

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**ENGENHARIA QUÍMICA**

**ISABELA ANDRADE LONGO**  
**RHAMONN PAVELIK DE ASSIS**  
**VITHORIA GAUGLITZ TANAKA**

**EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE CAFÉ VERDE UTILIZANDO CO-  
SOLVENTE**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II**

**PONTA GROSSA**

**2020**

**ISABELA ANDRADE LONGO**  
**RHAMONN PAVELIK DE ASSIS**  
**VITHORIA GAUGLITZ TANAKA**

## **EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE CAFÉ VERDE UTILIZANDO CO- SOLVENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, do Departamento de Engenharia Química, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Priscilla do Santos Gaschi Leite

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Erica Roberta Lovo da Rocha Watanabe



**PONTA GROSSA**

**2020**



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

### Extração de Óleo de Café Verde Utilizando Co-Solvente

por

Isabela Andrade Longo

Rhamonn Pavelik de Assis

Vithoria Gauglitz Tanaka

Monografia apresentada no dia 23 de outubro de 2020 ao Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Aline Coqueiro  
(UTFPR)

---

Prof. Dr. Simone Delezuk Inglez  
(UTFPR)

---

Profa. Dra. Priscilla dos Santos Gaschi Leite  
(UTFPR)  
Orientadora

---

Profa. Dra. Erica Roberta Lovo da Rocha Watanabe  
(UTFPR)  
Co-orientadora

---

Profa. Dra. Juliana de Paula Martins  
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia Química

O TERMO DE APROVAÇÃO ASSINADO ENCONTRA-SE NA COORDENAÇÃO DO CURSO

## **AGRADECIMENTOS**

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de nossas vidas. Portanto, desde já pedimos desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte de nossos pensamentos e gratidão.

À orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Priscilla do Santos Gaschi Leite e à coorientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Erica Roberta Lovo da Rocha Watanabe pelos ensinamentos, confiança e suporte durante a execução do trabalho.

À Prof<sup>a</sup> Aline Coqueiro pela disposição e auxílio durante a pesquisa.

Às nossas famílias que sempre nos apoiaram e foram nossos alicerces durante os 5 anos de curso.

À UTFPR pela disponibilização dos laboratórios e equipamentos para realização das análises.

Enfim, a todos que tivemos o prazer de conviver e conhecer e que de alguma forma contribuíram para realização desta pesquisa.

## RESUMO

O café, grão de grande importância para a economia do Brasil no século XX, além de servir uma bebida muito apreciada no mundo todo, também possui um óleo com aplicabilidade em diversos segmentos industriais como, por exemplo, cosmético e farmacêutico. Este óleo é obtido, principalmente, pela imersão do grão em solvente, sendo o hexano o mais utilizado por apresentar grande afinidade molecular com a fração lipídica. Apesar de apresentar altos rendimentos, o hexano é um composto tóxico, gerando risco para o meio ambiente e à saúde. Por esse motivo, procuram-se solventes alternativos menos tóxicos e que apresentem bons rendimentos de óleo, como por exemplo o etanol, um solvente atóxico, sustentável, facilmente obtido e economicamente viável para extração desses óleos. Este projeto teve como objetivo analisar a viabilidade do etanol como co-solvente no processo de obtenção de óleo de café verde, por meio da extração ultrassônica assistida. Com a construção de uma curva cinética de extração foi possível determinar o tempo ótimo de extração de 120 minutos para três proporções de solvente/co-solvente. Variando-se a proporção solvente/co-solvente e a granulometria da amostra, obteve-se que a melhor condição estudada ocorreu com 25% de etanol e 75% de hexano e uma granulometria de 0,7 mm resultando em um teor de óleo obtido de 5,95%. Portanto, a utilização do etanol juntamente ao hexano foi viável, extraíndo um percentual significativo de óleo. Além disso, há indicativos que o processo com etanol extrai compostos polares.

**Palavras-Chave:** Óleo. Café verde. Hexano. Etanol. Banho ultrassônico. Cinética de extração.

## ABSTRACT

Coffee, an important bean for 20th century Brazilian economy, in addition to serving a drink that is highly appreciated all over the world, also has an oil with applicability in several industrial segments such as, for example, cosmetics and pharmaceuticals. This oil is mainly obtained by immersing the grain in solvent, with hexane being the most used to present great molecular affinity with a lipid fraction. Despite having a high content, hexane is a toxic compound, creating a risk for the environment and health. For this reason, alternative solvents that are less toxic and have good oil spaces are sought, such as ethanol, a non-toxic solvent, sustainable, easily obtained and economically viable for the extraction of these oils. This project aimed to analyze the viability of ethanol as a co-solvent in the process of obtaining green coffee oil, through assisted ultrasonic extraction. With the construction of a kinetic extraction curve, it was possible to determine the optimal extraction time of 120 minutes for three solvent/co-solvent ratios. By varying the solvent/co-solvent ratio and the particle size of the sample, it was found that the best condition studied occurred with 25% ethanol and 75% hexane and a grain size of 0.7 mm resulting in an oil content of 5.95%. Therefore, the use of ethanol together with hexane is feasible, extracting a significant percentage of oil. In addition, there are indications that the ethanol process extracts polar compounds.

**Palavras-Chave:** Oil. Green coffee. Hexane. Ethanol. Ultrasonic cleaning. Extraction Kinetics.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Grãos de Café Arábica e Robusta respectivamente .....	11
Figura 2 - Curva característica de extração sólido-líquido em matrizes de origem vegetal.....	21
Figura 3 - Ligação de hidrogênio entre etanol e água .....	23
Figura 4 - Grãos de café verde triturados.....	25
Figura 5 - Amostras em processo de extração em banho ultrassônico.....	26
Figura 6- Filtração das amostras.....	26
Figura 7 - Processo de evaporação em evaporador rotativo.....	27
Figura 8 - Tubos Falcon com amostras para centrifugação .....	27
Figura 9 - Extrato após primeira evaporação (A), extrato dissolvido em hexano (B) e extrato após lavagem com hexano e segunda evaporação (C) .....	34
Gráfico 1 - Curvas cinéticas de extração.....	30

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química do café arábica e robusta .....	13
Tabela 2 - Composição química do café arábica e robusta .....	16
Tabela 3 - Rendimento de óleo para diferentes granulometrias e proporções solvente/co-solvente.....	32
Tabela 4 - Rendimento de óleo para diferentes porcentagens de etanol como co- solvente.....	33

## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>11</b>
2.1.	O CAFÉ	11
2.2.	COMPOSIÇÃO DO CAFÉ	12
2.3.	ÓLEO DE CAFÉ	15
2.4.	VARIÁVEIS SIGNIFICATIVAS PARA EXTRAÇÃO	17
2.5.	EXTRAÇÃO DO ÓLEO VEGETAL	19
2.6.	CURVA CINÉTICA DE EXTRAÇÃO	21
2.7.	SOLVENTE/CO-SOLVENTE	22
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>24</b>
3.1.	PREPARO DA AMOSTRA	24
3.2.	EXTRAÇÃO DO ÓLEO	25
3.3.	CURVA CINÉTICA DE EXTRAÇÃO	28
3.4.	INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DA GRANULOMETRIA DA AMOSTRA	28
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>30</b>
4.1.	CURVA CINÉTICA	30
4.2.	GRANULOMETRIA DA AMOSTRA	32
4.3.	SOLVENTE E CO-SOLVENTE	33
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>36</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>37</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Óleos vegetais possuem grande importância para o mercado nacional e internacional, pois além de serem importantes para o setor alimentício, tem grande aplicabilidade nos setores de fármacos e cosméticos, mostrando-se também ótimos substitutos aos combustíveis fósseis quando passam pelo processo de transesterificação para produção de biodiesel.

