZ, R.; GAMBOA-SANTOS, J.; SORIA, A. C.; VILLAMIEL, M.; MONTILLA, A. Survey of quality indicators in commercial dehydrated fruits. **Food Chemistry**, v. 150, p. 41-48, 2014.

MEJIA-MEZA, E. I.; YANEZ, J. A.; REMSBERG, C. M.; TAKEMOTO, J. K.; DAVIES, N. M.; RASCO, B.; CLARY, C. Effect of Dehydration on Raspberries: Polyphenol and Anthocyanin Retention, Antioxidant Capacity, and Antiadipogenic Activity. **Journal of Food Science**, v. 75, n. 1, p. 5-12, 2010.

MICHALCZYK, M.; MACURA, R.; MATUSZAK, I. The effect of air-drying, freeze-drying and storage on the quality and antioxidant activity of some selected berries. **J. Food Process Preserv**, v. 33, p. 11-21, 2009.

MILLER, S.; KNUDSON, B. **Nutrition and cost comparisons of select canned, frozen, and fresh fruits and vegetables**. Michigan State University, 2012.

MOTEVALI, A.; MINAEI, S.; KHOSHTAGAZA, M. H. Evaluation of energy consumption in different drying methods. **Energy Conversion and Management**, v. 52, p. 1192-1199, 2011.

MUJUMDAR, A.; LAW, C. L. Drying technology: Trends and applications in postharvest processing. **Food and Bioprocess Technology**, v. 3, p. 843–852, 2010.

MURPHY, M. P.; HOLMGREN, A.; LARSSON, N. G.; HALLIWELL, B.; CHANG, C. J.; KALYANARAMAN, B.; RHEE, S. G.; THOMALLEY, P. J.; PARTRIDGE, D. Unraveling the biological roles of reactive oxygen species. **Cell Metab.**, v. 13, p. 361-366, 2011.

NILE, S. H.; PARK, S. W. Edible berries: Bioactive components and their effect on human health. **Nutrition**, v. 30, p. 134-144, 2014.

NOVAKOVIC, M. M.; STEVANOVIC, S. M.; GORJANOVIC, S. Z.; JOVANOVIC, P. M., TESEVIC, V. V.; JANKOVIC, M. A.; SUZnjeVIC, D. Z. Changes of Hydrogen Peroxide and Radical-Scavenging Activity of Raspberry during Osmotic, Convective, and Freeze-Drying. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 4, p. 663-668, 2011.

NOWAC, D.; LEWICKI, P. Quality of infrared dried apple slices. **Drying Technology**, v. 23, p. 831-846, 2005.

OANCEA, S.; CĂLIN, F. Changes in Total Phenolics and Anthocyanins during Blackberry, Raspberry and Cherry Jam Processin and Storage. **Romanian Letters**, v. 21, n. 1, p. 11232-11237, 2016.

PANIERI, E.; GOGVADZE, V.; NORBERG, E.; VENKATESH, R.; ORRENIUS, S.; ZHIVOTOVSKY, B. Reactive oxygen species generated in different compartments induce celldeath, survival, or senescence. **Free Radic. Biol. Med.**, v. 57, p. 176-187, 2013.

PANTELIDIS, G. E.; VASILAKAKIS, M.; MANGANARIS, G. A.; DIAMANTIDIS, G. R. Antioxidant capacity phenol anthocyanin and ascorbic acid contents in raspberries, blackberries, red currants gooseberries, and cornelian cherries. **Food Chem**, v. 102, p. 777–783, 2007.

PAP, L. Production of pure vegetable juice powders of full biological value. **Fruit Processing**, v. 3, p. 55-60, 1995.

PAREDES-LÓPEZ, O.; CERVANTES-CEJA, M. L.; VIGNA-PÉREZ, M.; HERNÁNDEZ-PÉREZ, T. Berries: Improving human health and healthy aging, and promoting quality life- A review. **Plant Foods Hum Nutr.**, v. 65, p. 299-308, 2010.

PELUSO, I.; MIGLIO, C.; MORABITO, G.; IOANNONE, F.; SERAFINI, M. Flavonoids immune function in human: a systematic review. **Crit. Ver. Food Sci. Nutr.**, v. 55, p. 383-395, 2015.

