

EXTRAÇÃO COM LÍQUIDO PRESSURIZADO: MONTAGEM DE UMA UNIDADE MULTIPROPÓSITO LABORATORIAL E DESENVOLVIMENTO DE UM PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO (POP)

PRESSURIZED LIQUID EXTRACTION: ASSEMBLY OF A MULTIPURPOSE LABORATORY UNIT AND DEVELOPMENT OF A STANDARD OPERATING PROCEDURE (SOP)

EXTRACCIÓN CON LÍQUIDO A PRESIÓN: MONTAJE DE UNA UNIDAD MULTIPROPÓSITO DE LABORATORIO Y DESARROLLO DE UN PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTÁNDAR (POP)

134

Estêvão Santos Laureano da Cunha¹
Jefferson Fagundes da Silva²
Jéssica Rocha de Morais³
Marcus Vinícius Tres⁴

Resumo: A extração por líquidos pressurizados é uma das principais técnicas empregadas para a obtenção de compostos bioativos presentes em matérias-primas sólidas. Desta forma, o objetivo deste estudo foi desenvolver a montagem de uma unidade multipropósito laboratorial destinada à realização do processo de extração de compostos bioativos de matrizes vegetais. Além disso, visando uma maior segurança e qualidade do processo, elaborou-se um Procedimento Operacional Padrão (POP), descrevendo detalhadamente as etapas a serem empregadas durante a realização dos processos de extração. Finalmente, os testes da unidade foram realizados utilizando folhas de *Senecio brasiliensis*, apresentando resultados satisfatórios e adequados, sob um âmbito operacional.

Palavras-chave: Compostos bioativos. Matrizes naturais. Otimização de processos. Tecnologias de extração.

¹ Graduando em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul. Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul. E-mail: estevão.slc@gmail.com

² Graduando em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul. Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul. E-mail: jeffersonfagundes.jfs23@gmail.com

³ Graduanda em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul. Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul. E-mail: jessica.rocha95@hotmail.com

⁴ Doutor em Engenharia de Alimentos pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Universidade Federal de Santa Maria. E-mail: marcus.tres@ufsm.br

Abstract: Extraction by pressurized liquids is one of the main techniques used to obtain bioactive compounds present in solid raw materials. Thus, the objective of this study was to develop the assembly of a multipurpose laboratory unit for the extraction of bioactive compounds from plant matrices. Furthermore, aiming at greater safety and quality of the process, a Standard Operating Procedure (SOP) was elaborated, describing in detail the steps to be used during the performance of the extraction processes. Finally, the unit tests were performed using *Senecio brasiliensis* leaves, showing satisfactory and adequate results, under an operational scope.

Keywords: Bioactive compounds. Natural matrices. Processes optimization. Extraction technologies.

Resumen: La extracción por líquidos com presión es una de las principales técnicas utilizadas para la obtención de compuestos bioactivos presentes en materias primas sólidas. Así, el objetivo de este estudio fue desarrollar el montaje de una unidad de laboratorio polivalente para el proceso de extracción de compuestos bioactivos a partir de matrices vegetales. Además, con el objetivo de una mayor seguridad y calidad del proceso, se elaboró un Procedimiento Operativo Estándar (POE), describiendo en detalle los pasos a seguir durante los procesos de extracción. Finalmente, las pruebas unitarias se realizaron utilizando hojas de *Senecio brasiliensis*, mostrando resultados satisfactorios y adecuados, bajo un ámbito operacional.

Palabras-clave: Compuestos bioactivos. Matrices naturales. Optimización de procesos. Tecnologías de extracción.

Submetido 10/10/2020

Aceito 21/11/2020

Publicado 15/12/2020

135

Introdução

A extração com líquidos pressurizados (ELP), ou *pressurized liquid extraction* (PLE), é uma técnica amplamente utilizada para a extração de compostos bioativos presentes em matrizes vegetais (Hirondart et al., 2020). Entretanto, estudos têm evidenciado o grande número de complexos lignocelulósicos presentes nesses materiais, validando a necessidade de adoção de técnicas baseadas em tecnologias eletroquímicas que visam à ruptura destes complexos e exploração dos compostos presentes (Santos et al., 2020; Ceni et al., 2020). Em função de um baixo consumo de solventes, rapidez no processo de extração e caracterizar-se como um procedimento ambientalmente sustentável, a ELP tem sido uma alternativa atraente e altamente eficiente frente a métodos convencionais de extração (Debien et al., 2015). Ainda, a performance deste procedimento é embasada no ajuste de diferentes condições de processo, como a pressão e a temperatura, em combinação com o tipo de solvente a ser utilizado (Machado et al., 2015). A capacidade de extração em altas temperaturas (cerca de 40 °C a 200 °C) e pressões (até 30 MPa), em conjunto com um sistema totalmente fechado e inerte, resultam em uma rápida extração e um consumo reduzido do solvente (Debien et al., 2015). Além disso, a definição desses parâmetros é realizada levando em consideração, principalmente, o tipo de solvente utilizado, a matéria prima vegetal e o composto que se deseja extrair (Vazquez-Roig & Pico, 2015).