Atualmente a principal oleaginosa utilizada como matéria prima para extração de óleo é a soja, no entanto outras vêm ganhando espaço no mercado como o girassol, canola e a palma. Além dessas, também é estudada a viabilidade de extração do óleo de café. Este produto apresenta componentes interessantes para as indústrias de cosméticos e fármacos, como a baixa acidez e a presença de fenóis e diterpenos. Para estes segmentos industriais, também é importante que sejam desenvolvidos processamentos alternativos, que sejam capazes de evitar que as propriedades específicas deste óleo sejam prejudicadas, visando obter um extrato de maior qualidade.

O processo de extração do óleo de uma semente ou grão é uma etapa primordial para obtenção do óleo como produto final, por este motivo, a melhoria da eficiência no processo de extração e a redução de custos operacionais vem sendo alvo de pesquisas.

Um método moderno que pode ser utilizado para obtenção de óleo vegetal é a extração assistida por ultrassom. O banho ultrassônico é uma alternativa que contribui para a preservação de componentes frágeis do óleo, uma vez que não tem necessidade de operar em temperaturas elevadas, além disso, esse método tem como vantagens a simplicidade e baixo custo de implementação do equipamento, a diminuição do tempo de extração e aumento do rendimento.

A grande problemática relacionada ao processo de extração de óleo é a dependência existente com derivados de petróleo, já que a maioria das plantas industriais utiliza o hexano como solvente, que além de ser um derivado do petróleo, é um solvente cancerígeno que apresenta alta toxicidade, volátil, inflamável e que acaba deixando resquícios no óleo obtido ao final da extração.

Apoiado ao conceito de química verde, que objetiva uma utilização sustentável dos recursos naturais a fim de alcançar os objetivos presentes sem comprometer as gerações futuras, busca-se uma alternativa de substituição parcial do hexano por um solvente menos agressivo. Para esse fim, destaca-se o etanol, que além de ser um solvente com baixa toxicidade, pode extrair também outros componentes que são de interesse para o setor cosmético, alimentício e de fármacos.

Dentro deste contexto, este trabalho busca avaliar o teor de óleo de café verde extraído utilizando-se extração ultrassônica assistida com diferentes proporções de hexano/etanol e variando a granulometria. Com isso, investigou-se a viabilidade do uso do etanol como co-solvente no processo de extração de óleo de café verde.

A fim de alcançar conclusões satisfatórias a estratégia abordada foi construir a curva cinética da extração do óleo de café verde utilizando banho ultrassônico, para determinação do melhor tempo de processamento, obter o extrato de óleo de café verde utilizando etanol como co-solvente em diferentes proporções (solvente/co-solvente) utilizando banho ultrassônico e comparar a quantidade de extrato de óleo de café obtido nas diferentes condições estudadas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. O CAFÉ

Originário da Etiópia, o café foi levado para a Arábia durante o século XV, onde foi cultivado e sua bebida tornou-se popular. Por volta de 1600, turcos levaram essa especiaria para a Europa sendo rapidamente disseminado pelo Continente e para o restante do Ocidente. Por volta de 1714 o Rei francês, Luiz XIV, levou o café para as Américas por meio de suas colônias (SANDI, 2003).

Chegando pela Guiana Francesa, o cultivo do café expandiu-se do litoral norte brasileiro até chegar a São Paulo, Rio de Janeiro e Paraná. O Brasil tornou-se então o maior exportador mundial do grão, e o café tornou-se umas das bebidas mais populares entre os brasileiros, marcando assim a história e economia do país através do fomento à exportação, surgimento de novas cidades e aumento no número de imigrantes, sendo então consolidado seu cultivo, principalmente nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Bahia, Rondônia e Espírito Santo (SANDI, 2003; TSUKUI, OIGMAN e REZENDE, 2014).

Pertencente à família das Rubiáceas do gênero *Coffea*, o café possui duas principais espécies, a *Coffea arabica* Linn. e a *C. canephora* Pierre ex Froehner, usualmente conhecidas como arábica e robusta, respectivamente, sendo elas representadas na figura 1. O café arábica é o que possui maior qualidade, por apresentar maior acidez, menor teor de cafeína, menor amargor e melhor qualidade sensorial, quando comparado ao café robusta (LAGO, 2001; ORTIZ, 2015).

**Figura 1 - Grãos de Café Arábica e Robusta respectivamente**



**Fonte: Tsukui & Oigman & Rezende (2014)**

Além da popularidade da sua bebida, o café vem sendo alvo de diversos estudos quanto a seus componentes, entre eles diterpenos e seus ésteres, cafeína e ácido clorogênico. Mas também, tratando-se de um grão, a matriz lipídica acaba tornando-se uma importante fonte de estudos sobre sua composição, método de extração e utilização (GROSS, JACCAUD e HUGGET, 1997).

Devido às diferentes propriedades apresentadas pelo café, a atenção de setores como fármacos e cosméticos vem sendo despertada nos últimos anos. Tais propriedades estão diretamente relacionadas com a composição deste grão, tornando este assunto um objeto interessante para desenvolver estudos científicos.

## 2.2. COMPOSIÇÃO DO CAFÉ

O café possui uma vasta composição química, composta por polissacarídeos, hidrocarbonetos, monossacarídeos, esteróis, lipídios, ácidos graxos, componentes fenólicos, alcaloides, proteínas, aminoácidos, vitaminas e minerais. Na região do endosperma, em específico, encontram-se principalmente água, proteínas, óleo e lipídios, celulose, cafeína, açúcares, dextrina, pentosanas e ácidos em geral (SEMEN et al., 2016; TSUKUI, OIGMAN e REZENDE, 2014).

A composição do café varia conforme sua espécie, a tabela 1 representa a composição média desse grão para as espécies mais comuns, arábica e robusta.

**Tabela 1 - Composição química do café arábica e robusta**

COMPONENTES	CAFÉ ARÁBICA (%)	CAFÉ ROBUSTA (%)
Cafeína	0,8 - 1,4	1,7 – 4,0
Trigonelina	0,6 - 1,2	0,3 – 0,9
Minerais	3 - 5,4	3 - 5,4
Ácidos clorogênicos totais	6,7 – 9,2	7,1 – 12,1
Ácidos alifáticos não voláteis	2 – 2,9	1,3 – 2,2
Ácidos voláteis	0,1	0,1
Carboidratos solúveis	9 – 12, 5	6,0 – 11,5
Polissacarídeos insolúveis	46 – 53	34 – 44
Lignina	1 – 3	1 – 3
Proteínas	8,5 – 12	8,5 – 12
Aminoácidos Livres	0,2 – 0,8	0,2 – 0,8
Ceras	0,2 – 0,3	0,2 – 0,3
Óleos	7,7 – 17, 7	7,7 – 17, 7

**Fonte: Tsukui, Oigman e Rezende (2014)**

A cafeína (1,3,7-trimetilxantina) é um dos componentes mais importantes por apresentar efeitos estimulantes sobre o sistema nervoso central e cardiovascular. Segundo a Associação Brasileira de Indústria de Café (ABIC), o café possui de 1 a 2% deste composto. Estudos mostram que a cafeína aumenta a atenção e reduz a fadiga, porém, quando inserida em grandes quantidades, pode causar ansiedade (TSUKUI, 2013).

Outro composto importante é a trigonelina, um alcalóide precursor de substâncias voláteis importantes na análise sensorial e na função biológica. Essas substâncias surgem a partir da degradação térmica, processo de torração, da trigonelina, sendo os principais as piridinas, o *N*-metilpirrol e o ácido nicotínico. Os

dois primeiros são característicos para o aroma e sabor do café, enquanto o terceiro possui funções biológicas. O ácido nicotínico origina a niacina (vitamina B3), importante para o organismo por apresentar funções na circulação sanguínea, no controle de diabetes, no metabolismo energético, entre outros (SALDAÑA, 1997; MALTA e CHAGAS, 2009).

