



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

JOSÉ ALEXANDRE DE OLIVEIRA VIANA

**MÉTODOS DE OTIMIZAÇÃO DOS PROCESSOS DE EXTRAÇÃO DE ÓLEOS
ESSENCIAIS: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

PAU DOS FERROS

2021

JOSÉ ALEXANDRE DE OLIVEIRA VIANA

**MÉTODOS DE OTIMIZAÇÃO DOS PROCESSOS DE EXTRAÇÃO DE ÓLEOS
ESSENCIAIS: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Tycianne Janyenne de Oliveira Cabral

PAU DOS FERROS

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

V614m Viana, José Alexandre de Oliveira.
Métodos de otimização dos processos de extração
de óleos essenciais: uma revisão de literatura /
José Alexandre de Oliveira Viana. - 2021.
59 f. : il.

Orientador: Tycianne Janyne de Oliveira
Cabral.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2021.

1. Óleos essenciais. 2. Métodos de extração. 3.
Otimização de processos. I. Cabral, Tycianne
Janyne de Oliveira, orient. II. Título.

JOSÉ ALEXANDRE DE OLIVEIRA VIANA

**MÉTODOS DE OTIMIZAÇÃO DOS PROCESSOS DE EXTRAÇÃO DE ÓLEOS
ESSENCIAIS: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado, a Universidade Federal
Rural do Semi-Árido - UFERSA,
Campus Pau dos Ferros, como requisito
para a obtenção do título de Bacharel
Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

DATA DE APROVAÇÃO 28/05/2021.

BANCA EXAMINADORA

TYCIANNE JANYNNE DE
OLIVEIRA
CABRAL:09381932441

Assinado de forma digital por
TYCIANNE JANYNNE DE OLIVEIRA
CABRAL:09381932441
Dados: 2021.05.31 12:31:47 -03'00'

Prof.^a Dr.^a Tycianne Janyne de Oliveira Cabral (UFERSA)
Presidente

ADLLER DE OLIVEIRA
GUIMARAES:0761421
6458

Assinado de forma digital por
ADLLER DE OLIVEIRA
GUIMARAES:07614216458
Dados: 2021.05.31 12:32:47 -03'00'

Prof. Dr. Ádller de Oliveira Guimarães (UFERSA)
Membro Examinador

SANDERLIR SILVA
DIAS:83276688387

Assinado de forma digital por
SANDERLIR SILVA
DIAS:83276688387
Dados: 2021.05.31 13:52:30 -03'00'

Prof.^a Dr.^a Sanderlir Silva Dias (UFERSA)
Membro Examinador

Dedico aos meus avós paternos José Alexandre Neto e Maria Neves Viana, apesar de não estarem presentes fisicamente, estão comigo a todo momento, em pensamento.

Dedico, com todo carinho e amor, à minha família, que apesar de todos os pesares, estiveram ao meu lado, me apoiando nos estudos, como também, na conclusão deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus, por me guiar, por me dar sabedoria, coragem e perseverança para que eu pudesse concluir mais essa fase em minha vida.

Ao meu pai, Orlando, que, desde sempre, me apoiou em todas as minhas decisões nos estudos e na vida. Obrigado!

À minha mãe, Vera, e meu irmão, Vinícius, por estarem ao meu lado e pensarem sempre no meu melhor.

À minha companheira de vida, Marcikele. Um presente que Deus colocou em minha vida para me ajudar e apoiar. Sem teu esforço e encorajamento, não seria possível completar mais essa fase.

À Prof.^a Dr.^a Tycianne Janyne de Oliveira Cabral pelas orientações, disponibilidade, apoio, esforço e ajuda em todo o processo construtivo deste trabalho. Muito obrigado!

À todos os profissionais da UFERSA – Campus Pau dos Ferros que estiveram sempre presentes e atentos em ajudar, apoiar em qualquer necessidade existente. Em especial, aos docentes, que foram indispensáveis nesse processo, passando seus conhecimentos, buscando o melhor para os discentes.

RESUMO

Óleos essenciais são compostos naturais líquidos, voláteis e complexos retirados de plantas aromáticas que evaporam à temperatura ambiente e que têm em sua estrutura componentes como ésteres, fenilpropanonas, álcoois e hidrocarbonetos. Possui aplicabilidade diversa em várias áreas, como na indústria de cosméticos, perfumaria e farmacêutica. Para extração de óleos essenciais, alguns processos podem ser utilizados, como a extração por fluidos supercríticos, hidrodestilação e com uso de solventes orgânicos. Na busca de um melhor rendimento de extração em um menor tempo, a procura por métodos de otimização, como metodologia de superfície de resposta, redes neurais artificiais e algoritmo genéticos têm sido utilizadas. Desse modo, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão de literatura sobre a utilização de métodos de otimização de extração de óleos essenciais, analisando as técnicas de extração mais utilizadas, o desempenho dos métodos de otimização no processo de extração a partir de um levantamento de trabalhos realizados entre os anos de 2010 e 2020. Após analisar os trabalhos revisados nessa pesquisa, verificou-se que a técnica de fluídos supercríticos foi a mais utilizadas para a extração de óleos essenciais e o método da metodologia de superfície de resposta foi mais utilizado para a otimização de processos de extração. A comparação entre os métodos de otimização analisados mostrou que todos possuem confiabilidade e apresentam resultados positivos em seus estudos. Portanto, a presente revisão de literatura se mostrou importante tanto para a indústria de óleos essenciais como para o avanço de novas pesquisas acadêmicas, fornecendo informações para o melhoramento dos rendimentos de extração.

Palavras-chave: Óleos essenciais. Métodos de extração. Otimização de processos.

ABSTRACT

Essential oils are liquid, volatile and complex natural compounds taken from aromatic plants that evaporate at room temperature and have in their structure components such as esters, phenylpropanes, alcohols and hydrocarbons. It has diverse applicability in several areas, such as in the cosmetics, perfumery and pharmaceutical industry. For the extraction of essential oils, some processes can be used, such as extraction by supercritical fluids, hydrodistillation and with the use of organic solvents. In the search for a better extraction yield in a shorter time, the search for optimization methods such as response surface methodology, artificial neural networks and genetic algorithm have been used. Thus, the present work aims to conduct a literature review on the use of methods of optimization of extraction of essential oils, analyzing the most used extraction techniques, the performance of optimization methods in the extraction process from a survey of studies carried out between the years 2010 and 2020. After analyzing the studies reviewed in this research, it was found that the supercritical fluid technique was the most used for the extraction of essential oils and the method of the response surface methodology was more used for the optimization of extraction processes. The comparison between the optimization methods analyzed showed that all have reliability and present positive results in their studies. Therefore, this literature review proved to be important both for the essential oil industry and for the advancement of new academic research, providing information for the improvement of extraction yields.

Keywords: Essential oils. Extraction methods. Process optimization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Origem dos terpenóides	17
Figura 2	–	Extração por arraste a vapor.....	19
Figura 3	–	Sistema de extração por hidrodestilação.....	20
Figura 4	–	Sistema de extração com solventes (SOXHLET).....	20
Figura 5	–	Sistema de extração por fluído supercrítico.....	21
Figura 6	–	Modelagem das Redes Neurais Artificiais (RNA).....	25
Figura 7	–	Gráfico genérico gerado pelo resultado da MSR.....	27
Figura 8	–	Fluxograma genérico de um algoritmo genético.....	27
Figura 9	–	Fluxograma do processo de seleção dos trabalhos	31
Figura 10	–	Quantidades de publicações encontradas em cada ano.....	38
Figura 11	–	Técnicas de extração utilizadas nos trabalhos.....	40
Figura 12	–	Quantidade de trabalhos encontrados de cada método de otimização.....	47
Figura 13	–	Resultados obtidos de acordo com os trabalhos encontrados em cada método.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Os 18 principais óleos essenciais no mercado mundial.....	23
Tabela 2	– Levantamento de trabalhos sobre métodos de otimização da extração de óleos essenciais.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RNA	Redes Neurais Artificiais
MSR	Metodologia de Superfície de Resposta
OE	Óleo Essencial
SOXHLET	Extração com Solventes
EFS	Extração por Fluídos Supercríticos
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
TDM	Transtorno Depressivo Maior
IA	Inteligência Artificial
SCIELO	Scientific Eletronic Library Online
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
AGs	Algoritmos Genéticos

LISTA DE UNIDADES

%	Porcento
g	Gramas
MPa	Mega Pascal
mL	Mililitros
L	Litros
mm	Milímetros
kg	Kilograma
K	Kelvin
°C	Graus Celsius
min	Minutos
h	Hora

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	17
2.1	Geral	17
2.2	Específicos	17
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
3.1	Óleos essenciais.....	18
3.1.1	Principais técnicas de extração de óleos essenciais.....	19
3.1.2	Principais óleos essenciais produzidos mundialmente.....	23
3.1.3	Aplicações dos óleos essenciais.....	24
3.2	Métodos de otimização de extração de óleos essenciais.....	25
3.2.1	Redes Neurais Artificiais	25
3.2.2	Planejamento experimental	27
3.2.3	Algoritmo genético	28
4	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	30
5	RESULTADOS	32
5.1	Principais métodos de otimização para a extração de óleos essenciais	32
5.1.1	Metodologia de Superfície de Resposta (MSR)	32
5.1.2	Redes Neurais Artificiais (RNA)	34
5.1.3	Algoritmo Genético	35
5.1.4	Estudos comparativos entre as técnicas de Redes Neurais Artificiais e Metodologia de Superfície de Resposta.....	36
6	DISCUSSÕES.....	38
6.1	Publicações encontradas em cada ano	38
6.2	Locais de origem das matérias primas utilizadas	39
6.3	Principais técnicas utilizadas para a extração de óleos essenciais	39
6.4	Principais parâmetros estudados em cada técnica de extração de óleo essencial	40
6.5	Comparação entre os resultados dos trabalhos analisados	41
7	CONCLUSÕES	50
	REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

Desde o princípio, o homem faz o uso de plantas para extração de produtos de fontes naturais. Com a evolução da sociedade, houve um aumento no interesse por substâncias naturais e vários estudos nessa área de estudo foram aperfeiçoados com o tempo (CUNHA, 2005).

No Brasil, assim como em todo o mundo, a química de produtos naturais se desenvolveu bastante, levando considerações bem abrangentes em diversas áreas de atuação (BERLINCK, 2020). Nesse contexto, os óleos essenciais destacam-se como sendo compostos naturais líquidos, voláteis e complexos retirados de plantas aromáticas (MACHADO; JUNIOR, 2011), que evaporam à temperatura ambiente e que têm em sua estrutura componentes como ésteres, fenilpropanonas, álcoois e hidrocarbonetos (SANTOS; ALVES; NETO, 2004).

Para extração de óleos essenciais alguns processos podem ser realizados, como a extração a vapor (BIZZO, 2009). A hidrodestilação, por exemplo, é um processo utilizado em escala laboratorial muito usado para extração de óleo essencial, caracterizando-se como um método em que a espécie vegetal a ser estudada é completamente imersa em água a uma temperatura abaixo de 100°C. Com isso, os compostos voláteis, que são termicamente sensíveis, podem ser preservados (MACHADO; JUNIOR, 2011). O modelo da hidrodestilação é o método mais utilizado para a extração de óleos essenciais, de forma geral. A coleta do óleo extraído deve ser realizada continuamente, sendo necessária a operação do manipulador por várias vezes. Na busca por uma liberação menor de voláteis e na procura de minimizar os erros no processo operacional, foi desenvolvido o circuito fechado. (SANTOS; ALVES; NETO, 2004).

Oliveira *et al.* (2012) conseguiu realizar a extração do óleo essencial da menta em um curto tempo. Através do estudo do tempo de extração, obtiveram que o melhor resultado foi obtido no tempo de 60 minutos, no qual foi extraído 0,5mL de óleo.

Após ser extraído, o óleo essencial possui várias aplicações, como no combate a patologias ou alterações no organismo humano, desordens menstruais, problemas digestivos, dores e disfunções, depressão, ansiedade, insônia, cansaço físico e mental (MARTINS, 2015). Os óleos essenciais possuem uma forte importância no ramo industrial, sendo os principais componentes utilizados em diversas aplicações. Além disso, possui aplicabilidade na área da indústria cosmética, de perfumaria, farmacêutica e alimentícia (TRANCOSO, 2013).

O processo de extração é influenciado por alguns parâmetros, como a pressão e o tempo. Nesse sentido, há a necessidade da otimização dos parâmetros operacionais para garantir uma extração com um alto rendimento e com um óleo essencial de qualidade (ROCHA, 2006). Jesus, Ellensohn e Barin (2007) observaram a otimização do método analítico na extração do óleo essencial de *Melaleuca Alternifolia* em uma empresa de Viçosa-MG. Obtiveram resultados satisfatórios no estudo, comprovando a qualidade do óleo essencial obtido e melhora do processo de extração, com uma significativa economia de tempo e dinheiro na produção.

Alguns fatores afetam o resultado da produção de óleos essenciais, como fatores ambientais presentes no local e fatores genéticos da planta. Outros aspectos influenciam no rendimento do óleo essencial, como o método utilizado na extração e o tempo que foi necessário no processo (OLIVEIRA *et al.*, 2012). Para uma otimização de todo o processo de extração de óleos essenciais, a inteligência artificial (IA) vem sendo utilizada. Nesse contexto, as Redes Neurais Artificiais (RNA) ganham destaque, as quais têm origem teórica referente aos modelos matemáticos e da engenharia que podem ser encontrados e estudados nos neurônios biológicos (KOVÁCS, 2006).

Redes Neurais Artificiais podem ser definidas como uma estrutura computacional com inspirações biológicas, com representação através de computadores de uma conexão existentes entre variados neurônios artificiais. Possui divisões em camadas, todas elas compostas por neurônios que são ligados por conexões com objetivo de simular uma conexão sináptica (CAROSIA, 2019). Haykin (2001) evidencia que as Redes Neurais são capazes de resolver problemas complexos, de grande escala, devido duas características: a estrutura maciçamente e paralelamente distribuída de neurônios e a facilidade e habilidade de aprender, podendo generalizar os dados e conseguir produzir saídas adequadas para entradas que não estavam no processo de aprendizagem.

Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) é definida como uma técnica estatística utilizada para a resolução, a partir da modelagem e análise de problemas que possuem respostas influenciadas por vários fatores, tendo como objetivo a otimização desse processo e uma consequente resposta (COMPARINI; *et al*, 2012).

Baseados nos mecanismos de seleção natural e da genética, os algoritmos genéticos são algoritmos de otimização global baseados no princípio de Darwin, que trata da sobrevivência dos que melhores se adaptarem. Apresentam uma estratégia aleatória de busca, mas sendo paralela, estruturada e adaptativa, na busca por pontos ótimos para o resultado

final. Possuem um princípio de transformar a população estudada por meio de várias gerações até encontrar os melhores valores possíveis (PACHECO, 1999).