A eficiência da ELP tem sido equivalente a outras importantes técnicas de extração, como o método de Soxhlet e extração por ultrassom (Viganó et al., 2016). Além disso, a ELP é amplamente equiparada ao processo de extração por fluido supercrítico, uma vez que apresenta solventes em condição próxima à sua região supercrítica, onde os solventes potencializam suas propriedades de extração ao mesmo tempo que se encontram em estado líquido (Usenko et al., 2013). A execução do procedimento da ELP é mais acessível se comparado à extração por fluido supercrítico, em função de um menor número de parâmetros a serem ajustados (Duarte et al., 2014). Resultados semelhantes foram obtidos quando se comparou a ELP com a técnica da extração assistida por micro-ondas, em que a primeira mostrou mais altos rendimentos, melhor estabilidade dos compostos extraídos e maior facilidade no manejo do procedimento (Li et al., 2002).

A aplicação da ELP tem avançado significativamente nos últimos anos. A performance desta técnica tem sido amplamente estudada para a extração de diversos compostos bioativos presentes em inúmeras matérias-primas de origem animal e vegetal. A literatura aborda o emprego da ELP na extração de compostos em algas marinhas (Otero et al., 2019), alimentos (Andreu & Picó, 2019) e plantas medicinais (Feng et al., 2016; Barbosa et al., 2019). Entretanto, é em óleos e matrizes vegetais que a técnica tem apresentado grande potencial de uso (Raut et al., 2015). Inúmeros trabalhos têm demonstrado resultados satisfatórios quanto à aplicação da ELP em matérias-primas vegetais, como em cascas de jabuticaba (Santos et al., 2012), bagaço de uva (Pereira et al., 2019), cascas de laranja (Barrales et al., 2018) e em sementes de soja (Rodrigues et al., 2017) e milho (Moreau et al., 2003).

Observando-se uma gama de fatores que influenciam diretamente a composição química das matérias-primas vegetais, como as características genéticas e fisiológicas das plantas, condições edafoclimáticas e manejo de conservação e armazenamento destes materiais, o potencial de extração e agregação de valor do produto final extraído são variáveis (Hirondart et al., 2020). Desta forma, é importante que ocorra a adequação dos parâmetros de modo a aperfeiçoar a performance de extração e expressar a máxima eficiência do processo (Li et al., 2020).

A eficiência da ELP para a extração de compostos bioativos está diretamente relacionada à capacidade operacional da unidade laboratorial, sobretudo em relação ao alcance em atingir altas temperaturas e pressões. A temperatura elevada de processo provoca um enfraquecimento das ligações químicas presentes entre os compostos da matriz, aumentando a solubilidade desse composto no solvente. Já o aumento da pressão resulta em uma maior difusão do solvente no contato direto com a matriz (Camel, 2001; Fernández-Ponce et al., 2016). Estas condições mantêm o solvente na fase líquida, e a temperatura superior ao seu ponto de ebulição proporciona uma extração mais rápida dos compostos. Assim, um aumento na solubilidade dos compostos e a potencialização das taxas de transferência de massa facilitam o acesso do solvente a áreas não disponíveis pelos processos convencionais (Pinto & Lanças, 2009). Entretanto, este tipo de equipamento apresenta alto custo inicial de investimento e não permite adequação estrutural para outros tipos de aplicações, ocasionando na necessidade de

desenvolver estudos direcionados à elaboração de instrumentos que busquem à maximização dos processos de extração por ELP (Arsad et al., 2014; Debien et al., 2015).