Se tratando da fração fenólica presente nos grãos de café verde, existem os ácidos clorogênicos, outro precursor de substâncias voláteis, com teores de até 14% em peso seco de extrato. Esta fração tem potencial antioxidante, bactericida, assim como atividade antiviral e anti-hipertensiva. Esses ácidos são ésteres formados entre ácidos hidroxicinâmicos e ácido quinínico e podem ser separados e transformados em compostos de baixo peso molecular. Quando os grãos sofrem torrefação, esses componentes são degradados e podem sofrer polimerização com outros componentes presentes no café. A fração fenólica também é composta por taninos, lignina e antocianinas, porém em quantidades pequenas (FARAH e DONANGELO, 2006).

Um composto representante da fração lipídica do café é a cera, localizada na camada externa do grão, constituindo 0,2 a 0,3% deste, sendo um importante indicador de torra do café, pois esse processo reduz seu teor. A remoção da cera auxilia na qualidade do café, pois ela pode ser responsável por problemas gástricos após ingestão da bebida, tornando-a menos digestiva, por isso os grãos passam por processo de extração com auxílio de solventes orgânicos.

Apesar dos efeitos negativos ao organismo, quando ingerido junto a bebida, pesquisas recentes comprovam a existência de *N*-alcanoil-5-hidroxitriptamidas, principais componentes desta cera, visto como uma oportunidade no tratamento de Parkinson, por conta de efeitos positivos durante a terapia, como citam Nicholson e Brotchie (2002). Além de estudos na área da saúde, a cera desperta interesse no setor alimentício e cosméticos em razão de sua ação antioxidante. (GROSS, JACCAUD e HUGGET, 1997; SPEER e KÖLLING-SPEER, 2006).

Além da cera, o óleo também compõe a fração lipídica dos grãos de café. Este componente é rico em compostos benéficos ao organismo, por conta disso vem sendo estudado para aplicações nobres em diversas áreas químicas e alimentícias.

### 2.3. ÓLEO DE CAFÉ

O óleo de café pode ser aplicado em indústrias cosmética e farmacêutica em razão da sua fração lipídica rica em triglicerídeos, esteróis, tocoferóis e diterpenos da família cauranos que estimulam a síntese de colágeno, elastina e glicosaminoglicanos. Nos cabelos, este óleo atua como hidratante, detox e auxilia no aumento do brilho e resistência dos fios. Além disso, estudos apontam que a sua utilização em filtros solares aumenta 20% o fator de proteção solar (SPF) (NOSARI et al., 2015).

Os diterpenos presentes no óleo de café verde possuem ações anticancerígenas, pois induzem a atividade do sistema de enzimas glutathione-S-transferases. Já o óleo obtido a partir dos grãos de café torrados possui aplicações diversas no setor alimentício, por exemplo como aromatizantes (SANDI, 2003).

Além da aplicação mais nobre, envolvendo cosméticos, fármacos, e alimentos, muitos estudos propõem a utilização deste óleo para produção de biodiesel, visto que o grão tem teores de óleo em peso considerável. Porém, o maior desafio encontrado é adaptar o processo de extração do óleo do grão de café a fim de obter-se um bom rendimento (SOMNUK, 2017).

A composição dos óleos vegetais é de aproximadamente 95% de triglicerídeos, enquanto o óleo de café possui em torno de 75% destes componentes, indicando que os teores de material insaponificável do óleo de café são consideravelmente maiores, como mostra a tabela 2 (SPEER e KÖLLING-SPEER, 2006).

**Tabela 2 - Composição química do café arábica e robusta**

Componentes	Teor (%)
Triacilglicerídeos	75,2
Ésteres diterpênicos e ácidos graxos	18,5
Diterpenos livres	0,4
Ésteres de esteroides e ácidos graxos	3,2
Esteróis	2,2
Tocoferóis	0,04 – 0,06
Fosfatídios	0,1 – 0,5
Outros	1

**Fonte: Tsukui, Oigman e Rezende (2014)**

Os triacilgliceróis, mencionados por Lago (2001), que compõem majoritariamente o óleo de café são formados em sua maior parte pelos ácidos palmítico e linoleico. Notam-se diferenças acentuadas entre os ácidos presentes na cera, mesmo que existindo em pequenas quantidades, e no óleo.

É interessante também mencionar a diferença entre a composição dos triacilgliceróis e dos monoésteres de cafestol e caveol, em relação aos ácidos graxos constituintes destes ésteres. De forma geral o ácido palmítico predomina nos monoésteres, enquanto o linoléico nos triacilgliceróis (LAGO, 2001).

Ao contrário de outros óleos de origem vegetal, a quantidade de material insaponificável chega a quase 15% do óleo de café, onde os principais componentes constituintes são os álcoois diterpênicos cafestol ( $C_{20}H_{28}O_3$ ) e caveol ( $C_{20}H_{26}O_3$ ), bem como seus respectivos ésteres. Contrariando a tendência da maioria dos outros óleos, onde a presença de esteróis acompanhados de álcoois triterpênicos representa a maior parte do conteúdo insaponificável (TSUKUI, OIGMAN e REZENDE, 2014; LAGO, 2001).

Estes componentes estão presentes principalmente na variedade arábica, já na variedade robusta observa-se ausência ou quantidade pouco significativa de

caveol. Esses componentes podem ser recuperados pela ação de saponificação ou transesterificação, porém são muito sensíveis ao calor, tornando o processo em condições críticas. Estudos sobre seus ésteres mostram a importância destes componentes, principalmente por alguns efeitos fisiológicos como ações de quimioproteção, antioxidante e antiinflamatória, em contrapartida comprovou-se também efeitos hipercolesterolêmicos (TSUKUI, OIGMAN e REZENDE, 2014; LAGO, 2001).

Tratando-se das espécies de café, o café arábica possui maiores quantidades de óleo e de diterpenos, quando comparado ao café robusta. Os teores encontrados em diversos estudos variam de 10,5% a 17% e 8% a 10%, para o café arábica e café robusta, respectivamente. O efeito da torrefação no café não diminui esses teores, porém com ele a umidade diminui, o que faz com que o teor relativo seja aumentado. O teor extraído industrialmente é considerado sempre menor que o presente no grão, pois limitações tecnológicas impedem que todo o óleo do grão presente nas células seja acessado, chegando somente a teores próximos a 10%. Além disso, o teor de óleo extraído do café varia também de acordo com o método de extração e o método de determinação desse óleo (SANDI, 2003; SPEER e KÖLLING-SPEER, 2006).

O aperfeiçoamento de tecnologias de extração faz com que um óleo de melhor qualidade, tanto quantitativamente quanto qualitativamente, seja extraído, além disso os parâmetros e variáveis críticas para o processo são mais bem trabalhadas e estabilizadas, visto que são elas que ditam a qualidade da extração.

#### 2.4. VARIÁVEIS SIGNIFICATIVAS PARA EXTRAÇÃO

Quando se fala em extração por solvente, é necessário ter em mente que o processo de transferência de massa do soluto de dentro da partícula para o solvente deve ser o fator a ser controlado e otimizado, para isso tem-se cinco variáveis que devem ser manipuladas para que a extração seja de fato otimizada, sendo elas: tamanho da partícula, solvente utilizado, temperatura, agitação do fluido e tempo de extração (COELHO FILHO, 2015; SPEER e KÖLLING-SPEER, 2006).

Para que a extração seja efetiva o tamanho da partícula deve ser levado em consideração, ter uma área superficial suficientemente grande a ponto de possibilitar o maior contato entre a micela, onde está o solvente, e os poros da célula, e para isto, quanto menor o tamanho dessa partícula, maior a área superficial. O tamanho dessa partícula influencia também no caminho que o soluto deverá percorrer até o solvente (ZACHI, 2007).