Desse modo, o referente trabalho buscou realizar uma revisão literária voltada para a aplicação de métodos de otimização do processo de extração de óleos essenciais, uma vez que essa área vem mostrando grande crescimento e diversos estudos vêm sendo realizados para otimizar os sistemas e melhorar os processos de extração dessas substâncias.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Realizar uma revisão de literatura sobre a utilização de métodos de otimização para a extração de óleos essenciais.

2.2 Específicos

- Analisar as técnicas mais utilizadas para a extração de óleos essenciais;
- Analisar os principais locais de origem das matérias-primas utilizadas nas pesquisas.
- Analisar quais foram os principais parâmetros otimizados nos trabalhos;
- Analisar o desempenho de métodos de otimização na extração de óleos essenciais;
- Discutir se os resultados obtidos nos trabalhos selecionados na pesquisa possuem resultados satisfatórios.
- Comparar o desempenho dos métodos de otimização estudados.

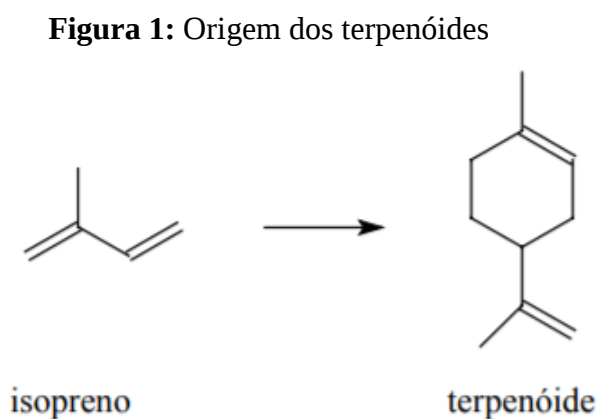
3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Óleos essenciais

Existem vários registros antigos da produção e utilização de óleos essenciais. Fatos mostram que o povo egípcio foram os primeiros a fazerem uso dos óleos essenciais para aromatização e terapia pessoal por volta de 1553 a.C. Além deles, os chineses, mestres no uso de plantas aromáticas, também utilizavam óleos essenciais há um longo tempo. (VASCONCELLOS, 2017).

Óleos essenciais são compostos líquidos voláteis extraídos de plantas aromáticas (MORAES, 2017). Esses são formados por várias substâncias, como fenilpropanóides, ésteres, sesquiterpenos e monoterpenos. Além desses constituintes, os óleos são formados por vários outros componentes de baixo peso molecular que, juntos, têm função de promover a particularidade a cada óleo (CRAVEIRO; QUEIROZ, 1993).

Na grande maioria, os óleos essenciais são constituídos de derivados de terpenóides, os mais preponderantes. Os terpenóides são compostos metabólicos secundários, com origem explicada através do metabolismo da glicose, que derivam de unidades de isopreno (LUPE, 2007), o que pode ser observado na Figura 1.



Fonte: Lupe (2007)

Lupe (2007) complementa que as condições ambientais afetam a composição química dos óleos essenciais, podendo, assim, serem modificados. Em regiões chuvosas, os óleos essenciais podem apresentar composições químicas diferentes de óleos essenciais extraído de plantas retiradas de locais secos.

Por possuírem grande importância na área terapêutica e econômica, os óleos essenciais vêm despertando interesse em várias empresas, como a farmacêutica, cosmética, dentre outras. A fabricação e comercialização dos óleos são atividades rentáveis, e assim, estão se expandindo rapidamente e que possuem investimentos iniciais relativamente baixos (PINHEIRO, 2003).

No Brasil, pesquisas voltadas para o conhecimento da flora nativa e sobre o rendimento e composição de OEs começaram a ser desenvolvidas em 1847, pelo farmacêutico alemão Theodor Peckolt. No entanto, apenas em 1925 que as atividades industriais na área começaram a ser desenvolvidas, voltadas para a extração do óleo essencial de pau-rosa (*Aniba rosaeodora*). O desenvolvimento da indústria nacional se deu somente ao final da década de 30, com a ampliação do número de espécies exploradas, passando, assim, a ser uma alternativa para o mercado internacional, apresentando mais variedades de óleos essenciais (AZAMBUJA, 2020).

O Brasil aparece em posição de destaque com relação à produção mundial de OEs, muito por conta dos óleos essenciais críticos, subprodutos da indústria de sucos. Porém, sofre de vários problemas considerados crônicos, como a falta de procura pela manutenção do padrão de qualidade desejada e também o baixo investimento governamental para incentivo à produção no setor, caracterizando-se como exemplos de condições que contribuem para a situação estacionária do país. (BIZZO; HOVELL; REZENDE, 2009).

3.1.1 Principais técnicas de extração de óleos essenciais

Com o aumento da procura por óleos essenciais extraídos a partir de matéria-prima vegetal, a busca por novos processos de extração também aumentou, visando encontrar novos métodos que fossem mais eficientes e eficazes, com maior qualidade e menor custo (SARTOR, 2009).

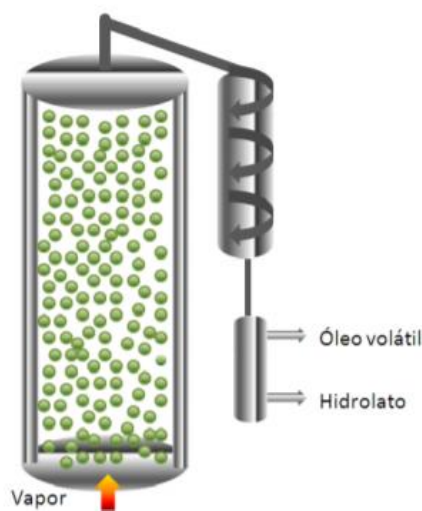
Os óleos essenciais podem ser encontrados em várias partes da planta aromática e assim, o método de extração deve ser específico para cada tipo de material vegetal. Deste modo, o método para realizar a retirada do óleo da matéria-prima deve ser diferenciado para cada espécie e parte da planta. As características químicas presentes nos óleos essenciais também podem ser influenciadas de acordo com o método realizado, podendo interferir na qualidade final (MEZZOMO, 2015). Com isso, o método de extração deve ser escolhido objetivando um processo com altos rendimentos e uma alta qualidade dos produtos (FIGUEIREDO; PEDRO; BARROSO, 2014).

Silveira *et al.* (2012) relatam que existem vários processos para extração de óleos essenciais oriundos de plantas aromáticas, sendo os mais empregados: a destilação por arraste a vapor, hidrodestilação, extração por solventes orgânicos e a extração através de fluídos supercríticos.

Na destilação por arraste a vapor, a matéria-prima vegetal fica inserida no equipamento por um determinado tempo, controlando-se a temperatura. Ao final do processo de destilação, o óleo essencial que foi extraído é separado do condensador. Nessa destilação, o vapor d'água entra em contato com o material vegetal e arrasta os elementos voláteis presente. Cada processo possui suas particularidades e, com isso, as variáveis aplicadas no método mudam (PATIÑO; SAAVEDRA; MARTINEZ, 2014).

Na Figura 2 a seguir, podemos observar como ocorre o processo de extração por arraste a vapor.

Figura 2: Extração por arraste a vapor

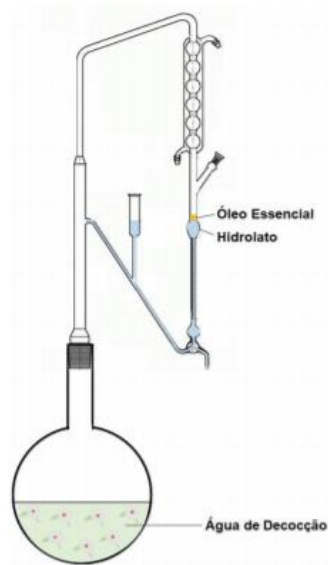


Fonte: LEAL (2008)

A hidrodestilação é uma técnica muito antiga de extração de óleo essencial, porém continua sendo bastante utilizada no meio laboratorial, principalmente em países mais atrasados tecnologicamente. Nesse processo, a matéria prima vegetal é colocada no aparelho Clevenger e imersa completamente em água em uma temperatura inferior à 100°C, fazendo com que o óleo não perca compostos químicos essenciais, que são sensíveis a altas temperatura. O processo requer um maior tempo de extração em relação a outros processos, como a extração com solventes, e promove baixos rendimentos (AZAMBUJA, 2012).

A Figura 3 mostra o sistema de extração por hidrodestilação.

Figura 3: Sistema de extração por hidrodestilação.



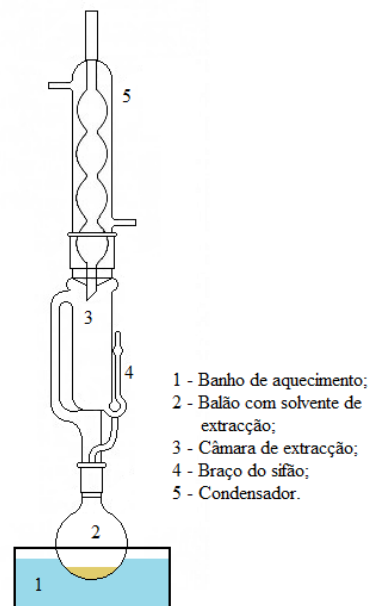
Fonte: FIGUEIREDO; PEDRO; BARROSO (2008)

A utilização da energia gerada por micro-ondas se mostra uma técnica bastante promissora e utilizada na aplicação em diversos processos do ramo industrial e científico, dentre eles está a extração de óleos essenciais. Essa técnica possui algumas características peculiares como aquecer por todo o espaço do material de forma seletiva em um menor intervalo de tempo. Muitas vezes, essa técnica pode ser associada à hidrodestilação. Outra vantagem que oferece, é a capacidade de oferecer ao processo a opção da não utilização de solventes orgânicos que sejam agressivos para o meio ambiente (BARONI; 2011).

O processo de extração com solventes (SOXHLET) permite a obtenção de altos rendimentos, porém causa a contaminação dos óleos obtidos. Para a realização do processo de extração de óleos essenciais fazendo uso de solventes orgânicos, inicialmente deve-se colocar o solvente que será utilizado em contato com matéria-prima vegetal de onde será retirado o OE. Após passar um tempo de extração, que seja suficiente para que aconteça a transferência dos componentes que são solúveis para o solvente, as fases líquida e sólida devem ser separadas. Com a evaporação do solvente líquido que restou, há a obtenção do óleo essencial (STEFFANI, 2003).

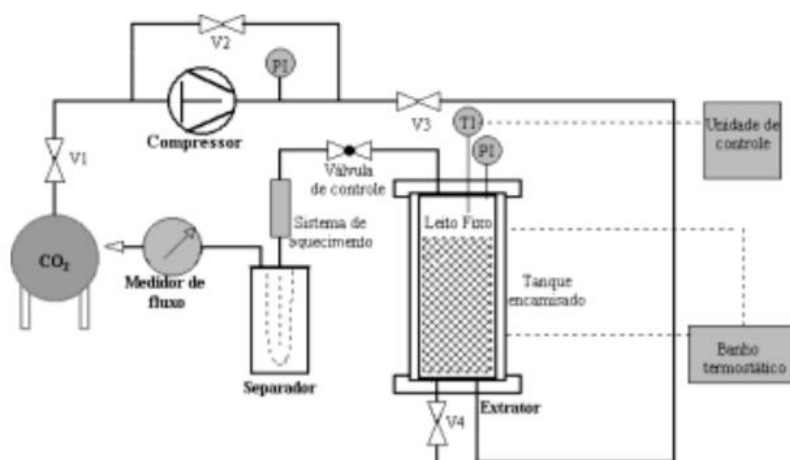
Na Figura 4, tem-se o sistema de extração com solventes.

Figura 4: Sistema de extração com solventes (SOXHLET)



Fonte: CAETANO (2019)

Na Extração por Fluidos Supercríticos (EFS), o material que irá ser retirado é colocado em um cilindro de base porosa e, então, colocado na câmara de extração. O processo utiliza a temperatura e pressão críticas, as quais são ideais para esse tipo de extração. O gás irá circular pelo equipamento até que o processo esteja completo. Por fim, a solução é transferida para um separador e, aos poucos, o gás carbônico volta para o estado gasoso. Nesse momento, o soluto precipita e, então, é coletado. O gás irá recircular e ficará pronto para mais um processo de extração. A Extração por Fluido Supercrítico possui vantagem pois utiliza várias fases, que seriam feitas por outros processos extratores. (MAUL; WASICKY; BACCHI, 1996). A Figura 5 mostra um sistema de extração por fluido supercrítico.

Figura 5: Sistema de extração por fluído supercrítico

Fonte: COSTA *et al.* (2006).

3.1.2 Principais óleos essenciais produzidos mundialmente

A indústria do cheiro, que desenvolve produtos com aromas e fragrâncias, possui diversas aplicações e representa além de um mercado multibilionário, uma fonte de inovações constantes e de desenvolvimento técnico para o mercado, principalmente europeu, mas com ramificações por todo o planeta (SPEZIALI, 2020).

É possível analisar, através da Tabela 1, os principais óleos essenciais produzidos e comercializados mundialmente.

Tabela 1: Os 18 principais óleos essenciais no mercado mundial

ÓLEO ESSENCIAL	ESPÉCIE
Eucalipto (tipo cineol)	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill., <i>E. polybractea</i> R. T. Baker e <i>Eucalyptus</i> spp.
Citronela	<i>Cymbopogon winterianus</i> Jowitt e <i>C. nardus</i> (L.) Rendle
Limão	<i>Citrus limon</i> (L.) N. L. Burm.
Cravo-da-Índia	<i>Syzygium aromaticum</i> (L.) Merr. e L. M. Perry
Lima destilada (Brasil)	<i>Citrus aurantifolia</i> (Christm. & Panz.)
Cedro (China)	<i>Chamaecyparis funebris</i> (Endl.) Franco
Sassafrás (China)	<i>Cinnamomum micranthum</i> (Hayata) Hayata
Coentro	<i>Coriandrum sativum</i> L.

Patchouli	<i>Pogostemon cablin</i> (Blanco) Benth.
Laranja (Brasil)	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck
Hortelã-pimenta	<i>Mentha x piperita</i> L.
Eucalipto (tipo citronela)	<i>Eucalyptus citriodora</i> Hook.
Menta japonesa (Índia)	<i>Mentha arvensis</i> L. f. <i>piperascens</i> Malinv. Ex Holmes
Cedro (EUA)	<i>Juniperus virginiana</i> L. e <i>J. ashei</i> Buchholz
Spearmint (nativa)	<i>Mentha spicata</i> L.
Lavandim	<i>Lavandula intermedia</i> Emeric ex Loisel
Cânfora	<i>Cinnamomum camphora</i> (L.) J. Presl.
Grapefruit	<i>Citrus paradisi</i> Macfady

Fonte: Adaptado de Bizzo; Hovell; Rezende (2009)

Bizzo, Hovell e Rezende (2009) mostram que há destaque na produção de óleos essenciais em quatro países: Brasil, China, Índia e Indonésia. Menta, cedro, sassafrás, laranja, cravo-da-Índia e Patchouli são exemplos de espécies em evidência no mercado mundial.

