

Potencial de frutos do cerrado brasileiro como matérias-primas de filmes flexíveis para embalagens de alimentos – uma revisão

RESUMO

Frutas nativas como a macaúba, jatobá e pequi são amplamente encontradas no cerrado brasileiro. Estes frutos possuem alto valor nutricional e atributos sensoriais que indicam grande potencial tecnológico para o desenvolvimento de inovações no setor de alimentos. As demandas dos consumidores e das indústrias impulsionam a expansão de novas tecnologias de embalagens. Entre elas, as embalagens biodegradáveis para substituição dos polímeros sintéticos, e as embalagens ativas para aumentar a vida útil dos produtos, estão incluídas. Esta revisão teve por objetivo apresentar as principais propriedades de alguns frutos do cerrado brasileiro, incluindo a macaúba, jatobá e pequi. Além disso, discutir seu potencial como matriz polimérica e como fonte de compostos bioativos para elaboração de filmes flexíveis para embalagens de alimentos. As diferentes estruturas destes frutos (como casca, polpa e sementes) podem ser utilizadas como matrizes poliméricas na elaboração de materiais biodegradáveis, em virtude da sua composição apresentar moléculas como polissacarídeos, lipídeos e proteínas. Além disso, os três frutos abordados possuem compostos bioativos que podem ser utilizados no desenvolvimento de embalagens ativas visando diminuir as reações de deterioração de alimentos. A macaúba, por exemplo, possui β -caroteno, um antioxidante natural e pró-vitamina A. Já as cascas de jatobá têm apresentado substâncias ativas como os compostos fenólicos. E os óleos extraídos da polpa e da amêndoa de pequi demonstraram atividade antioxidante devido a presença de carotenoides e compostos fenólicos. Portanto, a macaúba, jatobá e pequi constituem matérias-primas promissoras para o desenvolvimento de novos materiais para embalagens de alimentos. Na literatura poucos trabalhos relatam o uso destes frutos em tais aplicações, o que constitui um tópico interessante a ser explorado em pesquisas.

PALAVRAS-CHAVE: compostos bioativos; embalagens de alimentos; jatobá; macaúba; pequi.

Viviane Patrícia Romani
vivi.patricia@hotmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-2383-6196>
Departamento de Engenharia de Alimentos,
Universidade Estadual do Centro-Oeste,
Guarapuava, Paraná, Brasil.

Gisele Fernanda Alves-Silva
giferalves@hotmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-2639-5325>
Laboratório de Tecnologia de Alimentos,
Universidade Federal do Rio
Grande, Rio Grande, Rio Grande do Sul,
Brasil.

Vilásia Guimarães Martins
vilasiamartins@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-1374-8053>
Laboratório de Tecnologia de Alimentos,
Universidade Federal do Rio
Grande, Rio Grande, Rio Grande do Sul,
Brasil.

INTRODUÇÃO

O Brasil possui ampla biodiversidade em espécies frutíferas, as quais estão distribuídas por seus diversos biomas naturais (DE SOUZA *et al.*, 2012). Dentre esses biomas, o cerrado ocupa aproximadamente 25% do território brasileiro. As espécies frutíferas encontradas no bioma cerrado, como macaúba, jatobá e pequi, são caracterizadas por possuir alto valor nutricional e atributos sensoriais que sugerem grande potencial tecnológico para o desenvolvimento de produtos inovadores e aplicação na indústria de alimentos (SCHIASSI *et al.*, 2018; SILVA; FONSECA, 2016). As espécies nativas do cerrado têm grande importância econômica e social para o extrativismo regional. No entanto, muitos desses frutos são subexplorados, sendo comumente utilizados para consumo *in natura* ou como ingredientes na elaboração de alguns produtos regionais (HERNÁNDEZ-MORALES *et al.*, 2018; SILVA; FONSECA, 2016). Devido a rica composição da casca, polpa e sementes dos frutos mencionados em compostos bioativos e biopolímeros, seu uso como matéria-prima na elaboração de novos produtos e materiais é promissora para agregar valor aos mesmos e expandir sua aplicação no mercado, além de contribuir com o desenvolvimento da economia regional.

Devido as demandas dos consumidores e das indústrias de alimentos, novas tecnologias de embalagens estão surgindo, incluindo por exemplo as embalagens biodegradáveis e as embalagens ativas. O uso de materiais biodegradáveis visa reduzir os danos ambientais causados pelos polímeros sintéticos (ROMANI *et al.*, 2020). Já as embalagens ativas, que interagem positivamente com os produtos, são usadas para aumentar a vida útil dos alimentos (LI *et al.*, 2021). O foco das pesquisas que visam desenvolver essas novas tecnologias vem sendo no uso de matérias-primas da agricultura. Estas matérias-primas são ricas em moléculas como polissacarídeos, proteínas e lipídeos, as quais, muitas vezes são apropriadas para elaboração das matrizes poliméricas. Também são ricas em compostos bioativos que promovem funcionalidades aos materiais, como atividade antioxidante e antimicrobiana (ADILAH *et al.*, 2018; DOMÍNGUEZ *et al.*, 2018).

Em vista do exposto, o presente trabalho de revisão teve como objetivo apresentar as principais propriedades de alguns frutos do cerrado brasileiro como jatobá, macaúba e pequi, e seu potencial como matriz polimérica e como fonte de compostos bioativos para elaboração de embalagens para alimentos.

FILMES FLEXÍVEIS ATIVOS E BIODEGRADÁVEIS

As reações oxidativas e o crescimento bacteriano fazem parte dos mais importantes mecanismos de degradação de alimentos. A partir dessa problemática a implementação de diferentes tecnologias de embalagem vem ganhando cada vez mais espaço para minimizá-las. Estão incluídas nas tendências deste setor, as embalagens ativas, que visam o aumento da vida útil dos produtos alimentícios (AHMED *et al.*, 2017; PÉREZ-SANTAESCOLÁSTICA *et al.*, 2020). Estas são baseadas em mecanismos de eliminadores ou absorvedores de compostos, podendo ser desenvolvidas na forma de sachês, rótulos, filmes flexíveis, multicamadas ou revestimentos (BOLUMAR; ANDERSEN; ORLIEN, 2011; VILELA *et al.*, 2018).

