



STEPHANY VASCONCELLOS KLARIC

**APLICAÇÃO DE EXTRATOS RICOS EM ANTOCIANINAS
NO DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGENS
INTELIGENTES PARA ALIMENTOS: UMA VISÃO GERAL**

LAVRAS – MG

2021

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Klaric, Stephany.

APLICAÇÃO DE EXTRATOS RICOS EM
ANTOCIANINAS NO DESENVOLVIMENTO DE
EMBALAGENS INTELIGENTES PARA ALIMENTOS: UMA
VISÃO GERAL / Stephany Klaric. - 2021.

39 p. : il.

Orientador(a): Lenilton Soares.

TCC (graduação) - Universidade Federal de Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Embalagens inteligentes. 2. antocianinas. 3. Embalagens de alimentos. I. Soares, Lenilton. II. Título.

LAVRAS – MG

2021

STEPHANY VASCONCELLOS KLARIC

**APLICAÇÃO DE EXTRATOS RICOS EM ANTOCIANINAS NO
DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGENS INTELIGENTES PARA ALIMENTOS:
UMA VISÃO GERAL**

**APPLICATION OF ANTHOCYAN RICH EXTRACTS IN THE DEVELOPMENT OF
INTELLIGENT FOOD PACKAGING: AN OVERVIEW**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do
Curso de Engenharia de Alimentos, para
obtenção do título de bacharel.

Prof. Dr. Lenilton Santos Soares

Orientador

**LAVRAS – MG
2021**

STEPHANY VASCONCELLOS KLARIC

**APLICAÇÃO DE EXTRATOS RICOS EM ANTOCIANINAS NO
DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGENS INTELIGENTES PARA ALIMENTOS:
UMA VISÃO GERAL**

**APPLICATION OF ANTHOCYAN RICH EXTRACTS IN THE DEVELOPMENT OF
INTELLIGENT FOOD PACKAGING: AN OVERVIEW**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Alimentos, para obtenção do título de bacharel.

APROVADA EM: 26 de novembro de 2021

Prof. Dr. Lenilton Santos Soares
Orientador

LAVRAS – MG

2021

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre do meu lado me dando forças para seguir em frente.

A Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciências dos Alimentos, pela oportunidade concedida para realização da Graduação.

Aos meus pais, Ana Lúcia Vasconcellos Lemes, Constantino Dussan Klaric Zeballos e ao meu padrasto Fabio Eduardo de Moraes pelo apoio e por sempre se fazerem presentes em minha vida.

A minha irmã Juliana, mesmo pequena, sem entender muito, sempre me apoiou e esteve do meu lado nos momentos mais difícil, obrigada pelo companheirismo.

Aos meus avós, pela educação e que mesmo lá no céu olharam por mim.

As minhas irmãs da República Menina Veneno, que tornaram essa jornada mais leve, aos ensinamentos e todo companheirismo. O mundo sempre será pequeno demais para nós!

Ao professor Lenilton Santos Soares, pela orientação, paciência e ensinamentos transmitidos.

Aos colegas da Universidade Federal de Lavras, pela amizade, apoio e inúmeras contribuições na realização do trabalho.

Enfim, a todos que contribuíram para que eu concluísse esta etapa de minha vida.

Meus sinceros agradecimentos, pois todos fazem parte dessa história.

MUITO OBRIGADO!!

RESUMO

As embalagens inteligentes fornecem ao consumidor informações sobre a qualidade e a segurança dos produtos embalados em tempo real. A presente revisão analisou o conceito de embalagens inteligentes que utilizam como base polímeros incorporados com antocianinas, devido sua resposta colorimétrica, discutindo aspectos do desenvolvimento científico e tecnológico. Foi realizada uma análise crítica da produção científica que trata dos processos utilizados para o desenvolvimento dessas embalagens. O processo de produção está estruturado e controlado com base na demanda atual dos consumidores, uma vez que eles estão cada vez mais atentos em relação à segurança e à qualidade dos alimentos disponibilizados para consumo. Neste contexto, é objetivo desta revisão foi analisar o conceito de embalagens inteligentes, com ênfase na incorporação de extratos ricos em antocianinas, além de verificar a sua relação com o desenvolvimento de novas tecnologias e discutir aspectos atuais da sistematização científica do processo de produção dessas embalagens. Destacou-se também que os compostos antociânicos têm grande sensibilidade a variações de pH. Para utilizar um extrato vegetal como indicador de variação de pH, é necessário incorporar numa matriz sólida para imobilizar o corante de pH. As mudanças de cor do filme indicador de pH representam um método simples e visual para detectar alterações de qualidade de produtos alimentares, uma vez que os valores de pH dos alimentos mudam em processos de deterioração. Cada vez mais os consumidores optam por alimentos com alta qualidade, além de praticidade, visto que há mudanças no tempo, nos hábitos e nas preferências, demandando que as indústrias de alimentos e embalagens se adequem ao novo estilo de vida. Nesse sentido, processos e recursos tecnológicos vêm ganhando destaque com a premissa de oferecer qualidade, conveniência e segurança, tanto para consumidores como para empresas. Como visto, as embalagens inteligentes apresentam uma grande oportunidade para desenvolver ganhos econômicos consideráveis, diferentes das embalagens tradicionais, uma vez que passam a monitorar de forma eficaz e prática, favorecendo a rápida detecção da deterioração alimentar, além de inspecionar sua vida útil.

Palavras-chave: Alimentos, deterioração, pigmentos vegetais, compostos bioativos, acondicionamento.

ABSTRACT

Intelligent packaging provides consumers with information about the quality and safety of packaged products in real-time. This review analyzed the concept of intelligent packaging that uses polymers incorporated with anthocyanins due to colorimetric response, discussing scientific and technological development aspects. A critical analysis of the scientific production that deals with the processes used to develop these packages was carried out. The production process is structured and controlled based on current consumer demand, as they are increasingly aware of the safety and quality of food made available for consumption. In this context, this review aims to analyze the concept of intelligent packaging, emphasizing the incorporation of extracts rich in anthocyanins, verifying its relationship with the development of new technologies, and discussing current aspects of the scientific systematization of the production process of these packaging. It was also highlighted that anthocyanin compounds are highly sensitive to pH variations. To use a plant extract as an indicator of pH variation, it is necessary to incorporate it into a solid matrix to immobilize the pH dye. The pH indicator film color changes represent a simple and visual method to detect changes in the quality of food products, as the pH values of foods change in deterioration processes. Consumers are increasingly opting for food with high quality, in addition to practicality, as there are changes in time, habits and preferences, demanding that the food and packaging industries adapt to the new lifestyle. In this sense, technological processes and resources have been gaining prominence with the premise of offering quality, convenience and safety, both for consumers and companies. As seen, smart packaging presents a great opportunity to develop considerable economic gains, different from traditional packaging, since it starts to monitor effectively and practically, favoring the quick detection of food spoilage, in addition to inspecting its shelf life.

Keywords: Food, deterioration, plant pigments, bioactive compounds, packaging

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS.....	11
2.1. Geral	11
2.2. Específicos	11
3. METODOLOGIA	11
4. REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
4.1. Pigmentos Vegetais.....	14
4.2. Antocianinas.....	15
4.3. Métodos de Extração.....	18
4.4. Métodos de encapsulamento.....	22
4.5. Embalagens Inteligentes	24
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
REFERÊNCIAS	33

1. INTRODUÇÃO

Devido às mudanças na demanda do consumidor quanto à qualidade dos alimentos e às preocupações ambientais, novas abordagens de embalagem de alimentos foram desenvolvidas. Apesar de as embalagens tradicionais contribuírem fortemente para a logística de distribuição, manutenção e preservação de alimentos, elas não são suficientes para certificar a inocuidade alimentar. Assim, cada vez mais, pesquisadores têm se dedicado ao desenvolvimento e melhoramento de embalagens para alimentos que possibilitem monitorar sua qualidade durante todo período de vida útil (ALIZADEH-SANI et al., 2021; GRAGO et al., 2020; ETXABIDE et al., 2021)

A difusão dessas informações foi viabilizada a partir do estudo das propriedades de alguns compostos com atividade biológica e sua interação com diferentes materiais poliméricos. Uma nova tendência no campo de embalagens de alimentos é a embalagem inteligente biodegradável, que pode detectar mudanças ambientais nos alimentos durante o armazenamento. Pode fornecer informações adequadas sobre a qualidade e segurança de um produto antes de seu consumo e pode ser facilmente degradado no meio ambiente. Esse tipo de filme utiliza fatores de resposta para monitorar, rastrear e retroalimentar importantes mudanças no interior ou ao redor do sistema de acondicionamento, fornecendo informações relevantes para qualidade e segurança (CHENG, et al., 2022). Embalagens de alimentos classificadas como inteligentes incluem três componentes principais: (a) indicadores capazes de exibir informações qualitativas por meio de mudanças visuais rápidas (por exemplo, uma mudança de cor ou um aumento na intensidade da cor); (b) sensores que fornecem resultados quantitativos aos usuários, geralmente emitindo sinais físicos ou químicos; (c) suportes de dados, como códigos de barras e etiquetas de identificação por radiofrequência (RFID), que têm como objetivo o armazenamento de dados e a rastreabilidade (SOHAIL, SUN ZHU, 2018).

Dentre os indicadores que podem ser incorporados às embalagens, os indicadores colorimétricos têm se destacado pela simplicidade do processo e facilidade de comunicação com o consumidor. Indicadores colorimétricos podem ser produzidos com a incorporação de corantes naturais, como as antocianinas, que são pigmentos naturais, não tóxicos, solúveis em água e bastante sensíveis às mudanças de pH. As antocianinas são encontradas abundantemente em frutas e flores. As antocianinas têm uma estrutura básica de três anéis de carbono com um anel central de cátions flavonóides (HE; GIUSTI, 2010). Em uma solução de certo pH, as antocianinas coexistem em equilíbrio com quatro formas estruturais: o cátion vermelho flavílio, a base quinóide azul, a pseudobase de carbinol incolor e a chalcona incolor / amarelo claro

(OLIVEIRA et al., 2014). Embalagem com indicadores de pH incorporando antocianinas derivadas de várias fontes, como repolho roxo (FREITAS, 2018), batata doce roxa (PELICIOLO, 2019), mirtilo (LUCHESE, 2019), berinjela (CAPELLO, 2020) e jabuticaba (TERRAZAS, 2019), foram desenvolvidos para monitorar a qualidade dos alimentos.

Embalagens desenvolvidas com adição de antocianinas podem fornecer informações qualitativas imediatas, por meio de mudanças colorimétricas visuais provocadas pela alteração estrutural do pigmento e, conseqüentemente, indicar o frescor ou o estágio de deterioração do alimento, apresentando-se como um método conveniente, rápido e não destrutivo (LE et al., 2019; ZHANG et al., 2014; FERREIRA et al., 2007).

Para produção de embalagem inteligente, o extrato de antocianina pode ser incorporado em uma base polimérica biodegradável, com o objetivo de garantir não só a segurança do consumidor, mas também a do meio ambiente. A maioria das embalagens é produzida a partir de polímeros oriundos de fontes petroquímicas, além de outros materiais, biodegradáveis, como o amido (VEDOVE et al., 2019), pectina (SILVA et al., 2016), gelatina (PADILHA et al., 2019) e quitosana (MACIEL et al., 2012). Atualmente, polímeros derivados de fontes naturais estão sendo considerados potenciais substitutos dos polímeros convencionais, devido a sua biodegradabilidade e viabilidade (MA et al., 2018). Todavia, as propriedades dos filmes poliméricos preparados de fontes naturais devem ser melhoradas, objetivando competir com os filmes com base de petróleo, especialmente relativo as propriedades mecânicas, de barreira e as relacionadas à afinidade pela água (LUZI et al., 2019). Para superar essas limitações, os polímeros biodegradáveis podem ser misturados para combinar características e oferecer funcionalidade para aplicações, como as embalagens. Entretanto, as misturas poliméricas biodegradáveis precisam de um gerenciamento pós-consumo cuidadoso e um design eficiente para permitir a biodegradação (NARANCIC et al., 2018).