Segundo SEBRAE (2019), o Brasil se encontra entre os cinco primeiros países que mais exportam óleos essenciais no mundo, com um montante de aproximadamente 150 milhões de dólares. Deste valor, cerca de 90% é oriundo de óleos essenciais cítricos, subprodutos da indústria da laranja, em que o país se destaca. Em contrapartida, apenas 0,1% desse total é extraído biodiversidade nativa, como o pau rosa.

3.1.3 Aplicações dos óleos essenciais

Por serem formados por várias estruturas moleculares químicas diferentes, os óleos essenciais têm diversas áreas de atuação, como ação fungicida, antidepressivo e calmante. Além disso, pode ser usado na perfumaria, produção de produtos de limpeza, indústrias de cosméticos, de fármacos e alimentos (GONÇALVES et al., 2017).

O uso dos óleos essenciais ultrapassou a barreira da utilização convencional da sabedoria popular, que existia há anos, passando pelas terapias complementares, que marcou o ressurgimento do produto, até alcançar uma variedade na aplicabilidade que existe atualmente (FERREIRA, 2014).

Devido sua composição bastante rica e diversificada, os óleos essenciais, se usados da maneira correta, possuem várias possibilidades de serem aplicados. Os benefícios são reais e podem ser usados para desenvolvimento de produtos para pele (ROSCHER, 2020), cabelo,

couro cabeludo, unhas, conter o mau odor (FIRMINO, 2020), além de ser usado para massagens aromáticas, difusão, nebulização, inalação direta, banho aromático, esalda pés, compressa, ingestão oral (SILVANA, 2016).

No entanto, ainda é uma área pouco explorada, principalmente no Brasil, onde se exporta o OE ainda bruto para outros países. Nestes, os óleos essenciais “in natura” passam por um processo para agregar valor e serem vendidos com maior preço. Sendo assim, um investimento maior em tecnologia química faria com que o Brasil evoluísse nessa área (CALDERARI, 2002).

Os OEs possuem diversos benefícios associados a área da aromaterapia e da beleza. Panteri (2021) retrata que os óleos agem como um desintoxicante, que pode proporcionar alegria, ação revigorante, traz motivação, quebra gordura, combate celulite, atua como relaxante muscular, descongestionante, antisséptico e várias outras ações que variam de acordo com o óleo em questão.

Oliveira, Duarte e Padilha (2019) diz que o óleo essencial de camomila-romana (*Chamaemelum nobile*) possui efeito expressivo e notório no tratamento à patologia cutânea psoríase vulgar, além de seus efeitos calmantes e analgésico.

O uso do óleo essencial de *Citrus aurantium* possui propriedades antidepressivas, diminuindo os sintomas, como dor de cabeça, dores no corpo e insônia, a partir de massagens feitas com o óleo em mulheres com Transtorno Depressivo Maior (TDM), trazendo maior bem-estar, produzindo relaxamento e tranquilidade (MARTINS; GOMES; CARVALHO, 2018).

Já o óleo essencial de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) em concentração adequada possui propriedades importantes na área da agricultura. Para o desenvolvimento mais rápido de mudas de eucalipto, o OE proporciona maior germinação das sementes, a partir da bioestimulação do crescimento vegetativo das plantas (STEFFEN; ANTONIOLLI; STEFFEN, 2010).

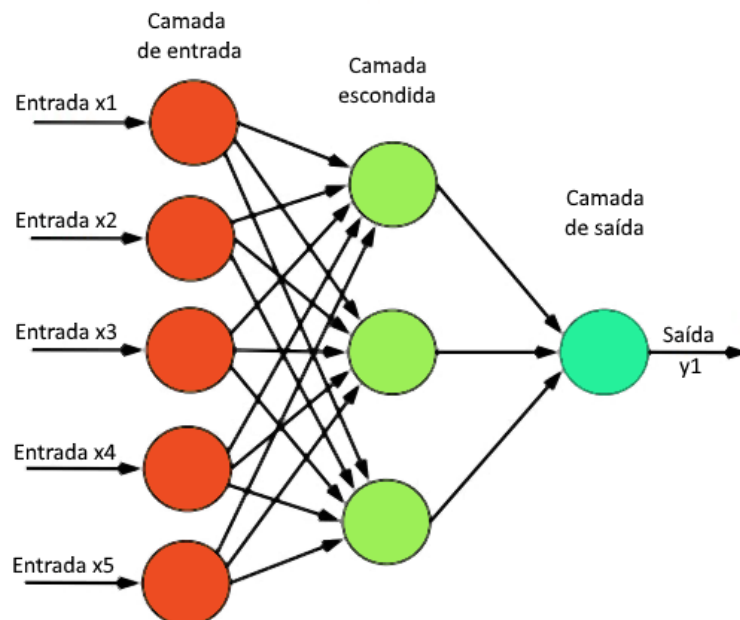
3.2 Métodos de otimização de extração de óleos essenciais

Diante da necessidade de processos de extração de óleos essenciais com maiores eficiências, muitos estudos têm sido desenvolvidos para otimizar esses sistemas. Dessa forma, alguns métodos de otimização podem ser utilizados, como as Redes Neurais Artificiais, planejamento experimental e Algoritmo Genético.

3.2.1 Redes Neurais Artificiais

A Inteligência Artificial (IA) vem sendo cada vez mais usada para melhorar e impulsionar a área que está sendo aplicada. As Redes Neurais Artificiais (RNAs) são exemplos de aplicação da IA e têm capacidade de reconhecer padrões complexos e numerosos desenvolvendo resultados satisfatórios. As RNA são baseadas na estrutura dos neurônios naturais humanos e são formados por camadas de entrada, saída e uma oculta que transforma os dados recebidos na entrada em dados satisfatórios para se usar na saída na resolução de problemas necessários (ALVES, 2020). A Figura 6 mostra o esquema, de forma genérica, da modelagem de um sistema de RNA.

Figura 6: Modelagem das Redes Neurais Artificiais (RNA)



Fonte: RIBEIRO (2017)

As RNA é uma abordagem diferenciada e considerada vantajosa para se obter soluções variadas em diferentes problemáticas relacionadas a otimização de sistemas (ROMERO, 1993). Na área das engenharias, passou a ser uma alternativa bem interessante para a resolução de problemas, podendo chegar a demonstrar desempenho superior aos meios que tradicionalmente são usados, como as análises de regressões, devido a facilidade como os problemas a serem trabalhados são representados internamente, assim como os resultados que são gerados (BOCANEGRA, 2002).

Bocanegra (2002) afirma ainda que as RNAs proporcionam soluções para o problema a partir da apresentação de dados generalizados, onde o programa irá sintetizar as informações necessárias para uso posterior na solução de problemas vindouros.

As técnicas de RNA podem ser consideradas como sendo ferramentas muito valiosas para compreender vários dos muitos problemas que envolvem a química. Mediante sua eficácia comprovada na resolução de desafios complexos, esses métodos têm sido aplicados em várias áreas, como medicamentos químicos, pesquisa de alimentos, analítica química, pesquisa farmacêutica, química teórica, entre outros (MALTAROLLO; HONÓRIO; SILVA, 2013).

Nascimento, Giuduci e Guardani (2000) citam que para a aplicação industrial, o uso da técnica de redes neurais artificiais na busca por respostas se torna, cada vez mais, um modelo promissor. No processo de fabricação de nylon 6-6 foi construído a estrutura de modelo baseado em informações industriais anteriores para desenvolvimento de um método ajustado e eficiente.

3.2.2 Planejamento experimental

O planejamento experimental é um método estatístico que representa uma variedade de tentativas estabelecidas a partir de critérios determinados, objetivando presumir a importância de variáveis. Esse método determina a influência das variáveis do processo, otimizando os processos através da determinação das condições ótimas de operação. (BUTTON, 2012).

Como vantagens para a utilização do planejamento experimental, Button (2012) destaca alguns benefícios importantes, como a diminuição dos números de ensaios sem que haja prejuízo da qualidade do resultado, estudo simultâneo de várias variáveis, determina o quão confiáveis são os resultados, seleção das variáveis importantes no processo com poucos ensaios, processo representado através de expressões matemáticas e a elaboração de conclusões a partir de resultados da qualidade.

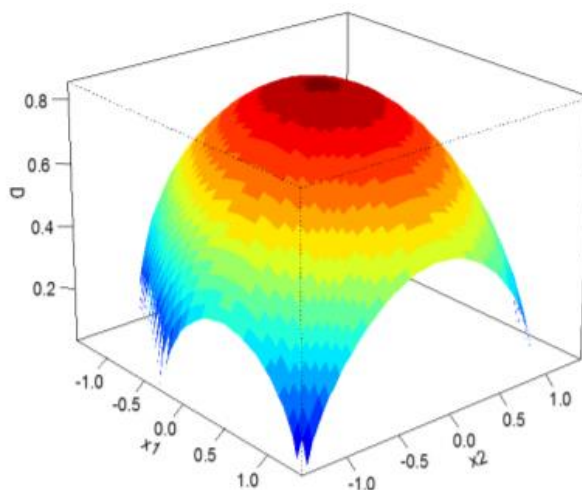
Petrikoski, Canzi e Barreto-Rodrigues (2009) fizeram uso do planejamento experimental a partir do planejamento fatorial para otimização do processo de extração do óleo essencial de *Eucalyptus Grandis* através da técnica de arraste a vapor. Foram encontrados resultados satisfatórios que, a partir desse planejamento, puderam desenvolver melhor a técnica, possibilitando melhores rendimentos de extração em um menor tempo.

O planejamento experimental, fazendo uso de uma matriz para um planejamento fatorial, foi utilizado para a otimização do processo de extração a partir de galhos e folhas de *Aniba canelilla* Mez, através da técnica de arraste a vapor, analisando os parâmetros da granulometria e do tempo. Foi possível determinar e descobrir que o parâmetro que mais influenciou o processo foi o tempo, pois quanto mais lento for o processo, maior qualidade. Com relação a granulometria foi percebido que apresenta diferença no rendimento da extração apenas na primeira hora do processo (SILVA; GONTIJO; ALBURQUERQUE, 2016).

Para a otimização do processo de extração de óleo essencial de folhas frescas e secas de *Eragrostis Plana* Nees a partir do método da hidrodestilação foi usado o planejamento experimental, baseado em um planejamento fatorial com quatro variáveis. Foi observado que quanto menor o tempo de secagem melhor o rendimento que o óleo essencial possui, sendo a variável com desempenho mais satisfatório (KLEIN; SOUZA, 2012).

A metodologia de superfície de resposta é um método usado em variados processos, utilizando de um planejamento experimental a fim de caracterizá-lo e/ou otimizá-lo para um melhor resultado. (LEAL, 2015). Na Figura 7 a seguir, demonstra um gráfico genérico conseguido a partir do resultado obtido a partir da MSR.

Figura 7: Gráfico genérico gerado pelo resultado da MSR



Fonte: LEAL, 2015.

3.2.3 Algoritmo genético

Linden (2008) define algoritmo genético como sendo algoritmos que trabalham baseados na seleção genética e evolução natural dos seres vivos. Dessa forma, combinam

através de uma forma estruturada de dados, a troca de informações genéticas de dois indivíduos com a sobrevivência, para, assim, formar uma estrutura de busca heurística.

John Holland em seu trabalho denominado “Adaptation in Natural and Artificial Systems” deu início ao estudo e desenvolvimento do algoritmo genético. A ideia essencial do funcionamento é de encontrar possíveis soluções de um determinado problema como “indivíduos” de uma “população” selecionada, que irá progredir ou “evoluir” a cada iteração do algoritmo ou “geração”, até chegar ao resultado final do processo (POZO *et al.*, 2005).

Na Figura 8, observamos um fluxograma genérico exemplificando o funcionamento de um algoritmo genético.

Figura 8: Fluxograma genérico de um algoritmo genético



Fonte: PINTO, 2014.

Carlson (2000) utilizou de um software para simulação de processos da extração de óleo essencial de Capim-Limão com CO₂. Foi utilizado algoritmo genético para o ajuste de parâmetros, afim de organizar melhor os dados da extração e serem apresentados de uma melhor forma para entendimento e continuidade do processo.

4 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A pesquisa se trata de um estudo de revisão de literatura de forma integrativa, com intuito de selecionar e filtrar trabalhos encontrados referentes ao tema proposto, com diferentes metodologias, sendo uma pesquisa de caráter exploratório, descritivo e observacional.

A coleta dos estudos selecionados foi feita mediante levantamento realizado nas bases de dados online a seguir: Scielo (Scientific Eletronic Library Online) e Periódico CAPES, com também no buscador Google Acadêmico, com início em 17 de março de 2020. As pesquisas realizadas e o conteúdo encontrado se baseiam nas seguintes palavras-chaves: “óleos essenciais”, “história óleos essenciais”, “óleos essenciais Brasil”, “extração óleos essenciais”, “hidrodestilação”, “arraste a vapor”, “fluidos supercríticos”, “solventes orgânicos”, “aplicações óleos essenciais”, “redes neurais artificiais”, “aplicação redes neurais artificiais”, “inteligência artificial óleos essenciais”, “otimização do processo extração” e seus semelhantes na língua inglesa e espanhola.

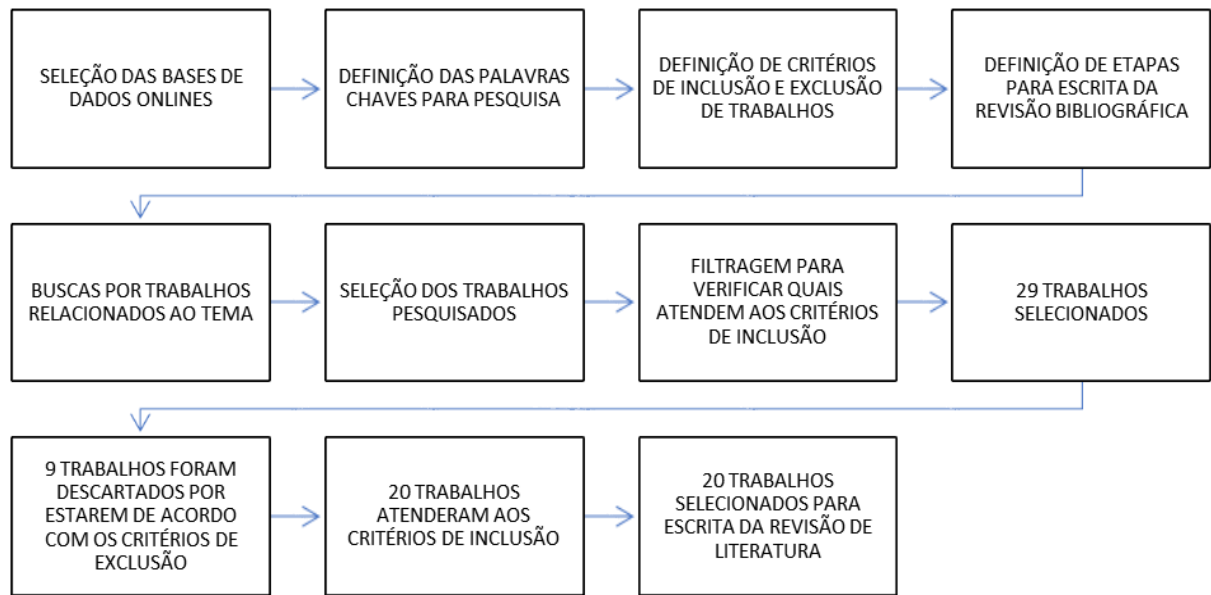
Na elaboração da revisão foi realizado um levantamento seguindo as seguintes etapas: 1) estabelecimento do objetivo e tema da pesquisa; 2) seleção das amostras selecionadas; 3) definição dos critérios de inclusão e exclusão dos trabalhos; 4) análise dos trabalhos selecionados; 5) organizar os dados mediante o necessário; 6) interpretar os resultados; e 7) redigir e apresentar as informações colhidas.