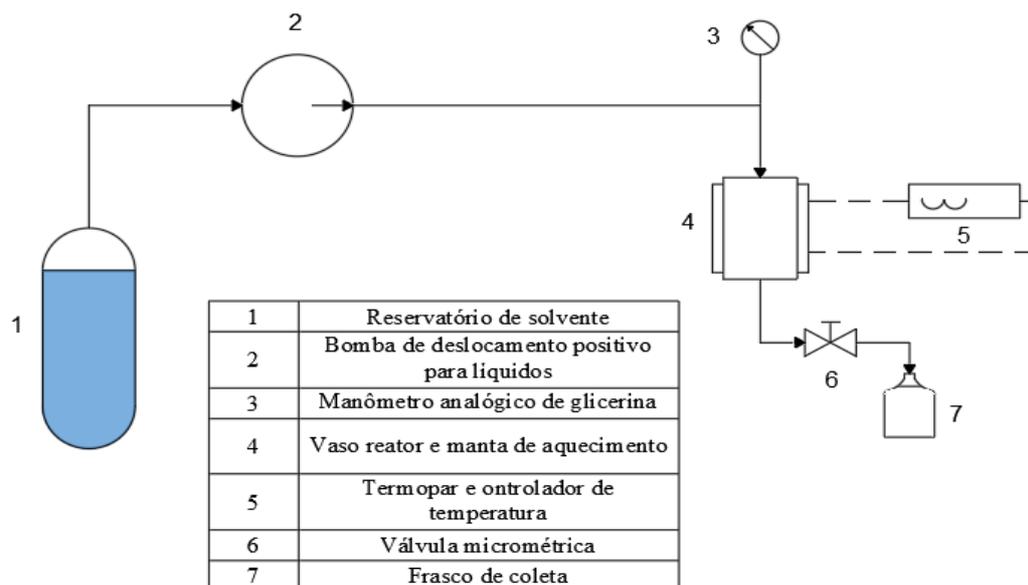
Desta forma, o objetivo deste estudo foi confeccionar uma unidade laboratorial multipropósito voltada à extração de compostos bioativos presentes em matrizes vegetais por meio de líquidos pressurizados. Ainda, com a finalidade de estabelecer a padronização e a eficiência na condução dos processos de extração, desenvolveu-se um Procedimento Operacional Padrão (POP), descrevendo detalhadamente as etapas necessárias para o uso adequado da unidade.

Material e Métodos

Descrição dos componentes

Para um adequado funcionamento da unidade destinada à extração, é fundamental que todos os componentes que compõem o sistema executem suas funções apropriadamente. A Figura 1 apresenta um diagrama esquemático da concepção do projeto e a disposição de cada um dos principais componentes da unidade.

Figura 1 – Diagrama esquemático dos principais componentes da unidade



Fonte: Autores (2020).

A célula de extração, também denominado *vaso reator*, é um dos principais componentes do sistema, bem como é o local onde o processo de extração ocorre. O vaso reator é cilíndrico e classificado como um vaso de pressão de parede grossa, ou seja, a razão de seu raio interno pela espessura de sua parede é menor que dez (Vullo, 2014). Este elemento é construído em aço inoxidável de alta resistência e baixo coeficiente de dilatação térmica, tornando-o capaz de suportar as altas pressões e temperaturas (Urade, 2015).

Ainda, as extremidades inferior e superior do vaso reator possuem aberturas com rosca interna, nas quais são acopladas duas porcas com rosca externa. Estes elementos têm o propósito de fixar os conjuntos e suporte de filtro, em que os filtros, confeccionados em metal sinterizado, nylon ou membranas de celulose, são inseridos para que ocorra o processo de extração (Santos et al., 2012). O principal objetivo dos filtros é impedir a passagem de partículas sólidas para as tubulações de entrada e saída do vaso reator, que são conectadas ao suporte dos filtros por roscas cônicas para altas pressões (Subedi et al., 2015). Também, é essencial que os filtros recebam uma vedação capaz de suportar as altas pressões de trabalho, pois em caso de vazamentos, as condições de processo não podem ser obtidas (Hoff & Pizzolato, 2018).

Além disso, a pressão manométrica na célula de extração é aferida por um manômetro analógico entre a tubulação que transporta o solvente da bomba ao suporte de filtro superior na entrada do vaso reator. Assim, desconsiderando-se a variação de altura da coluna de fluido na tubulação, a pressão indicada pelo manômetro é a mesma que a pressão no interior da célula de extração. O controle desse parâmetro é realizado por uma válvula micrométrica conectada ao suporte de filtro inferior na saída do vaso reator, a qual é operada manualmente em unidades não automatizadas (Pinto & Lanças, 2009).

Outro importante componente a ser considerado é a bomba unidirecional para líquidos, desempenhando o papel de transferir o solvente de seu recipiente de armazenamento até o interior do vaso reator através das tubulações de aço inoxidável presentes na unidade. Este equipamento conta com um orifício para a realização da purga da malha, que remove todo o ar presente nas tubulações, assim como um *display*/controlador eletrônico, que desempenha a função de exibir e controlar a vazão da bomba. Quando se deseja aumentar a pressão, o bombeamento é ligado e mais solvente é transportado ao vaso reator. Já quando se deseja

diminuir a pressão, a válvula micrométrica é aberta e é iniciado o fluxo de saída de solvente no vaso reator (Jesus et al., 2013).

Finalmente, o controle da temperatura é realizado por um controlador fixado na estrutura da unidade conectado a um termopar. No preparo da unidade para o processo de extração, o termopar e uma manta de aquecimento circular são fixados ao vaso reator. O termopar é conectado ao circuito presente no controlador de temperatura, e a manta é conectada à fonte de energia elétrica do controlador. Assim, ao ajustar a célula de extração à uma determinada temperatura, a manta recebe energia gradativamente até que o valor programado seja medido pelo termopar. Com isso, a temperatura é mantida por pequenos pulsos de energia no dispositivo de aquecimento (Trentini et al., 2020).