PETROV, A. N.; MASLENNIKOVA, G. A. Physical and chemical aspects of vacuum drying of berry raw materials. **Foods and Raw Materials**, v. 4, n. 1, p. 129-134, 2016.

PIMPÃO, R. C.; DEW, T.; OLIVEIRA, P. B.; WILLIAMSON, G; FERREIRA, R. B.; SANTOS, C. N. Analysis of Phenolic Compounds in Portuguese Wild and Commercial Berries after Multienzyme Hydrolysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, p. 4053-4062, 2013.

POIANA, M. A.; MOIGRADEAN, D.; RABA, D.; ALDA, L. M.; POPA, M. The effect of long-term frozen storage on the nutraceutical compounds, antioxidant properties and color indices of different kinds of berries. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 8, n. 1, 2010.

POJER, E.; MATTIVI, F.; JOHNSON, D.; STOCKLEY, C. S. The case for Anthocyanin Consumption to Promote Human Health: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 12, p. 483-508, 2013.

PUENTE-DÍAZ, L.; AH-HEN, K.; VEJA-GÁLVEZ, A.; LEMUS-MONDACA, R.; SCALA, K. D. Combined Infrared-Convective Drying of Murta (*Ugni molinae* Turcz) Berries: Kinetic Modeling and Quality Assessment. **Drying Technology**, v. 31, p. 329-338, 2013.

PUUPPONEN-PIMIA, R.; NOHYNEK, L.; ALAKOMI, H. L.; OKSMAN-CALDENTY, K. M. Bioactive berry compounds novel tools against human pathogens. **Appl Microbiol Biotechnol**, v. 67, p. 8-18, 2005.

QUINONES, M.; MIGUEL, M.; ALEIXANDRE, A. Beneficial effects of polyphenols on cardiovascular disease. **Pharmacol. Res.**, v. 68, p. 125-131, 2013.

ROBINSON, J. G. **Drying Fruits**. Food Preservation, FN 1587-NDSU Extension Service, 2012.

RODRÍGUEZ, K.; AH-HEN, K.; VEJA-GÁLVEZ, A.; LOPEZ, J.; QUISPE-FUENTES, I.; LEMUS-MONDACA, R. Changes in bioactive compounds and antioxidant activity during convective drying of murta (*Ugni molinae* T.) berries. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 49, p. 990-1000, 2014.

RODRÍGUEZ, K.; AH-HEN, K.; VEJA-GÁLVEZ, A.; VÁSQUEZ, V.; QUISPE-FUENTES, I.; ROJAS, P.; LEMUS-MONDACA, R. Changes in bioactive components and antioxidant capacity of maqui, *Aristotelia chilensis* [Mol] Stuntz, berries during drying. **Food Science and Technology**, v. 65, p. 537-542, 2016.

ROSALES-SOTO, M.; POWERS, J. R.; ALLDREDGE, J. R. Effect of mixing time, freeze-drying and baking on phenolics, anthocyanins and antioxidant capacity of raspberry juice during processing of muffins. **J. Sci. Food Agric.**, v. 92, p. 1511-1518, 2012.

SABLANI, S. S. Drying of fruits and vegetable: retention of nutritional/functional quality. **Drying Technology**, v. 24, p. 123–135, 2006.

SAGAR, V. R.; KUMAR, P. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: A review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 47, p. 15–26, 2010.

SCHIEBER, A.; KELLER, P.; CARLE, R. Determination of phenolic acids and flavonoids of apple and pear by high-performance liquid chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 910, p. 265-273, 2001.

SHOFIAN, N. M.; HAMID, A. A.; OSMAN, A.; SAARI, F.; DEK, M. S. P. Effect of freeze-drying on the antioxidant compounds and antioxidant activity of selected tropical fruits. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 12, p. 4678-4692, 2011.

SI, X.; CHEN, Q.; BI, J.; WU, X.; YI, J.; ZHOU, L.; LI, Z. Comparison of different drying methods on the physical properties, bioactive compounds and antioxidant activity of raspberry powders. **J Sci Food Agric**, v. 96, p. 2055-2062, 2016.

STAPLETON, A. P; JAMES, E. M.; GOODWILL, G. A.; FRISBEE, J. C. Obesity and vascular dysfunction. **Pathophysiology**, v. 15, p. 78-89, 2008.