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Analisar o conceito de embalagens inteligentes, com ênfase na incorporação de extratos ricos em antocianinas.

2.2. Específicos

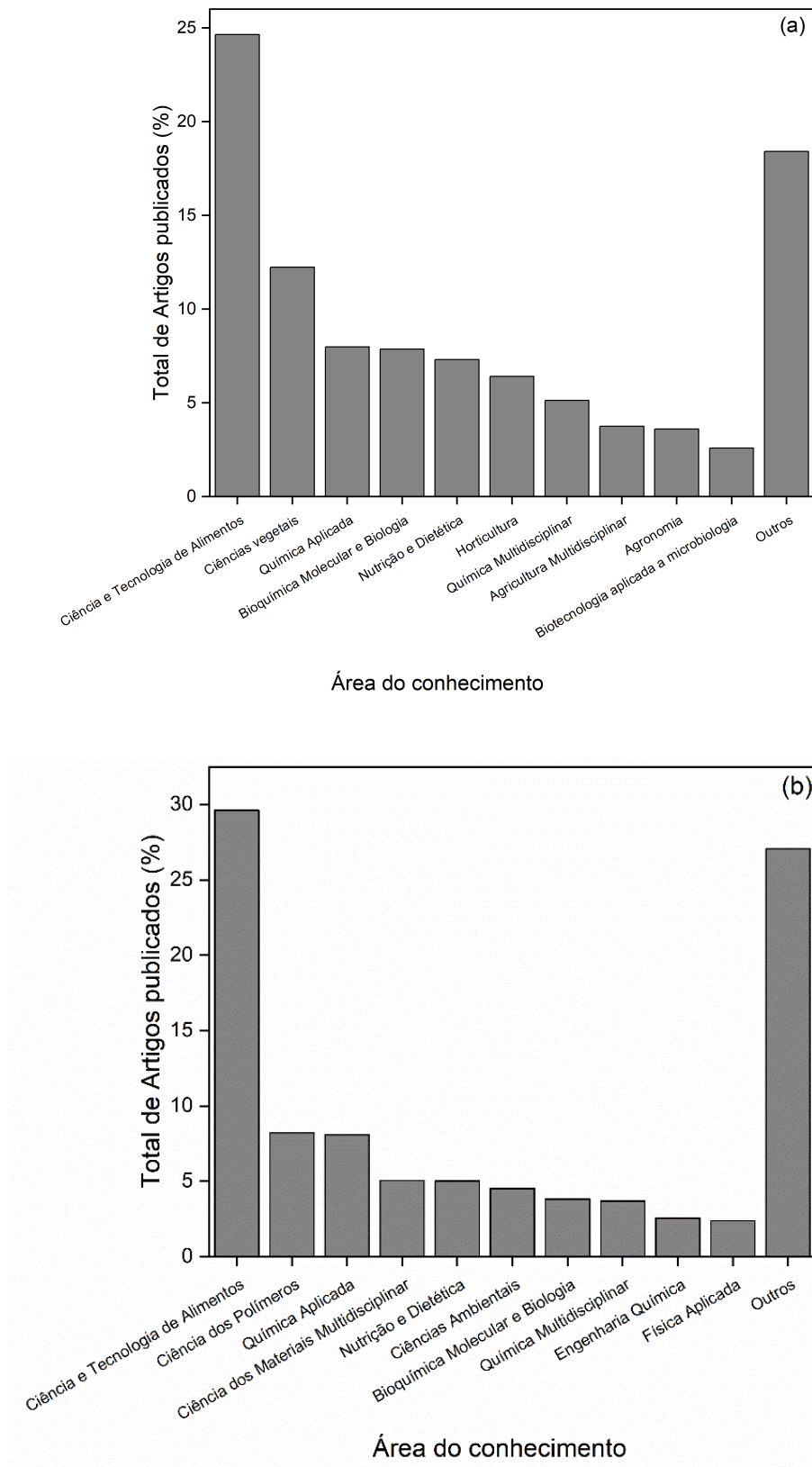
Mostrar os diferentes extratos ricos em antocianinas, bem como seus métodos de extração, de encapsulamento, na elaboração de embalagens inteligentes.

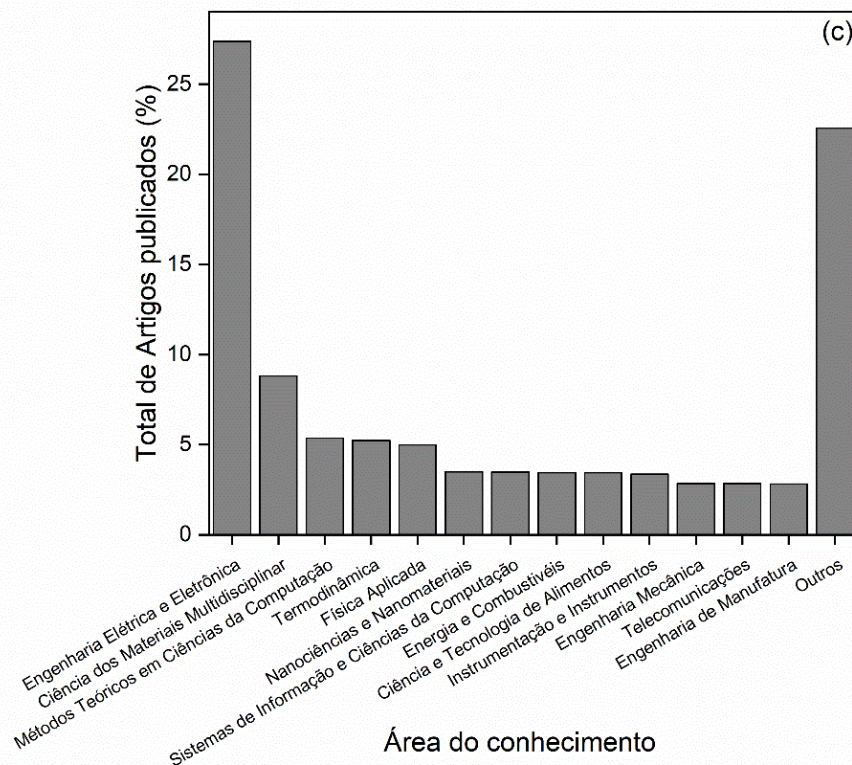
Mostrar o comportamento de componentes sensíveis ao pH incorporados em embalagens inteligentes.

3. METODOLOGIA

Em decorrência da busca por trabalhos que abordam de forma ampla informações referentes a antocianina e ao uso de embalagens inteligentes, e tendo em vista a problemática apontada, realizou-se uma revisão bibliográfica de caráter qualitativo no qual foram utilizadas referências baseadas em livros, sites, revistas, artigos científicos, teses e dissertações para justificar as argumentações e discussões. Para o levantamento das referências citadas, foram utilizadas ferramentas virtuais nas bases de dados *SciELO*, *Scopus* e *Web of Science*. As palavras-chave mais utilizadas foram: “antocianina”, “embalagens de alimentos”, “embalagens inteligentes”, como mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Pesquisa bibliométrica utilizando as palavras-chave antocianina (a), embalagens de alimentos (b) e embalagens inteligentes (c) para trabalhos publicados entre os anos de 2016 à 2021.





A escolha dessas palavras-chave se deu pelo conhecimento prévio delas, e por se tratar de termos mais abrangentes, pois assim possibilitariam um maior retorno de informações. Os resultados encontrados foram considerados suficientes, levando em consideração alguns critérios, como a confiabilidade da fonte, importância do conteúdo, e a semelhança ou discrepância entre os dados. A partir dos dados reunidos, foi feita a organização das ideias, visando associar o maior número de informações sobre o tema, no intuito de contribuir de forma clara e objetiva para uma ampla difusão do conhecimento, propondo solução para a problemática proposta. A partir da análise da Figura 1 foi possível observar que enquanto as pesquisas voltadas para compostos bioativos, como a antocianina e embalagens de alimentos, estão concentradas nas áreas de ciência e tecnologia de alimentos e outras áreas afins, como ciências vegetais, química aplicada, nutrição. Enquanto isso, a maior parte dos trabalhos envolvendo embalagens inteligentes, de uma forma global, estão concentradas no desenvolvimento de materiais e de tecnologias de informação representadas principalmente pelas áreas de engenharia elétrica e eletrônica, ciência dos materiais, ciências da computação e física aplicada. Podemos observar que as pesquisas envolvendo embalagens inteligentes na área de ciência e tecnologia de alimentos, correspondem a um montante de 3,45% dos trabalhos totais publicados nos últimos 5 anos para as bases de pesquisa analisadas, justificando assim, a importância deste trabalho de revisão e evidenciando uma lacuna a ser preenchida no estado da arte.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. Pigmentos Vegetais

De acordo com Castilho (2010), a coloração dos alimentos é determinada pela presença de substâncias que além de colorir, trazem efeitos benéficos à saúde humana atuando na proteção do organismo e na prevenção de doenças crônicas como diabetes, câncer, doenças inflamatórias, dentre outras (COSTA et al., 2020; FERNANDES et al., 2020; CARRERA et al., 2021). A predominância de um determinado nutriente ou fitoquímico pode indicar sua presença, com maior ou menor intensidade. Assim, recomenda-se variedade ao se montar o prato, que deve conter ao menos cinco cores diferentes de alimentos. Obtêm-se melhores resultados promovendo a interação química entre alimentos de cores diferentes, uma vez que o efeito das substâncias é potencializado pela interação entre tais compostos, devido a diversidade de princípios nutritivos e compostos bioativos (DIAS, 2020).

Conforme Fennema (2010) “A cor e a aparência são atributos fundamentais, se não os mais importantes, para a qualidade dos alimentos. Isso se deve a capacidade humana de perceber com facilidade, esses fatores, os quais são os primeiros a serem avaliados pelos consumidores no momento da aquisição dos alimentos”.

A cor artificial dos alimentos pode ser proveniente da adição de pigmentos naturais ou de corantes sintéticos. Todavia, pode haver a formação de outras substâncias coloridas, como os caramelos e melanoidinas, durante as etapas de processamento e armazenamento do alimento (BOBBIO & BOBBIO, 1992).

A utilização de pigmentos naturais em alimentos tem se elevado devido à preocupação dos consumidores com os efeitos prejudiciais dos pigmentos sintéticos e corantes à saúde. Além disso, os pigmentos naturais apresentam vantagens no marketing do produto, por serem constituídos de compostos com alta atividade biológica (DUFOSSÉ, 2006).