Procedimento de extração

A extração com líquidos pressurizados, apesar de possuir um princípio de funcionamento simples e contar com poucas variáveis de processo, necessita de uma série de cuidados e procedimentos sistemáticos para apresentar resultados operacionalmente satisfatórios e não oferecer riscos à saúde dos operadores. Desta forma, é essencial ter conhecimento acerca das etapas do processo e as funções dos componentes presentes nas unidades laboratoriais de extração.

Inicialmente, as biomassas que serão submetidas ao processo de extração passam pelos processos de secagem, moagem e granulometria, caso necessário. A seguir, insere-se a vedação do filtro inferior do vaso reator, fixando-o à unidade e permitindo a inserção de uma massa conhecida de amostra no interior do vaso reator, que é fechado pelo filtro superior com vedação na sequência (Hoff & Pizzolato, 2018). O vaso reator, então, é equipado com a manta de aquecimento e montado na própria unidade, onde são conectadas as tubulações de entrada e saída de solvente e o termopar do controlador de temperatura da unidade. Em seguida, a bomba de líquidos é ligada e inicia-se o preenchimento do vaso reator com solvente. Ao ter seu volume preenchido pelo fluido, este componente é pressurizado até o valor desejado, sendo o fluxo de solvente controlado na própria bomba e a redução de pressão controlada pela válvula micrométrica na saída do reator. Posteriormente, realiza-se o aquecimento da célula de extração até a temperatura desejada e, devido ao aumento da pressão interna pela elevação de

temperatura, a válvula micrométrica deve ser aberta, se necessário. Quando as condições de temperatura e pressão estão ajustadas, o fluido é mantido estático até um determinado período. Logo, inicia-se o fluxo do solvente por meio da abertura gradual da válvula micrométrica, mantendo a pressão sempre no valor pretendido até o final do tempo de extração. Em sequência, são cessados o bombeamento e o aquecimento, o substrato é armazenado a 5°C em frasco âmbar e é efetuada a purga do sistema. Em conclusão, após o resfriamento, o vaso reator é desmontado e a biomassa é armazenada para análises subsequentes (Santos et al., 2012).

Ensaio preliminares

Previamente, realizou-se um estudo para a ordenação e disposição dos componentes, tal como a elaboração de um fluxograma estrutural da unidade laboratorial multipropósito para extração de compostos bioativos de matrizes vegetais (Figura 1).

Assim que o projeto de sistematização do equipamento foi concluído, procedeu-se a etapa de montagem. Para a montagem da unidade multipropósito, foram utilizados os instrumentos e ferramentas apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Instrumentalização aplicada na operação de montagem da unidade.

Item	Descrição	Quantidade	Item	Descrição	Quantidade
1	Barras de alumínio de perfil quadrado 30x30 mm	3	8	Válvula micrométrica de aço inox	1
2	Tubulação de aço inox 1/8''	1	9	Manômetro analógico de glicerina (0 – 250 bar)	1
3	Tubulação de aço inox 1/16''	2	10	Bomba de deslocamento positivo para líquidos	1
4	Cantoneiras	11	11	Controlador de temperatura	1
5	Parafusos	22	12	Manta de aquecimento (1500W)	1
6	Arruelas	22	13	Reator de aço inox 316L	3

7	Porcas	22	14	Reservatório para solventes	1
---	--------	----	----	-----------------------------	---

Fonte: Autores (2020).

A primeira etapa constituiu-se da montagem e construção da base fixa da unidade, cuja função é o apoio e distribuição dos equipamentos. As medições foram realizadas por meio do uso de trenas e os cortes das barras de alumínio foram efetuados com serra manual. Definidas as dimensões e efetuados os cortes, as barras foram unidas por cantoneiras, parafusos e porcas em formato de cabeça de martelo para que ocorra, durante o encaixe entre a cantoneira e a barra de alumínio, a união por pressão, permitindo que a base suportasse o peso dos equipamentos acoplados à unidade.

Em seguida, as tubulações foram posicionadas sobre os perfis metálicos, com o propósito de identificar o comprimento e as proporcionalidades necessárias para que ela estivesse perfeitamente alinhada à bomba e ao extrator de aço inox. A tubulação, composta por tubos de aço inox 316L, foi segmentada e modelada através do uso de uma serra manual e um dobrador de tubos. Prontamente, o acabamento foi processado aplicando-se limas para corrigir as imperfeições resultantes do corte. Uma vez corrigidas, as anilhas, as porcas, o manômetro e a válvula micrométrica foram acopladas ao sistema.

