

UNIVERSIDADE TÉCNOLOGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ALIMENTOS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

ISABELA NAVARRO ZAPATEIRO

PROPRIEDADES FUNICIONAIS DA CASCA DO CAFÉ (*Coffea arabica*)

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2019

ISABELA NAVARRO ZAPATEIRO

PROPRIEDADES FUNICIONAIS DA CASCA DO CAFÉ (*Coffea arabica*)

Trabalho de Conclusão de Curso do curso Superior de Engenharia de Alimentos, do Departamento Acadêmico de Alimentos – DALIM – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Alimentos.

Orientador: Bogdan Demczuk Junior

CAMPO MOURÃO

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Campo Mourão
Departamento Acadêmico de Alimentos
Engenharia de Alimentos



TERMO DE APROVAÇÃO

PROPRIEDADES FUNCIONAIS DA CASCA DO CAFÉ (*Coffea arábica*)

por

ISABELA NAVARRO ZAPATEIRO

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado no dia 26 de novembro de 2019, as 8 horas e 20 minutos, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Bogdan Demczuk Junior

Prof. Dr. Marcelo Real Prado

Prof. Dr. Alberto Cavalcanti Vitorio

Nota: O documento original e assinado pela banca examinadora encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia de Alimentos da UTFPR Campus Campo Mourão.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus que nos protege e ilumina todos os dias, por ter me concedido força, saúde e sabedoria para superar todas as dificuldades.

À minha família, pelo exemplo, paciência e incentivo, sempre com muito amor e carinho, me fazendo entender que o sucesso do futuro depende da constante dedicação no presente.

Ao meu orientador Prof. Dr. Bogdan Demczuk Junior, pelo empenho, dedicação total, apoio, paciência, suporte e incentivo para realização deste trabalho. A todos os professores do Departamento de Engenharia de Alimentos, que cumpriram com dedicação as aulas ministradas, e contribuíram para minha formação acadêmica.

Agradeço aos meus amigos e colegas de faculdade que ajudaram durante o período de graduação, com certeza vou levá-los pra sempre em meu coração.

RESUMO

ZAPATEIRO, Isabela Navarro. Propriedades funcionais da casca do café (*Coffea arabica*). 2019. 43f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Engenharia de Alimentos), Departamento Acadêmico de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2019.

Muitos dos resíduos que são gerados industrialmente possuem um potencial tecnológico excelente, por serem ricos em nutrientes. O café, um fruto valorizado comercializado mundialmente pelo volume de produção e pelo consumo. A casca do café representa 30% do fruto. Além de ser o resíduo de maior volume, é o de maior valor nutritivo do processamento do café. O objetivo desse trabalho foi caracterizar o farelo da casca de café com relação às propriedades funcionais e otimizar uma metodologia de extração de pectina, além de avaliar reologicamente a pectina obtida. Foram determinadas a capacidade de absorção de água, a capacidade de retenção de óleo e a capacidade de absorção de molécula orgânica da casca do café. A cor foi determinada por medição instrumental. A investigação do método de extração de pectina da casca de café foi baseada em diferentes condições de relação amostra/solução extratora (1:10 e 1:25), ácidos (cítrico e clorídrico), temperaturas (50 e 95°C) e tempo de extração (1,5 ou 3 h). A resposta avaliada foi o rendimento percentual. A partir da melhor condição obtida, foram avaliadas as propriedades reológicas a duas temperaturas (25 e 45°C). E a energia de ativação para a viscosidade foi calculada a partir da equação de Arrhenius. A casca de café apresentou uma capacidade média de retenção de água (CRA) de $3,45 \pm 0,31$ g água/g amostra, uma capacidade média de retenção de óleo (CRO) de $3,98 \pm 0,05$ g óleo/g amostra e uma capacidade de absorção de molécula orgânica (CAMO) de $2,76 \pm 0,73$ g óleo/g amostra. A cor instrumental da casca pode ser definida com uma tonalidade amarelo-alaranjada ($L^* = 41,52$; $a^* = 10,84$; $b^* = 31,27$; $C^* = 33,09$ e $h^* = 1,24$). Em relação a extração da pectina do farelo da casca de café, foi adotada uma separação por centrifugação como proposta de diferencial na metodologia clássica de extração de pectina e identificado a melhor condição experimental para a extração de pectina da casca de café. Os resultados das extrações foram considerados menores em relação aos percentuais de rendimento que foi encontrado em literatura. O gel da pectina obtida apresentou comportamento reológico pseudoplástico, com diminuição da viscosidade a partir do aumento da taxa de cisalhamento e da temperatura.

Palavra Chave: *Coffea arabica*; pectina; aproveitamento de resíduos.

