

TECNOLOGIA SUPERCRÍTICA APLICADA A EXTRAÇÃO DE PRODUTOS NATURAIS

Data de submissão: 28/02/2023

Data de aceite: 02/05/2023

Kelly Roberta Pinheiro Pantoja

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Laboratório de Tecnologia Supercrítica Belém, Pará
<http://lattes.cnpq.br/0213551418048600>

Diana das Graças de Oliveira Henriques

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Laboratório de extração Belém, Pará
<http://lattes.cnpq.br/5085238190871544>

Veronica Maria Souza Bezerra

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Laboratório de extração Belém, Pará
<http://lattes.cnpq.br/6876033155554194>

Rayelle Mendonça Moraes

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Laboratório de extração Belém, Pará
<https://lattes.cnpq.br/6664411108133486>

Nayara Janaina Neves da Silva

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Laboratório de extração Belém, Pará
<http://lattes.cnpq.br/1502494518329485>

Eduardo Gama Ortiz Menezes

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, Departamento de Engenharia Química, Laboratório de Engenharia Química Porto Velho, Rondônia
<http://lattes.cnpq.br/5269983873909181>

Raul Nunes de Carvalho Junior

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Laboratório de Tecnologia Supercrítica Belém, Pará
<http://lattes.cnpq.br/5544305606838748>

RESUMO: A tecnologia supercrítica é uma tecnologia verde, que dispensa o uso de solventes tóxicos e prejudiciais ao meio ambiente. Neste trabalho, observou-se que a tecnologia consegue ser seletiva ao concentrar os compostos de interesse gerando extratos com altíssima qualidade,

ricos em bioativos como os flavonoides, betacarotenos, polissacarídeos e ácidos graxos. As matrizes vegetais têm suas partes aproveitadas quase integralmente. Nota-se ainda que fatores como localidade e condições operacionais são parâmetros que devem ser avaliados para que o procedimento seja otimizado e mais eficiente. A altíssima qualidade dos extratos permite que o processo seja dimensionado para produção em larga escala pelas indústrias, atendendo e conciliando as exigências econômicas e sustentáveis do mercado.

PALAVRAS-CHAVE: Tecnologia supercrítica, sustentabilidade, produtos naturais.

SUPERCritical TECHNOLOGY APPLIED THE EXTRACTION OF NATURAL PRODUCTS

ABSTRACT: The supercritical technology is a green technology, which eliminates the use of toxic and environmentally harmful solvents. In this work, it was observed that the technology manages to be selective when concentrating the compounds of interest, generating extracts with very high quality, rich in bioactives such as flavonoids, beta-carotenes, polysaccharides and fatty acids. The plant matrices have their parts used almost entirely. It is also noted that factors such as location and operating conditions are parameters that must be evaluated so that the procedure is optimized and more efficient. The very high quality of the extracts allows the process to be dimensioned for large-scale production by industries, meeting and reconciling the economic and sustainable demands of the market.

KEYWORDS: Supercritical technology, sustainability, natural products.

1 | INTRODUÇÃO

O processo de extração tem como objetivo a separação de substâncias, estando ainda, relacionado a processos posteriores de isolamento e recuperação de constituintes de interesse e purificação, sendo útil em procedimentos para remoção de contaminantes ou componentes indesejados. Em todo caso, o processo de extração deve ser avaliado em relação ao custo financeiro, rendimento, tempo de extração, mão de obra e qualidade do produto. As técnicas mais utilizadas são extração por solventes, extração com líquidos pressurizados, extração por arraste a vapor, extração por soxhet, hidroddestilação, destilação por arraste a vapor, extração por ultrassom e extração por fluido supercrítico (EFS) (CIUFFA, 2021).