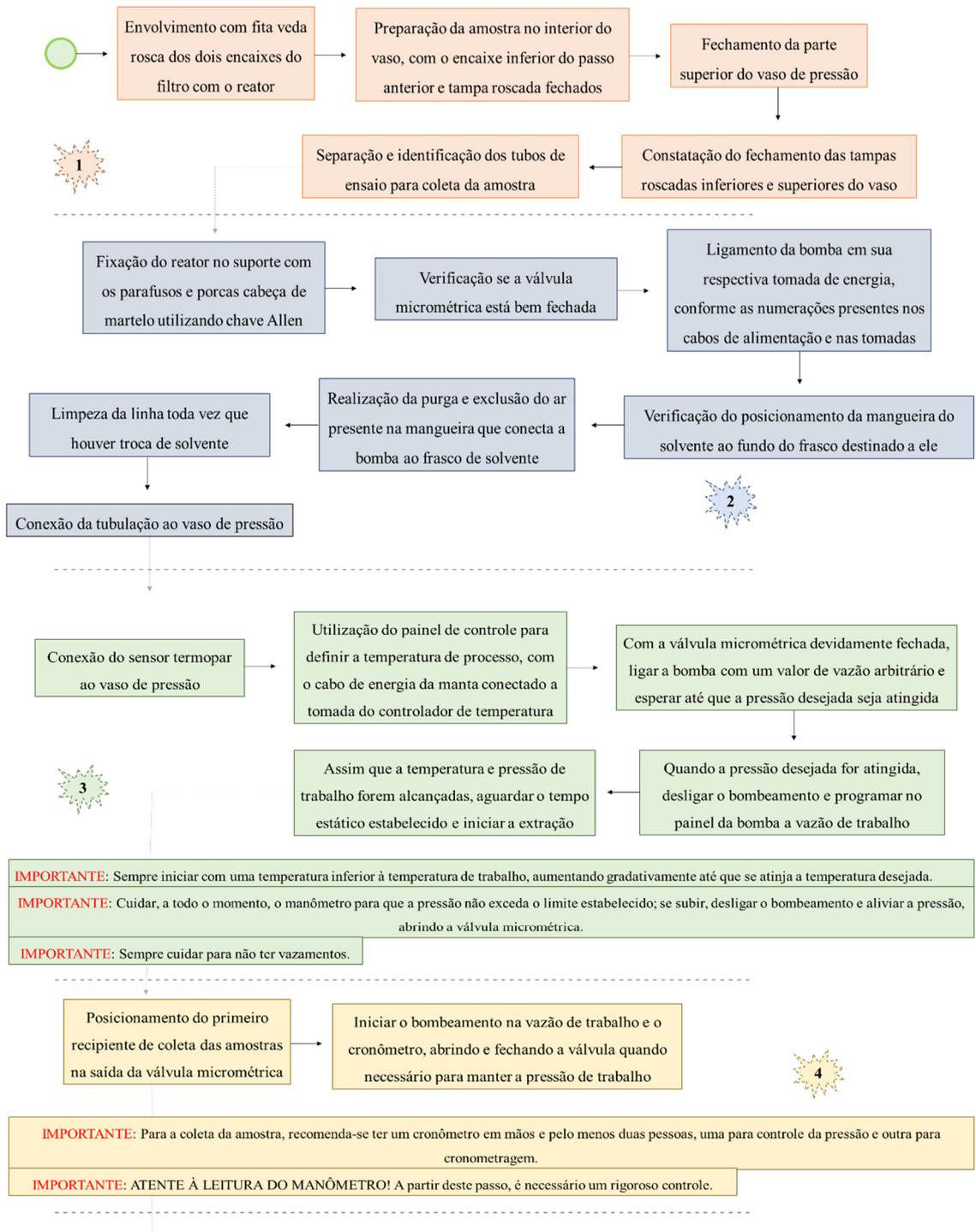
Finalmente, a última etapa consistiu na montagem do quadro elétrico na estrutura da unidade com a instalação elétrica do controlador de temperatura, utilizado para manter a manta de aquecimento na temperatura desejada. Assim que o procedimento de montagem foi concluído, foram conduzidos ensaios de extração com diferentes matrizes vegetais, com a finalidade de validar o seu funcionamento. Desta forma, foram verificados vazamentos nas conexões, tubulações e válvulas e o desempenho da bomba de deslocamento positivo. Como biomassa inicial para o desenvolvimento dos testes, utilizou-se folhas de *Senecio brasilienses*, popularmente denominada *maria-mole*, e as temperaturas e pressões adotadas foram de 45°C e 150 bar, respectivamente.