ABSTRACT

ZAPATEIRO, Isabela Navarro. Functional properties of coffee husk (*Coffea arabica*). 2019. 43f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Engenharia de Alimentos), Departamento Acadêmico de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2019.

Many industrially generated wastes have excellent technological potential because they are rich in nutrients. Coffee, a valued fruit traded worldwide by production volume and consumption. The coffee hull represents 30% of the fruit. In addition to being the largest volume residue, it is the most nutritious value of coffee processing. The objective of this work was to characterize the coffee husk meal in relation to its functional properties and to optimize a pectin extraction methodology, besides rheologically evaluating the pectin obtained. Water absorption capacity, oil retention capacity and the absorption capacity of organic coffee husk molecule were determined. The color was determined by instrumental measurement. The investigation of the coffee bark pectin extraction method was based on different conditions of sample: extraction solution (1:10 and 1:25), acids (citric and hydrochloric), temperatures (50 and 95 °C) and time of extraction. extraction (1.5 or 3 h). The evaluated response was the percent yield. From the best condition obtained, the rheological properties were evaluated at two temperatures (25 and 45 °C) and the activation energy for the viscosity was calculated. The coffee husk had an average water holding capacity (CRA) of 3.45 ± 0.31 g water / g sample, an average oil holding capacity (CRO) of 3.98 ± 0.05 g oil / g g sample and an organic molecule absorption capacity (CAMO) of 2.76 ± 0.73 g oil / g sample. The instrumental color of the shell may be defined with an orange-yellow hue ($L^* = 41.52$; $a^* = 10.84$; $b^* = 31.27$; $C^* = 33.09$ and $h^* = 1.24$). Regarding the extraction of pectin from coffee husk, a separation by centrifugation was adopted as a differential proposal in the classical pectin extraction methodology and the best experimental condition for pectin extraction from coffee husk was identified. Extraction results were considered lower in relation to the yield percentages found in the literature. The pectin gel obtained showed pseudoplastic rheological behavior, with decrease in viscosity from the increase of shear rate and temperature.

Keywords: *Coffea arabica*; pectin; waste utilization.

SUMÁRIO

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | INTRODUÇÃO | 10 |
| 2. | OBJETIVOS | 12 |
| 2.1. | Objetivo geral | 12 |
| 2.2. | Objetivos específicos | 12 |
| 3. | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 13 |
| 3.1. | Histórico do Café..... | 13 |
| 3.2. | O café..... | 15 |
| 3.3. | Processamento | 16 |
| 3.3.1. | Preparo do Café | 16 |
| 3.3.2. | Torrefação e Moagem | 18 |
| 3.4. | Resíduo..... | 18 |
| 3.5. | Características Funcionais de resíduos | 19 |
| 3.6. | Pectina | 20 |
| 3.7. | Comportamento reológico | 21 |
| 4. | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 23 |
| 4.1. | Propriedades Funcionais do farelo da casca de café..... | 23 |
| 4.1.1. | Capacidade de retenção de água (CRA) e capacidade de retenção de óleo (CRO)..... | 23 |
| 4.1.2. | Capacidade de absorção de molécula orgânica (CAMO)..... | 23 |
| 4.1.3. | Cor Instrumental | 24 |
| 4.2. | Extração da Pectina da casca de café | 24 |
| 4.3. | Caracterização reológica da pectina | 25 |
| 5. | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 28 |
| 5.1. | Propriedades Funcionais do farelo da casca do café..... | 28 |
| 5.1.1. | Capacidade de retenção de água (CRA), capacidade de retenção de óleo (CRO) e capacidade de absorção de molécula orgânica (CAMO)..... | 28 |
| 5.1.2. | Cor instrumental | 28 |
| 5.2. | Extração da Pectina da casca do café | 29 |
| 5.3. | Caracterização reológica da pectina extraída da casca do café | 34 |
| 6. | CONCLUSÃO..... | 37 |
| 7. | REFERÊNCIAS | 38 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----------|
| Figura 1 - Evolução da produção brasileira de café em 58 anos | 14 |
| Figura 2 - Estrutura do fruto do café | 15 |
| Figura 3 - Processamento do café..... | 16 |
| Figura 4: Procedimento experimental de extração de pectina da casca de café | 30 |
| Figura 5: Procedimento de filtração a vácuo | 30 |
| Figura 6: Precipitação da pectina com etanol | 32 |
| Figura 7: Pectina precipitada (base úmida) | 32 |
| Figura 8: Pectina (base seca)..... | 33 |
| Figura 9: Comportamento reológico | 35 |
| Figura 10: Variação da viscosidade aparente versus taxa de cisalhamento das amostras | 36 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----------|
| Tabela 1: Materiais e equipamentos utilizados no experimento | 23 |
| Tabela 2: Materiais e equipamentos utilizados no experimento | 24 |
| Tabela 3: Materiais e equipamentos utilizados no experimento | 25 |
| Tabela 4: Materiais e equipamentos utilizados no experimento | 27 |
| Tabela 5 - Propriedades funcionais do farelo da casca de café..... | 28 |
| Tabela 6 - Valores médios dos parâmetros calorimétricos da casca de café.... | 29 |
| Tabela 7 - Condições da primeira extração da pectina com ácido Cítrico | 31 |
| Tabela 8 - Condições da primeira extração da pectina com ácido Clorídrico ... | 31 |
| Tabela 9 - Valores médios de rendimento das extrações de pectina com ácido clorídrico | 32 |
| Tabela 10 - Parâmetros reológicos em temperatura de 25 °C e 45 °C | 34 |