Os pigmentos vegetais podem ser classificados em quatro principais categorias: carotenoides, clorofilas, flavonoides e betalaínas. Os carotenoides são amplamente difundidos na natureza e são subdivididos em: carotenos e xantofilas. As clorofilas podem se apresentar em mais de uma forma. Quanto à solubilidade, os carotenoides e as clorofilas são solúveis em lipídeos e em solventes orgânicos (acetona, benzeno, clorofórmio, dissulfeto de carbono, etanol, e éter etílico) e estão localizados nos cromoplastos e cloroplastos, respectivamente. As betalaínas são pigmentos vegetais nitrogenados, característicos de plantas pertencentes à ordem Caryophyllales. Esses pigmentos são divididos em betaxantinas amarelas e betacianinas violetas. A presença de ambos os tipos de pigmentos é necessária para as cores laranja e

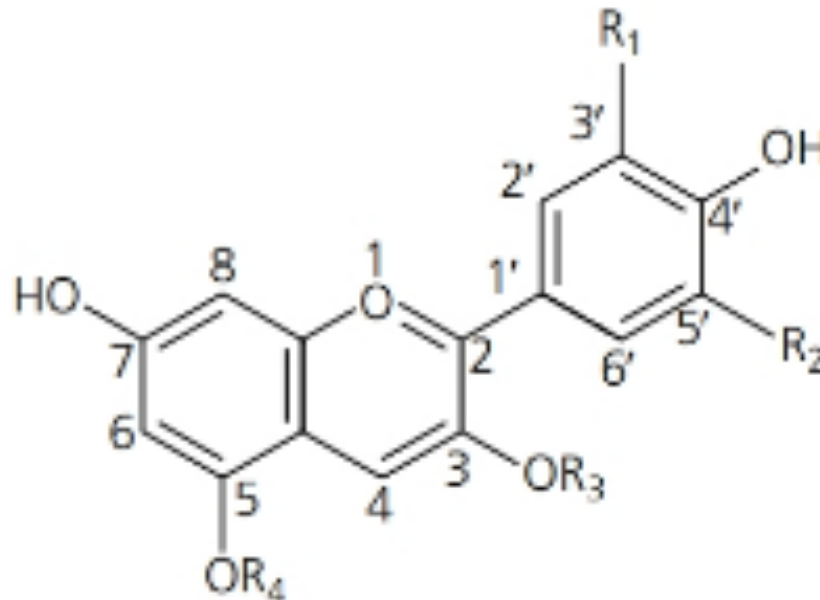
vermelha que coexistem na natureza com o amarelo puro e o violeta. Os flavonoides compõem um grupo numeroso de pigmentos, subdivididos em antocianinas, flavonas, flavonóis, leucoantocianinas e compostos fenólicos relacionados. Os flavonoides encontram-se dissolvidos na seiva das células vegetais (mistura aquosa que contém ácidos orgânicos, açúcares, derivados aromáticos, polissacarídeos, e inúmeros pigmentos) (TEIXEIRA et al., 2021).

4.2. Antocianinas

O termo antocianina é de origem grega (anthos, uma flor, e kyanos, azul escuro). Após a clorofila, as antocianinas são o mais importante grupo de pigmentos de origem vegetal (PEREIRA JÚNIOR, 2014). Compõem o maior grupo de pigmentos solúveis em água do reino vegetal e são encontradas em maior quantidade nas angiospermas (BRIDLE & TIMBERLAKE, 1997).

As funções desempenhadas pelas antocianinas nas plantas são variadas: antioxidantes, proteção à ação da luz, mecanismo de defesa e função biológica. As cores vivas e intensas que elas produzem têm um papel importante em vários mecanismos reprodutores das plantas, tais como a polinização e a dispersão de sementes (LOPES et al., 2008). Narayan et al (1999), descrevem que as antocianinas são um potente antioxidante comparado com antioxidantes clássicos como butilato hidroxil anisol, butilato hidroxil tolueno e alfa tocoferol (vitamina E). Este agente natural, quando adicionado a alimentos, além de conferir a coloração aos alimentos propicia a prevenção contra auto oxidação e peroxidação de lipídeos em sistemas biológicos. A estrutura química básica das antocianinas, caracterizada por um cátion flavilium, ligado a moléculas de hidrogênio, radicais hidroxilas, metoxilas e grupos glicosilados, é baseada em uma estrutura policíclica de quinze carbonos, mostrada na Figura 2.

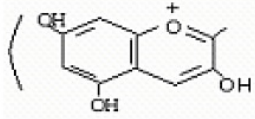
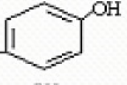
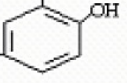
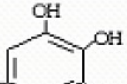
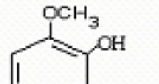
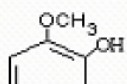
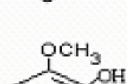
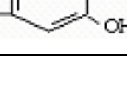
Figura 2 – Estrutura química do Cátion flavilium. R_1 e R_2 = -H, -OH, ou -OCH₃, R_3 = -glicosil, R_4 = -H ou -glicosil.



Fonte: Fennema (2010).

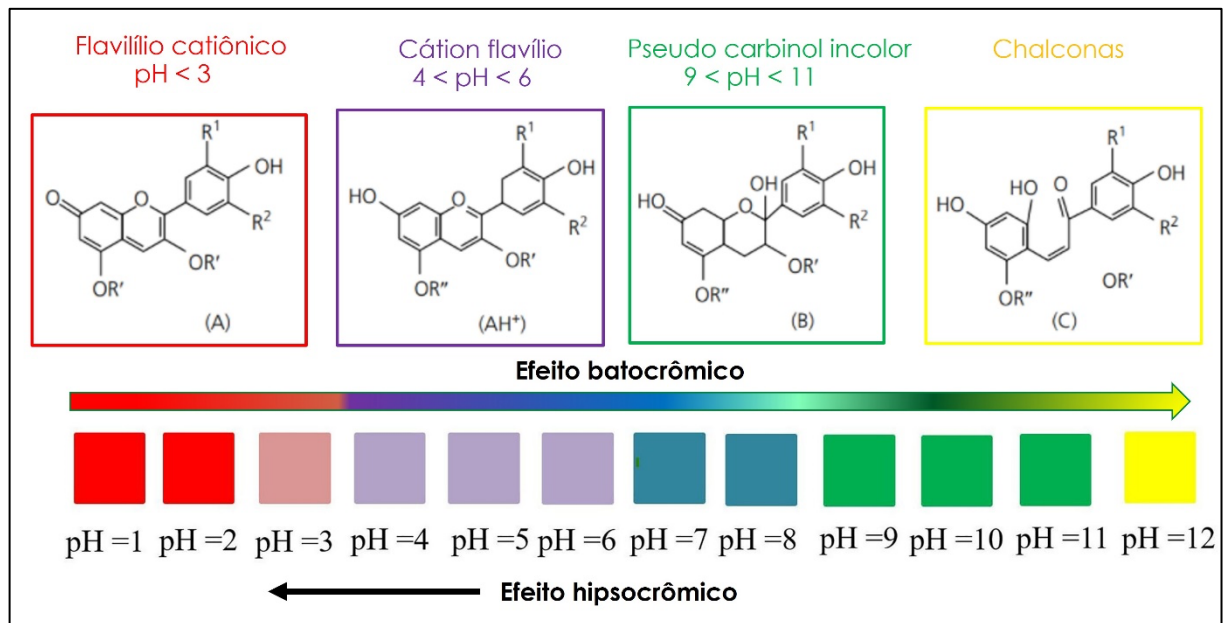
As antocianinas são as principais responsáveis por inúmeras tonalidades de cores encontradas em flores, frutas e folhas (BOBBIO & BOBBIO, 1995; MAZZA & MINIATI, 1993). O aumento da tonalidade é o resultado de uma mudança batocrômica, caracterizada pela banda de absorção da luz na faixa de espectro visível muda de um comprimento de onda menor para um maior, com alteração consequente da cor, de laranja/ vermelho para roxo em pH ácido. A mudança oposta é chamada de mudança hipsocrômica. Na Tabela 1, são mostradas as estruturas químicas das antocianinas e algumas fontes naturais das mesmas. Nas plantas que fazem parte da alimentação, as antocianinas se encontram difundidas, no mínimo em 27 famílias, 73 gêneros e numa grande variedade de espécies (BRIDLE & TIMBERLAKE, 1997).

Tabela 1. Estruturas, nomes e fontes na natureza das principais antocianinas.

Estrutura do cátion <i>flavilium</i>	Estrutura do anel B	Nome	Fonte
		Pelargonidina	Morango, amora vermelha
		Cianidina	Jaboticaba, figo, ameixa
			amora, repolho roxo
		Delfinidina	Berinjela, romã e maracujá
		Malvidina	Uva, feijão
		Peonidina	Uva, cereja
		Petunidina	Frutas Diversas, petúnias

Em solução aquosa, as antocianinas se encontram comumente na forma de uma mistura de diferentes estruturas químicas em equilíbrio: cátion flavilium (vermelho), base anidra quinoidal (azul), pseudo-base carbitol (incolor), e chalcona (incolor ou levemente amarela). A pH abaixo de 2, as antocianinas apresentam-se basicamente na forma catiônica; com o aumento do pH, ocorre uma rápida desprotonação para formar a base quinoidal. Em meio aquoso a hidratação do cátion flavilium leva ao equilíbrio entre a forma carbitol e chalcona. À temperatura ambiente, e em meio levemente acidificado, o equilíbrio entre as formas carbitol e chalcona é muito lento e leva horas para ser atingido. O aumento da temperatura desloca o equilíbrio na direção da formação da base chalcona (HEREDIA et al., 1998). Esse comportamento pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 – Estabilidade de antocianinas em relação ao pH.



Naturalmente a coloração das antocianinas é diretamente influenciada pela substituição dos grupos hidroxila e metoxila na molécula. Incrementos no número de grupos hidroxila tendem a tornar a coloração azulada. Na direção contrária, incrementos no número de grupos metoxilas aumentam a intensidade do vermelho (LÓPEZ et al., 2000).

A presença de um ou mais grupos acila na molécula de antocianina inibe a hidrólise do cation flavilium (vermelho) para a formar a base carbitol (incolor), permite a formação preferencial da base quinoidal (azul), resultando em pigmentos menos sensíveis às mudanças de pH (ou seja, eles mantêm a coloração em meio levemente acidificado a neutro), segundo observado por BRIDLE & TIMBERLAKE (1997).

Uma outra particularidade sobre as antocianinas é que a extração de antocianinas é um processo delicado devido à sua baixa estabilidade. No entanto, a aplicação de calor a um processo de extração é importante para promover fenômenos com altas taxas de transferência de massa, o que aumenta eficiência do processo (ALBUQUERQUE et al, 2020). Os principais métodos de extração desse pigmento são destacados no tópico seguinte.

4.3. Métodos de Extração

Nas linhas de produção, poucos são os processos de extração que não utilizem os métodos de maceração, extração por solvente, vapor, prensagem a frio e compressão (CHEMAT et al., 2017; SILVA et al, 2017). No entanto, o aumento dos custos de energia e o esforço para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, fizeram com que as indústrias alimentícias, farmacêuticas, cosméticas, entre outras, buscassem novas tecnologias para reduzir

esse consumo. Assim, novas técnicas de extração aprimoradas e eficientes foram desenvolvidas, a fim de atender essas deficiências, como extração assistida por ultrassom (UAE), extração por altas pressões, entre outras (CHEMAT et al., 2017; WANG et al., 2018; CHEN et al., 2007).