Os critérios de inclusão que foram adotados foram artigos, monografias, teses, dissertações e livros, disponíveis online publicados em periódicos nacionais e internacionais. Para realizar a exclusão foi levado em consideração os seguintes critérios: arquivos disponíveis mediante pagamento e estudos que não estariam de acordo com o tema de pesquisa proposto.

Com os trabalhos selecionados, foi feita a leitura com intuito de identificar os trabalhos que se encaixam nos critérios de inclusão estabelecidos. Desse modo, a discussão foi realizada a partir de fundamentação técnica e científica.

Com acesso as bases de dados online escolhida, foram encontrados 29 trabalhos que, ao passar pelo processo de análise dos critérios de inclusão e exclusão, chegou-se ao número de 9 trabalhos que foram descartados por não estarem de acordo com os critérios de inclusão estabelecidos e atenderem aos critérios de exclusão e de 20 trabalhos que atenderam aos pontos que são necessários para o estudo, sendo assim desenvolvida a revisão de literatura.

O fluxograma do processo de seleção dos trabalhos é observado na figura 9.

Figura 9: Fluxograma do processo de seleção dos trabalhos

Fonte: Autoria própria (2021)

5. RESULTADOS

5.1 Principais métodos de otimização para a extração de óleos essenciais

A seguir, tem-se um levantamento de trabalhos importantes desenvolvidos na otimização de processos que envolvem extração de óleos essenciais.

5.1.1 Metodologia de Superfície de Resposta (MSR)

A metodologia de superfície de resposta foi utilizada para a otimização do processo de extração com solventes do óleo essencial de cascas de laranja. Foram determinadas as temperaturas de extração entre 80 e 100 °C e o tempos de extração foram entre 120 e 140 minutos. Com parâmetros escolhidos, foi encontrado um rendimento varável entre 0,57 e 3,24%, sendo o ótimo de 3,38% com a temperatura em 95,23 °C e tempo de extração de 231,30 min. Desse modo, os desvios encontrados não foram significantes, e os resultados observados foram satisfatórios (FAKAYODE; ABODI, 2018).

Para otimização do processo de extração do óleo essencial da raiz de Valeriana (*Valeriana officinalis* L.), MIAO *et al.* (2020), em seu trabalho, utilizaram a metodologia de superfície de resposta Box-Behnken. A técnica utilizada foi a assistida por micro-ondas que possui condições ideais de processo com potência em 330w, tempo de extração de 25min, proporção líquido-material em 8,6ml:1g, possuindo rendimento de extração em 5,88%. Considerado viável e estável, o uso de extração de óleos essenciais através de micro-ondas apresentou resultados satisfatórios.

DAO *et al.* (2019) fez uso da metodologia de superfície de resposta (MSR) em conjunto com delineamento do composto central para otimizar o processo de extração por hidrodestilação com assistência de microondas dos óleos essenciais do óleo essencial extraído das folhas da laranjeira. As condições ótimas para extração encontradas através do planejamento experimental foram que a cada 3,46 g do material, adicionava 1 ml de água em um tempo de extração de 100,47 min com potência operacional de 471,58 W. Dessa forma, demonstrou resultados positivos, com confiabilidade de 92,1%, e rendimento do óleo essencial de 0,43%.

Para extração de óleo essencial de *Lauanea Acanthodes* foram utilizados os métodos por fluído supercrítico e por hidrodestilação. Para otimização desse processo, foi feita comparação entre as técnicas da metodologia de superfície de resposta e o uso de redes

neurais artificiais. Foi observado a influência dos parâmetros pressão, temperatura, vazão e rendimento do co-solvente no rendimento do óleo. As condições ótimas encontradas pela MSR foram com pressão em 240 bar, temperatura em 328 K, vazão de 4,06 g/min e co-solvente em 663 microlitros, gerando um rendimento de 1,0250%. Já o RNA previu as condições ótimas de extração com a pressão em 240 bar, temperatura em 328 K, vazão de 3,98 g/min e co-solvente em 650 microlitros, gerando um rendimento de 1,0238%. O resultado experimental encontrado pela hidrodestilação foi de 0,7530%. Com os resultados, é possível observar que os dois modelos de otimização possuem capacidade para prever os dados da extração, porém a RNA possui maior confiabilidade que a MSR, por estar mais próximo ao valor experimental encontrado (SODEIFIAN; SAJADIAN; ARDESTANI, 2016).

Zermane *et al.* (2014), em seu trabalho, faz uso da extração com fluídos supercrítico para a retirada de óleos essenciais das folhas de murta argelina (*Myrtus communis* L.). Foi feita uma otimização, a partir da metodologia de superfície de resposta, para uma recuperação do óleo essencial a partir da massa inicial. O máximo recuperado foi obtido quando a extração foi feita dentro dos parâmetros previstos inicialmente, com pressão entre 10-30 MPa, temperatura entre 308-323 K, taxa de fluxo do solvente entre 0,42-1 Kg/h e diâmetro médio da partícula igual a 0,5 mm ou menor que 0,315 mm, ficando muito próxima do valor experimental, fazendo com que os resultados tenham sido positivos e que a técnica seja confiável.

A metodologia de superfície de resposta (MSR) foi utilizada para a otimização da extração de óleos essenciais de folhas de alecrim argelino por meio de fluidos supercríticos. Com parâmetros de extração determinados, temperatura entre 313-333 K, pressão entre 14-22 MPa e taxa de fluxo de solvente de 0,42 kg/h em um tempo de 3,5 h, foi encontrado que os valores ótimos para máxima recuperação da massa de 3,52% foram com pressão estabelecida em 22 MPa e temperatura fixada em 313 K, demonstrando uma boa concordância entre os valores encontrados experimentalmente e a partir da otimização, apresentado resultados satisfatórios do estudo (ZERMANE *et al.*, 2016).

Para a otimização do processo de extração do óleo essencial da planta *Smyrniium cordifolium* Boiss (SCB) através de fluídos supercríticos, foi utilizada a metodologia de superfície de resposta. O planejamento experimental foi feito a partir da análise de quatro parâmetros: pressão, temperatura, fluxo de CO₂ e tempo de extração. As condições ótimas para extração encontradas, respectivamente, para cada parâmetro foram de 13,43 MPa, 40° C, 1,7 ml/min e 150 minutos. Desse modo, apresentaram resultados positivos, estando com

valores ótimos dentro do intervalo estabelecido pelo algoritmo do planejamento (SODEIFIAN, AZIZI, GHOREISHI; 2014).

Sodeifian, Sajadian e Ardestani (2016) fizeram uso da extração por fluídos supercríticos para a retirada do óleo essencial da *Dracocephalum kotschy Boiss.* Para a otimização desse processo, a MSR foi utilizada para descoberta das condições ótimas dos parâmetros pressão, temperatura, vazão e tempo de extração. Os melhores valores determinados para uma eficaz remoção do óleo essencial da planta foram a pressão de 21 MPa, temperatura de 35° C, vazão de 3,77 g/min e tempo de 160 minutos, obtendo, assim, resultados positivos, com rendimento de extração da essência a partir da otimização maior do que quando comparado com técnicas anteriores testadas.

A metodologia de superfície de resposta (MSR) foi utilizada para a otimização do processo de extração do óleo essencial de gengibre (*Zengiber officinale*) por meio da técnica de arraste à vapor. Os parâmetros analisados foram a carga do material, tempo de extração e temperatura de condensação. Os valores ótimos paramétricos encontrados foram de 50 g para a carga do material e 180 minutos foi o melhor tempo para a extração sob a temperatura de condensação de 12°C. (MORAES, 2012).

5.1.2 Redes Neurais Artificiais (RNA)

As Redes Neurais Artificiais (RNA) foram utilizadas para prever o rendimento da extração por fluídos supercríticos do óleo essencial de *Diplotaenia cachhrydifolia*. De modo a desenvolver um modelo anterior a retirada da essência, os parâmetros de entrada para análise foram pressão, temperatura, tempo de extração e volume do modificador. As condições ótimas encontradas pelo método de otimização foram a temperatura de 55° C, pressão de 20,25 MPa, tempo de extração de 20 minutos e volume do modificador de 300 L para a temperatura. Foi observado que uma rede com cinco neurônios ocultos demonstrou ser muito eficaz, prevendo com qualidade o rendimento da extração do óleo (KHAJEH; MOGHADDAM; SHAKERI, 2012).

Na extração de óleos essenciais de sementes de coentro (*Coriandrum sativum L.*) por meio de fluídos supercríticos foram testados parâmetros com variações: pressão (100, 150 e 200 bar), temperatura (40, 55 e 70° C) e taxa de fluxo do CO₂ (0,2, 0,3 e 0,4 kg/h). O método das Redes Neurais Artificiais foi utilizado para otimização do processo de extração do óleo essencial, na busca por uma maior quantidade. Foram determinados, através do método de

otimização, as medidas ótimas para melhor funcionamento: pressão 200 bar, temperatura 40° e taxa de fluxo de CO₂ de 0,4 kg/h (ZEKOVIĆ *et al.*, 2017).

5.1.3 Algoritmo Genético

O algoritmo genético foi usado como método de otimização da extração do óleo essencial da planta medicinal *Marrubium vulgare* L. através do método da hidrodestilação. Foi possível prever e determinar a interferência da temperatura, tamanho da partícula e proporção do peso no rendimento de extração. A temperatura de 120° C foi a considerada ideal. Foi observado que a planta estando inteira, obtem melhores resultados do que triturada. Outra observação foi que a extração a partir da planta selecionada somente após a secagem proporcionou melhores resultados do que a extração com a planta fresca. O erro absoluto médio calculado da relação entre os dados previstos estabelecidos e os dados encontrados experimentalmente foi muito baixo, sendo considerado então que o método de otimização foi eficaz e concede uma boa concordância nos resultados (REZAZI *et al.*, 2016).

Hatami, Meireles e Zahedi (2010) utilizaram do algoritmo genético para desenvolver os pontos de operação ótimos para extração do óleo essencial do cravo-da-Índia, através do uso de fluidos supercríticos. O parâmetro da pressão que obteve melhor resultado foi a de 10 MPa e a temperatura de 304,2 K possuiu melhor desempenho na extração do OE, se mostrando um método eficaz e satisfatório nesse quesito.

Na extração através de fluidos supercríticos do óleo essencial de erva-de-São-João (*Hypericum perforatum* L.), foi realizada a otimização utilizando a técnica de algoritmo genético. A modelagem matemática teve como objetivo analisar os parâmetros existentes na busca por condições ótimas para que a extração possa ocorrer de maneira máxima. Tais condições descobertas para os parâmetros da pressão e temperatura foram, respectivamente, 20 MPa e 313 K (HATAMI; GLISIC; ORLOVIC, 2012).

Na extração por fluidos supercríticos da semente de *Echium amoenum*, foi feita otimização através de algoritmos genéticos para uma previsão de valores de alguns parâmetros para um melhor rendimento da retirada da essência. A análise paramétrica ocorreu a partir da pressão, da temperatura, taxa de fluxo de CO₂ e tempo de extração dinâmica. Ao aplicar o modelo matemático, foi possível designar as condições ótimas para atingir uma máxima recuperação, que foram: 318 K para a temperatura, 30 MPa para a pressão, 1,5 ml/min para a taxa de fluxo de CO₂ e tempo de extração dinâmica de 90 minutos (GHOREISHI; BATAGHVA, 2014).

5.1.4 Estudos comparativos entre as técnicas de Redes Neurais Artificiais e Metodologia de Superfície de Resposta

Alguns trabalhos foram desenvolvidos por meio da utilização das técnicas de RNA e MSR com o intuito de comparar o desempenho obtido a partir delas. Um desses trabalhos foi a utilização das técnicas de RNA e MSR para a otimização do processo de extração por solventes do óleo essencial de *Kernel Terminalia catappa L.* (TCKO). Foi obtido maior rendimento de extração do óleo com os parâmetros ótimos encontrados de 55° C de temperatura, tamanho da partícula de 0,5 mm e tempo de extração de 150 minutos. A RNA e MSR previram valores aproximados aos encontrados experimentalmente. Dessa forma, foram encontrados resultados de otimização positivos, com as redes neurais se destacando um pouco mais e sendo considerada uma técnica melhor e mais eficaz (AGU *et al.*, 2020).

Akintunde, Ajala e Betiku (2015), em seu trabalho, utilizaram os métodos de RNA e MSR para otimização do processo de extração por solventes (SOXHLET) de semente de *Bauhinia monandra*. Os valores ótimos para a extração foram iguais para as duas técnicas: 60g da amostra, tempo de 100 minutos, com um rendimento do óleo correspondente à 14,8% do peso das sementes de *Bauhinia monandra*. Na comparação do desempenho relacionado ao coeficiente de correlação múltiplo, coeficiente de determinação e desvio médio absoluto, a RNA foi considerado um pouco melhor do que o modelo de MSR na previsão de extração do óleo essencial.

Os métodos da MSR e das RNA foram utilizados em busca da otimização do processo de extração por fluídos supercríticos do óleo essencial de *Ferulago angulata* a fim de desenvolver uma melhor modelagem para o processo em um menor tempo. Ao investigar os parâmetros operacionais da pressão, temperatura, tamanho da partícula e tempo, as condições ótimas para extração determinadas, respectivamente, foram: 20 MPa, 35° C, 0,742 mm e 101,3 minutos. Desse modo, foi observado que ambas os métodos possuem boa capacidade e concordância com os dados experimentais encontrados, porém as Redes Neurais Artificiais foi o método mais preciso (SODEIFIAN; SAJADIAN; ARDESTANI, 2016).

Onoji *et al.* (2017) fizeram uso das técnicas de otimização RNA e MSR para aperfeiçoar o processo de extração por solventes do óleo essencial de sementes de seringueira (*Hevea brasiliensis*). Os parâmetros estudados foram o peso do pó da semente da seringueira (X1), o volume do solvente (X2) e o tempo de extração (X3). Com os efeitos paramétricos analisados, foi determinados pelo modelo MSR um rendimento do óleo de 42,98% nas

condições de $X_1 = 60$ g, $X_2 = 250$ mL e $X_3 = 45$ minutos, experimentalmente alcançando 42,64% de rendimento. Já o RNA foi mais aproximado: previu rendimento ótimo de 43% nas condições de $X_1 = 40$ g, $X_2 = 202$ mL e $X_3 = 49,99$ minutos, alcançando experimentalmente 42,96% de rendimento. Desse modo, ambas as técnicas são eficazes para descrever o efeito dos parâmetros, porém as redes neurais artificiais se torna preciso, com erro relativo percentual e desvio médio absoluto menores.