Com a crescente demanda pela diminuição no consumo de produtos de origem animal, para o maior consumo de produtos de origem vegetal como alternativa para minimizar problemas futuros gerados pela superpopulação como a falta de alimentos cárneos. Cada vez mais torna-se importante o desenvolvimento de processos e rotas tecnológicas menos agressivas ao meio ambiente, trazendo uma relação sustentável entre o homem e a natureza. Neste sentido, a tecnologia supercrítica origina produtos concentrados em bioativos de interesse para as indústrias pela extração de vastas matrizes vegetais e misturas líquidas. Tornando, esta tecnologia promissora para produção em larga escala para aproveitamento de produtos naturais (MENEZES et al., 2022; CHEMAT et al.,

2020)

A tecnologia de EFS, chama atenção por permitir que os produtos obtidos apresentem altíssima qualidade, promovendo a manutenção de compostos termosensíveis, não deixando resíduos de solventes no produto, além de ser considerada uma técnica limpa e não agressiva ao meio. Por estas características, a tecnologia supercrítica ganha destaque no que tange a ser um processo considerado verde, cujo procedimento envolve o uso de solventes menos agressivos e tóxicos, a tecnologia também reduz o tempo de extração, requer uma mão de obra qualificada, além de gerar produtos com altíssima qualidade ambiente (CHEMAT et al., 2020; BRUNNER, 1994). Assim, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre a extração de produtos naturais utilizando tecnologia supercrítica.

2 | MÉTODO

Este trabalho constitui-se de uma revisão bibliográfica do tipo integrativa. Para tanto, utilizou-se para compor o aporte bibliográfico, estudos disponíveis em banco de dados como: SCIELO, PUBMED, ELSEVIER, MOLÉCULES e google scholar e repositórios institucionais. As pesquisas não datam de período específico, foram pesquisados artigos na língua inglesa. Os descritores incluem: Supercritical fluids + espécie vegetal, Supercritical fluids + natural products ou Supercritical fluids + (terminologia de interesse).

3 | CONCEITOS BÁSICOS SOBRE TECNOLOGIA SUPERCRÍTICA

O estado físico em que certa substância poderá ser encontrada está relacionado a manipulação das variáveis pressão (P) e temperatura (T). O aumento da temperatura favorece a formação da fase gasosa, todavia a redução desta variável favorece a formação da fase líquida. Em relação a pressão, a formação da fase sólida ou líquida, é favorecida quando a pressão aumentar, do contrário, a diminuição facilita a formação da fase gasosa. Logo, a EFS ocorre quando compostos de uma dada matriz são solubilizados por um solvente em estado supercrítico, ou seja, com valores acima dos críticos das variáveis pressão e temperatura (Figura 1) (RACOSKI, 2019).

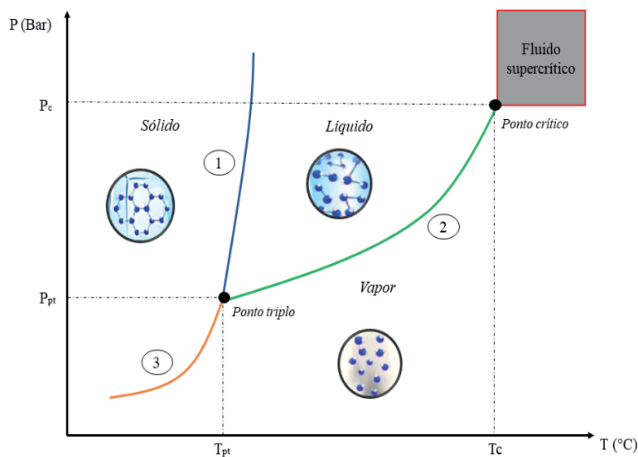


Figura 1. Diagrama de fases

Fonte: Os autores (2023). Adaptado de Brunner (1994)

Os valores críticos de pressão e temperatura indicam a condição máxima de condensação do vapor, acima destes valores, ocorre a formação de uma fase (fluido supercrítico) que apresentará características intermediárias entre a fase gasosa e a fase líquida (Tabela 1). Com propriedades de difusividade e viscosidade semelhante à dos gases e densidade similar a dos líquidos. Estas características permitem que o fluido tenha maior poder de solubilização, melhor seletividade e eficiência na extração (TURNER et al., 2001).

Propriedades físicas	Gás (1 atm, 15- 30°C)	Fluido supercrítico T _c , P _c	Líquido (1 atm, 15-30 °C)
Difusividade	0,1-0,4	$0,7 \times 10^{-3}$	$(0,2-2) \times 10^{-5}$
Viscosidade	$(0,6-2,0) \times 10^{-4}$	$(1,0-3,0) \times 10^{-4}$	$(0,2-3) \times 10^{-2}$
Densidade	$(0,6-2,0) \times 10^{-3}$	0,2-0,5	0,6-1,6

Tabela 1. Valores de propriedades físicas dos estados gasoso, fluido supercrítico e líquido

Fonte: Brunner (1994)

A manipulação das variáveis promoverá alterações nas propriedades do fluido, influenciado no processo de extração. De maneira geral, o aumento da pressão melhora poder de solvatação, pois ocasiona uma maior densidade do solvente e melhor eficiência no processo de extração. Já a manipulação da temperatura, poderá acarretar o aumento da solubilidade, pelo aumento da pressão de vapor do soluto ou menor solubilidade pela redução no poder de solvatação (KNEZ et al., 2019).