STOJANOVIC, J.; SILVA, L. J. Influence of osmotic concentration, continuous high frequency ultrasound and dehydration on antioxidants, color and chemical properties of rabbiteye blueberries. **Food Chem.**, v. 101, p. 898-906, 2007.

SULTANA, B.; ANWAR, F.; ASHRA, M.; SAARI, N. Effect of drying techniques on the total phenolic contents and antioxidant activity of selected fruits. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 6, p. 161–167, 2012.

SUMMEN, M. A.; ERGE, H. S. Thermal degradation kinetics of bioactive compounds and visual color in raspberry pulp. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 38, p. 551-557, 2014.

SYAMALADEVI, R. M.; SABLANI, S. S.; TANG, J.; POWERS, J.; SWANSON, B. G. Stability of Anthocyanins in Frozen and Freeze-Dried Raspberries during Long-Term Storage: In Relation to Glass Transition. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 6, p. 414-421, 2011.

SZAJDEK, A.; BOROWSKA, J. E. Bioactive compounds and health-promoting properties of berry fruits: a review. **Plant Foods Hum Nutr**, v. 63, p. 147–156, 2008.

TAMIR, M.; ALUMOT, E. Inhibition of digestive enzymes by condensed tannins from Green and ripe carobs. **J Sci Food Agric**, v. 201, p. 199-202, 2006.

TAN, M.; CHUA, K. J.; MUJUMDAR, A. S.; CHOU, S. K. Effect of osmotic pré-treatment and infrared radiation on drying rate and color changes during drying of potato and pineapple. **Drying Technology**, v. 19, n. 9, p. 2193-2207, 2001.

THOMPSON, M. M. Chromosome Numbers of Rubus Species at the National Clonal Germplasm Repository. **HortScience**, v. 30, n. 7, p. 1447-1452, 1995.

TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **J. Food Res. Int.**, v. 26, n. 1, p. 59-68, 1993.

TURKBEN, C.; SARIBURUN, E.; DEMIR, C.; UYLASER, V. Effect of Freezing and Frozen Storage on Phenolic Compounds of Raspberry and Blackberry Cultivars. **Food Anal. Methods**, v. 3, p. 144-153, 2010.

VICENTE, A. R.; MARTINEZ, G. A.; CIVELLO, P. M.; CHAVES, A. R. Quality of heat-treated strawberry fruit during refrigerated storage. **Postharvest Biol Technol**, v. 25, p. 59-71, 2002.

WANG, X.; OUYANG, Y. Y.; LIU, J.; ZHAO, G. Flavonoid intake and risk of CVD: a Systematic review and meta-analysis of prospective cohort studies. **Br. J. Nutr.**, v. 111, p. 1-11, 2014a.

WANG, H.; ZHANG, M.; MUJUMDAR, A. S. Comparison of three new drying methods for drying characteristics and quality of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). **Drying Technol**, v. 32, n. 15, p. 1791-1802, 2014b.

WOJDYLO, A.; FIGIEL, A.; LECH, K.; NOWICKA, P.; OSZMIANSKI, J. Effect of Convective and Vacuum-Microwave Drying on the Bioactive Compounds, Color, and Antioxidant Capacity of Sour Cherries. **Food Bioprocess Technol**, v. 7, p. 829-841, mar. 2014.

WRAY, D.; RAMASWAMY, H. S. Novel Concepts in microwave drying of foods. **Drying Technol**, v. 33, n. 7, p. 769-783, 2015.

WROLSTAD, R.; DURST, R.; LEE, J. Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 16, p. 423 –428, 2005.

WU, X.; BEECHER, G. R.; HOLDEN, J. M.; HAYTOWITZ, D. B.; GEBHARDT, S. E.; PRIOR, R. L. Concentrations of anthocyanins in common foods in the United States and estimation of normal consumption. **J. Agric. Food Chem.**, v. 54, p. 4069-4075, 2006.

YANG, B.; KORTESNIEMI, M. Clinical evidence on potential health benefits of berries. **Current Opinion in Food Science**, v. 2, p. 36-42, 2015.

ZAFRA-STONE, S.; YASMIN, T.; BAGCHI, M.; CHATTERJEE, A.; VINSON, J. A.; BAGCHI, D. Berry anthocyanins as novel antioxidants in human health and disease prevention. **Mol. Nutr. Food Res.**, v. 51, p. 675-683, 2007.