O processo de extração por solvente é um método geralmente aplicado em altas temperaturas, entretanto, também pode ser realizado em temperaturas mais brandas e temperatura ambiente, possuindo essas características como vantagem em relação as antocianinas. Entretanto, é um processo bastante demorado, podendo durar entre três horas e três semanas. Esse método também é inviável devido ao baixo rendimento, grande quantidade de material vegetal, alto consumo de solvente e impacto ambiental. (CAVALCANTI, 2013; JOVANOVIĆ et al, 2017). Nessa técnica, os solventes são utilizados de acordo com sua polaridade para extrair os compostos de interesse. Em geral, ocorre a saturação do solvente de extração ou um equilíbrio difusional entre o solvente e a célula vegetal, podendo ser em temperatura controlada ou temperatura ambiente. Esta técnica é um dos métodos de extração mais utilizados devido à sua adequação a diferentes escalas, simplicidade e baixo custo em comparação com outros métodos (SILVA et al, 2017).

Em geral, a extração de um soluto de partículas porosas para a maior parte do solvente durante um processo de difusão envolve várias etapas, como a difusão de solvente no sólido poroso, dissolução do soluto no solvente, difusão de soluto dissolvido para a superfície da partícula e difusão de soluto dissolvido da superfície da partícula para o solvente (SETFORD et al., 2017). Além do método de extração a escolha do solvente é muito importante para uma melhor e mais rápida extração. Pensando nisso, alternativas verdes e eficientes como a utilização de solventes eutéticos profundos (SEP) na extração vêm surgindo, apresentando resultados propícios quando comparada com solventes convencionais. Estudo realizado por Bubalo et al, (2016) mostraram que os rendimentos de compostos fenólicos do tegumento da uva obtidos com os SEP foram superiores aos obtidos com água e solvente convencional utilizando o processo de maceração.

A extração em água subcrítica (EAS), é uma técnica que utiliza água superaquecida como solvente, em pressão suficiente para manter a mesma no estado líquido. Tem sido muito usada para extrair compostos bioativos, como resíduos de vinícola, antocianinas de tegumento de uva vermelha, catequinas de folhas de chá, entre outros (WANG et al., 2018, GARCÍA et al., 2006; PIÑEIRO; PALMA; BARROSO. 2004).

O método de extração subcrítico usa principalmente água a temperaturas aproximadamente acima de 90 °C e abaixo de 370 °C e em pressão acima da atmosférica para

mantê-lo em estado líquido. Essas condições do solvente potencializam as características de difusão e solubilidade dos analitos, além de diminuir a viscosidade e a tensão superficial do solvente, o que facilita a penetração na matriz sólida, aumentando a área de contato e a taxa de transferência de massa. É um método rápido e ambientalmente correto e, que alcança altos rendimentos de extração de compostos de média e alta polaridade contidos em uma matriz sólida (HERRERO et al., 2013; MUFARI et al., 2020).

No entanto, também existem algumas desvantagens como a utilização de altas temperaturas não sendo adequado para a extração de alguns compostos sensíveis ao calor, podendo resultar em degradação térmica. Além disso, a água em estado subcrítico pode ser mais reativa e corrosiva do que a água em condições normais de temperatura e pressão, uma vez que a água neste estado pode catalisar ou acelerar a hidrólise e oxidação de alguns compostos (TEO et al., 2010; ZHANG et al., 2020).

A extração subcrítica pode ser realizada por duas formas, processo dinâmico ou estático no equipamento. O processo estático é composto por um ou vários ciclos onde o solvente preenche o extrator, permanecendo em contato com a amostra durante um tempo pré-determinado. No processo dinâmico, o solvente é bombeado continuamente pela célula extratora, mantendo uma vazão constante e a válvula de saída aberta para coleta do extrato. A extração dinâmica é mais eficiente que a estática, por evitar a saturação do solvente, enquanto a extração estática permite maior penetração do solvente nos nano e micro poros da matriz devido ao maior tempo de contato entre as fases (HALL, 2018; NIETO et al.; 2010).

No processamento de alimentos, as ondas ultrassônicas podem ser divididas em duas categorias com base na diferença de intensidade e frequência do som. O ultrassom de alta frequência (frequências de 2 a 20 MHz), é empregado em análises de qualidade de alimentos, imagens médicas e inspeção não destrutiva. O ultrassom de alta intensidade que opera em frequências mais baixas (frequências 20 a 100 kHz), é usado para aprimorar o processo de extração de compostos bioativos (BIMAKR et al., 2017).

A extração assistida por ultrassom (EAU) é um tópico de pesquisa que afeta vários campos da química moderna baseada em plantas. Muitas aplicações relatadas mostraram que a extração assistida por ultrassom é uma alternativa verde e economicamente viável às técnicas convencionais de alimentos e produtos naturais. Tendo vários benéficos como, transferência mais rápida de massa diminuindo assim o tempo de extração, temperatura reduzida, extração seletiva, baixo consumo de solventes, baixo custo de instalação e facilidade durante a operação (CHEMAT; KHAN, 2011; CHEMAT et al., 2017). Como desvantagem, apresenta aquecimento não homogêneo na extração (LIANFU; ZELONG, 2008). É importante destacar também que o

mecanismo de ruptura celular por ondas ultrassônicas está associado com o fenômeno de cavitação. Este fenômeno resulta na liberação de ondas de choque altamente energéticas, que causam a aparição de tensões mecânicas, provocando danos na superfície atingida. As forças cisalhantes produzidas pelo turbilhonamento gerado durante a cavitação geram pequenas bolhas de ar, e quando estas bolhas são maiores que as células, elas fazem com que estas células se movimentem de forma violenta até que ocorra o rompimento delas. Por outro lado, quando as bolhas são menores que as células, elas são capazes de gerar stress cisalhante disruptivo sem a necessidade de movimentação das células. Dessa forma células maiores sentem mais o turbilhão de ruptura do que células menores (GECIOVA, BURY; JELEN, 2002). Grande parte da energia ultrassônica absorvida pela suspensão celular se transforma em calor, por isto um controle de temperatura é necessário (MIDDELBERG, 1995), caso contrário pode haver significativa degradação dos compostos termosensíveis.

A frequência do ultrassom na extração é eficiente devido à quebra da micela ou matriz da amostra facilitando o acesso do solvente aos compostos hidrofóbicos contidos. Além disso, o poder do ultrassom agita o solvente de extração, aumentando assim o contato entre o solvente e os compostos direcionados, melhorando significativamente essa eficiência da extração (CHEN et al., 2007).

Métodos de extração assistida por calor e ultrassom foram aplicados para recuperar antocianinas de *Hibiscus sabdariffa*. A extração utilizando ultrassom foi aproximadamente 2,5 vezes mais eficiente, permitindo recuperar uma grande quantidade de antocianinas, valores elevados quando comparado com a literatura. Estes resultados, podem ser usados como fonte viável de antocianinas para produzir corantes a base biológica (PINELA et al., 2019).

Para estabelecer métodos de extração ecológicos para as antocianinas, SEP foram investigados como uma alternativa verde aos solventes convencionais, juntamente com extração assistida por ultrassom de alta eficiência. Esta abordagem usa os SEP como solvente verde e ultrassom como alternativa representando uma boa escolha para projetar métodos de extração ecológicos para compostos fenólicos de várias fontes (BOSILJKOV et al., 2017). Para tornar os processos de extrações cada vez mais eficientes, trabalhos combinados estão sendo realizados, como tecnologias não convencionais (EAU e EAS) e solventes alternativos (SEP), pois além de obter uma melhor extração reduz os danos ambientais (IVANOVIĆ, et al., 2020). Entretanto, os extratos gerados ainda podem apresentar problemas de estabilidade a luz, térmica, solubilidade em água e biodisponibilidade. Nesse sentido, essas limitações podem ser superadas a partir da aplicação de métodos de estabilização como processos de encapsulamento.

4.4. Métodos de encapsulamento

Na literatura, foi relatado que as antocianinas têm baixa biodisponibilidade durante a digestão e absorção (FANG, 2014; FERNANDES, FARIA, CALHAU, DE FREITAS, & MATEUS, 2014; MCGHIE & WALTON, 2007; TARONE et al., 2020). Métodos de encapsulamento foram sugeridos devido suas características de transporte e por aumentar a estabilidade e biodisponibilidade das antocianinas.

O encapsulamento é um método comum para melhorar a cor e estabilidade das antocianinas extraídas (RATANAPOOMPINYO et al., 2017). Várias técnicas de encapsulamento, incluindo a utilização de lipossomas, secagem por atomização, liofilização, gelificação iônica, partículas à base de lipídios e processos eletro-hidrodinâmicos, foram usados para aumentar a estabilidade de antocianinas, entre as quais a secagem por atomização é usada com mais frequência (ECHEGARAY et al., 2020).

A microencapsulação de pigmentos engloba o desenvolvimento da tecnologia e do processo. Tem havido alguns progressos nesta área devido à atuação das empresas fornecedoras de pigmentos destinados a todos os campos de aplicação, incluindo pigmentos sintéticos e naturais. A microencapsulação envolve aprisionamento completo das partículas do pigmento em uma rede protetora, que isola e estabiliza o pigmento dos fatores que comumente causam a perda da cor, como a luz, ou de fatores que podem causar oxidação ou instabilidade, como contato com o oxigênio ou mudanças de pH. No caso dos pigmentos, mais do que no caso de outros ingredientes, o mecanismo de liberação é, frequentemente, uma das limitações a serem consideradas. O aspecto visual do alimento no ponto de compra, ou antes do consumo tem importância fundamental. A proteção fornecida pela encapsulação depende da matriz encapsulante, da eficiência do recobrimento e do momento exato da liberação do pigmento, a qual pode ocorrer por solubilização, mudanças de temperatura ou fratura das microcápsulas (DOWNHAM; COLLINS, 2000).

Para que o pigmento mantenha sua função de conferir cor ao produto mesmo quando as microcápsulas estejam íntegras, a matriz encapsulante deve ser transparente e as microcápsulas devem ser muito pequenas. Diversos materiais de parede são convenientes para encapsulação de pigmentos, incluindo gomas e maltodextrinas. A microencapsulação é uma área de grande potencial para a proteção de pigmentos, sejam eles sintéticos ou naturais. Com o contínuo avanço na disponibilidade de novos materiais e novas tecnologias, espera-se que, no futuro, a maioria dos pigmentos passe a ser protegida pela microencapsulação (DOWNHAM; COLLINS, 2000).

A goma arábica possui características estruturais que lhe permitem ser adsorvida em superfícies lipofílicas, atuar como coloide protetor e, ainda, como um bom agente formador de películas; adicionalmente, apresenta baixa viscosidade e comportamento newtoniano em concentrações inferiores a 35 %. De fato, a goma arábica é um dos materiais formadores de película mais efetivos para microencapsulação (KAUSHIK; ROOS, 2007; LOPERA et al., 2009).

As maltodextrinas são principalmente usadas como carreador ou encapsulante em materiais difíceis de secar e para reduzir a pegajosidade e os problemas de aglomeração durante o armazenamento, melhorando a estabilidade do produto (BHANDARI; HARTEL, 2005; ROOS; KAREL, 1991). Esses materiais também são largamente utilizados porque apresentam uma boa relação custo/benefício, além de apresentarem um flavor brando e baixa viscosidade em altas concentrações (CLAUDE; UBBINK, 2006). O uso da maltodextrina como um auxiliar de secagem tem dado bons resultados em termos de minimização da deposição nas paredes, mesmo para as melhores condições de secagem (LANGRISH; CHAN; KOTA, 2007).