A solubilidade do substrato no fluido dependerá basicamente, da densidade e da

pressão de vapor do soluto. O aumento da pressão aumenta a densidade do fluido e diminui a pressão de vapor do soluto. Se a pressão for constante e a temperatura aumentar, a densidade do solvente diminui e a pressão de vapor do soluto aumenta. Estes efeitos produzem uma inversão na curva de solubilidade (retrogradação) (McHUNG, KRUKONIS, 1994).

Existem uma variedade de solventes que podem ser utilizados para EFS (Tabela 2), dentre os quais cita-se o propano ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$), água (H_2O), etano (CH_3CH_3) e dióxido de carbono (CO_2). Este último em particular, tem sido o mais escolhido pois apresentam baixo custo financeiro, atoxidade, não inflamabilidade, não agressivo ao meio ambiente e possui baixos pontos críticos (31 °C e 73,8 kPa). Além disto, possui elevada pureza e pode ser reciclado (RACOSKI, 2019).

Fluidos	Tc (°C)	Pc (bar)	Dc (g/cm ³)
CO ₂	30,95	73,8	0,47
Propano	96,65	42,5	0,22
Etano	32,15	48,7	0,20
Metanol	239,45	80,9	0,27
Etanol	240,75	61,4	0,28
Água	374,15	221,2	0,35

Legenda: Tc: Temperatura crítica; Pc: Pressão crítica; Dc: Densidade crítica

Tabela 2. Componentes que podem ser utilizados como solventes na extração supercrítica

Fonte: Adaptado de Tuner et al., (2001)

O CO₂ por ser apolar consegue solubilizar compostos apolares e alguns compostos de baixa polaridade. Para que o rendimento no processo de extração de compostos polares possa ser aumentando, faz-se o uso de cossolventes, como o etanol (EtOH) em quantidades de 5 a 20% em massa, os cossolventes também melhoram a seletividade do processo (RACOSKI, 2019).

4 | PROCESSO DE EXTRAÇÃO VIA CO₂-SC

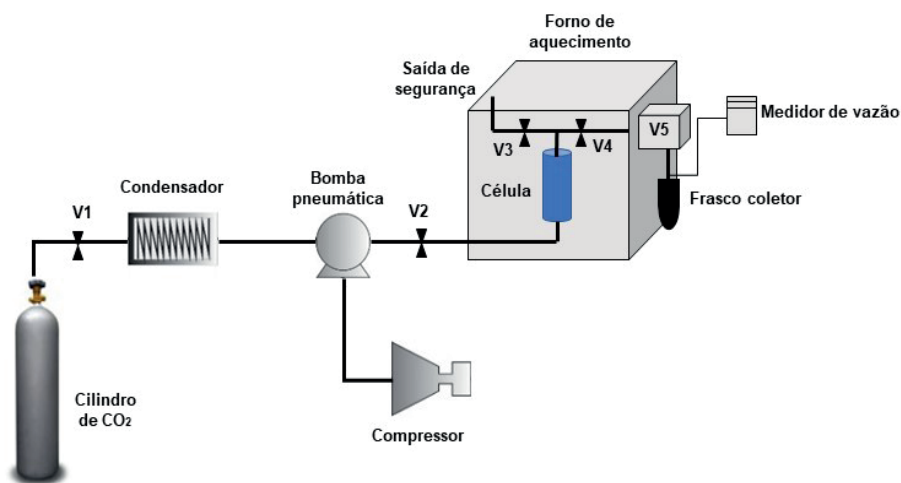
A matéria prima, necessita passar pela avaliação de alguns parâmetros (Figura 2) como secagem, análise centesimal e diâmetro da partícula, para que de acordo com as características o melhor sistema possa ser adotado, bem como tempo de extração e cossolvente adequado:



Figura 2. Caracterização da matéria prima
 Fonte: Os próprios autores (2023)

As análises destes parâmetros possibilitam que possa ser observado como a matéria prima ainda pode ser aproveitada após a extração. Na maioria dos métodos como maceração e soxhlet, por exemplo, a matéria prima é esgotada e a matéria bruta resultante não tem valor agregado, com a tecnologia supercrítica, a matéria resultante exibe alta concentração de compostos bioativos e valor nutricional após a extração, podendo ser reaproveitada em outros processos e pesquisas (SILVA et al., 2019).