Procedimento Operacional Padrão (POP)

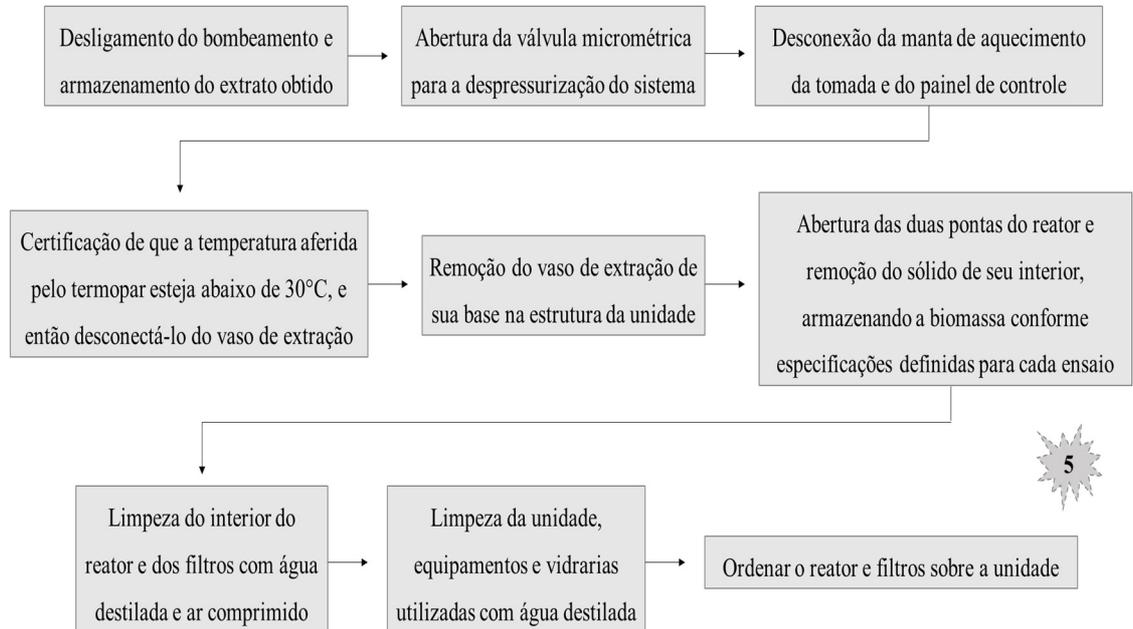
Após os ensaios realizados para a verificação da performance da unidade, elaborou-se pela listagem de todos os passos realizados pelos operadores da unidade para a realização do

processo de extração. De modo a descrever detalhadamente as etapas operacionais realizadas e padronizar o processo com a finalidade de assegurar qualidade e eficiência durante a técnica adotada, foi desenvolvida a ferramenta do procedimento operacional padrão (POP). Entre os principais objetivos desta técnica, destacam-se a padronização dos processos operacionais, a garantia da segurança dos usuários e a instrução dos operadores na solução de problemas que possam surgir durante a realização dos ensaios experimentais. Desse modo, o planejamento das instruções necessárias para a adoção adequada do equipamento é demonstrado na Figura 2. O POP desenvolvido para este estudo abrangeu 5 etapas de processamento: 1 – preparo da amostra, 2 – montagem do reator, 3 – processo de extração, 4 – coleta da amostra e 5 – finalização e limpeza da unidade multipropósito.

Figura 2 – Descrição das etapas referentes ao Procedimento Operacional Padrão (POP) desenvolvido para o estudo



Continuação...



IMPORTANTE: Se os filtros não estiverem muito sujos, a sua limpeza pode ser feita apenas quando houver troca de matéria-prima

Fonte: Autores (2020).

Integralização da unidade multipropósito

Após o desenvolvimento dos testes preliminares com o objetivo de validar o funcionamento do equipamento e do cumprimento do POP, finalizou-se a unidade multipropósito. A ilustração referente à representação da unidade multipropósito (a) e com foco na célula de extração ou *vaso reator* (b) é apresentada na Figura 3. Para a extração com o uso de líquidos pressurizados, sugere-se que a operação envolva temperaturas na faixa entre 30°C e 90°C, além de pressão máxima de 250 MPa e vazão volumétrica máxima de 10 mL/ min.

Figura 3 – Representação da unidade multipropósito desenvolvida a nível laboratorial para a extração com líquidos pressurizados



Fonte: Autores (2020).

146

Conclusões

A extração com líquidos pressurizados é uma técnica capaz de extrair uma grande variedade de compostos bioativos presentes em matrizes vegetais. A combinação de altas temperaturas e pressões possibilitam alta eficiência no que se refere às propriedades de extração de vários solventes utilizados para este procedimento. Desta forma, este estudo desenvolveu uma unidade multipropósito destinada à extração de compostos presentes em matérias-primas vegetais. Como ensaio experimental, a performance do procedimento em folhas de *Senecio brasiliensis* foi eficiente, validando o seu funcionamento e corroborando o uso deste tipo de equipamento como uma importante e acessível ferramenta a ser aplicada em diversas matrizes vegetais. Por fim, o cumprimento do POP, estabelecido para a correta condução das etapas necessárias para o uso da unidade, foi eficaz, demonstrando a importância do uso desta metodologia em processos de extração realizados por unidades multipropósito.