Dentre os tipos de embalagens ativas, destacam-se os filmes ativos flexíveis, os quais são obtidos pela incorporação de compostos que possuem bioatividades em polímeros (GRANDA-RESTREPO *et al.*, 2009). Os filmes flexíveis constituem

uma das classes de materiais que é amplamente utilizada na embalagem de produtos na forma de recobrimentos, sacos e sacolas, sachês, entre outros, para proteger os alimentos (HERNANDEZ-IZQUIERDO; KROCHTA, 2008). Esses materiais, quando incorporados com compostos ativos como antioxidantes e antimicrobianos, possibilitam que estes sejam liberados gradativamente para a superfície dos alimentos, promovendo proteção contra reações de oxidação e evitando a ação de micro-organismos (YILDIRIM *et al.*, 2018).

Da Silva Filipini, Romani e Guimarães Martins (2020), por exemplo, incorporaram extrato de cascas de jabolão (*Syzygium cumini*), o qual é rico em antocianinas, em filmes de metilcelulose. Tais filmes apresentaram propriedades antioxidantes e biodegradaram dentro de 15 dias. Além disso, esses filmes possuem propriedades de mudança de cor quando submetidos a diferentes condições de pH, característica que pode ser usada para indicar o frescor de produtos cárneos e marinhos (caracterizando a embalagem como inteligente). Adilah *et al.* (2018) também incorporaram extratos ativos em filmes biodegradáveis. Neste estudo os extratos foram produzidos com casca de manga e incorporados nos filmes de gelatina de pescado, originando materiais ativos. É importante salientar que em ambos os exemplos de estudos citados foram utilizadas as cascas dos frutos, que são normalmente descartadas. O emprego das cascas, que caracterizam um subproduto ou resíduo, no desenvolvimento de materiais é uma tendência, visto que reduz a geração de resíduos sólidos e agrega valor aos frutos.

Devido a poluição ambiental, muitos estudos vêm desenvolvendo filmes ativos utilizando moléculas naturais, como proteínas, polissacarídeos e lipídeos, os quais possuem a característica de serem biodegradáveis, importante no desenvolvimento de embalagens que não poluam o meio ambiente (ALBUQUERQUE *et al.*, 2016). Os polímeros naturais, podem ser obtidos de fontes de origem animal ou vegetal, como no caso de polissacarídeos como alginato de sódio, amido, celulose, pectina, e de proteínas como gelatina, soro de leite e zeína (NEŠIĆ *et al.*, 2020; PAIXÃO *et al.*, 2019). A tecnologia de embalagem biodegradável pode ser aliada à de embalagem ativa, como alternativa para prevenir a poluição do meio ambiente, reduzir o desperdício de alimentos e melhorar a qualidade dos produtos. Dessa forma, biopolímeros de fontes da agricultura, como as frutas do cerrado, são opções promissoras para elaboração de embalagens sustentáveis para o setor de alimentos. Isso se deve ao fato de apresentarem a vantagem de serem provenientes de fontes renováveis e biodegradáveis, além de serem constituídos de compostos bioativos.

Os compostos ativos incorporados em filmes flexíveis para embalagens podem ser sintéticos ou naturais, sendo que os naturais, obtidos de frutas por exemplo, são vantajosos por não serem prejudiciais para a saúde humana se consumidos. As bioatividades, como antioxidante e antimicrobiana destes compostos são geralmente atribuídas a compostos como flavonoides, ácidos fenólicos, antocianinas, tocoferóis e carotenoides que estão presentes em frutas, vegetais, ervas, temperos, chás, entre outros (CAROCHO; MORALES; FERREIRA, 2015). As atividades antioxidante e antimicrobiana de extratos e óleos essenciais de plantas e frutas do cerrado já foram comprovadas (BREDA *et al.*, 2017; SCHLEMMER; ANGÉLICA; SALES, 2010). Apesar de frutas regionais como o pequi (*Caryocar brasiliense*), araticum (*Annona Montana*), cajazinho (*Anacardium humile*), macaúba (*Acrocomia aculeata*), jatobá (*Hymenaea courbaril*) e colorau/urucum

(*Bixa orellana* L.) possuem alto teor de compostos ativos, estes são pouco explorados para aplicações na indústria de alimentos (DE ALMEIDA *et al.*, 2019; TURELLA, 2019). Os frutos do cerrado, como o jatobá, macaúba e pequi, abordados nesse estudo, possuem importância econômica e social para o extrativismo regional, uma vez que a polpa dos frutos é consumida *in natura* pela comunidade local ou como ingrediente na elaboração de produtos como pães, bolos, suco, geleias, licores e pratos típicos regionais (COSTA *et al.*, 2015; HERNÁNDEZ-MORALES *et al.*, 2018). Portanto, estes frutos constituem uma fonte promissora de biopolímeros e compostos ativos para produção de embalagens para alimentos.