O processo de extração pode ser descrito em duas etapas (Figura 3), na primeira etapa, o fluido escoar no extrator e entra em contato com a matriz, extraindo o soluto, ao final desta etapa tem-se uma mistura de solvente e soluto. Na segunda etapa, ocorre a diminuição da pressão, o solvente passa para o estado gasoso e o soluto então é precipitado e colhido (SALAZAR, 2017).



Legenda: V1, V2, V3, V4 E V5: válvulas

Figura 3. Desenho esquemático de uma unidade analítica de extração supercrítica

Fonte: Os próprios autores (2023)

O CO_2 no estado gasoso chega ao condensador, e se transforma para o estado líquido, passando para a bomba pneumática que junto do compressor, conduz para o forno o CO_2 pressurizado. No forno de extração, a temperatura crítica é atingida. O CO_2 , agora no estado supercrítico com dados T_c e P_c , entra em contato com a matriz, solubilizando o soluto. O soluto solubilizado no solvente (Fluido) é então separado através da depressurização do sistema, o CO_2 depressurizado pode ser coletado e reaproveitado, o soluto então é coletado livre de solvente (SALAZAR, 2017).

5 | EXTRAÇÃO DE PRODUTOS NATURAIS

Os produtos naturais, são aqueles encontrados na natureza, apresentam propriedades biológicas e nutracêuticas, podendo ser utilizado para concepção de produtos de valor econômico e farmacológico. A utilização da tecnologia supercrítica para extração em matrizes sólidas vegetais, passam principalmente pela obtenção de óleos e extratos vegetais ricos em compostos bioativos. O Brasil, quando comparado a outros países ainda tem sua pesquisa voltada bastante para área acadêmica (CIUFFA, 2021).

Os produtos naturais são conhecidos por exibirem propriedades nutricionais e medicinais associadas ao conhecimento tradicional. Muitas das propriedades biológicas já foram cientificamente comprovadas, assentindo o uso geracional de muitas plantas e frutos ao longo de décadas. As espécies são ricas em betacaroteno, ácidos graxos, polifenóis e vitaminas, atuando como antioxidantes, anti-inflamatórios e antibactericidas, além de auxiliarem devido seu valor nutricional, no reforço a imunidade promovendo uma melhor

qualidade de vida (SILVA et al., 2022).

Aqui serão abordadas pesquisas envolvendo os produtos naturais (Tabela 3), sendo frutos, folhas e oleaginosas presente na culinária e medicina popular. Na tabela estão presentes os maiores componentes encontrados nos extratos coletados no processo de EFS via CO₂:

Frutos	Componentes de interesse	Sistema	Atividade biológica	Referência
Tucumã (<i>Astrocaryum vulgare</i> Mart.)	Betacaroteno; ácido oleico; ácido linoleico; ácido palmítico; flavonoides; polissacarídeos	CO ₂ -SC	Antioxidante, antiinflamatório, anti-hiperglicêmico, antimicrobiano, anticarcinogênico, neuroprotetor	Menezes et al., (2022); Baldiserra et al., (2017)
Açaí (<i>Euterpe oleracea</i> Mart)	Ácido oleico; ácido palmítico; antocianinas; triglicerídeos	CO ₂ -SC	Antioxidante, antiinflamatório, anticarcinogênico, imunomodulatório, citotóxico, antiproliferativo	Silva et al., (2019); Yamaguchi et al., (2015)
Pupunha (<i>Bactris gasipaes</i>)	Ácido oleico; ácido palmítico; ácido esteárico, antocianinas, betacaroteno; -α-tocoferol; betasisterol	CO ₂ -SC	Antibactericida, antifúngica, antioxidante, antiinflamatório, antiproliferativo, anticarcinogênico	Espinosa-Pardo et al., (2014); Soares et al., (2022)
Jucá (<i>Libidía ferrea</i>)	Ácidos graxos, γ-sitosterol	CO ₂ -SC	Antioxidante, antiinflamatório, antiglicêmico, anti-hipertensivo	Dias et al., (2013); Ferreira, Soares (2015)
Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	Flavonoides, tocoferol, Ácidos graxos	CO ₂ -SC/ EtOH	Antioxidante, imunomoduladoras, desordens gastrointestinais, antiinflamatório	Azevedo et al., (2003); Jean-Marie et al., (2022)
Mururé (<i>Brosimum acutifolium</i>)	Flavonoides; cumarinas; terpenos; ácidos graxos	CO ₂ -SC/ EtOH; CO ₂ - SC/EtOAc	Antimicrobiano, Antioxidante, antiinflamatório, antiproliferativo anticarcinogênico, neuroprotetor	Sousa (2022); Reis et al., (2021); Maués et al., (2021)
Jambu (<i>Spilanthes acmella</i>)	Espilantol	CO ₂ -SC	Antioxidante, antibactericida, antifúngica, analgésico, antiinflamatório	Dias (2012); Dubey et al., (2013)
Castanha do Brasil	Ácidos graxos, ômega 3, ômega 6, ômega 9	CO ₂ -SC	Antioxidante, antiinflamatório, antimicrobiano, neuroprotetor	Santos et al., (2013); Cardoso et al., (2017)

Tabela 3. Matrizes naturais extraídas por tecnologia supercrítica e seu potencial biológico

Fonte: Os próprios autores (2023)

O tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) é uma árvore encontrada na Amazônia, seus frutos apresentam em sua composição elevada quantidade de carotenoides, flavonoides, polissacarídeos e ácidos graxos. Menezes et al., (2022) estudou o processo de obtenção de um óleo de rico em carotenoides utilizando CO₂ supercrítico. Seus resultados exibiram que um extrato rico em ácido oleico e o maior rendimento mássico pode ser obtido sob alta

temperatura e pressão (60°C e 400 bar), enquanto a maior composição de carotenoides foi observada em extratos coletados sob alta pressão (40°C a 400 bar). O óleo do tucumã apresenta atividade antioxidante, antiinflamatória, anti-hiperglicêmica, antimicrobiana e anticancerígena, conforme estudo feito por Baldiserra et al., (2017) em um estudo *in vivo* realizado com ratos com diabetes induzida.

O açai conhecido pelo nome científico *Euterpe oleracea* Mart, é um fruto amazônico oleoso, muito utilizado na culinária para preparo de doces e sobremesas, compondo ainda parte da dieta de algumas comunidades no sul e norte da América. Este fruto apresenta propriedades antioxidantes, antiinflamatórias, anticancerígenas, antiproliferativa e entre outras (YAMAGUCHI et al. 2015). Em um estudo Silva et al., (2019) avaliou os perfis de ácidos graxos e trigliceróis em relação a distribuição geográfica e as condições operacionais de temperatura e pressão. Neste trabalho, o teor de ácidos graxos e trigliceróis foram influenciados majoritariamente pela localização geográfica do que pelas condições operacionais de extração com CO₂ supercrítico. Quando avaliado o rendimento mássico de óleo obtido, a pesquisa concluiu que os maiores rendimentos são observados sob altas pressões e temperaturas 60°C a 420 bar e a 70°C a 490 bar. Nestas condições, os teores de compostos fenólicos e antocianinas e a atividade antioxidante foram mais elevadas.

A pupunha (*Bactris gasipaes*) é um fruto encontrado na América tropical, rico em carotenoides e aminoácidos essenciais. Possui vasta atividade biológica como antiinflamatória, antimicrobiana, antioxidante e anticancerígena (SOARES et al., 2022). Foi estudado por Espinosa-Pardo et al., (2014), o qual investigou a diferença nos teores de carotenoides e atividade antioxidante em relação aos métodos de extração por CO₂ supercrítico e extração por Soxhlet. Em termos de rendimento mássico, o óleo obtido quantitativamente por Soxhlet foi superior, enquanto em comparação ao teor de carotenoides os óleos obtidos por extração supercrítica (40°C a 300 bar) apresentaram-se altamente concentrados, inclusive em relação ao teor de betacarotenos, influenciado diretamente na atividade antioxidante observada.