Referências

- ANDREU, V.; PICÓ, Y. Pressurized liquid extraction of organic contaminants in environmental and food samples. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 118, p. 709–721, 2019.
- ARSAD, A. B.; DANLAMI, J. M.; ZAINI, M. A. A.; SULAIMAN, H. A comparative study of various oil extraction techniques from plants. **Reviews in Chemical Engineering**, v. 6, p. 605-626, 2014.
- BARBOSA, A. M.; SANTOS, K.; SILVA, A. V. C.; MENDONÇA, F. M. R.; PINHEIRO, M. S.; FRANCESCHI, E.; DARIVA, C.; PADILHA, F. F. Separation of antibacterial biocompounds from *Hancornia speciosa* leaves by a sequential process of pressurized liquid extraction. **Separation and Purification Technology**, v. 222, 2019.
- BARRALES, F. M.; SILVEIRA, P.; BARBOSA, P. de P. M.; RUVIARO, A. R.; PAULINO, B. N.; PASTORE, G. M.; MACEDO, G. A.; MARTÍNEZ, J. Recovery of phenolic compounds from citrus by-products using pressurized liquids — an application to orange peel. **Food and Bioproducts Processing**, v. 112, 2018.
- CAMEL, V. Recent extraction techniques for solid matrices—supercritical fluid extraction, pressurized fluid extraction and microwave-assisted extraction: their potential and pitfalls. **Analyst**, v. 126, p. 1182-1193, 2001.
- CENI, G.; MORES, R.; ORO, C. E. D.; DENTI, A. F.; TRES, B. P.; VENQUIARUTO, L. D.; DALLAGO, R. M.; STEFFENS, J.; ZABOT, G. L.; TRES, M. V. Addition of hydrogen peroxide in electrocoagulation of dairy liquids. **Biointerface Research in Applied Chemistry**, v. 10, p. 5978-5985, 2020.
- DEBIEN, I. C. N.; VARDANEGA, R.; SANTOS, D. T.; MEIRELES, M. A. A. Pressurized liquid extraction as a promising and economically feasible technique for obtaining beta-ecdysone-rich extracts from Brazilian ginseng (*Pfaffia glomerata*) roots. **Separation Science and Technology**, v. 50, p. 1647-1657, 2015.
- DUARTE, K.; JUSTINO, C. I. L.; GOMES, A. M.; ROCHA-SANTOS, T.; DUARTE, A. C. Green analytical methodologies for preparation of extracts and analysis of bioactive compounds. **Comprehensive Analytical Chemistry**, v. 65, p. 59-78, 2014.
- FENG, J.; REN, H.; GOU, Q.; ZHU, L.; JI, H.; YI, T. Comparative analysis of the major constituents in three related polygonaceous medicinal plants using pressurized liquid extraction and HPLC-ESI/MS. **Analytical Methods**, v. 8, 2016.
- FERNÁNDEZ-PONCE, M. T.; PARJIKOLAEI, B. R.; LARI, H. N.; CASAS, L.; MANTELL, C.; OSSA, E. J. M. de la. Pilot-plant scale extraction of phenolic compounds from mango leaves using different green techniques: Kinetic and scale up study. **Chemical Engineering Journal**, v. 299, p. 420-430, 2016.
- HIRONDART, M.; ROMBAUT, N.; FABIANO-TIXIER, A.; BILY, A.; CHEMAT, F. Comparison between pressurized liquid extraction and conventional Soxhlet extraction for rosemary antioxidants, yield, composition, and environmental footprint. **Foods**, v.584, 2020.

HOFF, R. B.; PIZZOLATO, T. M. Combining extraction and purification steps in sample preparation for environmental matrices: A review of matrix solid phase dispersion (MSPD) and pressurized liquid extraction (PLE) applications. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 109, p. 83–96, 2018.

JESUS, A. A. de; ALMEIDA, L. C.; SILVA, E. A. da; FILHO, L. C.; EGUES, S.; FRANCESCHI, E.; FORTUNY, M.; SANTOS, A.; ARAUJO, J.; SOUSA, E. M. D. B.; DARIVA, C. Extraction of palm oil using propane, ethanol and its mixtures as compressed solvent. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 81, p. 245-253, 2013.

LI, Y.; MICHELS, R.; MANSUY, L.; FLECK, S.; FAURE, P. Comparison of pressurized liquid extraction with classical solvent extraction and microwave-assisted extraction—application to the investigation of the artificial maturation of Mahakam coal. **Fuel**, v. 81, p. 747–755, 2002.