O tamanho da partícula também está intimamente associado com a eficiência com que membranas celulares serão rompidas, assim como o formato, tamanho e rigidez das mesmas (AZEVEDO, 1996).

A agitação do fluido é outro fator a ser considerado, pois essa agitação aumenta tanto a difusão do soluto para o meio através da difusão turbilhonar quanto diminui a sedimentação de partículas finas no leito e melhora a difusão na interface das fases (COELHO FILHO, 2015).

A influência da temperatura é muito importante para o processo de extração, pois de forma geral, temperaturas maiores desencadeiam maiores fluxos de permeado, pois como Zachi (2007) cita “O efeito mais visível da temperatura é a alteração na viscosidade do solvente e do óleo e na solubilidade de alguns componentes do óleo bruto”. Então, pode-se esperar que a velocidade de extração seja também maior, facilitando assim o processo (ZACHI, 2007).

Principalmente na extração utilizando solvente, a temperatura está limitada principalmente ao ponto de ebulição do solvente, mas outros fatores como degradação do produto desejado na extração e fatores econômicos também devem ser levados em conta (ZACHI, 2007).

Um fator importante, já citado é o solvente escolhido, que deve ter uma baixa viscosidade para que possa se deslocar livremente entre as partículas. É necessário que o solvente tenha também um alto grau de pureza deixando assim com que o gradiente de concentração seja o maior possível no começo da extração. O solvente, além disso deve ter afinidade com o soluto, possuindo polaridade semelhante ao soluto, sendo assim miscíveis (COELHO FILHO, 2015).

Outras variáveis secundárias podem ser necessárias dependendo da tecnologia utilizada para extração, bem como frequência, no caso do banho ultrassônico. Estes diferentes métodos de extração devem então ter essas variáveis

muito bem conhecidas e controladas para que se obtenha o um óleo de qualidade desejada.

## 2.5. EXTRAÇÃO DO ÓLEO VEGETAL

Para extrair o óleo contido nos grãos são propostos diferentes métodos, cada qual com suas vantagens e desvantagens. Dentre estes métodos encontram-se os clássicos como a extração por prensagem e por imersão em solvente a quente (COELHO FILHO, 2015).

A extração por prensagem, ainda muito utilizada industrialmente, consiste na prensagem mecânica das sementes e posterior filtragem do óleo extraído. Atualmente são utilizadas prensas contínuas, onde as sementes após entrarem no equipamento passam por parafuso helicoidal, empurrando a massa para frente. No final do equipamento existe um cone, chamado nozzle, de tamanho regulável, a fim aumentar ou diminuir a abertura para regular a pressão exercida na prensa. Feito o processo, são obtidos como produtos o bagaço de matéria sólida e o óleo extraído. Este processo geralmente tem um rendimento mais baixo que outros métodos (SANDI, 2003; SOUZA, 2012).

Muito empregado em plantas extratoras, a extração sólido-líquido é um método de extração que consiste na imersão da matéria prima em um solvente, envolvendo a transferência de solutos da matriz sólida para um solvente. A extração do substrato do interior da partícula sólida pode ser dividida em duas etapas, a difusão do óleo de dentro da célula até a interface sólido/líquido e a solubilização entre o substrato e o solvente de afinidade semelhante, como também o seu arraste para a fase fluida. Esse é considerado como um dos principais métodos clássicos, possuindo como desvantagem a presença de resíduos de solvente no óleo. Essa tecnologia de extração pode ser subdividida em diversos outros métodos, dentre os mais comuns temos a extração em leitos fixos, leitos móveis, extração de sólidos dispersos e extração contínua contracorrente (COELHO FILHO, 2015; SANDI, 2003; TZIA e LIADAKIS, 2003).

Existem diversas técnicas de extração sólido líquido, porém as mais clássicas como maceração, extração por Soxhlet, extração por arraste a vapor, infusão e percolação apresentam diversas desvantagens como: longo tempo de extração, menor rendimento, impureza do extrato e grande volume de solvente. Assim, para melhorar o rendimento, essas técnicas necessitam de um aumento na temperatura, o que diminui a qualidade do extrato. Para se obter melhores resultados na qualidade do óleo, técnicas modernas que não necessitam da elevação da temperatura vêm sendo estudadas (ORTIZ, 2015).

Um dos métodos alternativos à extração a quente, é a extração ultrassônica assistida, pois, como mencionado por BRUNI et.al (2014, p.2):

As ondas ultrassônicas causam mudanças físicas e químicas devido à variação de pressão no líquido gerando a cavitação e microfluxos nos líquidos, aquecimento e ruptura nos sólidos e instabilidade na superfície da interface de sistemas líquido-líquido e líquido-gás.

Esse método tem como vantagens o baixo custo de implementação do equipamento, a simplicidade do mesmo e a diminuição do tempo de extração. Apesar de não ser o método mais utilizado para extração de óleo, a extração ultrassônica assistida vem se mostrando promissora devido a fatores como aumento do rendimento, diminuição da temperatura de extração e diminuição de tempo de processo em relação aos métodos clássicos já citados (BRUNI et.al, 2014).

A técnica, além das vantagens expostas, também está apoiada e inserida em um campo emergente, a Química Verde. Onde seu principal objetivo é a viabilização de processos e produtos que não comprometam o meio ambiente ou que ao menos minimizem seus efeitos nocivos (AGUIAR, 2014).

Como citado, o tempo de extração no método ultrassônico mostra-se como uma grande vantagem para o processo, ou seja, sua curva cinética atinge o ponto de estabilidade de extração em um menor tempo quando comparado aos demais processos. Sendo uma das variáveis críticas para a extração, é de grande importância seu estudo e obtenção do tempo ótimo.

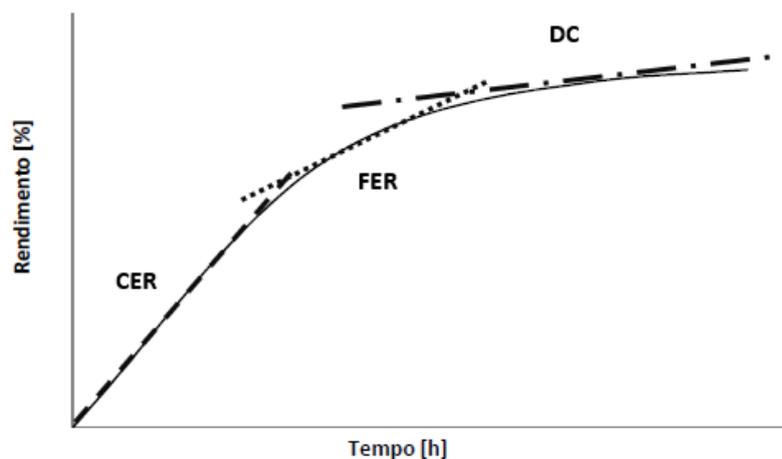
## 2.6. CURVA CINÉTICA DE EXTRAÇÃO

Independentemente do método de extração sólido-líquido adotado, a cinética de extração é um fator importante, pois ela fornece conhecimentos capazes de otimizar o processo, tornando-o mais eficiente e aumentando a quantidade de óleo obtido (GOMES et al., 2013; ORTIZ, 2015).

A cinética de extração é descrita por curvas de extração, também chamadas curvas globais de extração. Essas curvas são obtidas através da obtenção de pontos experimentais, através da filtração, centrifugação, evaporação do solvente e secagem até massa de extrato constante em função do tempo. A principal informação retirada desta curva é o tempo requerido para a conclusão de uma batelada, também pode ser calculada a concentração de solutos no solvente e o rendimento de extração (ALBUQUERQUE, 2008; ORTIZ 2015).