O jucá (*Libidía férrea* Mart.) ou pau ferro, é uma planta nativa brasileira, muito popular na região norte. Utilizada popularmente para tratamentos de distúrbios gastrointestinais, inflamações e infecções. Possui atividade antibactericida, antiinflamatória, analgésica, antioxidante e hipoglicêmica (FERREIRA, SOARES, 2015). Com o intuito de obter curativos para ferimentos, Dias et al., (2013) obteve extratos de jucá sob uma única condição (50 °C a 250 bar), os resultados da cromatografia gasosa revelaram a presença abundante de ácidos graxos (<70%) e fitoesteróis. Nesta mesma pesquisa, os autores avaliaram a atividade antiinflamatória deste extrato quando incorporado a duas matrizes poliméricas: N-carboxibutilquitosana e ácido hialurônico, através de impregnação/deposição de fluido supercrítico. Os maiores rendimentos foram constatados nos extratos incorporados com N-carboxibutilquitosana. Os curativos reduziram a expressão de citocinas TNF-α e IL-1α, confirmando a atividade antiinflamatória dos extratos de jucá.

As sementes de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) que são frutos amazônicos muito consumidos na região norte do Brasil, são oleaginosas com mais de 60% de gordura em sua composição. Muito utilizado nas indústrias alimentícias, farmacêutica e de cosméticos (JEAN-MARIE et al., 2022). Azevedo et al., (2003) extraiu usando um sistema de CO₂ e um sistema de CO₂+Etanol (EtOH) as sementes de cupuaçu com o intuito de obter um extrato oleoso com alto rendimento. Foi observado que para esta oleaginosa, altas pressões favoreceram a eficiência do processo, para ambas as condições de temperatura estudadas (50°C e 70°), os maiores rendimentos foram observados a 350 bar. Sendo, os extratos coletados no sistema CO₂+Etanol (EtOH), ricos em trigliceróis.

A espécie *Brosimum acutifolium* é uma árvore nativa brasileira, encontrada em florestas de terra firme e a casca da raiz foi avaliada por Sousa (2022) através de uma extração sequencial utilizando CO₂ supercrítico e cossolventes (acetato de etila e etanol), obtendo extratos ricos em compostos fenólicos. O perfil fitoquímico indicou a presença de cumarinas, ácidos graxos, flavonoides e terpenos. Foi constatado ainda que as melhores condições de rendimento mássico foram obtidas utilizando acetato de etila como cossolvente (60 °C a 350 bar) e que os maiores teores de compostos fenólicos foram observados na extração com etanol na condição de 40°C a 250 bar. Com relação a atividade biológica da espécie, já foi constatado que ela apresenta atividade antiinflamatória, antioxidante, neuroprotetora, antimicrobiana e anticancerígena (REIS et al., 2021; MAUÉS et al., 2021).

O jambú de nome científico *Acmella oleracea* ou *Spilanthes acmella*, são folhagens ricas em alquilamidas, que são metabólitos responsáveis pelas atividades biológicas observadas, como capacidade antiinflamatória, anestésica, antimicrobiana, diurética, afrodisíaca e antioxidante (DUBEY et al., 2013). Neste sentido, Dias et al., (2012) estudou as variadas partes do jambú, como folhas, flores e raízes, através de quatro sistemas CO₂, CO₂/H₂O CO₂/EtOH e CO₂/EtOH/ H₂O. Neste trabalho, os autores concluíram que as flores do jambu são concentradas em espilantol quando utiliza-se o sistema CO₂ supercrítico, enquanto nos outros sistemas foi observado elevados teores de compostos fenólicos e atividade antioxidante. Estes resultados corroboram o uso desta planta para tratamento de certas mazelas.

A castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa*) é uma oleaginosa rica em ácidos graxos e selênio, é uma fonte de proteínas e outros nutrientes, sendo uma semente nativa da brasileira muito consumida por comunidades ribeirinhas e indígenas, fazendo parte da dieta destas populações. Além disto, estudos evidenciam o seu potencial suplementar na alimentação, devido à alta concentração de micro e macro nutrientes. Esta semente, possui potencial cardioprotetor, antiinflamatório e antidiabético (CARDOSO et al., 2017). O óleo da castanha do Brasil foi extraído sob variadas condições de temperatura e pressão (40 °C, 50 °C e 60°C a 200 bar, 250 bar e 300 bar). Nesta pesquisa, todas as condições influenciaram na qualidade do extrato, sendo que os maiores rendimentos mássicos observados foram sob alta temperatura e pressão (60°C a 300 bar), nesta condição obteve-se ainda um

extrato oleoso rico em ácidos graxos insaturados, principalmente o ômega-3, ômega-6 e ômega-9 (SANTOS et al., 2013).