Sakulnarmrat, Wongsrikaew, & Konczak (2021) relataram que a microencapsulação de extrato rico em antocianina de repolho roxo por misturas de maltodextrina e goma arábica usando técnica de secagem em tambor evitou a degradação das antocianinas incorporadas aos alimentos e aumentou a estabilidade de armazenamento, capacidade antioxidante e vida útil de o produto. Hongmei & Meng (2015), utilizando o método de secagem por atomização, descobriram que a meia-vida de antocianinas microencapsuladas foi estendido quando exposto a temperaturas diferentes. Além disso, Kulchenko, Deineka, Deineka e Blinova (2017) indicou que o encapsulamento de antocianinas de repolho roxo pela maltodextrina usando o método de secagem por liofilização evitou a perda de antocianinas durante mais de 6 meses de armazenamento refrigerado. Adicionalmente, Bernstein & Norena (2015) encapsularam antocianinas de repolho roxo via método de secagem por atomização e relataram que usando polidextrose como materiais encapsulantes preservaram antocianinas de repolho roxo contra o aumento das temperaturas de 140 a 160 °C.

Lipossomas ou vesículas são também comumente usados na encapsulação de antocianina por causa de seus materiais acessíveis e baratos. Lipossomas formados a partir de fosfolípidios têm sido usados como transportadores de antocianinas em que as antocianinas foram encapsuladas com sucesso e com estabilidade melhorada (BRYŁA, LEWANDOWICZ, & JUZWA, 2015; CHEN; STEPHEN; INBARAJ, 2019; CHI et al., 2019; GULDIKEN, GIBIS, BOYACIOGLU, CAPANOGLU, & WEISS, 2018), enquanto alguns métodos de entrada de alta energia, como dispersão ultrassônica ou alta pressão são empregados. Quando estes

compostos são estabilizados em matrizes, passam a ter uma maior durabilidade podendo servir como matéria-prima para produção de outros materiais como corantes de grau alimentar e embalagens inteligentes para a indústria de alimentos.

4.5. Embalagens Inteligentes

O estilo de vida das pessoas tem se tornado cada vez mais complexo, devido à atuação mais expressiva das mulheres no mercado de trabalho e à correria do dia a dia da população em geral, o que tem levado os consumidores a se alimentarem de forma mais prática e rápida. Assim, por esse motivo, as indústrias de alimentos têm desenvolvido embalagens convenientes e que atendam a essa demanda, sem esquecer-se da função básica de proteção dos alimentos e da facilidade de comunicação entre as embalagens e o consumidor final (MIHINDUKULASURIYA & LIM, 2014).

Existem dois conceitos importantes na área de desenvolvimento de embalagens: as ativas e as inteligentes. As embalagens ativas possuem agentes ativos (compostos antioxidantes, absorvedores de oxigênio e de umidade, por exemplo) que interagem intencionalmente com o produto, tendo como propósitos proteger, prolongar a vida útil, preservar as propriedades sensoriais, além de manter a qualidade e a integridade do produto, e garantir a segurança do alimento (GHAANI et al., 2016; BRAGA & SILVA, 2017). Já as embalagens inteligentes são aquelas que possuem maior aprimoramento em relação à comunicação e ao consumidor, ou seja, fornecem um feedback dinâmico sobre a qualidade real do produto. Desse modo, para informar o consumidor sobre a situação atual do alimento, dispositivos, como indicadores, sensores ou portadores de dados, são inseridos ou incorporados ao corpo da embalagem, para que possam interagir com os componentes internos e externos dos alimentos e do ambiente em que estão condicionados, e fornecer como resultado uma resposta imediata (mudança de cor, por exemplo) que se correlaciona com as propriedades físicas, químicas e biológicas dos alimentos (POYATOS-RACIONERO et al., 2018).

Existem vários dispositivos e equipamentos, aplicados às embalagens, desenvolvidos para informar o estado de conservação dos alimentos, como as etiquetas de identidade de radiofrequência, os indicadores de tempo-temperatura, os sensores eletroquímicos, as línguas e os narizes eletrônicos; porém, esses sistemas são complexos e dispendiosos (HSIA et al., 2015). Assim, existem dispositivos mais simples, que podem ser utilizados para esse controle, sem nenhuma dificuldade, sendo um deles a utilização de um indicador que mostre a mudança de pH, já que sua identificação prediz o tempo de prateleira do alimento em função da sua variação (ETXABIDE et al., 2021; SGANZERLA et al., 2021).

Uma vez definido o material para formar a base da embalagem, faz-se necessário a adição de dispositivos inteligentes capazes de monitorar em tempo real as condições dos alimentos. Um grupo de compostos que apresenta potencial para o desenvolvimento de embalagens inteligentes é o das antocianinas. As antocianinas são compostos fenólicos que estão presentes em muitas das plantas terrestres (DAVIES et al., 2017). Sua função na planta é fornecer grande parte da pigmentação de flores, frutos e vegetais, sendo um atrativo visual para vários animais polinizadores de sementes. Além das várias possibilidades de aplicação das antocianinas em alimentos e bebidas, este grupo de compostos apresenta a propriedade de serem sensíveis ao pH e mudam de cor de forma reversível dependendo das concentrações de espécies ácidas ou básicas presentes no sistema (DAVIES et al., 2017).

Aliado ao fato de que alguns alimentos podem sofrer processos bioquímicos e microbiológicos que alteram o seu pH, a propriedade de mudança de cor torna as antocianinas potenciais indicadores colorimétricos para desenvolvimento de embalagens inteligentes, monitorando e informando ao consumidor as condições em que os alimentos se encontram durante o tempo de armazenamento. Estudos aplicando extratos de antocianinas de diferentes origens vegetais em matrizes poliméricas estão sendo desenvolvidos como potenciais dispositivos inteligentes (SILVA-PEREIRA et al., 2015; CHOI et al., 2017; LIU et al., 2017; PRIETTO et al., 2017; LUCHESE et al., 2017; MA et al., 2018). WEI et al. (2017) produziram filmes à base de goma gelana incorporados com batata doce roxa (*Ipomoea batatas* L.) em pó. Aliado ao fato das embalagens desenvolvidas terem apresentado mudança colorimétrica visível quando em contato com soluções de diferentes pH, os pesquisadores detectaram que os filmes apresentaram consideráveis propriedades antioxidantes. Além disso, os dispositivos foram eficientes na transição colorimétrica devido alterações de pH causada por compostos básicos voláteis produzidos por *Escherichia coli* quando este micro-organismo metabolizava proteínas *in vitro*.

Pourjavaher et al., (2017) elaboraram um filme à base de nanofibras de celulose de origem bacteriana incorporado com extrato de repolho roxo (*Brassica oleraceae* L. var. *Capitata* f. *rubra*) para ser utilizado como um dispositivo inteligente indicador de pH. Além de determinar o efeito da incorporação do extrato de repolho nas propriedades térmicas, mecânicas, microscópicas, estruturais e de interação com matriz polimérica, o indicador desenvolvido foi eficiente na detecção de variações de pH *in vitro*, apresentando potencial de aplicação em monitorar as condições de conservação de alimentos ao longo do seu armazenamento. Ma et al., (2018) desenvolveram filmes à base de uma blenda composta de poli (vinil álcool) (PVOH) e nanopartículas de quitosana incorporados com extrato de amora

visando a detecção de variações de pH em soluções e alimentos. Além dos filmes adicionados de extrato de amora terem apresentado maior resistência comparado ao filme controle, estes foram capazes de detectar alterações de pH em amostras de peixe durante o armazenamento.

É fato que as antocianinas apresentam excelente potencial para agirem como dispositivos inteligentes em alimentos. Porém, estas moléculas apresentam algumas limitações devido à sensibilidade a fatores intrínsecos ao meio como pH, luz, metais e sulfitos (MARKAKIS, 1982; FRANCIS, 1989). Com isso, estudos devem ser realizados buscando identificar a real estabilidade de filmes incorporados com extratos de antocianinas, para que, estes sejam capazes de fornecer informações confiáveis e corretas a respeito da qualidade e segurança dos alimentos.

Na Tabela 2, são mostrados alguns trabalhos encontrados na literatura onde são extraídas antocianinas com o intuito de incorporação em embalagens inteligentes visando o monitoramento de pH dos alimentos.

Tabela 2. Descrição dos trabalhos envolvendo a utilização de antocianinas na incorporação em embalagens inteligentes.

Matriz dos indicadores	Elemento para detecção	Principais resultados	Referência
Membrana de celulose bacteriana e polivinil álcool	Antocianinas (Repolho vermelho)	O sensor de pH comestível exibiu várias cores distintas de vermelho a roxo, azul-cinza e, em seguida, a amarelo na faixa de pH (pH 1-14), com boa linearidade entre pH 1-6 e pH 8-12, com um tempo de resposta do sensor de 4 min e reprodutibilidade de <1% (RSD). O sensor mostrou mudança de cor como uma resposta de pH e excelente estabilidade de cor após 17 e 22 dias em condições ambiente (25°C) e refrigerador, respectivamente.	Kuswandi (2020)
Gelatina e goma gelana	Antocianinas (Rabanete vermelho)	O filme composto mostrou uma mudança de cor laranja vermelha a amarela no intervalo de pH de 2–12. A resistência à tração, a ductilidade e as capacidades de barreira à luz ultravioleta (UV) e ao oxigênio dos filmes	Zhai (2018)

foram melhoradas conforme a concentração de antocianinas de rabanete vermelho aumentou. Padrões multicoloridos foram desenhados com sucesso nos filmes usando o método de escrita eletroquímica. Os filmes compostos, que atuavam como sensores de gás de ácido acético e gás de amônio, apresentavam alterações de cor visíveis na presença de leite e resíduos de peixe, enquanto os padrões escritos estavam bem preservados. Consequentemente, este filme composto com padrões escritos pode ser um indicador fácil de usar com grande potencial para monitorar a deterioração de alimentos como parte de um sistema de embalagem inteligente.

Gelatina	Antocianinas (Repolho vermelho)	Os extratos alcoólicos foram mais eficazes do que os aquosos devido à maior concentração e variedade de antocianinas, que exerceram efeito plastificante na matriz protéica. Esse efeito foi observado em um aumento no alongamento e na solubilidade do filme e uma diminuição no módulo de Young. Por outro lado, os extratos aquosos parecem favorecer o <i>cross-linking</i> das proteínas, pois melhoram o comportamento mecânico dos filmes. Esses materiais podem ser utilizados como embalagens ativas e inteligentes de produtos alimentícios, principalmente aqueles suscetíveis à oxidação ou cuja deterioração é acompanhada por alterações de pH.	Musso (2019)
Metilcelulose e nanofibras de quitina	Antocianina (Bayberry vermelho)	A incorporação das antocianinas aos filmes aumentou sua resistência à tração, propriedades de triagem de luz, atividade antimicrobiana e atividade antioxidante. A análise da microestrutura e propriedades espectroscópicas dos filmes mostrou que as antocianinas eram compatíveis com a matriz de biopolímero circundante. Finalmente, foi mostrado que os filmes carregados com antocianina podem ser usados como materiais de embalagem inteligentes para monitorar mudanças no frescor de um produto a base de carne durante o armazenamento.	Sani (2021)
Hidroxipropil metil celulose e Konjac glucomannan	Antocianinas (Amora)	Pode-se concluir que as mudanças de cor dos filmes TG (goma de tara) / PVA (álcool polivinílico) / BPE (extrato de casca de amora) corresponderam aos valores de TVB-N e TAC dos filés de tilápia, os quais apresentaram grande potencial como rótulo visual de embalagem para monitorar o frescor do pescado em temperatura ambiente e refrigerada.	Zhou (2021)
Nanofibras de quitina	Antocianinas (Jabuticaba)	Os filmes com antocianinas apresentaram maior espessura. A higroscopicidade, opacidade, hidrofobicidade da superfície dos	Terrazas (2019)

filmes e solubilidade não foram afetadas pela presença de antocianinas. Devido a esta última, observou-se uma migração de antocianinas considerável, 31,29 %. Para um observador, a cor dos filmes indicadores é perceptível e possui tonalidade vermelha. As interações entre antocianinas e as cadeias poliméricas ocorrem através de ligações de hidrogênio. O frescor de carne bovina foi avaliado mediante aplicação dos filmes, que se mostraram capazes de indicar a degradação do produto, porque mudaram visivelmente de cor em pH básicos. Ou seja, os filmes são capazes de atuar como embalagem indicadora de frescor.