Para a otimização da extração por fluídos supercríticos do óleo essencial de sementes de *Passiflora*, foram utilizadas as técnicas de metodologia de superfície de resposta e redes neurais artificiais. Os parâmetros que foram submetidos à análise são temperatura, pressão e o tempo de extração. Para a RNA, o rendimento estimado de 26,55% foi através das seguintes condições ótimas: temperatura de 56,5° C, pressão de 23,3 MPa e tempo de extração de 3,72 horas. Para a MSR, o rendimento de 25,76% estimado foi conseguido aplicando a temperatura de 55,9° C, pressão de 25,8 MPa e tempo de extração de 3,95 horas, como sendo as condições ótimas paramétricas. Os erros quadrático médio e o relativo foram calculados para comparação das técnicas utilizadas. Como resultado, foi obtido que ambas as técnicas possuem boa capacidade de resposta à situação estabelecida, mas as RNAs possuem maior eficiência no resultado (ZAHEDI; AZARPOUR, 2011).

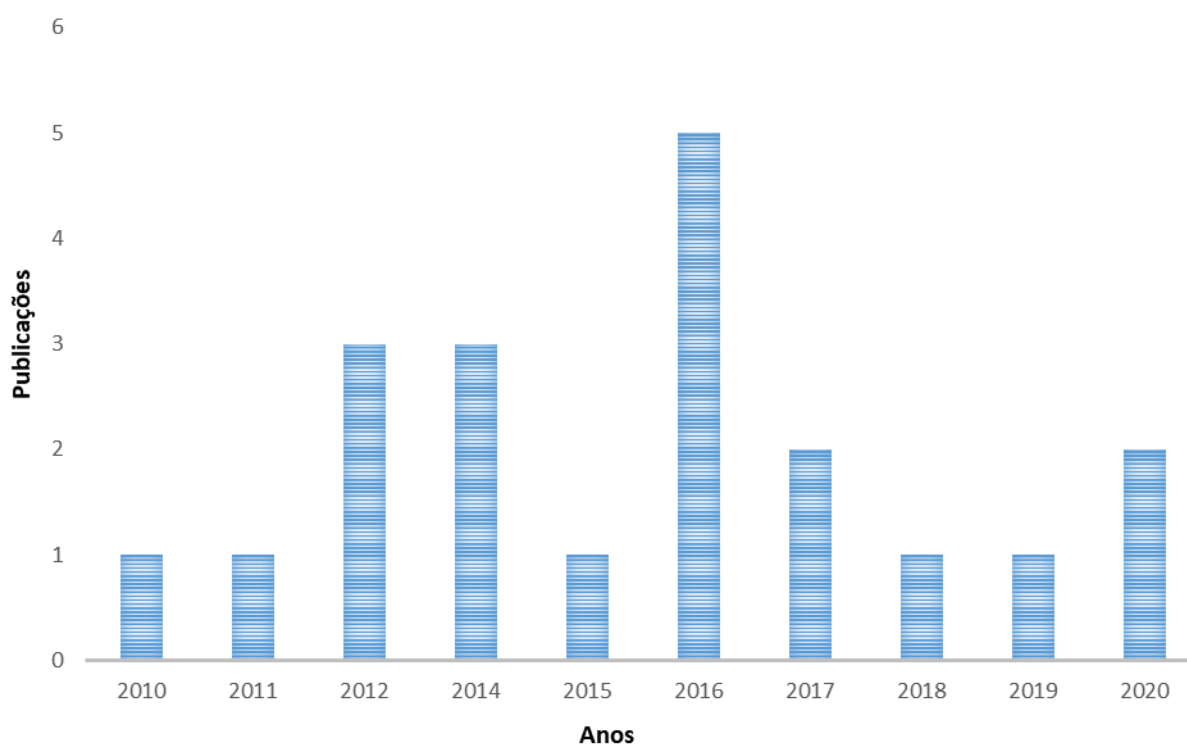
6 DISCUSSÕES

A seguir são mostradas algumas discussões acerca dos resultados observados nos trabalhos analisados.

6.1 Publicações encontradas em cada ano

De acordo com as pesquisas realizadas, foram encontrados um total de 20 trabalhos realizados nos últimos 11 anos, como pode ser observado na Figura 10:

Figura 10: Quantidade de publicações encontradas em cada ano



Fonte: Autoria própria (2021)

Analisando a Figura 10, pode-se perceber que no ano de 2016 foram encontradas 5 publicações de trabalhos, sendo o ano com maior quantidade. Em seguida, percebe-se que os anos de 2012 e 2014 possuem 3 trabalhos publicados. Já nos anos de 2017 e 2020 foram encontrados o mesmo número de artigos, 2 em cada. Nos anos de 2010, 2011, 2015, 2018 e 2019 foram encontradas a quantidade mínima de trabalhos. Foi observado ainda que de todos os trabalhos analisados na presente revisão literária, apenas 1 foi dissertação de mestrado, os outros 19 foram artigos publicados em meios eletrônicos.

6.2 Locais de origem das matérias primas utilizadas

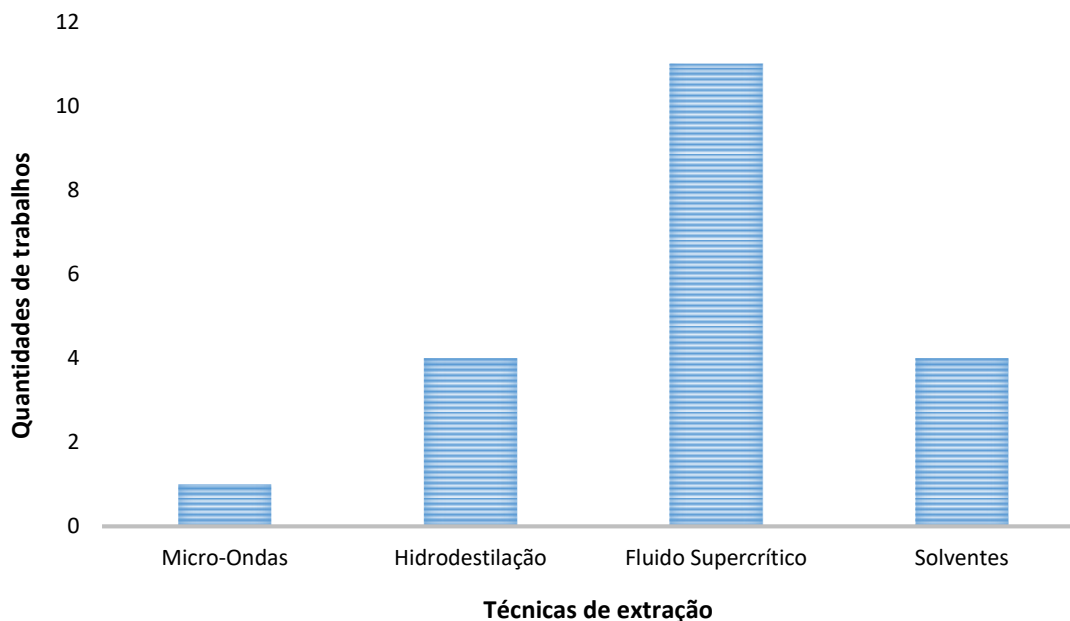
Com relação aos locais de origem das matérias-primas utilizadas no desenvolvimento dos trabalhos estudados e analisados, o continente que mais esteve presente foi o asiático, com 6 trabalhos realizados com matérias primas do Irã, outros 2 retirados da China e 1 do Vietnã.

Foi observado ainda que 5 trabalhos fizeram uso de matérias primas retiradas do continente africano, sendo 3 na Argélia e 2 na Nigéria. Outros 3 trabalhos fizeram estudos com plantas do continente Europeu, 2 na Sérvia e 1 na Inglaterra. Apenas 1 trabalho foi realizado no Brasil, continente sul-americano. Outros 2 trabalhos não informaram locais de retirada da matéria prima para a extração dos óleos essenciais.

Tais resultados vão de encontro com a Tabela 1, evidenciando a importância do continente asiático na produção mundial de óleos essenciais. A Europa e a África vêm logo em seguida, mostrando investimento nessa área de pesquisa. O Brasil, por sua vez, apesar da grande capacidade de produção de vários tipos de óleos essenciais, ainda vem se desenvolvendo nessa área de estudo e mais pesquisas precisam ser realizadas para a consolidação nesse setor.

6.3 Principais técnicas utilizadas para a extração de óleos essenciais

Segundo pesquisas realizadas para a presente revisão literária, as principais técnicas de extração de óleos essenciais observadas estão mostradas na Figura 11.

Figura 11: Técnicas de extração utilizadas nos trabalhos

Fonte: Autoria própria (2021)

Analisando a Figura 11 observa-se que a maioria das publicações encontradas na literatura são sobre a extração de óleos essenciais utilizando a técnica de fluídos supercríticos, com 11 trabalhos. A técnica de extração por solventes e pela técnica de hidrodestilação foram encontradas sendo usadas em 4 trabalhos. Já com relação à extração assistida por micro-ondas foi encontrado apenas 1 trabalho que fez uso da técnica. A técnica de extração por fluído supercrítico foi a mais utilizada nos trabalhos, o que pode ser explicado por Maul, Wasicky e Bacchi (1996), os quais relatam que essa técnica avança cada vez mais, apresentando um poder extrativo mais intenso, diferindo e se destacando das outras técnicas existentes. Pinto, Pinto e Jardim (2016) cita, ainda, que a extração através de fluidos supercríticos é uma técnica bastante atrativa para ser aplicada, em comparação com outras técnicas, pois apresenta algumas vantagens, como uma maior rapidez, baixo custo para extração, diminuição do consumo de solventes orgânicos, pouca necessidade de manipulação, apresenta boa precisão e exatidão, versatilidade e facilidade de automação.

6.4 Principais parâmetros estudados em cada técnica de extração de óleo essencial

A técnica de extração por meio de fluídos supercríticos foi utilizada em 11 trabalhos analisados. Dentre eles, os parâmetros da pressão e temperatura foram estudados em todos. O parâmetro do tempo de extração foi estudado em 6 pesquisas. Esses três parâmetros foram os

mais estudados, evidenciando a importância e influência que exercem no processo. Outros parâmetros também foram estudados em uma menor quantidade de trabalhos, como a vazão, diâmetro da partícula, fluxo do solvente no processo e volume do modificador.

A técnica de hidrodestilação, usada como forma de extração em 4 trabalhos, teve os parâmetros do tempo de extração e temperatura como mais estudados, justificando a maior procura por otimiza-los. Outros parâmetros também foram estudados, como a potência da aparelhagem utilizada, pressão, vazão, rendimento do co-solvente utilizado, carga do material e a temperatura de condensação.

A técnica de extração por solventes também foi utilizada em 4 trabalhos estudados. O parâmetro do tempo de extração foi o principal parâmetro utilizado, demonstrando grande importância no processo de extração de óleos essenciais a partir dessa técnica. Outros parâmetros como temperatura, tamanho da partícula, peso e volume das amostras utilizadas também foram estudados em menor escala.

A técnica de extração através de micro ondas foi utilizada uma única vez nos trabalhos analisados e os parâmetros estudados para a otimização e melhoramento do processo de extração de óleos essenciais foram a potência das máquinas, tempo de extração e proporção líquido-material utilizada no processo.

6.5 Comparação entre os resultados dos trabalhos analisados

Para melhor compreensão, a Tabela 2 foi desenvolvida para uma comparação entre os resultados dos trabalhos estudados.

Tabela 2: Levantamento de trabalhos sobre métodos de otimização da extração de óleos essenciais.

AUTOR (ES)	ANO	TÍTULO	OE	MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO	RESULTADOS
FAKAYODE; ABOBI.	2018	Otimização da extração de óleo e pectina de cascas de laranja (<i>Citrus sinensis</i>): uma abordagem de superfície de resposta.	Cascas de Laranja	MSR	Resultados satisfatórios, demonstrando pequena variação do desvio entre os valores teóricos e experimentais encontrados.
MIAO; <i>et al.</i>	2020	Otimização do	Raiz de	MSR	Apresentou

		Processo de Extração da Raiz de <i>Valeriana officinalis</i> L. Óleo essencial e estudo de sua atividade anti-radical livre.	<i>Valeriana officinalis</i> L.		resultados satisfatórios com alta taxa de rendimento da extração do óleo essencial a partir de condições ideais previstas.
DAO; <i>et al.</i>	2019	Modelagem e Otimização das Folhas de Laranja Processo de Extração de Óleo Assistido por Microondas Hidro-destilação: o método da superfície de resposta com base na abordagem composta central (Modelo Rsm-Ccd)	Folhas de Laranja	MSR	Foram obtidos resultados positivos, apresentando alta taxa de confiabilidade nos dados obtidos com alto rendimento de extração encontrado a partir de condições ideais descobertas.
SODEIFIAN; SAJADIAN; ARDESTANI	2016	Otimização da extração de óleo essencial de <i>Launaea acanthodes</i> Boiss: Utilização de dióxido de carbono supercrítico e co-solvente	<i>Launaea acanthodes</i>	MSR	Apresentou resultados satisfatórios, alcançando os objetivos propostos, comparando as técnicas de otimização, MSR e RNA. As redes neurais apresentaram maior confiabilidade nos dados obtidos.
ZERMANE <i>et al.</i>	2014	Otimização da extração supercrítica do óleo essencial das folhas de <i>Myrtus communis</i> L.	Folhas de murta argelina (<i>Myrtus communis</i> L.)	MSR	Resultados positivos, mostrando confiabilidade da técnica de otimização utilizada, MSR,

		da Argélia usando metodologia de superfície de resposta			com valores teóricos muito próximos aos valor experimental estabelecido.
ZERMANE <i>et al.</i>	2016	Otimização do rendimento de extração do óleo essencial de alecrim argelino por CO ₂ supercrítico usando metodologia de superfície de resposta	Alecri m argelin o	MSR	A MSR utilizada para otimização promoveu resultados ótimos que concordaram com os valores experimentais, demonstrando confiança no método.
SODEIFIAN, AZIZI, GHOREISHI	2014	Otimização da superfície de resposta da extração de óleo de <i>Smyrni um cordifol ium Boi ss (SCB)</i> via dióxido de carbono supercrítico	<i>Smyrni um cordifol ium Boi ss (SCB)</i>	MSR	Resultados satisfatórios com valores ótimos encontrados dentro do intervalo previsto, demonstrando confiabilidade no método MSR.
SODEIFIAN; SAJADIAN; ARDESTANI	2016	Extração de <i>Dracocephalu m kotschy Boiss</i> usando dióxido de carbono supercrítico: Experimental e otimização	<i>Dracoc ephalu m kotschy i Boiss</i>	MSR	Uso da MSR para otimização, obtendo resultados positivos, apresentando condições ótimas de parâmetros estabelecidos dentro do intervalo determinado pelo método.
MORAES	2012	Otimização Experimental Da Extração Do Óleo Essencial De Gengibre (<i>Zingiber Officinale</i>)	Gengib re (<i>Zingib er officina le</i>)	MSR	Utilização da MSR para a otimização do processo de extração, alcançando resultados positivos através

					da obtenção de condições ótimas dos parâmetros utilizados.
KHAJEH; MOGHADDA M; SHAKERI	2012	Aplicação de rede neural artificial na previsão do rendimento de extração de óleos essenciais de <i>Diplotaenia cachrydifolia</i> por extração com fluido supercrítico	<i>Diplotaenia cachrydifolia</i>	RNA	As RNA demonstraram ser um método bastante eficaz, com uma rede de 5 neurônios ocultos foi possível determinar precisamente o rendimento da extração do óleo essencial.
ZEKOVIĆ et al.	2017	Extração com fluido supercrítico de sementes de coentro: modelagem cinética e otimização de RNA.	Sementes de coentro	RNA	As RNA apresentaram ótimo resultado, estabelecendo melhores índices dos parâmetros estudados para uma extração de óleo essencial mais eficaz.
REZAZI et al.	2016	Modelagem e Otimização das Condições Operacionais de <i>Marrubium vulgare</i> L. Processo de Extração de Óleo Essencial: Estimativa de Parâmetros Cinéticos por Algoritmos Genéticos	<i>Marrubium vulgare</i> L.	Algoritmo Genético	Apresentou resultados positivos, onde a relação entre os dados previstos através da otimização com algoritmo genético e os dados obtidos experimentalmente apresentaram erro absoluto médio muito pequeno, sendo, então de boa concordância.
HATAMI, MEIRELES, ZAHEDI	2010	Modelagem matemática e otimização de algoritmos genéticos da extração de	Botões de Cravo-da-Índia	Algoritmo Genético	Apresentou resultados positivos na obtenção de condições ótimas do processo de