A figura 2 representa o comportamento característico de uma curva de extração sólido líquido em matrizes de origem vegetal. Nela pode-se observar que no início do processo de extração possui um aumento rápido do rendimento e depois de certo tempo tende a se tornar estável até chegar ao equilíbrio.

**Figura 2 - Curva característica de extração sólido-líquido em matrizes de origem vegetal**



**Fonte: Autoria Própria (Adepto ALBUQUERQUE, 2008)**

Como mostrado na figura 2, são identificadas três fases específicas na curva, a fase de taxa constante de extração (CER: Constant Extraction Rate), a fase

de taxa de extração decrescente (FER: Falling Extraction Rate) e a fase de taxa de extração controlada pela difusão (DC: Diffusion Controlled). Na primeira região (CER) observa-se uma taxa de extração rápida e constante devido ao fácil acesso ao soluto, encontrado majoritariamente na superfície dos grãos. Neste caso, a transferência ocorre por convecção, ou seja, pelo escoamento do solvente entre as partículas (ORTIZ, 2015; ALBUQUERQUE, 2008).

A região conhecida por “FER” é caracterizada pelo início do esgotamento do soluto em fácil acesso, devido às irregularidades de rompimento e de revestimento das partículas. Nesta situação, a taxa de extração decresce e a transferência é controlado principalmente pela difusão do solvente para o interior das partículas, sem descartar a convecção, pois ainda há soluto na fase fluida. Na última região (DC) há ausência de soluto em fácil acesso, sendo assim, a taxa de transferência é determinada apenas pela difusão (ALBUQUERQUE, 2008).

O tempo de extração, ou ciclo de extração, do óleo pode ser determinado através da interseção entre a fase de taxa de extração decrescente e a fase controlada pela difusão. Após este período, o rendimento de extrato obtido em comparação ao gasto energético, não é significativo, isso ocorre, pois, a extração fica dependente dos efeitos difusivos (BRAGA, 2005; SILVA et. al., 2015).

O tempo, para a extração sólido-líquido, dependerá de outras condições de processo como a temperatura e o solvente utilizado. O segundo está fortemente ligado com a afinidade molecular, o que faz com que solventes de miscibilidade semelhante sejam os mais utilizados para otimizar o tempo de processo.

## 2.7. SOLVENTE/CO-SOLVENTE

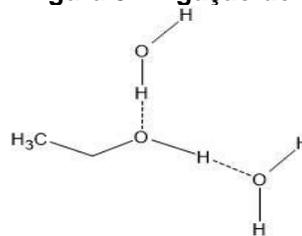
O solvente mais utilizado em plantas extratoras de óleo é o hexano, uma vez que é um componente apolar com grande afinidade por outros compostos apolares, como é o caso do óleo, o que possibilita um alto rendimento de extração, superior a 95%. Além disso, este solvente apresenta outra propriedade importante, seu baixo ponto de ebulição, sendo assim fácil de ser separado do óleo utilizando uma quantidade de energia menor se comparada a outros solventes. No entanto, o

hexano tem como principal desvantagem, sua alta toxicidade e potencial cancerígeno. Outros fatores como o preço, perdas e riscos ambientais fazem com que solventes alternativos sejam propostos (JOHNSON e LUSAS, 1983; FREITAS e LAGO, 2007).

Um solvente com características potencialmente interessantes para extração de oleaginosas é o uso do etanol, pois é um derivado de fonte renovável e, no Brasil é produzido em larga escala. Além disso, o etanol é mais barato que o hexano, e destaca-se por ser atóxico, que o enquadra como um solvente verde (FREITAS e LAGO, 2007).

Em contrapartida, o etanol apresenta dificuldade em extrair sozinho, componentes oleosos, visto que sua estrutura possui uma extremidade polar, possibilitando a ligação de hidrogênio com compostos polares como a água, como mostra a figura 3, aumentando sua polaridade, sendo superior a do hexano. Isso faz com que a miscibilidade entre óleo/etanol seja proporcionalmente menor que em um sistema óleo/hexano, além disso, o etanol extrai também outros compostos polares principalmente quando esse está hidratado (MARTINS, LOPES e ANDRADE, 2013).

**Figura 3 - Ligação de hidrogênio entre etanol e água**



Etanol-Água

**Fonte: Martins, Lopes e Andrade (2013)**

Portanto, uma alternativa menos radical a substituição completa do hexano no processo de extração, é a utilização do etanol como co-solvente, isso faz com que uma fração considerável do hexano utilizado possa ser substituído e o etanol consiga ter um melhor contato com o óleo, tornando-os mais miscíveis. A utilização do etanol como co-solvente junto ao hexano faz com que a afinidade entre solvente-soluto seja aumentada, fazendo com que as interações entre eles sejam maiores, melhorando o rendimento de extração (DAGOSTIN, 2015).

### 3 METODOLOGIA

De acordo com Coelho Filho (2015), há variáveis do processo que influenciam diretamente na quantidade de produto obtido, como: tempo de contato solvente/amostra, diâmetro da partícula, solvente utilizado e proporção amostra/partícula. Buscando avaliar o processo, neste trabalho investigaram-se as melhores condições de extração, levando em conta as variáveis citadas.

Para obter os dados necessários para o estudo contido neste trabalho, a extração foi realizada com banho ultrassônico, pois segundo Ortiz (2015) é um método de extração que não necessita de elevação da temperatura, conservando a qualidade do extrato, além de apresentar vantagens como: menor tempo de extração, alto rendimento e facilidade de controle dos parâmetros de processo.

A pesquisa foi realizada nos Laboratórios da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Ponta Grossa, tendo como material de pesquisa grãos de café verde da espécie *Coffea arabica*.

#### 3.1. PREPARO DA AMOSTRA

As amostras de café verde, tipo arábica, foram colhidas no mês de abril de 2018 no sítio Santo Antônio, no bairro Jacutinga, localizado a 23°23'28.5"S; 49°24'51.2"O, na cidade de Fartura, no interior do Estado de São Paulo. Os grãos foram secos em terreno amplo do sítio, durante 24 horas.

Para o preparo da amostra, apoiado no trabalho de Silva et.al (2015), grãos de café verde, da espécie *Coffea arabica*, foram triturados em moinho de facas da marca Marconi, modelo MA340, a fim de reduzir a granulometria do grão, aumentando assim a área de contato entre amostra e solvente. Posteriormente as amostras foram peneiradas, em Agitador de Peneiras para Análises Granulométricas Eletromagnético, por 15 minutos. A amostra de grãos de café verde já preparada está ilustrada na figura 4 (SILVA et. al, 2015).

**Figura 4 - Grãos de café verde triturados**



**Fonte: Autoria própria (2020)**

### 3.2. EXTRAÇÃO DO ÓLEO

Para extração do óleo de café verde do tipo arábica, foram utilizados os solventes etanol anidro 99,9% e hexano comercial 95,0%, ambos da marca PanReacAppliChemna.

Primeiramente para obtenção dos extratos, foram pesadas 10 gramas de amostras, previamente preparadas, em erlenmeyers de 250 ml e posteriormente colocadas em contato direto com o solvente. Os erlenmeyers com as amostras e solvente foram vedados com película de parafina da marca PARAFILM e colocados em pares em banho ultrassônico a temperatura ambiente e 25 Hz (figura 5), para evitar a degradação do óleo e perda de solventes (BRUNI et. al., 2014).