<p>Quitosana e provínil-álcool</p>	<p>Antocianinas (Batata-doce roxa)</p>	<p>Os filmes incorporados com antocianinas não tiveram higroscopicidade alterada, contudo, a espessura e a solubilidade aumentaram. O filme mostrou-se opaco suficiente para proteger os alimentos e as ligações químicas entre as antocianinas e o filme polimérico interagem através de ligações de hidrogênio. A análise colorimétrica, assim como o teste de aplicação, mostrou que os filmes alteram a cor de maneira perceptível de acordo com a mudança do pH, fazendo com que seja possível a aplicação dos filmes em alimentos como embalagens inteligentes</p>	<p>Pelicioli (2019)</p>
<p>Ácido acético volátil</p>	<p>Antocianinas (Repolho roxo)</p>	<p>Os filmes não apresentaram boas propriedades de mudança colorimétrica em soluções contendo diferentes valores de pH, porém foram capazes de detectar amônia volátil. Além disso, o tempo e a incidência de luz influenciaram na estabilidade da cor dos filmes, sendo possível prever tanto o potencial de aplicação dos filmes desenvolvidos após 30 dias, bem como a transmissão de informações confiáveis a respeito da qualidade e segurança durante o armazenamento de alguns tipos de alimentos.</p>	<p>Freitas (2018)</p>
<p>Casca de mirtilo liofilizada e em pó, água destilada e ácido clorídrico</p>	<p>Antocianinas (Mirtilo)</p>	<p>Apesar da dispersão irregular do resíduo de mirtilo na matriz polimérica identificada por microscopia óptica, os filmes apresentaram valores iguais de permeabilidade ao vapor de água, hidrofília e propriedades mecânicas quando comparados às amostras sem o resíduo. Além disso, exibiram alterações de cor visualmente perceptíveis na faixa de pH entre 2 e 12, o que foi confirmado por análise colorimétrica, uma vez que os valores entre as amostras foram maiores que 3. A migração dos compostos após a imersão do filme em solução simulante aquosa (ácido acético) mostrou uma intensidade superior em comparação às amostras imersas em uma solução simuladora de gordura (etanol) devido à hidrofobicidade das</p>	<p>Luchese (2019)</p>

antocianinas. Portanto, o filme com mirtilo tem potencial como embalagem inteligente.

Biohíbrido à base de Laponita®	Antocianinas (Jambolão)	Embalagens termo formáveis incorporadas com um biohíbrido a base de Laponita e antocianinas do jambolão foram desenvolvidas. Resultados físico-químicos como estrutura química, cristalinidade, transições térmicas, morfologia, espessura e densidade sugerem que o espaçamento molecular nas cadeias de amilose / amilopectina é alterado com a presença de laponita e frutos de jambolão. Finalmente, os filmes contendo frutas de jambolão e híbridos à base de laponita e mostram mudanças visíveis da cor roxa para amarela quando usados para monitorar o frescor de bife redondo armazenado a -20,4 e 20°C. Com base em resultados colorimétricos e físico-químicos, filmes à base de amido de mandioca, laponita e frutas de jambolão podem ser fabricados por termo compressão e podem ser usados para monitorar o frescor da carne.	Gaviria (2021)
---------------------------------------	-------------------------	--	----------------

Momentaneamente, as embalagens que utilizam algum tipo de indicador mostram-se mais viáveis comercialmente e, assim, o interesse nesse assunto, por parte das indústrias e de pesquisadores, tem aumentado (VANDERROOST et al., 2014). Por esse motivo, indicadores de pH foram desenvolvidos em diferentes bases poliméricas, incorporados com antocianinas ou seus extratos, e vêm ganhando espaço no mundo científico devido às suas propriedades colorimétricas. Alguns exemplos recentes são:

- Antocianinas de *Clitoria ternatea* foram incorporadas em base polimérica de amido com nanotubos de carbono, para monitoramento de deterioração da carne de porco (Koshy et al., 2021). O objetivo deste trabalho foi desenvolver um filme inteligente de biopolímero à base de amido, incorporando carbon dot (CD) e antocianina extraída da flor de *Clitoria ternatea* (CTE). O filme de amido / CD / CTE (SED) foi preparado pela técnica de fundição em solução e caracterizado como novo filme indicador de pH de alta sensibilidade, com potencial para

monitorar o frescor de carne de porco embalada. As análises de SEM, FTIR e XRD mostraram distribuição homogênea de CD e CTE na matriz de amido. Os filmes SED exibiram as maiores propriedades mecânicas, de barreira, térmicas e antioxidantes devido ao efeito sinérgico de CD e CTE. Além disso, os filmes SED exibiram variações de cor em diferentes pH devido à presença de antocianina no CTE. Portanto, o filme SED foi usado como um indicador visual de baixo custo para monitorar o frescor de uma amostra de carne de porco embalada. O filme mostrou mudanças visuais de cor de roxo para verde conforme o tempo de armazenamento aumentava. Este estudo mostra que ingredientes de qualidade alimentar podem ser usados para preparar filmes inteligentes ativos que, por sua vez, podem ser usados para monitorar o frescor de produtos alimentícios como a carne de porco.

- Desenvolvimento de filmes sensíveis ao pH utilizando carboximetil celulose com antocianinas de amora (*Morus nigra* L.), para melhoramento da vida útil de tomate cereja (*Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme*) (SGANZERLA et al., 2021). Este estudo teve como objetivo produzir uma embalagem inovadora de filme antioxidante e sensível ao pH à base de carboximetilcelulose (CMC) e incorporando diferentes quantidades de extrato rico em antocianina de amora-preta (*Morus nigra* L.). Os filmes foram caracterizados e aplicados como revestimento na conservação pós-colheita de tomate cereja (*Solanum lycopersicum* L. var. *Cerasiforme*) para demonstrar a eficácia na conservação de alimentos. Os resultados obtidos demonstraram que os filmes apresentaram parâmetros físico-químicos consideráveis bons, especialmente uma baixa solubilidade em água (abaixo de 15%) e alta propriedade de bloqueio de UV (transmitância abaixo de 0,8%). Os filmes apresentaram alto teor de compostos fenólicos e antocianinas, aumentando com a adição do extrato de amora-preta na formulação do filme. Além disso, a liberação controlada dos compostos ativos indicou um perfil constante entre 2 e 240 h, o que sugere um comportamento promissor para a conservação de alimentos. Com base na presença de antocianinas, os filmes mudam de cor de acordo com o pH exposto, podendo então ser classificados como embalagens sensíveis ao pH. Os filmes de CMC demonstraram comportamento positivo na conservação pós-colheita de tomate cereja por 15 dias de armazenamento, mantendo o peso e a firmeza dos frutos constantes. Nos atributos sensoriais, a concentração do extrato rico em antocianinas utilizado na formulação do filme afetou significativamente a aceitação visual. Além disso, as maiores concentrações de extrato afetaram negativamente a intenção de compra do tomate cereja. Concluindo, os filmes de CMC biodegradáveis podem liberar compostos bioativos-antioxidantes e aumentar a vida útil do tomate cereja, podendo, portanto, ser considerados uma nova alternativa para embalagens em sistemas alimentícios.

- Filmes indicadores de alteração de cores responsivos ao pH baseados em nanofibra de metilcelulose/quitosana e antocianinas de barberry, para monitoramento em tempo real do frescor da carne (ALIZADEH-SANI et al., 2021). Um novo filme indicador de cor responsivo ao pH foi preparado pela mistura de antocianina de bérberis (BA) com filme composto de metilcelulose (MC) / nanofibra de quitosana (ChNF). A adição de ChNF e BA aumentou as propriedades mecânicas e de barreira à água, mas reduziu a transmitância de luz UV-vis do filme composto. A antocianina mostrou compatibilidade adequada com o filme composto. O filme indicador de cor mostrou uma mudança aparente de cor em resposta às mudanças de pH e gás amônia, sendo adequado para indicar a mudança no pH dos alimentos, a formação de compostos de nitrogênio voláteis e a decomposição dos alimentos. O filme indicador de cor mudou claramente de rosa avermelhado para pêssego claro e finalmente para amarelo quando exposto a diferentes tampões de pH. No entanto, em resposta ao vapor de amônia, a cor mudou de rosa para verde pálido e amarelo. Além disso, o filme indicador de cor exibiu notável atividade antioxidante. Portanto, o filme indicador de cor com sensor de pH pode ser usado como um indicador inteligente para monitoramento de frescor em tempo real de produtos de carne e frutos do mar.
- As antocianinas sensíveis ao pH, encontradas na batata roxa ou roselle, foram incorporadas em matrizes de quitosana e polivinil álcool com nanopartículas de óxido de zinco, para produção de filmes inteligentes (LIU et al., 2021). Filmes sensíveis ao pH e antibacterianos à base de quitosana / álcool polivinílico / nano-ZnO (CPZ) contendo antocianinas extraídas de batata roxa (PPE) ou roselle (RE) foram desenvolvidos. Quando incorporado com PPE ou RE, o conteúdo de umidade e flexibilidade do filme reduziram significativamente ($P < 0,05$), enquanto a resistência mecânica do filme foi significativamente aumentada ($P < 0,05$). A permeabilidade ao vapor de água (WVP) do filme foi ligeiramente influenciada pela adição de PPE ou RE ($P > 0,05$). O filme CPZ-RE exibiu cor mais escura e menor transmitância de luz do que o filme CPZ-PPE no mesmo nível de incorporação. Os filmes CPZ-PPE e CPZ-RE exibiram mudanças de cor distinguíveis em diferentes soluções tampão de pH. Os filmes CPZ-PPE exibiram maior atividade antibacteriana contra *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus* do que os filmes CPZ-RE. Além disso, o filme pode monitorar efetivamente o grau de deterioração do camarão quando o filme muda de roxo para verde claro. Nossos resultados sugerem que os filmes CPZ-PPE e CPZ-RE têm potencial promissor como materiais de embalagem ativos e inteligentes para aplicações na indústria de alimentos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível concluir neste trabalho que o desenvolvimento de novas embalagens inteligentes com indicadores ou sensores colorimétricos está diretamente relacionado com a forma de produção, requerendo uma padronização de sua produção e parâmetros, fornecendo uma visão de diversos profissionais de diferentes áreas, que acabam por desenvolver novas tecnologias promissoras.

Destacou-se também que os compostos antociânicos têm grande sensibilidade a variações de pH. Para utilizar um extrato vegetal como indicador de variação de pH, é necessário incorporar numa matriz sólida para imobilizar o corante de pH. As mudanças de cor do filme indicador de pH representam um método simples e visual para detectar alterações de qualidade de produtos alimentares, uma vez que os valores de pH dos alimentos mudam em processos de deterioração.