POTENCIAIS FRUTOS DO CERRADO PARA ELABORAÇÃO DE EMBALAGENS

MACAÚBA (*Acrocomia aculeata*)

A palmeira de *Acrocomia aculeata* é conhecida popularmente como macaúba ou bocaiúva, nativa de florestas tropicais e presente em vários países da América Latina, sendo encontrada em regiões do cerrado brasileiro. A macaúba possui potencial de aplicação e valor econômico devido a extração de óleo comestível, produção de bicombustível e geração de renda em comunidades locais, que consomem o fruto *in natura* ou utilizam na preparação de produtos alimentícios, como parte do desenvolvimento sustentável (CORRÊA *et al.*, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2015; SANJINEZ-ARGANDOÑA; CHUBA, 2011). O fruto da palmeira da macaúba é constituído de pequenos cocos esféricos dispostos em cachos (CORRÊA *et al.*, 2019). Os cocos são constituídos de casca dura (epicarpo cartáceo), polpa (mesocarpo fino) e bagaço lenhoso (endocarpo) que consiste em um ou dois núcleos que comportam o endosperma (castanha/amêndoa/semente) (SILVA; ANDRADE, 2013), conforme apresentado na Figura 1. Da composição total do fruto, a polpa representa aproximadamente 40%, casca 20%, endocarpo 33% e a amêndoa 7% (DE MORAIS LIMA *et al.*, 2017; SANJINEZ-ARGANDOÑA; CHUBA, 2011).



Figura 1. Estrutura da macaúba (*Acrocomia aculeata*).

A macaúba apresenta alto teor de celulose, a polpa do fruto apresenta em torno de 2,5 a 7% de proteína e 7,7 a 20% de lipídeos, sendo os carboidratos os compostos majoritários (em torno de 46%) (CORRÊA *et al.*, 2019; DE ALMEIDA *et al.*, 2019; OLIVEIRA DA SILVA *et al.*, 2020). Devido ao alto teor de celulose, nanocristais da polpa de macaúba já foram aplicados em filmes como reforço polimérico para melhorar as propriedades mecânicas e de barreira (CORRÊA *et al.*, 2019). Oliveira da Silva *et al.* (2019) utilizaram farinha da polpa acrescida de glicerol e óleo de cravo para a elaboração de embalagens com propriedades ativas que

apresentaram potencial de aplicação como revestimento comestível. Além disso, o potencial ativo da macaúba foi confirmado por Oliveira *et al.* (2015), onde os autores constataram que a polpa do fruto é rica em β -caroteno, um antioxidante natural e pró-vitamina A.

Baseado no que foi observado na literatura, a macaúba apresenta compostos ativos que podem ser incorporados em matrizes poliméricas para gerar filmes ativos. Ainda, a macaúba pode ser utilizada como fonte de moléculas para produção dessas matrizes de filmes devido ao seu teor de carboidratos, proteínas e lipídeos. Portanto, apesar de poder ser utilizada para desenvolvimento de outros produtos de valor agregado, a macaúba apresenta importante potencial para aplicação na elaboração de filmes flexíveis ativos para embalagens de alimentos. Cabe salientar que tais filmes não poluem o meio ambiente e podem apresentar também a característica de serem comestíveis.

JATOBÁ (*Hymenaea stigonocarpa*)

O jatobá (*Hymenaea stigonocarpa*), também popularmente conhecido como jatobá da mata, ou jataí, “jetaí”, “jataí-uva”, é uma árvore leguminosa nativa do Brasil encontrada principalmente no bioma cerrado, porém possui ampla distribuição geográfica sendo encontrada em ambientes bastante diversificados como Amazônia, Mata Atlântica e Pantanal (BONIFACE; FERREIRA; KAISER, 2017; BRITO *et al.*, 2016; COSTA *et al.*, 2015). O fruto apresenta formato de vagem, consiste em casca (epicarpo e mesocarpo), polpa (endocarpo) e uma ou mais sementes (amêndoas), conforme pode ser visualizado na Figura 2. O epicarpo é amadeirado marrom escuro de aparência polida (brilhante), enquanto o mesocarpo é marrom claro, mais espesso, de aspecto pegajoso e duro, e juntos podem representar entre 56 e 63% do fruto. A polpa é uma estrutura de cor amarela intensa variando a verde claro, possui sabor e aroma adocicados, com textura macia e esponjosa, representando até 22,5% do total do fruto. Suas sementes são achatadas e de cor marrom escura (BUSATTO *et al.*, 2013; DUARTE *et al.*, 2016).



Figura 2. Estrutura do jatobá (*Hymenaea stigonocarpa*).

A polpa, que em geral é consumida, é constituída de macromoléculas essenciais como proteínas (aproximadamente 12%), lipídeos (aproximadamente 2%), carboidratos (30-40%) e fibras (40-50%) (DIAS; LUZIA; JORGE, 2013; HERNÁNDEZ-MORALES *et al.*, 2018), sugerindo a possibilidade de uso para elaboração de matrizes poliméricas. Alguns estudos avaliaram a atividade bioativa do fruto e foi identificada atividade antioxidante devido a presença de compostos como ácido gálico, tocoferol e vitamina C (BRITO *et al.*, 2016; DIAS; LUZIA; JORGE, 2013), além de atividade

antibacteriana (CHÁVEZ CURY *et al.*, 2012). No estudo de Boniface, Ferreira e Kaiser (2017) foram identificados mais de 130 compostos na espécie *Hymenaea*, dentre eles os compostos fenólicos como flavonoides e taninos, os ácidos graxos, os ácidos fenólicos, as procianidinas e as cumarinas, que são responsáveis pelas bioatividades. As cascas do jatobá, que em geral são utilizadas na medicina popular para fins terapêuticos, também possuem substâncias ativas como compostos fenólicos. Já as sementes são em geral descartadas, e apresentam 11,3% de proteína e até 6% de lipídeos (DIAS; LUZIA; JORGE, 2013). As macromoléculas presentes na polpa do jatobá (carboidratos, proteínas e lipídeos), aliadas aos compostos ativos da polpa, casca e sementes, sugerem seu potencial tecnológico como matriz para o desenvolvimento de materiais biodegradáveis e ativos para aplicação em embalagens de alimentos.