		óleo de cravo com dióxido de carbono supercrítico.			extração, através dos parâmetros de temperatura e pressão.
HATAMI; GLISIC; ORLOVIC	2012	Modelagem e otimização da extração de CO ₂ supercrítico de erva de São João (<i>Hypericum perforatum L.</i>) usando algoritmo genético	Erva-de-São-João	Algoritmo Genético	Obteve resultados positivos, encontrando condições ótimas para extração máxima do óleo essencial da erva, possuindo pequena diferença entre os dados experimentais e encontrados mediante modelagem matemática.
GHOREISHI; BATAGHVA	2014	Extração supercrítica de óleo essencial de semente de <i>Echium amoenum</i> : experimental, modelagem e estimativa de parâmetros de algoritmo genético	Sementes de <i>Echium amoenum</i>	Algoritmo Genético	Apresentou resultados positivos sendo usado na análise paramétrica, encontrado um conjunto de situações de condições ótimas que atingem o objetivo de recuperação máxima.
AGU <i>et al.</i>	2020	Modelagem e otimização da extração de óleo de <i>Kernel Terminalia catappa L.</i> usando metodologia de superfície de resposta e rede neural artificial	<i>Kernel Terminalia catappa L.</i> (TCKO)	RNA e MSR	RNA e MSR como técnicas de otimização apresentaram resultados satisfatórios, com RNA se destacando e apresentando valores teóricos obtidos mais próximos aos experimentais encontrados.
AKINTUNDE; OJALA; BETIKU.	2015	Otimização da extração do óleo de semente de	Sementes de <i>Bauhinia</i>	RNA e MSR	As técnicas de RNA e MSR utilizadas apresentaram

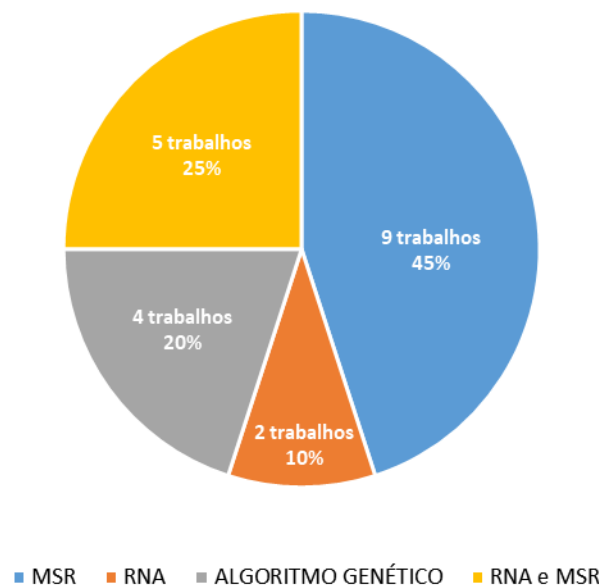
		<i>Bauhinia monandra</i> via rede neural artificial e metodologia de superfície de resposta: um potencial candidato a biocombustível	<i>monandra</i>		resultados aproximados e satisfatórios. A técnica de redes neurais com números mais aproximados aos encontrados experimentalmente, sendo considerada uma ferramenta mais eficaz.
SODEIFIAN SAJADIAN, ARDESTANI.	2016	Avaliação da superfície de resposta e metodologias de algoritmo genético de rede neural artificial híbrida para determinar o rendimento de extração de <i>Ferulago angulata</i> através de fluido supercrítico	<i>Ferulago angulata</i>	RNA e MSR	Apresentou resultados positivos ao uso de MSR e RNA, alcançando os objetivos na busca por otimização do processo, onde ambas as técnicas apresentaram boa concordância com o resultado experimental, com as RNA sendo mais precisas.
ONOJI <i>et al.</i>	2017	Óleo de <i>Hevea brasiliensis</i> (semente de ceringueira): modelagem e otimização dos parâmetros do processo de extração usando metodologia de superfície de resposta e técnicas de redes neurais artificiais	Sementes de Ceringueira (<i>Hevea brasiliensis</i>)	RNA e MSR	Métodos mostraram boa eficácia, apresentando condições ótimas de extração próximas aos resultados experimentais encontrados. No entanto, a técnica das redes neurais apresentou resultados mais precisos.
ZAHEDI, AZARPOUR	2011	Otimização da extração de dióxido de carbono	Sementes de <i>Passiflora</i>	RNA e MSR	Bons resultados encontrados, com concordância nos valores dos

		supercrítico do óleo de semente de <i>Passiflora</i>			parâmetros estabelecidos. Na comparação das técnicas, os erros calculados apresentaram as RNA com resultados mais precisos e eficazes.
--	--	---	--	--	---

Fonte: Autoria própria (2021)

A Figura 12 resume a quantidade de trabalhos encontrados para cada tipo de método de otimização estudado.

Figura 12: Quantidade de trabalhos encontrados de cada método de otimização



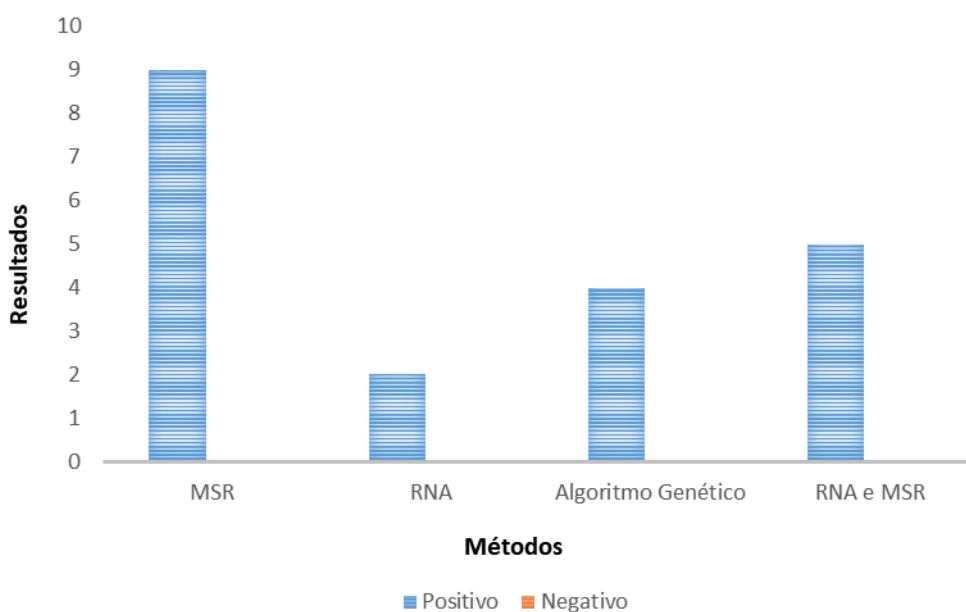
Fonte: Autoria própria (2021)

Na Figura 12, a quantidade de trabalhos encontrados que fizeram uso da metodologia de superfície de resposta (MSR) foram 9, o que é equivalente à 45% do total, sendo o método mais encontrado. Na sequência, pode-se observar que as redes neurais artificiais (RNA) juntamente com a MSR, com 5 trabalhos que foram utilizadas para otimizar a extração de óleos essenciais, equivalente à 25% do total. Em seguida, nota-se que os algoritmos genéticos foram utilizados em 4 trabalhos, representando 20% do total. Por fim, o método das Redes Neurais Artificiais (RNA), foram encontrados em outros 2 trabalhos, equivalendo a 10% do

total. Desse modo, a maior utilização do método da MSR pode ser explicada por Amaral *et al.* (2018), que citam que se a Metodologia de Superfície de Resposta for bem adequada, o resultado da análise experimental será muito próximo ao resultado da análise real, a partir de uma superfície bem ajustada. Gomes e Costa (2004) complementam relatando que a MSR apresenta resultados satisfatórios, mostrando a possibilidade de obtenção de modelos próximos às condições reais, diminuindo significativamente a quantidade de experimentos necessários para ser realizados sem perder a qualidade dos resultados encontrados, além do método conseguir conhecer e determinar quais as relações de causas e efeitos gerados pelo processo sobre as respostas.

Com relação aos resultados obtidos em cada trabalho encontrado, a Figura 13 mostra, de forma resumida, se os resultados foram satisfatórios ou não satisfatórios nas pesquisas estudadas.

Figura 13: Resultados obtidos de acordo com os trabalhos encontrados de cada método



Fonte: Autoria própria (2021)

Na Figura 13, as colunas em azul representam os trabalhos referentes aos métodos de otimização que apresentaram resultados positivos. Já a cor laranja representa aqueles trabalhos dos referidos métodos que apresentaram resultados negativos, não alcançando os objetivos traçados. Desse modo, observa-se que todos os trabalhos encontrados, no que se refere a otimização do processo de extração de óleos essenciais, apresentaram resultados positivos ao final, alcançando todos os objetivos propostos.

A MSR é considerada útil quando a relação exata entre os fatores não é conhecida pelo pesquisador do estudo. Possui ampla aplicabilidade, pois a metodologia considera muitos fatores em níveis diferentes e as interações são correspondentes a essas interações e níveis que abordam todo o processo. Outras vantagens que faz com que a técnica seja bastante positiva é que os resultados possuem resistência aos impactos de condições não ideais existentes, como erros aleatórios e pontos influentes. Tais vantagens fazem com que a técnica seja robusta e com simplicidade analítica na superfície de resposta encontrada, pois a metodologia encontra polinômios como resposta, que em geral são funções contínuas. Após o ajuste do modelo com os dados encontrados, a técnica consegue determinar as condições ótimas do processo que foi estudado (CECON; SILVA, 2011).

Para que as redes neurais artificiais possam fornecer dados totalmente satisfatórios, são necessários alguns fatores preponderantes: a arquitetura das redes seja adequada e a efetuação, com qualidade, do processo de treinamento e de validação dos dados. Sendo assim, os dados que são informados à rede são de essencial importância para que eles sejam representativos na dinâmica do processo de estudo, fazendo com que a rede exporte bons resultados (FLECK *et al.*, 2016). Haykin (2001) relata alguns benefícios das RNA que ajudam no encontro de resultados positivos da técnica. São eles: não-linearidade, adaptabilidade, resposta a evidências, informação contextual, tolerância a falhas e análise neurobiológica.

Para a otimização de processos, o uso de algoritmos genéticos (AGs) está sendo cada vez mais aceito devido alguns fatores que os fazem capacitados a encontrar resultado positivos quando requisitado. Os AGs incorporam uma solução que seja potencialmente ótima e preservam as informações críticas relativas. Como vantagem, os algoritmos são simples na formulação e solução de problemas de otimização. Geralmente, os AGs são indicados para a otimização de problemas complexos, onde envolve grande possibilidades de soluções, pois eles são robustos e são, assim, menos susceptíveis a erros de arredondamento quando parte para o resultado final (MIRANDA, 2020).

7 CONCLUSÃO

De acordo com o estudo realizado observou-se diversas técnicas para a extração de óleos essenciais. Os métodos de extração encontrados no levantamento bibliográfico foram através de fluidos supercríticos, por solventes orgânicos, por hidrodestilação e através de micro-ondas. Três diferentes métodos de otimização dos processos de extração de óleos essenciais foram analisados: Metodologia de Superfície de Resposta, Redes Neurais Artificiais e Algoritmos Genéticos.

A técnica de extração por meio de fluidos supercríticos se mostrou a metodologia mais utilizada, devido apresentar algumas vantagens como maior rapidez, baixo custo, pouco consumo de solventes orgânicos, pouca necessidade de manipulação, boa precisão, exatidão, versatilidade. Assim como o método de otimização da Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) que foi o método mais utilizado, pois possui ampla aplicabilidade, possui resultados com resistência à impactos, como erros, e possui uma simplicidade analítica, facilitando na obtenção das condições ótimas do processo. Tais processos foram usados por variados autores em busca de um melhor rendimento de extração de óleos essenciais.

Todos os métodos analisados mostraram resultados satisfatórios na otimização dos processos de extração. Ao serem comparados, os trabalhos de otimização estudados apresentaram desempenhos semelhantes. Foram encontradas condições ótimas paramétricas que auxiliavam e determinavam melhores condições de extração de óleos essenciais de diversas plantas. Tais condições ótimas apresentaram, em todos os trabalhos, pouca variação entre os resultados encontrados na teoria e os encontrados na prática, ao final dos experimentos.

Percebe-se, então, que a utilização das RNA e AGs, apesar de terem sido encontrados em menos aplicações, quando comparados com a MSR, possuem grande capacidade de desenvolver modelos que otimizam os processos, devendo ser realizadas mais pesquisas que utilizem essas técnicas para consolidação dessa área.

Sendo assim, os objetivos do presente estudo foram alcançados, pois foi possível reunir variados resultados de trabalhos referentes a extração e otimização do processo de extração de OEs, servindo de referência para futuras pesquisas nessa área.

REFERÊNCIAS

AGU, Chinedu Matthew *et al.* Modeling and optimization of Terminalia catappa L. kernel oil extraction using response surface methodology and artificial neural network. **Artificial Intelligence In Agriculture**, v. 4, n. 1, p. 1-11. jan. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589721720300064>. Acesso em: 05 abr. 2021.