**Figura 5 - Amostras em processo de extração em banho ultrassônico**



**Fonte: Aatoria própria**

Após o processo de extração, a micela obtida em cada erlenmeyer foi colocada em um aparato de funil e papel filtro e foi filtrada para um balão de fundo redondo (figura 6), previamente seco e pesado, correndo posteriormente a separação do solvente do óleo bruto em um evaporador rotativo, modelo TE-211 e marca TECNAL (figura 7). Óleo e balão foram pesados em balança analítica e assim foi possível quantificar massa de extrato obtido.

**Figura 6- Filtração das amostras**



**Fonte: Aatoria própria**

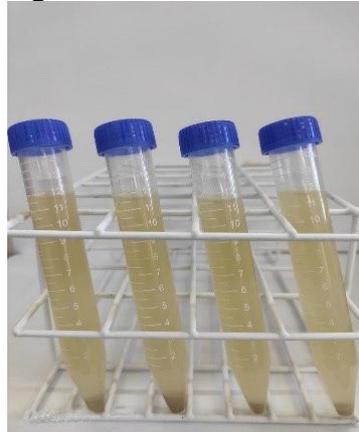
**Figura 7 - Processo de evaporação em evaporador rotativo**



**Fonte: Autoria própria**

Devido a presença do etanol, neste extrato podem existir diversos componentes polares e ceras. Para que seja obtida apenas a massa de óleo bruto a ser quantificada, o extrato foi solubilizado com aproximadamente 30 mL de hexano. O conteúdo do balão foi transferido para tubos falcon com auxílio de pipeta (figura 8), e levados para Centrífuga Excelsa Baby II, modelo 206-R da marca FANEN, onde foram centrifugados por 10 minutos. O sobrenadante obtido foi transferido para um balão limpo, com auxílio de pipeta, evitando contato com as partículas presentes no fundo, e passou novamente pelo rotaevaporador. Após evaporação total do solvente, a massa final de óleo foi pesada em balança analítica.

**Figura 8 - Tubos Falcon com amostras para centrifugação**



**Fonte: Autoria Própria**

### 3.3. CURVA CINÉTICA DE EXTRAÇÃO

Foram construídas três curvas cinéticas, representadas por gráficos de teor de óleo, ou massa acumulada, em função do tempo, com o intuito de identificar o tempo em que ocorre a saturação do teor de óleo de café. Para isso a extração foi realizada utilizando três diferentes proporções de solvente: hexano puro, etanol puro e mistura igualitária hexano/etanol.

Para obtenção dos dados, as extrações foram realizadas utilizando amostras com diâmetros médios de partículas de 1,1 mm e três diferentes proporções de solvente: hexano puro, etanol puro e mistura 1:1 de hexano/etanol.

Por conta da maior afinidade entre hexano e óleo, a extração iniciou-se de forma rápida, sendo o primeiro ponto da curva do hexano em 5 minutos. Já o primeiro ponto das curvas do etanol e da mistura foi em 15 minutos.

Os processos de extração, rotaevaporação e centrifugação foram os mesmos para todas as amostras, variando apenas o tempo de extração no banho ultrassônico. O segundo ponto para o hexano foi de 15 minutos. Para as três curvas de 15 a 30 minutos seguiu em intervalo de 15 minutos, de 30 a 120 minutos, intervalos de 30 minutos, após seguiu de hora em hora até atingir a saturação, ou seja, quando o teor de óleo não aumenta significativamente.

### 3.4. INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DA GRANULOMETRIA DA AMOSTRA

Para determinar a influência do diâmetro médio de partícula para diferentes proporções hexano/etanol, a extração foi feita na proporção 5:1 de solvente/amostra (BRUNI et. al., 2014). Para análise utilizou-se amostras com diâmetros médios de partícula entre 0,6 mm e 1,3 mm e cinco proporções de solvente/co-solvente, sendo elas: 1:0; 0,25:0,75; 0,5:0,5; 0,75:0,25; 0:1.

Ao obter o teor de óleo, realizou-se a comparação entre a quantidade de extrato obtido com diferentes diâmetros de partículas e com diferentes proporções hexano/etanol, a fim de identificar as melhores condições de extração em relação a

essas duas variáveis. Definido as melhores condições, foi feita a comparação com o extrato obtido utilizando 100% de hexano como solvente, para analisar a viabilidade do etanol como co-solvente.

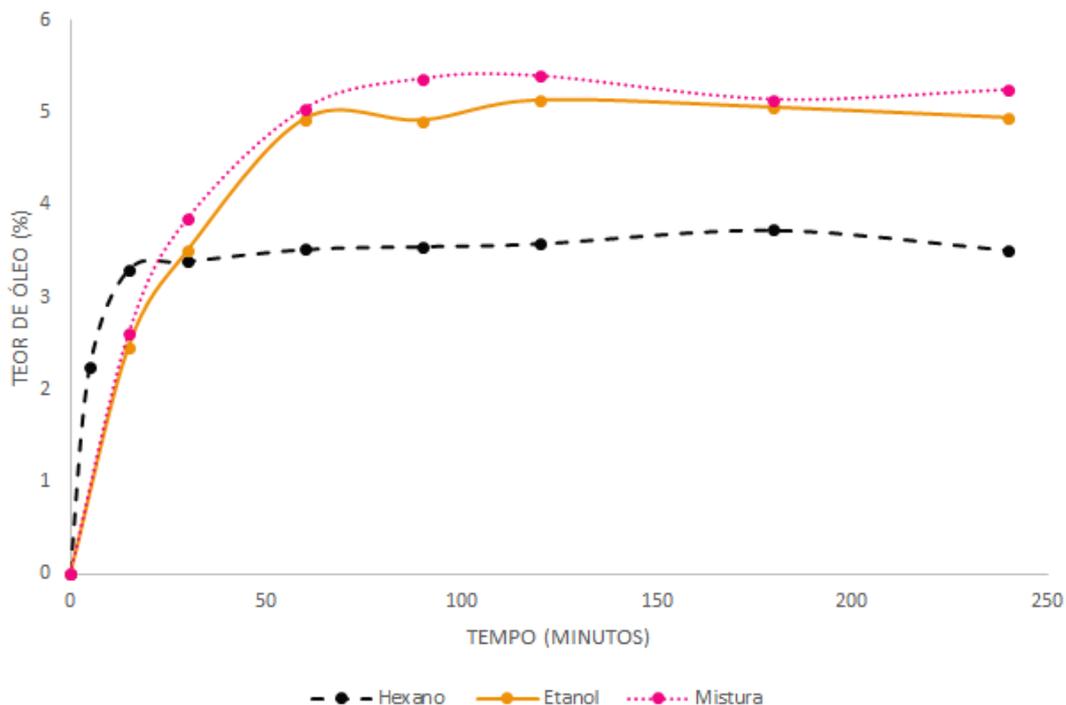
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizados os experimentos, foram obtidos dados percentuais sobre o teor de óleo extraído pelos solventes, hexano, etanol e a mistura dos dois. Estes dados foram então utilizados para análise do tempo de extração e posterior análise da granulometria e proporção solvente/co-solvente.

### 4.1. CURVA CINÉTICA

O gráfico 1 representa as curvas cinéticas de extração do óleo de café verde, utilizando amostras com diâmetros médios de partícula de 1,0 mm, na proporção 5:1 amostra solvente e nas diferentes proporções solvente/co-solvente: 1:0, 1:1 e 0:1.

Gráfico 1 - Curvas cinéticas de extração



Fonte: Autoria própria (2020)

Observa-se no gráfico 1 que as curvas cinéticas possuem a mesma característica das curvas globais de extração, com as três fases características, CER, FER e DC, conforme exposto por Albuquerque (2008).

Em análise dos dados obtidos com a construção das curvas cinéticas, percebe-se que a extração utilizando o hexano puro iniciou-se em 5 minutos, atingindo um teor de óleo de 2,24%, progredindo de forma rápida até atingir a saturação em 60 minutos, como teor de óleo de 3,52%. Isso ocorre devido a grande afinidade do hexano com a fração lipídica do óleo (ambos apolares), facilitando o processo de extração.