Cada vez mais os consumidores optam por alimentos com alta qualidade, além de praticidade, visto que há mudanças no tempo, nos hábitos e nas preferências, demandando que as indústrias de alimentos e embalagens se adequem ao novo estilo de vida. Nesse sentido, processos e recursos tecnológicos vêm ganhando destaque com a premissa de oferecer qualidade, conveniência e segurança, tanto para consumidores como para empresas. Como visto, as embalagens inteligentes apresentam uma grande oportunidade para desenvolver ganhos econômicos consideráveis, diferentes das embalagens tradicionais, uma vez que passam a monitorar de forma eficaz e prática, favorecendo a rápida detecção da deterioração alimentar, além de inspecionar sua vida útil.

REFERÊNCIAS

- ALIZADEH-SANI, M.; TAVASSOLI, M.; MOHAMMADIAN, E.; EHSANI, A.; KHANIKI, G. J.; PRIYADARSHI, R.; RHIM, J.-W. pH responsive color indicator films based on methylcellulose/chitosan nanofiber and barberry anthocyanins for real-time monitoring of meat freshness. *International Journal of Biological Macromolecules*, 166, 741-750, 2021.
- BARÃO, M. Z. Embalagens para produtos alimentícios. Instituto de Tecnologia do Paraná-TECPAR, 2011.
- BARBOSA, M. I. M. J.; BORSARELLI, C. D.; MERCADANTE, A. Z. Light stability of spray-dried bixin encapsulated with different edible polysaccharide preparations. *Food Research International*, Madison, v. 38, p. 989-994, 2005.
- BERNSTEIN, A.; NORENA, C. P. Z. Encapsulation of red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata L. f. rubra) anthocyanins by spray drying using different encapsulating agents. *Brazilian archives of Biology and technology*, 58(6), 944-952, 2015.
- BHANDARI, B.; HARTEL, R. Phase transitions during food powder production and powder, 2007.
- BIMAKR, M.; GANJLOO, A.; ZARRINGHALAMI, S.; ANSARIAN, E. Ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from *Malva sylvestris* leaves and its comparison with agitated bed extraction technique. *Food science and biotechnology*, 26.6: 1481-1490, 2017.
- BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. Química do processamento de alimentos: pigmentos. 2ª ed., Campinas: Varela, p 105-120, 1995.
- BOSILJKOV, T.; DUJMIĆ, F.; BUBALO, M. C.; HRIBAR, J.; VIDRIH, R.; BRNČIĆ, M., JOKIĆ, S. Natural deep eutectic solvents and ultrasound-assisted extraction: Green approaches for extraction of wine lees anthocyanins. *Food and Bioproducts Processing*, v. 102, p. 195-203, 2017.
- BRIDLE, P.; TIMBERLAKE, C. F. Anthocyanins as natural food colours – selected aspects. *Food Chemistry*, v.58, n.1-2, p.103-109, 1997.
- BRYŁA, A., LEWANDOWICZ, G., & JUZWA, W. Encapsulation of elderberry extract into phospholipid nanoparticles. *Journal of Food Engineering*, 167, 189-195, 2015.
- CAPELLO, C. et al. Desenvolvimento de biohíbrido à base de antocianina da casca de berinjela (*Solanum melongena* L.) e Laponita®: estudo da cinética de adsorção/dessorção, caracterização morfológica e físico-química. 2020.
- CARAMEZ, R. R. B. Caracterização físico-química e estudo da estabilidade das antocianinas do cálice de *Hibiscus sabdariffa* L. 1999. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.
- CASTILHO. A importância das cores nos alimentos. Disponível em: <<http://www.bbel.com.br/qualidade-de-vida/post/a-importancia-das-cores-nos-alimentos>>. 2010.

- CÉSAR, A. D. S.; DE MORI, C.; BATALHA, M. O. Inovações tecnológicas de embalagens nas indústrias de alimentos: estudo de caso da adoção de embalagem ativa em empresas de torrefação de café. *Revista Bras. Inov.*, Rio de Janeiro, v. 9, n. 2, p. 355-378, jul. 2009.
- CHATTERJEE, C.; SEN, A. Sensitive colorimetric sensors for visual detection of carbon dioxide and sulfur dioxide. *Journal of Materials Chemistry. A, Materials for Energy and Sustainability*, 3(10), 5642-5647, 2015.
- CHEMAT, F.; KHAN, M. K. Aplicações do ultrassom na tecnologia de alimentos: processamento, preservação e extração. *Ultrasonics sonochemistry*, v. 18, n. 4, pág. 813-835, 2011.
- CHEN, B. H., & STEPHEN INBARAJ, B. Nanoemulsion and nanoliposome based strategies for improving anthocyanin stability and bioavailability. *Nutrients*, 11(5), 2019.
- CHEN, F.; SUN, Y.; ZHAO, G.; LIAO, X.; HU, X.; WU, J.; WANG, Z. Optimization of ultrasound-assisted extraction of anthocyanins in red raspberries and identification of anthocyanins in extract using high-performance liquid chromatography–mass spectrometry. *Ultrasonics Sonochemistry*, 14.6 767-778, 2007.
- CHENG, M. et al. Effect of dual-modified cassava starches on intelligent packaging films containing red cabbage extracts. *Food Hydrocolloids*, v. 124, p. 107225, 2022.
- CHI, J., GE, J., YUE, X., LIANG, J., SUN, Y., GAO, X., & YUE, P. Preparation of nanoliposomal carriers to improve the stability of anthocyanins. *LWT*, 109, 101–107, 2019.
- CHOI, I.; LEE, J. Y.; LACROIX, M.; HAN, J. Intelligent pH indicator film composed of agar/potato starch and anthocyanin extracts from purple sweet potato. *Food Chemistry*, v. 218, p. 122-128, 2017.
- CLAUDE, J.; UBBINK, J. Thermal degradation of carbohydrate polymers in amorphous, 2007.
- CONSTANT, P. B. L.; STRINGHETA, P. C.; SANDI, D. Corantes Alimentícios. *Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, v. 20, n. 2, p. 203-220, 2002.
- DAVIES, K. M.; SCHWINN, K. E.; GOULD, K. S. Anthocyanins. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, v. 2, p. 355-363, 2017.
- DOWNHAM, A.; COLLINS, P. Colouring our foods in the last and next millennium. *International Journal of Food Science and Technology, Manchester*, v. 35, p. 5-22, 2000.
- DUFOSSÉ, L. Microbial Production of Food Grade Pigments. *Food Technol. Biotechnol.*, v. 44, p. 313-321, 2006.
- ECHEGARAY, N.; MUNEKATA, P. E.; GULL'ON, P.; DZUVOR, C. K.; GULL'ON, B.; KUBI, F.; LORENZO, J. M. Recent advances in food products fortification with anthocyanins. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–15, 2020.

ETXABIDE, A.; KILMARTIN, P. A.; MATÉ, J. I. Color stability and pH-indicator ability of curcumin, anthocyanin and betanin containing colorants under different storage conditions for intelligent packaging development. *Food Control*, v. 121, p. 107645, 2021.

FANG, J. Bioavailability of anthocyanins. *Drug Metabolism Reviews*, 46(4), 508–520, 2014.
FANG, Z.; ZHAO, Y.; WARNER, R. D.; JOHNSON, S. K. Active and intelligent packaging in meat industry. *Trends in Food Science & Technology*, 61, 60-71, 2017.

FERNANDES, I., FARIA, A., CALHAU, C., DE FREITAS, V., & MATEUS, N. Bioavailability of anthocyanins and derivatives. *Journal of Functional Foods*, 7, 54–66, 2014.
Food Technology, Chicago, v. 145, p. 66-71, 1991.

FRANCIS, F. J. Food colorants: anthocyanins. *Critical Review of Food Science and Nutrition*, v. 28, p. 273-314, 1989.

FREITAS, P. A. V. Desenvolvimento e caracterização de embalagens inteligentes incorporadas com extrato de repolho roxo para indicação colorimétrica. 2018. 53 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2018.

GECIOVA, J.; BURY, D.; JELEN, P. Methods for disruption of microbial cells for potential use in the dairy industry - a review. *International Dairy Journal*, v. 12, p. 541-553, 2002.

GHAANI, M. et al. An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector. *Trends in Food Science & Technology*, v. 51, p. 1-11, 2016.

GHAANI, M.; COZZOLINO, C. A.; CASTELLI, G.; FARRIS, S. An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector. *Trends in Food Science & Technology*, 51, 1-11, 2016.

GULDIKEN, B.; GIBIS, M.; BOYACIOGLU, D.; CAPANOGLU, E.; & WEISS, J. Physical and chemical stability of anthocyanin-rich black carrot extract-loaded liposomes during storage. *Food Research International*, 108, 491–497, 2018.

HALL, R. M. Recuperação de extratos ricos em compostos bioativos da semente de mamão (*Carica papaya* L.) por extração supercrítica e por líquido pressurizado. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC. 2018.

HAN, J.-W.; RUIZ-GARCIA, L.; QIAN, J.-P.; YANG, X.-T. Food packaging: a comprehensive review and future trends. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(4), 860-877, 2018.

HEREDIA, F. J.; FRANCA-ARICHA, E. M.; RIVAS-GONZALO, J. C., et al. Chromatic characterization of anthocyanins from red grapes-I. PH effect, *Food Chemistry*, v.63, n.4, p.491-498, 1998.

HONG, S. I.; PARK, W. S. Use of color indicators as an active packaging system for evaluating kimchi fermentation. *Journal of Food Engineering*, 46(1), 67-72, 2000.

- HONGMEI, Z.; MENG, Z. Microencapsulation of anthocyanins from red cabbage. *International Food Research Journal*, 22(6), 2327–2332, 2015.
- HSIA, K. J.; WU, C.; & LIU, Q. Bioinspired smell and taste sensors. In P. Wang, Q. Liu, C. Wu & K. J. Hsia (Eds.), *Bioinspired smell and taste sensors* (pp. 1-328). Dordrecht: Springer, 2015.
- IVANOVIĆ, M.; ALBREHT, A.; KRAJNC, P.; VOVK, I.; RAZBORŠEK, M. I. Sustainable ultrasound-assisted extraction of valuable phenolics from inflorescences of *Helichrysum arenarium* L. using natural deep eutectic solvents. *Industrial Crops and Products*, p. 113102, 2020.
- JORGE, N. *Embalagens para Alimentos*. 1. ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2013. 198p.
- KALPANA, S.; PRIYADARSHINI, S. R.; MARIA LEENA, M.; MOSES, J. A.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Intelligent packaging: trends and applications in food systems. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 145-157, 2019.
- KALT, W.; CASSIDY, A.; HOWARD, L. R.; KRIKORIAN, R.; STULL, A. J.; TREMBLAY, F.; & ZAMORAROS, R. Recent research on the health benefits of blueberries and their anthocyanins. *Advances in Nutrition*, 11(2), 224–236, 2020.
- KAUSHIK, V.; ROOS, Y. H. Limonene encapsulation in freeze-drying of gum arabic sucrose-gelatin systems. *Society of Food Science and Technology, Zürich*, v. 40, p. 1381-
- KOSHY, R. R.; KOSHY, J. T.; MARY, S. K.; SADANANDAN, S.; JISHA, S.; POTHAN, L. A. Preparation of pH sensitive film based on starch/carbon nano dots incorporating anthocyanin for monitoring spoilage of pork. *Food Control*, 126, 108039, 2021.
- KULCHENKO, Y. Y.; DEINEKA, V.; DEINEKA, L.; BLINOVA, I. Obtaining red cabbage anthocyanin colored encapsulated forms by the method of freeze-drying. *Fine Chemical Technologies*, 12(6), 32–38, 2017.
- LANGRISH, T.; CHAN, W. C.; KOTA, K. Comparison of maltodextrin and skim milk wall
- LIANFU, Z.; ZELONG, L. Optimization and comparison of ultrasound/microwave assisted extraction (UMAE) and ultrasonic assisted extraction (UAE) of lycopene from tomatoes. *Ultrasonics sonochemistry*, v. 15, n. 5, p. 731-737, 2008.
- LIU, J.; HUANG, J.; YING, Y.; HU, L.; HU, Y. pH-sensitive and antibacterial films developed by incorporating anthocyanins extracted from purple potato or roselle into chitosan/polyvinyl alcohol/nano-ZnO matrix: comparative study. *International Journal of Biological Macromolecules*, 178, 104-112, 2021.
- LIU, B.; XU, H.; ZHAO, H.; LIU, W.; ZHAO, L.; LI, Y. Preparation and characterization of intelligent starch/PVA films for simultaneous colorimetric indication and antimicrobial activity for food packaging applications. *Carbohydrate Polymers*, v. 157, p. 842-849, 2017.