Usos alternativos visando a valorização do jatobá já estão sendo estudados. Hernández-Morales *et al.* (2018) obtiveram hidrocoloides da polpa e da semente de jatobá e constataram a partir da composição química que os carboidratos e a fibra alimentar total foram os principais componentes dos hidrocoloides obtidos de ambas as partes do fruto. Os hidrocoloides obtidos apresentaram capacidade de emulsificação e boa solubilidade independente da temperatura de solubilização, que constituem características interessantes para o desenvolvimento de filmes flexíveis e revestimentos.

Além dos teores de compostos ativos e biomoléculas formadoras de matrizes poliméricas presentes no jatobá, este fruto possui alto teor de fibras (DIAS; LUZIA; JORGE, 2013; HERNÁNDEZ-MORALES *et al.*, 2018). As fibras são importantes agentes de reforço comumente explorados no desenvolvimento de filmes biodegradáveis, visto que muitos deles possuem propriedades mecânicas e de barreira incapazes de proteger os alimentos do ambiente externo (BERTHET *et al.*, 2016). Tal característica constitui mais uma vantagem a ser explorada para desenvolver materiais de embalagem.

PEQUI (*Caryocar brasiliense*)

O pequi é da família *Caryocaraceae*, está presente na América Central e do Sul, e é o fruto que tem maior importância na região centro-oeste do Brasil. Estruturalmente, o pequi é composto por um epicarpo verde (casca), mesocarpo externo (coriáceo carnosos), mesocarpo interno (polpa), endocarpo lenhoso e amêndoa (semente) (TURELLA, 2019), conforme representado na Figura 3. O fruto tem tamanho de aproximadamente 10 cm de diâmetro e sua principal característica é o mesocarpo interno carnosos amarelado e endocarpo lenhoso com espinhos (MARIANO-DA-SILVA *et al.*, 2009).

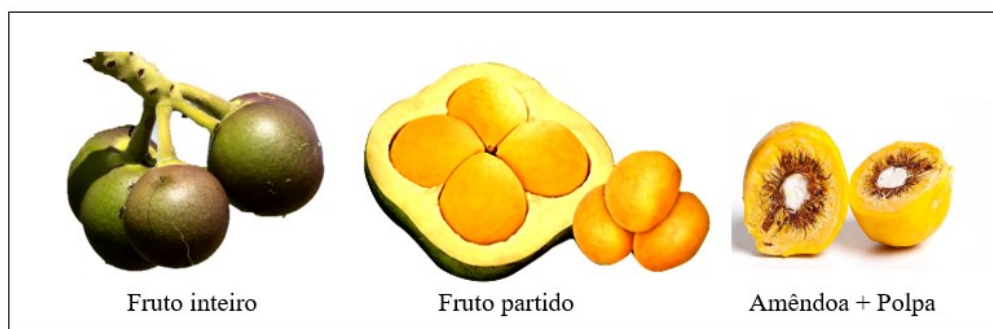


Figura 3. Estrutura do fruto do pequi (*Caryocar brasiliense*).

Comumente são mais exploradas a polpa e a semente do pequi. A polpa possui maior aplicação comparada aos outros componentes do fruto, além de ser considerada uma das fontes mais abundantes em carotenoides. Estão no pequi carotenoides como violaxantina, luteína e zeaxantina, além de compostos fenólicos e antioxidantes como ácido gálico (AZEVEDO-MELEIRO; RODRIGUEZ-AMAYA, 2004; DO NASCIMENTO *et al.*, 2019; ROCHA *et al.*, 2015). Quanto a composição, a polpa também apresenta teores importantes de proteína e lipídeos, os quais são atrativos para elaboração de filmes flexíveis, com concentrações em torno de 2,5 e 26,3%, respectivamente (LEÃO *et al.*, 2018). Além disso, a polpa de pequi apresenta quantidades significativas de fibras alimentares e minerais, como zinco, magnésio, potássio e cálcio (NASCIMENTO-SILVA; NAVES, 2019). Portanto, este fruto apresenta potencial para aplicação na elaboração de embalagens para alimentos, tanto como matriz polimérica ou como fonte de compostos ativos para promover propriedades funcionais aos materiais, como atividade antioxidante e antimicrobiana (LEÃO *et al.*, 2018).

Além da polpa, os resíduos de pequi também apresentam potencial ativo. Óleos extraídos da polpa e da amêndoa do pequi demonstraram atividade antioxidante em estudos *in vivo* realizados em animais, sendo eficaz em promover a saúde dos consumidores e sugerindo potencial para aplicação na conservação de alimentos (COLOMBO *et al.*, 2015). As amêndoas do pequi, por apresentarem maior concentração de óleo, também podem ser usadas como plastificantes na elaboração de filmes poliméricos de amido (SCHLEMMER; ANGÉLICA; SALES, 2010), adicionando maior valor ao fruto.

A casca e o mesocarpo externo do pequi são partes não comestíveis, as quais representam a maior parte do fruto (cerca de 70-84%) e por serem pouco utilizadas são descartadas como resíduos sólidos (DO NASCIMENTO *et al.*, 2019; FRASAO *et al.*, 2018). Estas partes do fruto também são ricas em compostos poliméricos e compostos fenólicos, principalmente o ácido gálico, ácido elágico e quercetina (DO NASCIMENTO *et al.*, 2017; ROCHA *et al.*, 2015). Devido a sua rica composição nestes compostos, a casca e o mesocarpo constituem matérias-primas ainda mais interessantes a serem exploradas no desenvolvimento de novos produtos e materiais como embalagens ativas, comestíveis e/ou biodegradáveis em comparação à polpa, visto que são em geral descartadas. Além da possibilidade de constituir uma matriz polimérica e ser fonte de compostos bioativos, o uso destas partes do fruto é promissora para reduzir os resíduos sólidos gerados no processamento do pequi e adicionar valor ao fruto.