Diferente do hexano, as curvas do etanol puro e da mistura hexano/etanol iniciaram após decorridos 15 minutos, com teores de óleo de 2,46% e 2,60% respectivamente. A saturação foi atingida em 120 minutos, com teores de óleo de 5,13% para o etanol e 5,39% para a mistura.

Os teores superiores na extração com etanol como solvente ou co-solvente são um indicativo dos compostos polares presentes nos grãos de café que o etanol é capaz de extrair e que não foram totalmente removidos com a diluição da micela em hexano.

Considerando-se as três curvas apresentadas, parametrizou-se a variável tempo para um valor de 120 minutos (2 horas), pois com tempos maiores o gasto energético adicional utilizado não resulta em quantidades significativas de óleo para nenhuma das três proporções de solvente. Com esta variável fixada, garantiu-se que a fase de difusão fosse alcançada na extração.

Este tempo demonstra que o banho ultrassônico é capaz de diminuir o tempo do processo, uma vez que potencializa a etapa de difusão do solvente para camada interna dos grãos ao gerar instabilidade na interface sólido-líquido, através da incidência das ondas ultrassônicas (BRUNI et.al., 2014)

Além de permitir a extração em tempos menores, o banho ultrassônico foi capaz de extrair o óleo a temperatura ambiente, evitando a degradação térmica dos compostos presentes no óleo. Com isso, o extrato obtido possui um maior padrão de qualidade, podendo ser aplicado em química fina, como os setores de cosméticos e fármacos.

#### 4.2. GRANULOMETRIA DA AMOSTRA

Para a avaliação da influência da granulometria da amostra no rendimento da extração, considerou-se o tempo ótimo de 2 horas encontrado a partir da construção da curva cinética. A extração do óleo foi realizada utilizando a proporção 1:5 de amostra/solvente e proporções hexano/etanol de 1:0, 0,75:0,25, 0,5:0,5, 0,25:0,75 e 0:1, sendo os diâmetros médios de partículas avaliados nesta etapa iguais a 0,7, 1,1 e 1,3 mm. Os teores de óleo obtidos para cada amostra estão representados pela tabela 3.

**Tabela 3 - Rendimento de óleo para diferentes granulometrias e proporções solvente/co-solvente**

Nº amostra	% Etanol	Diâmetro médio de partícula (mm)	Teor de óleo bruto (%)
1	0	1,3	3,57
2	0	1,1	3,19
3	0	0,7	4,09
4	25	1,3	3,68
5	25	1,1	4,15
6	25	0,7	5,95
7	50	1,3	4,25
8	50	1,1	3,97
9	50	0,7	4,67
10	75	1,3	3,44
11	75	1,1	3,93
12	75	0,7	5,52
13	100	1,3	3,31
14	100	1,1	3,41
15	100	0,7	3,78

**Fonte: Autoria própria (2020)**

Na tabela 3 é possível notar que o maior rendimento foi de 5,95% em teor de óleo, resultado da amostra com o menor diâmetro médio de partícula (0,7 mm) e proporção hexano/etanol de 0,75:0,25. Observa-se que à medida que o diâmetro aumenta, o teor de óleo diminui, corroborando com a teoria de que quanto menor o diâmetro da partícula, maior a área superficial de contato e conseqüentemente melhor será a extração (COELHO FILHO, 2015).

Por condições operacionais, o menor diâmetro médio de partícula possível foi de 0,7 mm, pois extrações com partículas menores apresentaram arraste dos grãos, dificultando a quantificação exata do teor de óleo bruto obtido. Assim, determinou-se um limite inferior de diâmetro médio de partícula de 0,7 mm.

#### 4.3. SOLVENTE E CO-SOLVENTE

Para identificar a viabilidade de se utilizar etanol como co-solvente no processo de extração do óleo de café verde, foram avaliadas diferentes proporções de hexano/etanol, para fins de comparação, sendo elas 0:1, 0,25:0,75, 0,5:0,5, 0,75:0,25 e 1:0.

Para esta análise, tomou-se como base os resultados da tabela 3, considerando a granulometria que obteve o melhor resultado de teor de óleo (0,7 mm). Estes dados estão representados na tabela 4.

**Tabela 4 - Rendimento de óleo para diferentes porcentagens de etanol como co-solvente**

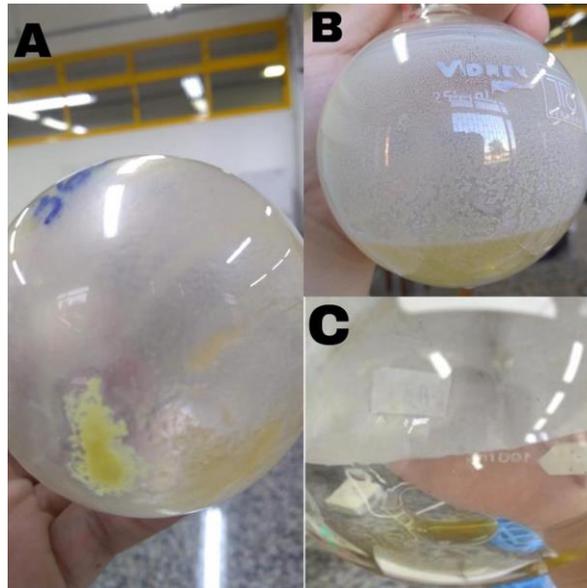
N°amostra	% Etanol	Teor de óleo bruto (%)
1	0	4,09
2	25	5,95
3	50	4,67
4	75	5,52
5	100	3,78

**Fonte: Aatoria própria (2020)**

Analisando os dados contidos na tabela 4, observa-se que todos os rendimentos obtidos a partir da mistura de hexano e etanol superam o valor do hexano puro como solvente. Além disso, os maiores teores de óleo foram obtidos com a utilização de 25% e 75% de etanol como solvente, com porcentagens de rendimento iguais a 5,95% e 5,52%, respectivamente.

. Pela figura 9, observa-se a diferença visual do extrato obtido através de extrações com etanol como solvente ou co-solvente, antes, durante e após a lavagem com o hexano.

**Figura 9 - Extrato após primeira evaporação (A), extrato dissolvido em hexano (B) e extrato após lavagem com hexano e segunda evaporação (C)**



**Fonte: Autoria própria (2020)**

Antes da lavagem, figura 9-A, o extrato apresenta além da característica oleosa, uma quantidade considerável de um composto pastoso, observa-se também um aumento visível da viscosidade do óleo, essa qualidade citada pode ser atribuída a presença da cera, presente no exterior do grão do café, e outros compostos mais polares que a fração lipídica, possivelmente extraídos pelo etanol. Ao adicionar hexano ao extrato, figura 9-B, nota-se uma quantidade significativa de um composto branco aderido ao balão, que o hexano não foi capaz de solubilizar. Após a lavagem e segunda rotaevaporação, figura 9-C o óleo bruto se apresentou menos viscoso e sem a fração pastosa observada após a primeira rotaevaporação, característica semelhante ao extrato obtido a partir da extração com hexano puro.

Comparando a extração de hexano puro com as demais amostras que utilizaram proporções menores deste solvente, era esperado que o primeiro apresentasse maior rendimento, porém, com um valor de 4,09% não foi o que se observou neste trabalho. Isto pode ser explicado pela presença de componentes polares que o etanol é capaz de extrair devido a sua polaridade, como observa-se a partir de uma simples comparação visual dos extratos apresentados na figura 9.