6 | CONCLUSÕES

O cenário global atualmente apontam para inovações tecnológicas que conciliam a sustentabilidade com a economia, de modo que as indústrias possam atender as exigências sustentáveis do mercado competitivo agregando valor aos produtos naturais e seus derivados, gerando produtos com altíssima qualidade. Soma-se a isto, a crescente procura por bens de consumo que tenham um processo de fabricação com ingredientes cada vez mais naturais. Neste sentido, os produtos naturais que por si já representam uma fonte de compostos bioativos de relevância a saúde humana, podem ser mais valorizados por técnicas como a tecnologia supercrítica, que permite que se obtenha um processo mais seletivo em relação aos componentes de interesse e possibilita que os extratos e as matrizes sejam concentrados em bioativos, agregando valor, a matriz com um todo, neste processo praticamente toda matéria prima é aproveitada e os custos de processos de purificação posteriores são dispensados, além de que a tecnologia supercrítica reduz o uso de solventes tóxicos, o que a torna verde e sustentável.

REFERÊNCIAS

ARRUDA, M.S.P.; GNOATTO, S.C.B.; MACEDO, A.J. Remarkable capacity of AZEVEDO, A.B.A.; KOPCAK, U.; MOHAMED, R.S. Extraction of fat from fermented Cupuaçu seeds with supercritical solvents. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 27, n.2, p. 223-237, 2003.

BALDISSERA M.D.; SOUZA, C.F.; GRANDO, T.H.; COSSETIN, L.F.; SAGRILLO, M.R.; NASCIMENTO, K, et al. Antihyperglycemic, antioxidant activities of tucumã oil (*Astrocaryum vulgare*) in alloxan-induced diabetic mice, and identification of fatty acid profile by gas chromatograph: New natural source to treat hyperglycemia. **Chemico-Biological Interactions**, v.270, p. 51-58, 2017.

brosimine b to disrupt methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) preformed biofilms. **Microb Pathogenesis**, v.140, p.103967. Doi: 10.1016/j.micpath.2020.103967.

BRUNNER, G. **Gas Extraction: An Introduction to Fundamentals of Supercritical Fluids and the Applications to Separation Processes**. Springer, New York, 1994.

CARDOSO, B.R.; DUARTE, G.B.S.; REIS, B.Z.; COZZOLINO, S.M.F. Brazil nuts: Nutritional composition, health benefits and safety aspects. **Food Research International**, v.100, p. 9-18, 2017.

CHEMAT, F.; VIAN, M. A.; FABIANO-TIXIER, A. S.; NUTRIZIO, M.; JAMBRAK, A. R.; MUNEKATA, P. E., et al. **A review of sustainable and intensified techniques for extraction of food and natural products**. *Green Chemistry*, v. 22, n.8, p. 2325-2353, 2020.

CIUFFA, Maria Alice Novelli Liberatto. **Extrato da folha da *Urera baccifera* por tecnologia supercrítica comparada às metodologias convencionais**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2021.

DIAS, A.M.A.; REY-RICO, A.; OLIVEIRA, R..A.; MARCENEIRO, S.; ALAVREZ-LORENZO, C.; CONHEIRO, A., et al. Wound dressings loaded with an anti-inflammatory jucá (*Libidibia ferrea*) extract using supercritical carbon dioxide technology. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 74, p. 34-45, 2013.

DIAS, A.M.A.; SANTOS, P.; SEABARA, I.J.; JUNIOR, RNC.; BRAGA, M.E.M.; SOUSA, H.C. Spilanthol from *Spilanthes acmella* flowers, leaves and stems obtained by selective supercritical carbon dioxide extraction. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 61, p. 62-70, 2012.

DUBEY, S.; MAYTI, S.; SINGH, M.; SARAF, S.A.; SAHA, S. Phytochemistry, Pharmacology and Toxicology of *Spilanthes acmella*: A Review. **Advances in Pharmacological and Pharmaceutical Sciences**, v.2013, p. 1-9, 2013.