APLICAÇÕES DE FILMES ATIVOS E BIODEGRADÁVEIS EM ALIMENTOS

Uma ampla variedade de frutos vem sendo explorada no desenvolvimento de novos filmes para embalagens de alimentos, inclusive usando além da polpa, a casca e sementes. Os estudos em geral são focados no desenvolvimento e avaliação das propriedades tecnológicas e funcionais destes novos materiais, entretanto alguns já vêm aplicando os filmes em alimentos para verificar sua capacidade de proteger e aumentar a vida útil dos produtos. Na Tabela 1, estão apresentados alguns exemplos de frutos que foram usados para elaborar filmes flexíveis ativos e biodegradáveis e foram aplicados em alimentos para verificar seu potencial de redução das reações de deterioração dos produtos.

Tabela 1. Exemplos de frutos usados no desenvolvimento de filmes flexíveis ativos e suas aplicações em alimentos.

Matriz polimérica	Composto ativo	Aplicação	Referência
Pectina de casca de melancia	Extrato de beterraba	Carne bovina resfriada embalada	GUO <i>et al.</i> (2021)
Amido de batata	Compostos fenólicos de casca de batata	Filé de peixe defumado	LOPES <i>et al.</i> (2021)
Quitosana	Extrato de casca de rambutão (<i>Nephelium lappaceum</i> L.)	Carne suína	YUN <i>et al.</i> (2021)
Pectina de casca de melancia	Extrato de casca de kiwi	Coxa de frango	HAN e SONG (2021)
Alginato de sódio/carboximetilcelulose	Extrato de resíduos de cebola (<i>Allium cepa</i> var. <i>aggregatum</i>)	Produtos minimamente processados (maçã e batata)	THIVYA <i>et al.</i> (2021)

Conforme pode ser observado na Tabela 1, diferentes frutos podem ser utilizados como matérias-primas para desenvolver materiais de embalagem para conservação de produtos alimentícios (cárneos, pescados, frutas e vegetais, entre outros). A partir destes exemplos, é possível perceber que os frutos podem ser usados na produção da matriz polimérica, e também como fontes de compostos ativos, conforme já mencionado anteriormente. Estes podem ainda ser combinados, como no caso do estudo de Han e Song (2021), que utilizaram a pectina da casca da melancia para elaborar a matriz polimérica e a casca de kiwi como fonte de compostos ativos. Estes filmes ativos foram aplicados em coxas de frango e foram capazes de retardar a oxidação lipídica.

A partir da Tabela 1, é ainda interessante destacar essa tendência de valorizar partes dos frutos que normalmente são descartadas como resíduos, como por exemplo as cascas. Em relação aos mecanismos de ação, tais filmes ativos apresentam em geral propriedades antioxidantes e antimicrobianas. Yun *et al.* (2021), por exemplo, obtiveram menores contagens microbianas e oxidação lipídica e melhores características sensoriais em carne suína embalada a 4 °C por 8 dias em filmes de quitosana contendo 5% de extrato de rambutão (*Nephelium lappaceum* L.). Já Thivya *et al.* (2021), relatam que o extrato de resíduos de cebola, incorporado em filmes de alginato de sódio/carboximetilcelulose, possui capacidade de reduzir o escurecimento enzimático de produtos minimamente processados como maçã e batata.

Quanto às propriedades de biodegradação de filmes ativos produzidos utilizando frutos para desenvolvimento das matrizes, e também como fontes de compostos ativos, estes são em sua maioria biodegradáveis. Pelo fato das matérias-primas utilizadas serem de fontes renováveis, e por serem moléculas biodegradáveis, os materiais produzidos são em geral rapidamente degradados na água e no solo. No estudo de Thivya *et al.* (2021) uma redução em torno de 15% no peso dos filmes de alginato de sódio/carboximetilcelulose incorporados com extrato de resíduos de cebola foi observada em apenas 5 dias em solo.

No que se refere as aplicações em alimentos de filmes ativos e biodegradáveis elaborados com os frutos do cerrado abordados neste trabalho, não foram encontrados estudos na literatura. Tendo em vista a composição de tais frutos e as propriedades discutidas anteriormente, este constitui um tópico promissor a ser

explorado nas pesquisas de desenvolvimento, avaliação e aplicação de novos materiais para embalagens.

CONCLUSÕES

Os frutos do cerrado abordados neste trabalho possuem alto potencial para aplicação na elaboração de embalagens ativas, comestíveis e/ou biodegradáveis para alimentos, uma vez que são ricos em compostos poliméricos e bioativos. O emprego destes frutos se justifica pela necessidade de novas fontes de matérias-primas para o desenvolvimento de materiais de embalagens. Além de agregar valor à diversidade do bioma cerrado, a utilização destes frutos no desenvolvimento de embalagens, especialmente das partes não comestíveis, contribui para a redução dos impactos ambientais causados pelos polímeros sintéticos e para a prevenção da degradação de alimentos, uma vez que tanto os frutos *in natura* quanto os resíduos de seu processamento apresentam compostos ativos. Poucos estudos foram realizados utilizando o jatobá, o pequi e a macaúba para desenvolver novas tecnologias de embalagens, especialmente como matriz polimérica, o que constitui um tema promissor a ser explorado em estudos futuros.

Potential of Brazilian cerrado fruits as raw materials for flexible films for food packaging – a review

ABSTRACT

Native fruits as macaúba, jatobá, and pequi are widely found in the Brazilian cerrado. These fruits have high nutritional value and sensory attributes which indicate the great technological potential for the development of innovations in the food sector. The demands of consumers and industries drive the expansion of new packaging technologies. Among them, biodegradable packaging to replace synthetic polymers, and active packaging to increase the shelf life of products are included. This review aimed to present the main properties of some fruits from the Brazilian cerrado, including macaúba, jatobá, and pequi. Additionally, to discuss their potential as a polymer matrix and as a source of bioactive compounds for the elaboration of flexible films for food packaging. The different parts of the fruits can also be used as polymeric matrices in the elaboration of biodegradable materials, as their composition presents molecules such as polysaccharides, lipids, and proteins. Furthermore, the three fruits discussed have bioactive compounds that can be used in the development of active packaging to reduce food spoilage reactions. Macaúba, for example, has β -carotene, a natural antioxidant and pro-vitamin A. Jatoba shells have been presenting active substances such as phenolic compounds. And the oils extracted from pequi pulp and almond showed antioxidant activity due to the presence of carotenoids and phenolic compounds. Therefore, macaúba, jatobá, and pequi are promising raw materials for the development of new materials for food packaging. In the literature, few studies report the use of these fruits in such applications, which constitutes an interesting topic to be explored in research.