LOPERA, S. M.; GUZMAN, C.; CATAÑO, C.; GALLARDO, C. Desarrollo y caracterización de micropartículas de ácido fólico formadas por secado por aspersión, utilizando goma arábica y maltodextrina como ateriales de pared. *Revista Vitae, Medellín*, v. 16, n. 1, p. 55-65, 2009.

LOPES, T. et al. Antocianinas: uma breve revisão das características estruturais e da estabilidade. *Current Agricultural Science and Technology*, v. 13, n. 3, 2007.

LOPES, T. J. Adsorção de antocianinas de repolho roxo em argilas. Florianópolis, 2002, 121p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

LÓPEZ O. P.; JIMÉNEZ A. R.; VARGAS F. D. et al. Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains – characteristics, biosynthesis, processing, and stability, *Critical Reviews Food Science Nutrition*, v.40, n.3, p.173-289, 2000.

LUCHESE, C. L.; FRICK, J. M.; PATZER, V. L.; SPADA, J. C.; TESSARO, I. C. Synthesis and characterization of biofilms using native and modified pinhão starch. *Food Hydrocolloids*, v. 45, p. 203-210, 2019.

MA, Q.; LIANG, T.; CAO, L.; WANG, L. Intelligent poly (vinyl alcohol)-chitosan nanoparticles-mulberry extracts films capable of monitoring pH variations. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 108, p. 576-584, 2018.

MACIEL, V. B. V.; FRANCO, T. T.; YOSHIDA, C. M. P. Alternative intelligent material for packaging using chitosan films as colorimetric temperature indicators. *Polímeros*, v. 22, n. 4, p. 318-324, 2012.

MANIGLIA, B. C. Aproveitamento de resíduos agroindustriais para preparação de filmes biodegradáveis. 2017. 323 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2017.

MARKAKIS, P. Stability of anthocyanins in food. In: P. Markakis (Ed.), *Anthocyanins as food colors* (pp. 163–180). London, UK: Academic Press Inc. 1982.

MAZZA, G.; MINIATI, E., *Anthocyanins in fruits, vegetables, and grains*. CRC Press, London, 1993, 362 p.

MCGHIE, T. K., & WALTON, M. C. The bioavailability and absorption of anthocyanins: Towards a better understanding. *Molecular Nutrition & Food Research*, 51(6), 702–713, 2007.

MIDDELBERG, A. P. J. Process-scale disruption of microorganism. *Biotechnology Advances*, v. 13, n. 3, p. 491-551, 1995.

MIHINDUKULASURIYA, S. D. F.; LIM, L.-T. Nanotechnology development in food packaging: A review. *Trends in Food Science & Technology*, v. 40, n. 2, p. 149-167, 2014.

MOHEBI, E.; MARQUEZ, L. Intelligent packaging in meat industry: an overview of existing solutions. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7), 3947-3964, 2015.

- MORAIS, C. A.; DE ROSSO, V. V.; ESTADELLA, D.; & PISANI, L. P. Anthocyanins as inflammatory modulators and the role of the gut microbiota. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 33, 1–7, 2016.
- MUFARI, J. R.; RODRÍGUEZ R.; A. C.; BERGESSE, A. E.; MIRANDA V. P. P.; NEPOTE, V.; VELEZ, A. R. Bioactive compounds extraction from malted quinoa using water-ethanol mixtures under subcritical conditions. *LWT*, p. 110574, 2020.
- MUSTAFA, F.; ANDREESCU, S. Chemical and biological sensors for food-quality monitoring and smart packaging. *Foods*, 7(10), 168, 2018.
- NARAYAN, M. S.; AKHILENDER NAIDU, K.; RAVISHANKAR, G. A. et al. Antioxidant effect of anthocyanin on enzymatic and non-enzymatic lipid peroxidation. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, v. 60, n.1, p. 1-4, 1999.
- NIETO, A.; BORRULL, F.; POCURULL, E.; MARCÉ, R. M. Pressurized liquid extraction: A useful technique to extract pharmaceuticals and personalcare products from sewage sludge. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, v. 29, n. 7, p. 752–764, 2010.
- O'BOYLE, A. R.; KASSAM, N. A.; RUBIN, L. J.; DIOSADY, L. L. Encapsulated cured-meatpigment and its application in nitrite-free ham. *Journal of Food Science*, London, v. 57, n. 4, p. 807-812, 1992.
- PADILHA, A. C. Produção de embalagem biodegradável a base de amido de mandioca e gelatina para aplicação em produtos alimentícios. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.
- PELICIOLI, J. Produção de filmes indicadores contendo antocianinas da casca da batata-doce (*Ipomoea batatas* L.). 2019. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2019.
- PINELA, J.; PRIETO, M. A.; PEREIRA, E.; JABEUR, I.; BARREIRO, M. F.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C. Optimization of heat-and ultrasound-assisted extraction of anthocyanins from *Hibiscus sabdariffa* calyces for natural food colorants. *Food chemistry*, v. 275, p. 309-321, 2019.
- POURJAVAHER, S.; ALMASI, H.; MESHKINI, S.; PIRSA, S.; PARANDI, E. Development of a colorimetric pH indicator based on bacterialcellulose nanofibers and red cabbage (*Brassica oleraceae*) extract. *Carbohydrate Polymers*, v. 156, p. 193-201, 2017.
- POYATOS-RACIONERO, E. et al. Recent advances on intelligent packaging as tools to reduce food waste. *Journal of cleaner production*, v. 172, p. 3398-3409, 2018.
- POYATOS-RACIONERO, E.; ROS-LIS, J. V.; VIVANCOS, J. L.; MARTÍNEZ-MÁÑEZ, R. Recent advances on intelligent packaging as tools to reduce food waste. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3398-3409, 2018.
- PRIETTO, L.; MIRAPALHETE, T. C.; PINTO, V. Z.; HOFFMANN, J. F.; VANIER, N. L.; LIM, L.; DIAS, A. R. G.; ZAVAREZE, E. R. pH-sensitive films containing anthocyanins extracted from black bean seed coat and red cabbage. *LWT – Food Science and Technology*, v. 80, p. 492-500, 2017.

RATANAPOOMPINYO, J.; NGUYEN, L. T.; DEVKOTA, L.; SHRESTHA, P. The effects of selected metal ions on the stability of red cabbage anthocyanins and total phenolic compounds subjected to encapsulation process. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(6), e13234, 2017.

ROOS, Y.; KAREL, M. Applying state diagrams to food processing and development. *Food Technol*, v. 45, n. 12, p. 66-68, 1991.

SAKULNARMRAT, K.; WONGSRIKAEW, D.; KONCZAK, I. Microencapsulation of red cabbage anthocyanin-rich extract by drum drying technique. *LWT*, 137, 110473, 2021.

SALFIELD, J. R. *Práticas de ciencia de los alimentos*. Zaragoza (Espanha): Acribia, 1974.

SCHMITZ, A. C.; MALHERBI, N. M.; MORAES, A. F. C.; TORMEN, L.; BERTAN, L. C. Efeito do uso de embalagem ativa no acondicionamento de azeite-de-oliva extra-virgem. Chapecó/ SC. *Anais VI JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA*. Chapecó/SC: Universidade Federal da Fronteira Sul, 2016.

SGANZERLA, W. G. et al. Bioactive and pH-sensitive films based on carboxymethyl cellulose and blackberry (*Morus nigra* L.) anthocyanin-rich extract: A perspective coating material to improve the shelf life of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme*). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 33, p. 101989, 2021.

SILVA, D. L. Influência da adição de nanocristais e nanofibrilas de celulose extraídas de bagaço de cana-de-açúcar nas propriedades de embalagens biodegradáveis ativas à base de pectina. 2016. 168f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2016.

SILVA-PEREIRA, M. C.; TEIXEIRA, J. A.; PEREIRA-JUNIOR, V. A.; & STEFANI, R. Chitosan/corn starch blend films with extract from Brassica oleraceae (red cabbage) as a visual indicator of fish deterioration. *LWT-Food Science and Technology*, v. 61, p. 258– 262, 2015.

SLATER, B.; MARTINS, B. T.; PHILIPPI, S. T. Rótulos e embalagens na indústria de alimentos. *Revista Brasil Alimentos*—nº, 2000.

SOHAIL, M.; SUN, D. W.; ZHU, Z. Recent developments in intelligent packaging for enhancing food quality and safety. *Critical reviews in food science and nutrition*, v. 58, n. 15, p. 2650-2662, 2018.

TARONE, A. G., CAZARIN, C. B. B., & MAROSTICA JUNIOR, M. R. Anthocyanins: New techniques and challenges in microencapsulation. *Food Research International*, 133, 109092, 2020.

TEO, C. C.; TAN, S. N.; YONG, J. W. H.; HEW, C. S.; ONG, E. S. Extração de água quente pressurizada (PHWE). *Journal of Chromatography A*, v. 1217, n. 16, pág. 2484-2494, 2010.

TERRAZAS, M. B. Desenvolvimento, caracterização e aplicação de filmes indicadores contendo antocianinas da casca de jaboticaba (*Plinia jaboticaba*). 2019. 59f. Trabalho de

Conclusão de Curso em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2019.

VAIKOUSI, H.; BILIADERIS, C. G.; KOUTSOUMANIS, K. P. Applicability of a microbial Time Temperature Indicator (TTI) for monitoring spoilage of modified atmosphere packed minced meat. *International Journal of Food Microbiology*, 133(3), 272-278, 2009.

VEDOVE, T. M. A. R. D. Amido termoplástico com potencial indicador de mudança de pH para embalagens de alimentos. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2019.

WAGNER, L. A.; WATHESEN, J. J. Stability of spray-dried encapsulated carrot carotene. *Journal of Food Science*, London, v. 60, n. 5, p. 1048-1053, 1995.

WEI, Y.; CHENG, C.; HO, Y.; TSAI, M.; MI, F. Active gellan gum/purple sweet potato composite films capable of monitoring pH variations. *Food Hydrocolloids*, v. 69, p. 491-502, 2017.

YUNG, E. K. N.; LAU, P. Y.; LEUNG, C. W. Radio frequency identification. *Industrial Communication Systems*, 20(2), 8, 2016.

ZHANG, J.; WEN, C.; ZHANG, H.; DUAN, Y.; MA, H. Recent advances in the extraction of bioactive compounds with subcritical water: A review. *Trends in Food Science & Technology*, v. 95, p. 183-195, 2020.

ZHANG, X.; LU, S.; CHEN, X. Sensors and Actuators B: chemical A visual pH sensing film using natural dyes from *Bauhinia blakeana* Dunn. *Sensors and Actuators. B, Chemical*, 198, 268-273, 2014.