LI, Q.; KAMAL, R.; CHU, Y.; WANG, Q.; YU, X.; HUANG, Q. Automated pressurized liquid extraction of microbial lipids from oleaginous yeasts. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 192, p. 283-295, 2020.

MACHADO, A. P. D. F.; PASQUEL-REÁTEGUI, J. L.; BARBERO, G. F.; MARTÍNEZ, J. Pressurized liquid extraction of bioactive compounds from blackberry (*Rubus fruticosus* L.) residues: a comparison with conventional methods. **Food Research International**, v. 77, p. 675–683, 2015.

MOREAU, R. A.; POWELL, M. J.; SINGH, V. Pressurized liquid extraction of polar and nonpolar lipids in corn and oats with hexane, methylene chloride, isopropanol, and ethanol. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 80, p. 1063-1067, 2003.

OTERO, P.; QUINTANA, S. E.; REGLERO, G.; FORNARI, T.; GARCÍA-RISCO, M. R. Pressurized liquid extraction (PLE) as an innovative green technology for the effective enrichment of galician algae extracts with high quality fatty acids and antimicrobial and antioxidant properties. **Marine Drugs**, v. 16, 2018.

PEREIRA, D. T. V.; TARONE, A. G.; CAZARIN, C. B. B.; BARBERO, G. F.; MARTÍNEZ, J. Pressurized liquid extraction of bioactive compounds from grape marc. **Journal of Food Engineering**, v. 240, p. 105-113, 2019.

PINTO, J.; LANÇAS, F. Design, construction and evaluation of a simple pressurized solvent extraction system. **Journal of The Brazilian Chemical Society**, v. 20, 2009.

PORTILHO TRENTINI, C. et al. Crambe seed oil: Extraction and reaction with dimethyl carbonate under pressurized conditions. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 159, p. 104780, 2020.

RAUT, P.; BHOSLE, D.; JANGHEL, A.; DEO, S.; VERMA, C.; KUMAR, S.; AGRAWAL, M.; AMIT, N.; SHARMA, M.; GIRI, T.; TRIPATHI, D. K.; AJAZ, A.; ALEXANDER, A. Emerging pressurized liquid extraction (PLE) techniques as an innovative green technologies for the effective extraction of the active phytopharmaceuticals. **Research Journal of Pharmacy and Technology**, v. 8, 2015.

RODRIGUES, G. de M.; CARDOZO-FILHO, L.; SILVA, C. da. Pressurized liquid extraction of oil from soybean seeds. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 95, p. 2383-2389, 2017.

SANTOS, D. T.; VEGGI, P. C.; MEIRELES, M. A. A. Optimization and economic evaluation of pressurized liquid extraction of phenolic compounds from jaboticaba skins. **Journal of Food Engineering**, v. 108, n. 3, p. 444-452, 2012.

SANTOS, M. S. N. dos; ZABOT, G. L.; MAZUTTI, M. A.; TRES, M. V. Potential applications of pecan residual biomasses: a review. **Biointerface Research in Applied Chemistry**, v. 10, p. 5524-5531, 2020.

SUBEDI, B.; AGUILAR, L.; ROBINSON, E. M.; HAGEMAN, K. J.; BJÖRKLUND, E.; SHEESLEY, R. J.; USENKO, S. Selective pressurized liquid extraction as a sample-preparation technique for persistent organic pollutants and contaminants of emerging concern. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 68, p. 119-132, 2015.

TRENTINI, C. P.; MELLO, B. T. F. de; CABRAL, V. F.; SILVA, C. da. Crambe seed oil: extraction and reaction with dimethyl carbonate under pressurized conditions. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 159, 2020.

URADE, S. Stress Analysis of Multilayer Pressure Vessel. **Journal of Applied Mechanical Engineering**, v. 4, 2015.

USENKO, S.; SUBEDI, B.; AGUILAR, L.; ROBINSON, E. High-throughput analysis of PPCPs, PCDD/Fs, and PCBs in biological matrices using GC-MS/MS. **Comprehensive Analytical Chemistry**, v. 61, p. 143-168, 2013.

VAZQUEZ-ROIG, P; PICÓ, Y. Pressurized liquid extraction of organic contaminants in environmental and food samples. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 71, 2015.

VIGANÓ, J.; BRUMER, I. Z.; BRAGA, P.; SILVA, J. K. da; JUNIOR, M. M.; REYES, F. G. R.; MARTÍNEZ, J. Pressurized liquids extraction as an alternative process to readily obtain bioactive compounds from passion fruit rinds. **Food and Bioproducts Processing**, v. 100, p. 382-390, 2016.

VULLO, Vincenzo. **Circular cylinders and pressure vessels: stress analysis design**. Roma: Springer International Publishing, 2014. 388p.