KEY-WORDS: bioactive compounds; food packaging; jatobá; macaúba; pequi.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de Financiamento 001 e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

- ADILAH, A. N.; JAMILAH, B.; NORANIZAN, M. A.; HANANI, Z. A. N. Utilization of mango peel extracts on the biodegradable films for active packaging. **Food Packaging and Shelf Life**, [s. l.], v. 16, n. May 2017, p. 1–7, 2018.
- AHMED, I.; LIN, H.; ZOU, L.; BRODY, A. L.; LI, Z.; QAZI, I. M.; PAVASE, T. R.; LV, L. A comprehensive review on the application of active packaging technologies to muscle foods. **Food Control**, [s. l.], v. 82, p. 163–178, 2017.
- ALBUQUERQUE, P. B. S.; COELHO, L. C. B. B.; TEIXEIRA, J. A.; CARNEIRO-DA-CUNHA, M. G. Approaches in biotechnological applications of natural polymers. **AIMS Molecular Science**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 386–425, 2016.
- AZEVEDO-MELEIRO, C. H.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Confirmation of the identity of the carotenoids of tropical fruits by HPLC-DAD and HPLC-MS. **Journal of Food Composition and Analysis**, [s. l.], v. 17, p. 385–396, 2004.
- BERTHET, M.-A.; ANGELLIER-COUSSY, H.; GUILLARD, V.; GONTARD, N. Vegetal fiber-based biocomposites: Which stakes for food packaging applications? **Journal of Applied Polymer Science**, [s. l.], v. 133, n. 2, 2016.
- BOLUMAR, T.; ANDERSEN, M. L.; ORLIEN, V. Antioxidant active packaging for chicken meat processed by high pressure treatment. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 129, n. 4, p. 1406–1412, 2011.
- BONIFACE, P. K.; FERREIRA, S. B.; KAISER, C. R. Current state of knowledge on the traditional uses, phytochemistry, and pharmacology of the genus *Hymenaea*. **Journal of Ethnopharmacology**, [s. l.], v. 203, p. 193–223, 2017.
- BREDA, C. A.; MORGADO, D. L.; ASSIS, O. B. G.; DUARTE, M. C. T. Processing and characterization of chitosan films with incorporation of ethanolic extract from “pequi” peels. **Macromolecular Research**, [s. l.], v. 25, n. 11, p. 1049–1056, 2017.
- BRITO, M. S. De; MELO, M. B.; ALVES, J. P. de A.; FONTENELLE, R. O. dos S.; MATA, M. F.; ANDRADE, L. B. da S. Partial purification of trypsin/papain inhibitors from *Hymenaea courbaril* L. seeds and antibacterial effect of protein fractions. **Hoehnea**, [s. l.], v. 43, n. 1, p. 11–18, 2016.
- BUSATTO, P. C.; NUNES, A. S.; COLMAN, B. A.; MASSON, G. . Superação de dormência em sementes de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). **Revista Verde**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 154–160, 2013.

CAROCHO, M.; MORALES, P.; FERREIRA, I. C. F. R. Natural food additives: Quo vadis? **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 45, n. 2, p. 284–295, 2015.

CHÁVEZ CURY, G.; ABELA GISBERT, M. C.; BRAVO, J. A.; PEÑARRIETA, M.; RENDÓN PORCEL, W. J. Estudio del fruto comestible de la especie vegetal garcinia madruno. **Revista Boliviana de Química**, [s. l.], v. 29, n. 1, p. 87–93, 2012.

COLOMBO, N. B. R.; RANGEL, M. P.; MARTINS, V.; HAGE, M.; GELAIN, D. P.; BARBEIRO, D. F.; GRISOLIA, C. K.; PARRA, E. R.; CAPELOZZI, V. L. Caryocar brasiliense camb protects against genomic and oxidative damage in urethane-induced lung carcinogenesis. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, [s. l.], v. 48, n. 9, p. 852–862, 2015.

CORRÊA, A. C.; CARMONA, V. B.; SIMÃO, J. A.; GALVANI, F.; MARCONCINI, J. M.; MATTOSO, L. H. C. Cellulose nanocrystals from fibers of Macauba (*Acrocomia Aculeata*) and Gravata (*Bromelia Balansae*) from Brazilian Pantanal. **Polymers**, [s. l.], v. 11, n. 11, p. 1785, 2019.

COSTA, C. B.; CASTELLANI, D. C.; SOUZA, A. L. De; SILVA, A. C. Da. **Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável do coquinho azedo**. Brasília: EMBRAPA, 2015.

DA SILVA FILIPINI, G.; ROMANI, V. P.; GUIMARÃES MARTINS, V. Biodegradable and active-intelligent films based on methylcellulose and jambolão (*Syzygium cumini*) skins extract for food packaging. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 109, n. July, p. 106139, 2020.

DE ALMEIDA, A. B.; SILVA, A. K. C.; LODETE, A. R.; EGEEA, M. B.; LIMA, M. C. P. M.; SILVA, F. G. Assessment of chemical and bioactive properties of native fruits from the Brazilian Cerrado. **Nutrition and Food Science**, [s. l.], v. 49, n. 3, p. 381–392, 2019.