AKINTUNDE, Aramide M.; AJALA, Sheriff O.; BETIKU, Eriola. Optimization of Bauhinia monandra seed oil extraction via artificial neural network and response surface methodology: A potential biofuel candidate. **Industrial Crops And Products**, v. 67, n. 1, p. 387-394. maio 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669015000588>. Acesso em: 05 abr. 2021.

ALVES, Priscila Mello. **Inteligência Artificial e Redes Neurais**. 2020. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/106-inteligencia-artificial-redes-neurais>. Acesso em: 11 out. 2020.

AMARAL, Fernando Ferraz *et al.* Aplicação da Metodologia de Superfície de Resposta para Otimização do Processo de Solda a Ponto no Aço Galvanizado AISI 1006. **Soldagem & Inspeção**, v. 23, n. 2, p. 129-142, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/si/v23n2/0104-9224-si-0104-9224SI230202.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2021.

AZAMBUJA, Wagner. **Métodos de Extração de Óleos Essenciais**. 2012. Disponível em: <https://www.oleosessenciais.org/metodos-de-extracao-de-oleos-essenciais/>. Acesso em: 09 out. 2020.

AZAMBUJA, Wagner. **Óleos Essenciais: O início de sua História no Brasil**. 2020. Disponível em: <https://www.oleosessenciais.org/oleos-essenciais-o-inicio-de-sua-historia-no-brasil/#:~:text=A%20primeira%20destila%C3%A7%C3%A3o%20brasileira%20do,salto%20gigantesco%20em%20territ%C3%B3rio%20nacional..> Acesso em: 03 fev. 2021.

BARONI, Érico de Godois; AGOSTINI, Fabiana; TOSS, Daniel. EXTRAÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL DE LIPPIA ALBA UTILIZANDO HIDRODESTILAÇÃO E EXTRAÇÃO ASSISTIDA POR MICRO-ONDAS: UM ESTUDO COMPARATIVO. In: XIX ENCONTRO DE JOVENS PESQUISADORES, 19., 2011, Caxias do Sul. **I Mostra Acadêmica de Inovação e Tecnologia**. Caxias do Sul: Ucs - Universidade de Caxias do Sul, 2011. p. 1-1. Disponível em: https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/%C3%89rico_de_Godois_Baroni.pdf. Acesso em: 18 jul. 2021.

BERLINCK, Roberto G. S.. A Química De Produtos Naturais Do Brasil Do Século Xxi. **Química Nova**, São Paulo, v. 40, n. 6, p. 706-710, set. 2020.

BIZZO, Humberto R.; HOVELL, Ana Maria C.; REZENDE, Claudia M.. Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. **Química Nova**, São Paulo, 2009. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000300005. Acesso em: 17 mar. 2020.

BOCANEGRA, Charlie Williams Rengifo. **PROCEDIMENTOS PARA TORNAR MAIS EFETIVO USO DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS EM PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES**. 2002. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Estadual de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Antonio_Nelson_Rodrigues_Da_Silva/publication/265189813_PROCEDIMENTOS_PARA_TORNAR_MAIS_EFETIVO_O_USO_DAS_REDES_NEURAIS_ARTIFICIAIS_EM_PLANEJAMENTO_DE_TRANSPORTES/links/5491786d0cf2d1800d892fc1.pdf. Acesso em: 11 out. 2020.

BUTTON, Sérgio Tonini. **METODOLOGIA PARA PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE DE RESULTADOS**. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Campinas, 2012. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~sergio1/pos-graduacao/IM317/apostila2012.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2021.

CAETANO, Mário. **Ensaio de Confirmação**. 2019. Disponível em: <https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/identificacao-de-borrachas/ensaio-de-confirmacao/>. Acesso em: 07 mar. 2021.

CALDERARI, Mirele Titton. **ESTUDO DOS OLEOS ESSENCIAIS DE PIPERACEAE DO VALE DO ITAJAÍ EM SANTÁ CATARINA**. 2002. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/30365175.pdf>. Acesso em: 10 out. 2020.

CARLSON, Luiz Henrique Castelan. **EXTRAÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL DE CAPIM-LIMÃO COM DIÓXIDO DE CARBONO A ALTAS PRESSÕES Modelagem Matemática, Ajuste de Parâmetros e Scale-up do Processo**. 2000. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química do Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

CAROSIA, Arthur Emanuel de O.. **Afinal, o que é uma Rede Neural Artificial?** 2019. Disponível em: <https://medium.com/@arthuremanuel.carosia/afinal-o-que-%C3%A9-uma-rede-neural-artificial-315c5f456672>. Acesso em: 22 jan. 21.

CECON, Paulo Roberto; SILVA, Anderson Rodrigo. **Introdução à Metodologia de Superfície de Resposta**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011. Disponível em: <https://silo.tips/download/universidade-federal-de-viosa-introducao-a-metodologia-de-superficies-de>. Acesso em: 24 abr. 2021.

CRAVEIRO, Afrânio Aragão; QUEIROZ, Danilo Caldas de. Óleos Essenciais e Química Fina. **Química Nova**, São Paulo, v. 3, n. 16, p. 224-228, nov. 1993. Disponível em: [http://submission.quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/1993/vol16n3/v16_n3_%20\(9\).pdf](http://submission.quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/1993/vol16n3/v16_n3_%20(9).pdf). Acesso em: 06 out. 2020.

COMPARINI, Anaisa *et al.* **Metodologia de superfície de resposta: uma introdução nos softwares R e STATISTICA**. São Paulo. 2012. Disponível em: http://repositorio.icmc.usp.br/bitstream/handle/RIICMC/6666/Relat%C3%B3rios%20T%C3%A9cnicos%20_376_2012.pdf?sequence=1. Acesso em: 06 out. 2020.

COSTA, T. S. *et al.*. Avaliação da Extração de Óleos Essenciais de Vetiver (*Vetiveria zizanioides*) com CO₂ supercrítico. **Rev. Bras. Pl. Med.**, Botucatu, v. 8, n. 4, p. 100-103, out. 2006. Disponível em: https://www1.ibb.unesp.br/Home/Departamentos/Botanica/RBPM-RevistaBrasileiradePlantasMedicinais/artigo19_v8_n4_p100-103.pdf. Acesso em: 04 mar. 2021.

CUNHA, A. Proença da. Aspectos Históricos Sobre Plantas Medicinais, Seus Constituintes Activos E Fitoterapia. **ESALQ/USP**, São Paulo/SP, 2005. Disponível em: https://www.ppmac.org/sites/default/files/aspectos_historicos.pdf. Acesso em: 02 out. 2020.

DAO, Tan Phat *et al.* MODELING AND OPTIMIZATION OF THE ORANGE LEAVES OIL EXTRACTION PROCESS BY MICROWAVE-ASSISTED HYDRO-DISTILLATION: THE RESPONSE SURFACE METHOD BASED ON THE CENTRAL COMPOSITE APPROACH (RSM-CCD MODEL). **Rasayan Journal Chem.**, v. 12, n. 2, p. 666-676. abr. 2019. Disponível em: https://www.rasayanjournal.co.in/admin/php/upload/630_pdf.pdf. Acesso em: 01 abr. 2021.

FAKAYODE, Olugbenga Abiola; ABODI, Kingsley Emmanuel. Optimization of oil and pectin extraction from orange (*Citrus sinensis*) peels: a response surface approach. **Journal Of Analytical Science And Technology**, v. 9, n. 20, p. 1-16. out. 2018. Disponível em: <https://jast-journal.springeropen.com/track/pdf/10.1186/s40543-018-0151-3.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2021.

FERREIRA, Ana Rita Alves. **Uso de óleos essenciais como agentes terapêuticos**. 2014. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2014. Disponível em: https://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/4513/1/PPG_21290.pdf. Acesso em: 04 fev. 2021.

FIGUEIREDO, A. Cristina; PEDRO, Luis G.; BARROSO, José G.. **PLANTAS AROMÁTICAS E MEDICINAIS - Óleos essenciais e voláteis**. *Plantas Aromáticas e Medicinais*, v. 1, n. 114, p. 29-33, 2014. Disponível em: http://cbv.fc.ul.pt/2014_Revista_da_APH_114_20_PAM.pdf. Acesso em: 06 out. 2020.

FIRMINO, Carolina. **Óleo de melaleuca é ótimo aliado nos cuidados com pele, cabelo e infecções**. 2020. Disponível em: <https://www.uol.com.br/vivabem/noticias/redacao/2020/06/26/oleo-de-melaleuca-e-otimo-aliado-nos-cuidados-de-pele-cabelo-e-infeccoes.htm>. Acesso em: 04 fev. 2021.

FLECK, Leandro *et al.* REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS: PRINCÍPIOS BÁSICOS. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, Medianeira, v. 1, n. 13, p. 47-57, jun. 2016.

GHOREISHI, S. M.; BATAGHVA, E.. Supercritical extraction of essential oil from Echium amoenum seed : Experimental, modeling and genetic algorithm parameter estimation. **Korean Journal Of Chemical Engineering**, v. 31, n. 9, p. 1632-1640. 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11814-014-0118-z.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2021.

GONÇALVES, Jonathan Queiroz *et al.*. ESTUDO QUÍMICO DE ÓLEOS ESSENCIAIS. 2017. **Centro Universitário Católica de Quixadá – UNICATÓLICA**. Quixadá. Disponível

em: <http://45.170.157.12/home/bitstream/123456789/1159/1/1996-3987-1-PB.pdf>. Acesso em: 10 out. 2020.

GOMES, Milton Odajima; COSTA, Sebastião Carlos da. APLICABILIDADE DA METODOLOGIA DA SUPERFÍCIE DE RESPOSTA NA ANÁLISE DO PROCESSO DE CORTE POR PLASMA A AR COMPRIMIDO. In: **XXIV ENCONTRO NAC. DE ENG. DE PRODUÇÃO**, 2004, Florianópolis. **ENESEP**. Florianópolis, 2004. p. 553-560. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enesep2004_enesep0107_0896.pdf. Acesso em: 28 abr. 2021.

HATAMI, Tahmasb; GLISIC, Sandra B.; ORLOVIC, Aleksandar M.. Modelling and optimization of supercritical CO₂ extraction of St. John's Wort (*Hypericum perforatum* L.) using genetic algorithm. **The Journal Of Supercritical Fluids**, v. 62, n. 1, p. 102-108. fev. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0896844611005225>. Acesso em: 16 abr. 2021.

HATAMI, T.; MEIRELES, M. A. A.; ZAHEDI, G.. Mathematical modeling and genetic algorithm optimization of clove oil extraction with supercritical carbon dioxide. **The Journal Of Supercritical Fluids**, v. 51, n. 1, p. 331-338. jan. 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0896844609003222>. Acesso em: 05 abr. 2021.

HAYKIN, Simon. **Redes neurais: princípios e prática**. Bookman Editora, 2001. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=bhMwDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=HAYKIN,+S.+\(2001\)+Redes+neurais:+princ%C3%ADpios+e+pr%C3%A1ticas.&ots=08rmKHKYIv&sig=rVnasGMP0dnKxuFGZZqMImKdkJk#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=bhMwDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=HAYKIN,+S.+(2001)+Redes+neurais:+princ%C3%ADpios+e+pr%C3%A1ticas.&ots=08rmKHKYIv&sig=rVnasGMP0dnKxuFGZZqMImKdkJk#v=onepage&q&f=false). Acesso em: 22 jan. 21.

JESUS, Emerson Rolim de; ELLENSOHN, Ricardo M.; BARIN, Claudia Smanioto. Óleo essencial de Melaleuca Alternifolia: otimização do método analítico. **Unopar Científica, Ciências Exatas, Tecnologias**, Londrina, v. 6, n. 1, p. 67-72, nov. 2007.

KHAJEH, Mostafa; MOGHADDAM, Mansour Ghaffari; SHAKERI, Mohammad. Application of artificial neural network in predicting the extraction yield of essential oils of *Diplotaenia cachrydifolia* by supercritical fluid extraction. **The Journal Of Supercritical Fluids**, v. 69, n. 1, p. 91-96. set. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S089684461200188X>. Acesso em: 16 abr. 2021.

KLEIN, Ana Paula Palaro; SOUZA, Jessica de. **Otimização do processo de obtenção do óleo essencial de folhas frescas e secas, de capim-annoni-2 (eragrostis plana nees) por hidrodestilação**. 35f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Pato Branco, 2012. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/15435/2/PB_COQUI_2012_1_02.PDF. Acesso em: 15 mar. 2021.

KOVÁCS, Zsolt L.. **REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS: Fundamentos e Aplicações**. 4 ed. São Paulo: Livraria da Física, 2006. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=OOnLxR67wmUC&oi=fnd&pg=PA9&dq=redes+neurais+artificiais&ots=hdYtT>

O5Pf7&sig=4vL2TX9alQt66RiBhPdPDX_NoqE#v=onepage&q=redes%20neurais%20artificiais&f=false. Acesso em: 16 set. 2020

LEAL, Maria da Conceição Dias. **Fundamentos e Aplicações da Metodologia de Superfície de Resposta**. 2015. 202 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Estatística, Matemática e Computação, Universidade Aberta, Lisboa, 2015. Disponível em: https://repositorioaberto.uab.pt/bitstream/10400.2/3855/1/TMEMC_Concei%c3%a7%c3%a3oLeal.pdf. Acesso em: 17 mar. 2021.

LEAL, Patrícia Franco. **Estudo comparativo entre os custos de manufaturas e as propriedades funcionais de óleos voláteis obtidos por extração supercrítica e destilação por arraste a vapor**. 2008. 275p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/254895>. Acesso em: 01 mar. 2021.

LINDEN, Ricardo. **Algoritmos Genéticos: uma importante ferramenta da inteligência computacional**. 2. ed. Rio de Janeiro: Abreu'S System Ltda, 2008. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=it0kv6UsEMEC&oi=fnd&pg=PA3&dq=algoritmo+gen%C3%A9tico+conceito&ots=CnYfl3QA-4&sig=5nofSMscgJNCOFM_0Y6BC1rVekc#v=onepage&q=algoritmo%20gen%C3%A9tico%20conceito&f=false. Acesso em: 15 mar. 2021.

LUPE, Fernanda Avila. **ESTUDO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE PLANTAS AROMÁTICAS DA AMAZÔNIA**. 2007. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/248371/1/Lupe_FernandaAvila_M.pdf. Acesso em: 20 maio 2021.

MACHADO, Bruna Fernanda Murbach Teles; JUNIOR, Ary Fernandes. Óleos essenciais: Aspectos gerais e usos em terapias naturais. **Caderno Acadêmico**, Tubarão, v. 3, n. 2, p. 105-127, 2011. Disponível em: http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/Cadernos_Academicos/article/view/718/671. Acesso em: 31 mar. 2020.

MALTAROLLO, Vinícius Gonçalves; HONÓRIO, Káthia Maria; SILVA, Albérico Borges Ferreira da. Applications of Artificial Neural Networks in Chemical Problems. **Artificial Neural Networks, Architectures and Applications**, INTECH, v. 1, n. 1, p. 203-223, 2013.