1. INTRODUÇÃO

O café é oriundo do continente Africano, porém foi a Europa a responsável por difundir o consumo pela bebida no mundo. No século XVIII, o fruto chegou no Brasil por um oficial português vindo da Guiana Francesa. Hoje, avaliando em aspecto produtivo mundial, o Brasil é considerado o maior produtor mundial de café, sendo responsável por 30% do mercado internacional. O estado de Minas Gerais é o principal produtor nacional, responsável por cerca da metade (54,3%) do café brasileiro. Os estados do Espírito Santo (19,7%), São Paulo (9,8%), Bahia (7,5%), Rondônia (4,3%) e Paraná (2,7%) também possuem representatividade na produção (ABIC, 2016; EMBRAPA, 2017).

O processamento do café pode acontecer de dois modos distintos. Da primeira forma, onde o grão é processado por via seca, quando a polpa e a mucilagem são secas para remoção da casca, classificação e seleção. No segundo método de processamento, obtém-se o “café despulpado ou lavado” através do processamento por via úmida. É utilizada uma lavagem para a retirada da polpa e mucilagem e uma possível secagem, eliminação do pergaminho, classificação e seleção. O resultado é uma bebida com características mais suaves. Para ambos os preparos, o processamento segue pelas etapas de torrefação, resfriamento, descanso, moagem, embalagem e estocagem (EL HALAL, 2008). O beneficiamento dos grãos de café gera resíduos geralmente formados por epicarpo ou exocarpo (casca), mesocarpo (polpa ou mucilagem) e endocarpo (pergaminho). Para qualquer processamento pós-colheita, são gerados cerca de 50% de resíduos sólidos, além das águas de lavagem (REZENDE et al., 2016; BAGGIO, 2006; BRUM, 2007; CAVALCANTI; FERNANDES, 2014).

Os principais resíduos do beneficiamento do café são a polpa e a mucilagem na via úmida e a casca e o pergaminho na via seca (SOCCOL, 2002). A casca representa cerca de 30% do fruto, as quais podem ser reaproveitadas como combustíveis, produção de carvão, adubo orgânico e ração animal (CAVALCANTI; FERNANDES, 2014; VEGRO; CARVALHO, 2018).

A casca de café caracteriza-se por sua riqueza em nutrientes e compostos naturais (FERNANDES, 2007). De acordo com Pandey et al. (2000), são encontrados cerca de 57,8% de carboidratos, 9,2% de proteínas, 2% de gordura, 1,3% de cafeína, 4,5% de taninos e 12,4% de pectina, em base seca.

Para o reaproveitamento de resíduos (principalmente das cascas) de produtos agroindustriais, podem ser obtidos ingredientes funcionais para a nutrição da alimentação humana, como é o caso da pectina (KLIEMANN et al., 2009). Industrialmente, o isolamento e a purificação da pectina abrange uma série de etapas que envolvem desde a mistura do extrato líquido com álcool, até a precipitação, secagem e trituração (MAY, 1990; MARONI, 1992)

As propriedades mais importantes da pectina estão relacionadas a sua capacidade de formação de géis e de ligar íons, solúveis em água quente, que formam soluções altamente viscosas (CUMMING, 1976). A pectina é estudada por mostrar resultados positivos benéficos ao ser humano, como a redução dos níveis de colesterol e glicose no sangue, além de ser utilizada para a produção de filmes biodegradáveis e comestíveis (FIETZ; SALGADO, 1999; MOHNEN, 2008).