DE MORAIS LIMA, M.; BIANCHINI, D.; GUERRA DIAS, A.; DA ROSA ZAVAREZE, E.; PRENTICE, C.; DA SILVEIRA MOREIRA, A. Biodegradable films based on chitosan, xanthan gum, and fish protein hydrolysate. **Journal of Applied Polymer Science**, [s. l.], v. 134, n. 23, p. 1–9, 2017.

DE SOUZA, V. R.; PEREIRA, P. A. P.; QUEIROZ, F.; BORGES, S. V.; DE DEUS SOUZA CARNEIRO, J. Determination of bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Cerrado Brazilian fruits. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 134, n. 1, p. 381–386, 2012.

DIAS, L. S.; LUZIA, D. M. M.; JORGE, N. Physicochemical and bioactive properties of *Hymenaea courbaril* L. pulp and seed lipid fraction. **Industrial Crops and Products**, [s. l.], v. 49, p. 610–618, 2013.

DO NASCIMENTO, N. R. R.; ALVES, A. M.; SILVA, M. R.; NAVES, M. M. V. Antioxidant capacity of pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) pulp is preserved by freeze-drying and light-resistant packaging. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 39, n. 1, p. e-150, 2017.

DO NASCIMENTO, R. T.; DE SOUSA E SILVA, H.; DE MATOS, J. M. E.; DE MORAIS CHAVES SANTOS, M. R. In vitro release and antioxidative potential of Pequi oil-based biopolymers (*Caryocar brasiliense* Cambess). **Journal of Polymer Research**, [s. l.], v. 26, n. 8, 2019.

DOMÍNGUEZ, R.; BARBA, F. J.; GÓMEZ, B.; PUTNIK, P.; BURSAĆ KOVAČEVIĆ, D.; PATEIRO, M.; SANTOS, E. M.; LORENZO, J. M. Active packaging films with natural antioxidants to be used in meat industry: A review. **Food Research International**, [s. l.], v. 113, p. 93–101, 2018.

DUARTE, M. M.; PAULA, S. R. P. De; FERREIRA, F. R. de L.; NOGUEIRA, A. C. Morphological characterization of fruit, seed and seedling and germination of *Hymenaea courbaril* L. (Fabaceae) ('Jatobá'). **Journal of Seed Science**, [s. l.], v. 38, n. 3, p. 204–211, 2016.

FRASAO, B.; COSTA, M.; SILVA, F.; RODRIGUES, B.; BALTAR, J.; ARAUJO, J.; MOREIRA, D.; TORREZAN, R.; CONTE, C. Effect of pequi (*Caryocar brasiliense*) and juçara (*Euterpe edulis*) waste extract on oxidation process stability in broiler meat treated by UV-C. **PLoS ONE**, [s. l.], p. 13(12), 2018.

GRANDA-RESTREPO, D.; PERALTA, E.; TRONCOSO-ROJAS, R.; SOTO-VALDEZ, H. Release of antioxidants from co-extruded active packaging developed for whole milk powder. **International Dairy Journal**, [s. l.], v. 19, n. 8, p. 481–488, 2009.

GUO, Z.; GE, X.; LI, W.; YANG, L.; HAN, L.; YU, Q. Active-intelligent film based on pectin from watermelon peel containing beetroot extract to monitor the freshness of packaged chilled beef. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 119, n. 1, p. 106751, 2021.

HAN, H. S.; SONG, K. Bin. Antioxidant properties of watermelon (*Citrullus lanatus*) rind pectin films containing kiwifruit (*Actinidia chinensis*) peel extract and their application as chicken thigh packaging. **Food Packaging and Shelf Life**, [s. l.], v. 28, n. November 2020, p. 100636, 2021.

HERNANDEZ-IZQUIERDO, V. M.; KROCHTA, J. M. Thermoplastic Processing of Proteins for Film Formation—A Review. **Journal of Food Science**, [s. l.], v. 73, n. 2, p. R30–R39, 2008.

HERNÁNDEZ-MORALES, M. D. L. Á.; MALDONADO-ASTUDILLO, Y. I.; JIMÉNEZ-HERNÁNDEZ, J.; SALAZAR, R.; RAMÍREZ-SUCRE, M. O.; IBARZ, A.; UTRILLA-COELLO, R. G.; ORTUÑO-PINEDA, C. Physicochemical and rheological properties of gum seed and pulp from *Hymenaea courbaril* L. **CyTA - Journal of Food**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 986–994, 2018.

LEÃO, D. P.; BOTELHO, B. G.; OLIVEIRA, L. S.; FRANCA, A. S. Potential of pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) peels as sources of highly esterified pectins obtained by microwave assisted extraction. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 87, p. 575–580, 2018.

LI, Q.; REN, T.; PERKINS, P.; HU, X.; WANG, X. Applications of halloysite nanotubes in food packaging for improving film performance and food preservation. **Food Control**, [s. l.], v. 124, n. January, p. 107876, 2021.

LOPES, J.; GONÇALVES, I.; NUNES, C.; TEIXEIRA, B.; MENDES, R.; FERREIRA, P.; COIMBRA, M. A. Potato peel phenolics as additives for developing active starch-based films with potential to pack smoked fish fillets. **Food Packaging and Shelf Life**, [s. l.], v. 28, n. February, 2021.

MARIANO-DA-SILVA, S.; BRAIT, J. D. de A.; FARIA, F. P. De; SILVA, S. M. Da; OLIVEIRA, S. L. De; BRAGA, P. F.; MARIANO-DA-SILVA, F. M. de S. Chemical characteristics of pequi fruits (*Caryocar brasiliense* Camb.) native of three municipalities in the State of Goiás - Brazil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [s. l.], v. 29, n. 4, p. 771–777, 2009.