ESPINOSA-PARDO, F.A.; MARTINEZ, J.; MARTINEZ-CORREA, H.A. Extraction of bioactive compounds from peach palm pulp (*Bactris gasipaes*) using supercritical CO₂. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 93, p. 2-6, 2014.

FERREIRA, M.R.A.; SOARES, L.A.R. *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L. P. Queiroz: A review of the biological activities and phytochemical composition. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 9, n.5, p. 140- 150, 2015.

JEAN-MARIE, E.; JIANG, W.; BERAU, D.; ROBINSON, J.-C. *Theobroma cacao* and *Theobroma grandiflorum*: Botany, Composition and Pharmacological Activities of Pods and Seeds. **Foods**, v.11, n.24, p. 3966, 2022.

KNEZ, Ž.; PANTIĆ, M.; CÖR, D.; NOVAK, Z.; HRNČIČ, M. K. **Are supercritical fluids solvents for the future?**. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*,v.141, p.107532, 2019.

MAUÉS, L.A.L.; ALVES, G.M.; COUTO, N.M.G.; SILVA, M.S.P.; ARRUDA, M.S.P.; MACCHIA, C.B.C.; SENAC, A.F.; PRADOC, M.E.; CRESPO-LOPEZ, E.O.; SILVA, J.L.M.; NASCIMENTO, F. Flavonoids from the Amazon plant *Brosimum acutifolium* induce C6 glioma cell line apoptosis by disrupting mitochondrial membrane potential and reducing AKT phosphorylation. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, v.113, p. 108728, 2019.

McHUGH, M.A.; KRUKONIS, V.J. **Supercritical Fluid Extraction: Principles and Practice**, 2ª ed. Butterworth-Heinemann: Stoneham, 1994.

MENEZES E.G.O.; BARBOSA, J.R.; PIRES, F.C.S.; FERREIRA, M.C.R.; SILVA, A.P.S.; SIQUEIRA, L.M.M, et al. Development of a new scale-up equation to obtain Tucumã-of-Pará (*Astrocaryum vulgare* Mart.) oil rich in carotenoids using supercritical CO₂ as solvent. **The Journal of Supercritical Fluids**, v.181, p. 105481, 2022.

RACOSKI, Jéssica Carla. **Tecnologia de fluido supercrítico como ferramenta para obtenção de extrato de erva-mate (*Ilex paraguariensis*)**. 2019. 149 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, p. 149, 2019.

REIS, S.V.D.; COUTO, N.M.G.; BRUST, F.R.; TRENTIN, D.S.; SILVA, J.K.R.D.; SALAZAR, Marielba de los Angeles Rodriguez. **Avaliação da composição química, efeito neuroprotetor e anti-inflamatório de extratos de cipó-pucá (*Cissus sicyoides* L.) obtidos via extração supercrítica.** 89 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de alimentos), Universidade federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém, p. 89, 2017.

SANTOS, O.V.; CORREA, N.C.F.; CARVALH Jr, R.N.; COSTA, C.E.F.; LANNES, S.C.F. Yield, nutritional quality, and thermal-oxidative stability of Brazil nut oil (*Bertolletia excelsa* H.B.K) obtained by supercritical extraction. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n.4, p. 499-504, 2013.

SILVA, M.P.; CUNHA, V.M.; SOUSA, S.H.B.; MENEZES, E.G.O.; BEZERRA, P.N.; NETO, J.T.F, et al. Supercritical CO₂ extraction of lyophilized Açai (*Euterpe oleracea* Mart.) pulp oil from three municipalities in the state of Pará, Brazil. **Journal of CO₂ Utilization**, v.32, p. 226-234, 2019.

SOARES, S.D.; SANTOS, O.V.; NASCIMENTO, F.D.C.A.; PENA, R.S. A review of the nutritional properties of different varieties and byproducts of peach palm (*Bactris gasipaes*) and their potential as functional foods. **International Journal of Food Properties**, v.25, n.1, p. 2146-2165, 2022.

TURNER, C.; KING, J. W.; MATHIASSEN, L. Supercritical fluid extraction and YAMAGUCHI, K.K.L.; PEREIRA, L.F.R.; LAMARÃO, C.V.; LIMA, E.S.; VEIGA-JUNIOR, V.F. Amazon açai: Chemistry and biological activities: A review. **Food Chemistry**, v.179, p.137-151, 2015.