MARTINS, Carla Christina Pereira da Silva Godinho. **Óleos essenciais e sua importância nos tratamentos cosméticos**. Fortaleza: Curso de Extensão Ateneu, 2015. Disponível em: <http://uniateneu.edu.br/documentos/oleos-essenciais-e-sua-Importancia-nos-tratamentos-cosmeticos.pdf>. Acesso em: 10 set. 2020.

MARTINS, Isadora Domingos; GOMES, Letícia Antunes; CARVALHO, Daniella Koch de. **EFEITOS DA MASSAGEM RELAXANTE ASSOCIADA AO ÓLEO ESSENCIAL DE LARANJA EM MULHERES COM TRANSTORNO DEPRESSIVO MAIOR**. 2018. 29 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso Superior de Tecnólogo em Estética e Cosmética, Universidade do Sul, Santa Catarina, 2018. Disponível em: <https://www.riuni.unisul.br/bitstream/handle/12345/6805/Efeitos%20da%20massagem%20relaxante%20associada%20ao%20oleo%20essencial%20de%20laranja%20em%20mulheres%20com%20transtorno%20depressivo%20maior.pdf>

axante%20associada%20ao%20c3%b3leo%20essencial%20de%20laranja%20em%20mulheres%20com%20Transtorno%20Depressivo%20Maior.pdf?sequence=4&isAllowed=y. Acesso em: 18 fev. 2021.

MAUL, Aldo Adolar; WASICKY, Roberto; BACCHI, Elfriede Marianne. Extração por Fluido Supercrítico. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 185-200, 1996. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbfar/v5n2/a06v5n2.pdf>. Acesso em: 10 out. 2020.

MEZZOMO, Leandra. **Métodos de Extração dos Óleos Essenciais**. 2015. Disponível em: <http://bendita-flora.blogspot.com/2015/08/metodos-de-extracao-dos-oleos-essenciais.html>. Acesso em: 09 out. 2020.

MIAO, Tianlin; *et al.*. Optimization of Extraction Process of Valeriana officinalis L. Root Essential Oil and Study on Its Anti-Free Radical Activity. **Iop Conference Series: Earth And Environmental Science**, Orlando, p. 1-6, out. 2020. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/526/1/012067/pdf>. Acesso em: 01 abr. 2021.

MIRANDA, Márcio Nunes de. **Algoritmos Genéticos: Fundamentos e Aplicações**. GTA/Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2020. Disponível em: <http://www.nce.ufrj.br/GINAPE/VIDA/alggenet.htm#:~:text=Uma%20das%20vantagens%20de%20um,de%20bits%20de%20tamanho%20fixo>. Acesso em: 25 abr. 2021.

MORAES, Ana Luísa. **Óleos essenciais: usos, descobertas... e contraindicações**. 2017. Disponível em: <https://saude.abril.com.br/bem-estar/oleos-essenciais-usos-econtraindicacoes/>. Acesso em: 06 out. 2020.

MORAES, Halene Helensieva Queiroz. **OTIMIZAÇÃO EXPERIMENTAL DA EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE GENGIBRE (Zingiber officinale)**. 2012. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Pará, Belém, 2012. Disponível em: <http://ppgeq.proesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/Halene%20Helensieva%20Queiroz%20Moraes.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2021.

NASCIMENTO, Cláudio Augusto Oller; GIUDUCI, Reinaldo; GUARDANI, Roberto. Neural network based approach for optimization of industrial chemical processes. **Computers And Chemical Engineering**, Elsevier, Amsterdã, v. 1, n. 24, p. 2303-2314, 2000.

OLIVEIRA, Ariana Rmf de *et al.* **Determinação do tempo de hidrodestilação e do horário de colheita no óleo essencial de menta**. Vitoria da Conquista: Horticultura Brasileira, 2012. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-05362012000100026&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 14 set. 2020.

OLIVEIRA, Tainá D.; DUARTE, Nayara S.; PADILHA, Evandro L.. Efeito do óleo essencial de camomila-romana (*Chamaemelum nobile*) no tratamento de psoríase vulgar: relato de caso clínico. In: **XXVII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA UNICAMP**, Campinas, 2019. **Resumo**. Disponível em: <https://econtents.bc.unicamp.br/eventos/index.php/pibic/article/view/1583/1657>. Acesso em: 17 fev. 2021.

ONOJI, Samuel Erhigare *et al.* Hevea brasiliensis (rubber seed) oil: modeling and optimization of extraction process parameters using response surface methodology and artificial neural network techniques. **Biofuels**, v. 10, n. 1, p. 677-691. jun. 2017. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17597269.2017.1338122>. Acesso em: 16 abr. 2021.

PACHECO, Marco Aurélio Cavalcanti. ALGORITMOS GENÉTICOS: PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES. **Ica: Laboratório de Inteligência Computacional Aplicada**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 1, p. 1-9, jan. 1999. Disponível em: http://www.inf.ufsc.br/~mauro.roisenberg/ine5377/Cursos-ICA/CE-intro_apost.pdf. Acesso em: 17 maio 2021.

PANTERI, Amanda. **21 principais óleos essenciais, seus efeitos e como usá-los**. 2021. Disponível em: <https://boaforma.abril.com.br/equilibrio/21-principais-oleos-essenciais-seus-efeitos-e-como-usa-los/>. Acesso em: 18 fev. 2021.

PATÍÑO, L.; SAAVEDRA, A.; MARTINEZ, J..Extracción por arrastre de vapor de aceite esencial del romero. **CienciasTecnológicas y Agrarias**. Sucre, p. 239-252. 2014. Disponível em: http://www.usfx.bo/nueva/Dicyt/Handbooks/Ciencias%20Tecnol%F3gicas%20y%20Agrarias_2/Ciencias%20Tecnol%F3gicas%20y%20Agrarias_Handbook_Vol%20II/PAPERS_25/art15.pdf. Acesso em: 07 out. 2020.

PETRIKOSKI, A. P; CANZI, E; BARRETO-RODRIGUES, M.. Estudo e otimização do processo de extração por arraste de vapor de óleo essencial de Eucalyptus Grandis. In: **49º CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA**, 2009, Porto Alegre. **Iniciação Científica**. Porto Alegre: Cbq, 2009. p. 1-1. Disponível em: <http://www.abq.org.br/cbq/2009/trabalhos/13/13-147-6274.htm>. Acesso em: 24 fev. 2021.

PINHEIRO, Antônio Lelis. **Produção de óleos essenciais**. 2003. Disponível em: <https://www.cpt.com.br/cursos-agroindustria-biocombustivel/artigos/producao-de-oleosessenciais>. Acesso em: 09 out. 2020.

PINTO, Glaucia M. F.; PINTO, Jefferson F.; JARDIM, Isabel C. S. F.. Extração com fluido supercrítico. **Revista Chemkeys**, Campinas, v. 1, n. 4, p. 1-13, abr. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/chemkeys.v0i4.9603>. Acesso em: 28 abr. 2021.

PINTO, Rafael. **Inteligência Artificial - Algoritmos Genéticos**. Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - IFRS, 2014. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/rcparts/inteligencia-artificial-aula15-algoritmos-genticos>. Acesso em: 17 mar. 2021.

POZO, Aurora et al. Computação evolutiva. **Universidade Federal do Paraná, 61p.(Grupo de Pesquisas em Computação Evolutiva, Departamento de Informática-Universidade Federal do Paraná)**, 2005. Disponível em: <https://www.comp.uems.br/~ojacques/NumericPython/4.SimulatedAnnealing/CompEvolutivaApostila.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2021.

REZAZI, Sarah *et al.* Modeling and Optimization of the Operating Conditions of Marrubium vulgare L. Essential Oil Extraction Process: Kinetic Parameters Estimation through Genetic Algorithms. **Journal Of Essential Oil Bearing Plants**, v. 19, n. 1, p. 843-853. ago. 2016. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0972060X.2016.1191973>. Acesso em: 05 abr. 2021.

RIBEIRO, Thiago. **Redes Neurais Artificiais (rascunho)**. 2017. Disponível em: <https://conflitopermanente.wordpress.com/2017/07/05/redes-neuronais-artificiais-rascunho/>. Acesso em: 07 mar. 2021.

ROCHA, Gustavo Nunes. Influência de variáveis de processo na composição do óleo de Vetiver obtido por extração supercrítica. **V-Oktober Fórum – PPGEQ**, Porto Alegre/RS, 2006. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/678/000590207.pdf?sequence=1>. Acesso em: 17 mar. 2020.

ROSCHER, Paula. **Aromaterapia como porta de entrada para o bem-estar**. 2020. Disponível em: <https://www.revistaloficial.com.br/wellness/aromaterapia-como-porta-de-entrada-para-o-bem-estar>. Acesso em: 15 set. 2020.

ROMERO, Roseli Aparecida Francelin. **Otimização de sistemas através de Redes Neurais Artificiais**. 1993. 181 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Unicamp, Campinas, 1993. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/260763/1/Romero_RoseliAparecidaFrancelin_M.pdf. Acesso em: 04 fev. 2021.

SANTOS, Alberdan Silva; ALVES, Sérgio de Mello; NETO, Francisco José Câmara Figueiredo Olinto Gomes da Rocha. **Descrição de Sistema e de Métodos de Extração de Óleos Essenciais e Determinação de Umidade de Biomassa em Laboratório**. Belém: Embrapa, 2004. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/402448/1/com.tec.99.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2020.

SARTOR, Rafael Busato. **Modelagem, Simulação e Otimização de uma unidade industrial de extração de óleos essenciais por arraste a vapor**. 2009. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/21924>. Acesso em: 07 out. 2020.

SEBRAE. **Como montar uma fábrica de óleos naturais e essenciais**. Ideias de negócios. 2019. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-uma-fabrica-de-oleos-naturais-e-essencias,c2387a51b9105410VgnVCM1000003b74010aRCRD>. Acesso em: 16 fev. 2021.

SILVA, Geversson Façanha da; GONTIJO, Layne Oliveira de Lucas; ALBURQUERQUE Patrícia Melchionna. Otimização da Extração do óleo essencial de Aniba canelilla (H.B.K) Mez por planejamento experimental. In: **ANAIS DO CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA**, 2016, . Anais eletrônicos... Campinas, Galoá, 2016. Disponível em: <https://proceedings.science/cobeq/cobeq-2016/papers/otimizacao-da-extracao-do-oleo->

essencial-de-aniba-canelilla--h-b-k--mez-por-planejamento-experimental> Acesso em: 15 mar. 2021.

SILVANA. **Conheça as formas de aplicação dos óleos essenciais**. 2016. Disponível em: <https://silvanadan.wixsite.com/soulsense/single-post/2016/05/30/sem-t%C3%ADtulo>. Acesso em: 04 fev. 2021.

SILVEIRA, Jeniffer Cristina *et al.* LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS. **Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 2038-2052, 30 nov. 2012. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2012b/ciencias%20exatas%20e%20da%20terra/levantamento%20e%20analise.pdf>. Acesso em: 09 out. 2020.

SODEIFIAN, Gholamhossein; AZIZI, J.; GHOREISHI, S. M.. Response surface optimization of Smyrnium cordifolium Boiss (SCB) oil extraction via supercritical carbon dioxide. **The Journal Of Supercritical Fluids**, v. 95, n. 1, p. 1-7. nov. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0896844614002241>. Acesso em: 14 abr. 2021.

SODEIFIAN, Gholamhossein; SAJADIAN, Seyed Ali; ARDESTANI, Nedasadat Saadati. Evaluation of the response surface and hybrid artificial neural network-genetic algorithm methodologies to determine extraction yield of Ferulago angulata through supercritical fluid. **Journal Of The Taiwan Institute Of Chemical Engineers**, v. 60, n. 1, p. 165-173. mar. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1876107015004915>. Acesso em: 05 abr. 2021.

SODEIFIAN, Gholamhossein; SAJADIAN, Seyed Ali; ARDESTANI, Nedasadat Saadati. Extraction of Dracocephalum kotschy Boiss using supercritical carbon dioxide: Experimental and optimization. **The Journal Of Supercritical Fluids**, v. 107, n. 1, p. 137-144. jan. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0896844615301194>. Acesso em: 15 abr. 2021.

SODEIFIAN, Gholamhossein; SAJADIAN, Seyed Ali; ARDESTANI, Nedasadat Saadati. Optimization of essential oil extraction from Launaea acanthodes Boiss: Utilization of supercritical carbon dioxide and cosolvent. **The Journal Of Supercritical Fluids**, v. 116, n. 1, p. 46-56. out. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0896844616301280>. Acesso em: 05 abr. 2021.

SPEZIALI, Marcelo Gomes. De aromas e perfumes, o mercado da indústria do "cheiro". **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 4. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422012000400038>. Acesso em: 16 fev. 2021.

STEFFANI, Evandro. **Modelagem Matemática do Processo de Extração Supercrítica de Óleo Essencial de Ho-Sho (Cinnamomum camphora Nees & Ebermeyer var. linaloolifera Fujita) Utilizando CO₂**. 2003. 83 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/84684/203285.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 out. 2020.

STEFFEN, R. B.; ANTONIOLLI, Z. I.; STEFFEN, G. P. K. Efeito estimulante do óleo essencial de eucalipto na germinação e crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Pesquisa Florestal Brasileira**. 2018. v. 30, n. 63, p. 199, 2010. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/166>. Acesso em: 18 fev. 2021.

TRANCOSO, Marcelo Delena. **Projeto Óleos Essenciais: extração, importância e aplicações no cotidiano**. 9. ed. Rio de Janeiro: Revista Práxis, 2013.

VASCONCELLOS, Vanessa. **HISTÓRIA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS**. 2017. Disponível em: <http://shinsei.com.br/historia-dos-oleos-essenciais/>. Acesso em: 06 out. 2020.

ZAHEDI, Gholamreza; AZARPOUR, Abbas. Optimization of supercritical carbon dioxide extraction of Passiflora seed oil. **The Journal Of Supercritical Fluids**, v. 58, n. 1, p. 40-48. ago. 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0896844611001665>. Acesso em: 16 abr. 2021.

ZEKOVIĆ, Zoran *et al.* Supercritical fluid extraction of coriander seeds: Kinetics modelling and ANN optimization. **The Journal Of Supercritical Fluids**, v. 125, n. 1, p. 88-95. jul. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0896844616303382>. Acesso em: 05 abr. 2021.

ZERMANE, A. *et al.* Optimization of Algerian rosemary essential oil extraction yield by supercritical CO₂ using response surface methodology. **Comptes Rendus Chimie**, v. 19, n. 1, p. 538-543. abr. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631074816000059>. Acesso em: 05 abr. 2021.

ZERMANE, A. *et al.* Optimization of essential oil supercritical extraction from Algerian Myrtus communis L. leaves using response surface methodology. **The Journal Of Supercritical Fluids**. v. 86, n. 1, p. 89-94. jan. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0896844613003665>. Acesso em: 05 abr. 2021.