A utilização do etanol como co-solvente mostra-se viável para diferentes frentes, pois com uma substituição considerável, 25% de etanol, consegue-se uma

quantidade de óleo, após a segunda evaporação, relativamente próxima àquela utilizando somente hexano. Outro ponto é a utilização dos subprodutos e compostos, também extraídos pelo etanol, para o setor alimentício, farmacêutico e cosmético.

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi estudado o uso do etanol como um substituto parcial do solvente hexano que é um composto derivado do petróleo e tóxico. Além disso, avaliou-se as melhores condições de operação para o método de extração via banho ultrassônico, considerando as variáveis mais significativas do processo.

Com os ensaios de extração realizadas para construção das curvas cinéticas, observou-se um tempo ótimo de extração em 2 horas, relativamente curto quando comparado com métodos mais usuais de extração sólido-líquido. O banho ultrassônico permitiu a obtenção de um extrato com um maior padrão de qualidade, uma vez que foi possível a extração em temperatura ambiente.

Pela extração realizada com diferentes diâmetros médios de partícula, conclui-se que quanto menor o diâmetro, maior será o rendimento do extrato (teor de óleo). Com isso, o menor diâmetro estudado neste trabalho (0,7 mm) foi o que apresentou o resultado de maior teor de óleo e foi adotado para extrações seguintes para avaliação da influência e melhores condições para a proporção solvente/co-solvente.

Verificou-se que há um rendimento maior para a menor proporção de etanol, devido a menor afinidade deste solvente com a fração lipídica do óleo. Além de apresentar melhor rendimento com esta proporção, ela também extrai outros compostos de interesse a indústria, podendo ser identificado por métodos de caracterização.

Reunindo todas as análises quantitativas realizadas, conclui-se que é viável substituir parcialmente o solvente hexano pelo solvente etanol, para extração via banho ultrassônico, pois além de apresentar resultados satisfatórios, o etanol é capaz de extrair outros componentes além do óleo bruto.

Para trabalhos futuros sugere-se que seja avaliada também a influência da proporção solvente/soluto, como mencionado no referencial, já que é uma das variáveis críticas para o processo de extração. Além de determinar os compostos polares extraídos pelo etanol, através de técnicas de caracterização como Cromatografia Gasosa ou Ressonância Magnética Nuclear.

## REFERÊNCIAS

ABIC. **Composição química**. Disponível em: <<http://abic.com.br/o-cafe/cafe-e-saude/composicao-quimica/>>. Acesso em: 17 de nov. de 2019.

AGUIAR, E. F. S. et al.; **Química verde: a evolução de um conceito**. Quim. Nova, v.37, n.7, p.1257-1261, 2014.

ALBUQUERQUE, C. L. C.; **Extração supercrítica de matrizes vegetais oleaginosas: rendimento global, cinética de extração, composição química e atividade antioxidante**. 2008. 120f. Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas - 2008.

AZEVEDO, B. C.; **Modelagem da extração multiestágio e contracorrente aplicada a Cana-de-açúcar**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, 1996.

BRAGA, M. E. M.; **Obtenção de compostos bioativos de *Curcuma longa L.* e *Lippia alba M.* por tecnologia supercrítica: rendimento global, cinética de extração, composição química e aproveitamento do resíduo amiláceo**. 2005. 200f. Tese de Doutorado - Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, 2005.

BRUNI, G. P. et.al; **Estudo do método de ultrassom para a extração de óleo de sementes de uva provenientes de rejeitos do processo vinícola**. 2014. XX CONGRESSO DE ENGENHARIA QUÍMICA, Florianópolis/SC.

COELHO FILHO, A. C. de A.; **Extração sólido-líquido a quente de lipídios de alimentos industrializados**. 2015. 31f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2015.

DAGOSTIN, J. L.A.; **Estudo da extração etanólica de óleo de soja utilizando ésteres como co-solventes**. 2015. 140f. Tese de doutorado - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

FARAH, A., DONANGELO, C. M.; **Phenolic compounds in coffee**. Departamento de Bioquímica, Instituto de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, 2006.

FREITAS, S. P.; LAGO, R. C. A.; **Equilibrium data for the extraction of coffee and sunflower oils with ethanol**. Brazilian Journal of Food Technol. Campinas, v. 10, n. 3, p. 220-224, jul./set. 2007.

GOMES, A.C.G. et al.; **Cinética de extração do óleo de babaçu visando a produção de biodiesel**. Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer-Goiânia, v. 9, n.17; p 333-4. 2013

GROSS, G.; JACCAUD, E.; HUGGET, A. C.; **Analysis of the content of the diterpenes cafestol and kahweol in Coffee Brews**. Food and Chemical Toxicology, v.35. p. 547-554, 1997.

JOHNSON, L.A.; LUSAS, E.W.; **Comparison of alternative solvents for oils extraction**. Food Protein Research and Development Center, Texas A&M University, College Station, TX 77843. 1983.

LAGO, Regina C.A.; **Lipídeos em grãos de café**. B. CEPPA, Curitiba, v. 19, n. 2, p. 319-340, 2001.

MARTINS, C. R.; LOPES, W. A.; ANDRADE, J. B.de; **Solubilidade das substâncias orgânicas**. Quim. Nova, v.36, n.8, p.1248-1255, 2013.

NICHOLSON, S. L.; BROTHIE, J. M.. **5-hydroxytryptamine (5-HT, serotonin) and Parkinson's disease - opportunities for novel therapeutics to reduce the problems of levodopa therapy**. European Journal Of Neurology, [s.l.], v. 9, n. 3, p.1-6, nov. 2002.

NOSARI, A. B. F. L. et.al.; **Improved green coffee oil antioxidante activity for cosmetical purpose by spray drying microencapsulation**. Barazilian Journal of Pharmacognosy. 2015.

ORTIZ, R. W. P. **Estudo teórico e experimental da extração de café com ciclos de compressão e descompressão hidrostática**. 2015. 90f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná - 2015

SANDI, D.; **Extração do óleo e diterpenos do café com CO<sub>2</sub> supercrítico**. 155f. Tese de doutorado – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

SEMEN, S. et. al.; **Elemental composition of green coffee ans its contribution to dietary intake**. Food Chemistry. Institute of Forensic Sciences. Istanbul University, 2016.

SILVA, L. L. et.al; **Parametrização das condições de obtenção do extrato do café verde e torrado com CO<sub>2</sub> supercrítico**. Coffee Science, Lavras, v. 10, n. 1, p. 65 - 75, jan./mar. 2015.

SOMNUK, K. et al.; **Optimization of coffee oil extraction from spent coffee grounds using four solvents and prototype-scale extraction using circulation process**. 182f, Agriculture and Natural Resources, v. 51, (2017), p. 181-189.

SOUZA, V. R. de; **Extração e caracterização de óleo de sementes de frutos**. 2012. 62f. Dissertação de Mestrado – Universidade do Algarve, 2012.

SPEER, K.; KÖLLING-SPEER, I.; **The lipid fraction of the coffee bean**. Institute of Food Chemistry, Technische Universität Dresden, Germany, Braz. J. Plant Physiol., v. 18(1),p. 201-216, 2006.

TSUKUI, A.; **Extração assistida por micro-ondas de óleo de café verde (*Coffea Arabica L.*) e quantificação de diterpenos por cromatografia líquida de alta eficiência**. Dissertação de Mestrado Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

TSUKUI, A.; OIGMAN, S.S.; REZENDE, C.M.; **Óleos de grãos de café cru: diterpenos cafestol e caveol**. Revista Virtual de Química, ISSN 1984-6835, v. 6 (1), p. 16-33, 2014.

TZIA, C.; LIADAKIS, G.; **Extraction optimization in food engineering**. New York: Marcel Dekker, Inc., 2003.

ZACHI, R. **Influência da Temperatura no Processo de Extração de Óleo de Soja em Leito Fixo**. Dissertação de Mestrado. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2007.