NASCIMENTO-SILVA, N. R. R. Do; NAVES, M. M. V. Potential of Whole Pequi (*Caryocar* spp.) Fruit-Pulp, Almond, Oil, and Shell-as a Medicinal Food. **Journal of Medicinal Food**, [s. l.], p. 1–11, 2019.

NEŠIĆ, A.; CABRERA-BARJAS, G.; DIMITRIJEVIĆ-BRANKOVIĆ, S.; DAVIDOVIĆ, S.; RADOVANOVIĆ, N.; DELATTRE, C. Prospect of polysaccharide-based materials as advanced food packaging. **Molecules**, [s. l.], v. 25, n. 1, 2020.

OLIVEIRA, D. M.; LIMA, C. G.; CLEMENTE, E.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Da. Stability of bioactive compounds and quality parameters of grugru palm powder (*Acrocomia Aculeata*) in different drying conditions. **Journal of Food Quality**, [s. l.], v. 38, n. 2, p. 94–102, 2015.

OLIVEIRA DA SILVA, A.; CORTEZ-VEGA, W. R.; PRENTICE, C.; FONSECA, G. G. Development and characterization of biopolymer films based on bocaiuva (*Acromonia aculeata*) flour. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 155, p. 1157–1168, 2020.

PAIXÃO, L. C.; LOPES, I. A.; BARROS FILHO, A. K. D.; SANTANA, A. A. Alginate biofilms plasticized with hydrophilic and hydrophobic plasticizers for application in food packaging. **Journal of Applied Polymer Science**, [s. l.], v. 136, n. 48, p. 1–11, 2019.

PÉREZ-SANTAESCOLÁSTICA, C.; MUNEKATA, P. E. S.; FENG, X.; LIU, Y.; BASTIANELLO CAMPAGNOL, P. C.; LORENZO, J. M. Active edible coatings and films with Mediterranean herbs to improve food shelf-life. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s. l.], p. 1–13, 2020.

ROCHA, L. B.; MELO, A. M.; PAILA, S. L. A.; NOBRE, S. A. M.; ABREU, I. N. Gallic acid as the major antioxidant in pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) fruit peel. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, [s. l.], v. 17, n. 4, p. 592–598, 2015.

ROMANI, V. P.; OLSEN, B.; PINTO COLLARES, M.; MEIRELES OLIVEIRA, J. R.; PRENTICE, C.; MARTINS, V. G. Cold plasma and carnauba wax as strategies to

produce improved bi-layer films for sustainable food packaging. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 108, n. June, p. 106087, 2020.

SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; CHUBA, C. A. M. Caracterização biométrica, física e química de frutos da palmeira bociuiva *Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 33, n. 3, p. 1023–1028, 2011.

SCHIASSI, M. C. E. V.; SOUZA, V. R. De; LAGO, A. M. T.; CAMPOS, L. G.; QUEIROZ, F. Fruits from the Brazilian Cerrado region: Physico-chemical characterization, bioactive compounds, antioxidant activities, and sensory evaluation. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 245, p. 305–311, 2018.

SCHLEMMER, D.; ANGÉLICA, R. S.; SALES, M. J. A. Morphological and thermomechanical characterization of thermoplastic starch/montmorillonite nanocomposites. **Composite Structures**, [s. l.], v. 92, p. 2066–2070, 2010.

SILVA, C. A. de A.; FONSECA, G. G. Brazilian savannah fruits: Characteristics, properties, and potential applications. **Food Science and Biotechnology**, [s. l.], v. 25, n. 5, p. 1225–1232, 2016.

SILVA, G. C. R.; ANDRADE, M. H. C. Development and simulation of a new oil extraction process from fruit of macauba palm tree. **Journal of Food Process Engineering**, [s. l.], v. 36, p. 134–145, 2013.

THIVYA, P.; BHOSALE, Y. K.; ANANDAKUMAR, S.; HEMA, V.; SINIJA, V. R. Development of active packaging film from sodium alginate/carboxymethyl cellulose containing shallot waste extracts for anti-browning of fresh-cut produce. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 188, n. August, p. 790–799, 2021.

TURELLA, C. C. B. **Desenvolvimento e avaliação de filmes incorporados de extratos naturais e determinação da oxidação em filés de tilápia**. 2019. Universidade Federal de Goiás, [s. l.], 2019.

VILELA, C.; KUREK, M.; HAYOUKA, Z.; RÖCKER, B.; YILDIRIM, S.; ANTUNES, M. D. C.; NILSEN-NYGAARD, J.; PETERSEN, M. K.; FREIRE, C. S. R. A concise guide to active agents for active food packaging. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 80, p. 212–222, 2018.

YILDIRIM, S.; RÖCKER, B.; PETERSEN, M. K.; NILSEN-NYGAARD, J.; AYHAN, Z.; RUTKAITE, R.; RADUSIN, T.; SUMINSKA, P.; MARCOS, B.; COMA, V. Active Packaging Applications for Food. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 165–199, 2018.

YUN, D.; QIN, Y.; ZHANG, J.; ZHANG, M.; QIAN, C.; LIU, J. Development of chitosan films incorporated with rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) peel extract and their application in pork preservation. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 189, n. August, p. 900–909, 2021.

Recebido: 06 nov. 2021.

Aprovado: 07 jul. 2022.

DOI: 10.3895/rebrapa.v12n3.14904

Como citar:

ROMANI, V. P.; ALVES SILVA, G. F.; MARTINS, V. G. Potencial de frutos do cerrado brasileiro como matérias-primas de filmes flexíveis para embalagens de alimentos – uma revisão. **Brazilian Journal of Food Research**, Campo Mourão, v. 12, n. 3, p. 26-41, jul./set. 2021. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rebrapa>

Correspondência:

Viviane Patrícia Romani

Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Alameda Élio Antonio Dalla Vecchia, 838, CEP 85040-167, Vila Carli, Guarapuava, Paraná, Brasil.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