Os resíduos de uma forma geral podem conter substâncias reutilizáveis de alto valor, possíveis de serem convertidas em produtos comerciais, por meio de tecnologias adequadas (LAUFENBERG; KUNZ; NYSTROEM, 2003). Neste sentido, torna-se importante avaliar os diferentes compostos presentes na casca de café, resíduo agroindustrial abundante e pouco estudado, visando agregar valor comercial aos seus extratos. Assim, o objetivo deste estudo é caracterizar o farelo da casca de café com relação às propriedades funcionais, e avaliar o potencial tecnológico desse resíduo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

- Caracterizar a casca de café com relação às propriedades funcionais.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar a capacidade de absorção de água da casca do café;
- Determinar a capacidade de retenção de óleo da casca do café;
- Determinar a capacidade de absorção de molécula orgânica da casca do café;
- Determinar a cor instrumental da casca do café;
- Aplicar um método de extração de pectina da casca de café;
- Avaliar o rendimento da extração de pectina;
- Avaliar as propriedades reológicas da pectina extraída da casca de café.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Histórico do Café

Registros afirmam que o consumo de café começou por volta de 575 d.C. Aparentemente, a polpa era consumida nas refeições, era macerada ou misturada em gordura animal. Com os frutos também se fazia suco, que fermentado se transformava em bebida alcoólica e suas folhas também eram mastigadas ou utilizadas no preparo de chá (MARTINS, 2008).

A planta tem origem africana, porém foi no Iêmen, região oeste da Arábia, que ela começou a ser cultivada. A história do café começa pela criação do nome, que tem origem árabe Kaweh e a bebida foi denominada como Kahwah ou Cahue, significa “força”. Naquela época, a bebida era consumida principalmente por monges em rituais religiosos, pois os auxiliavam durante as noites de reza e vigília noturna (SHIE, 2018).

A bebida, também conhecida como vinho da Arábia, ganhou escala comercial no séc. XIV, na região de Moka, principal porto do Iêmen, que foi responsável por um dos maiores cultivos do produto no mundo árabe. Por volta do séc. XVII, as cafeterias começaram a se desenvolver, juntamente com os ideais que transformariam o período. Assim, a história do café começava a ganhar forma (MARTINS, 2008).

A chegada do café ao Brasil traz uma série de histórias que narram conflitos de interesses e mistério. A primeira muda chegou ao Brasil por volta de 1720, trazido por Francisco de Melo Palheta, a serviços da Coroa Portuguesa, recebido a muda clandestinamente da esposa do governador francês (SHIE, 2018).

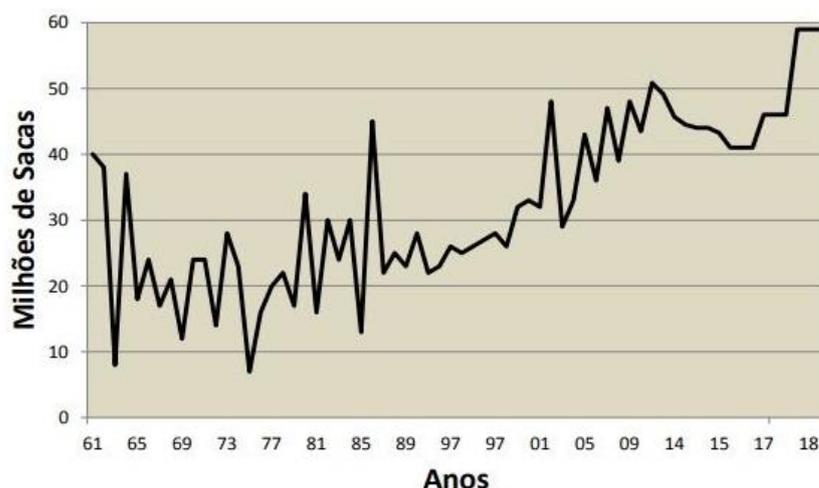
Sempre retratado como um dos heróis da Coroa Portuguesa, o Sargento-Mor Palhete, era um militar graduado que tinha como objetivos o enriquecimento e o poder da metrópole. Francisco Palhete foi quem começou o cultivo do café no Pará. Conforme aumentava o consumo do café pela Europa, a história do café no Brasil ganhava espaço. A produção dos grãos foi expandida, e com a ajuda de João Alberto de Castello Branco iniciou-se as plantações na região Sudeste do país. Foi ele quem trouxe mudas de *Coffea arabica* e introduziu o café no Rio de Janeiro em 1760. A partir desse momento, surgiria um novo ciclo econômico (FASSIO; SILVA, 2015).

Porém, somente no séc. XIX, na região do Vale do Rio Paraíba, que as plantações de café no Brasil ganharam maior representatividade. Isso aconteceu, principalmente, devido à escassez do ouro e a alta concorrência do açúcar, pois era necessário encontrar alternativas que superassem os problemas econômicos e contribuíssem para a manutenção da aristocracia. O café foi o principal produto de exportação do século XIX e do início do século XX. As plantações atravessavam as províncias do Rio de Janeiro e de São Paulo. Foi um dos momentos mais intensos da história do café no país (SHIE, 2018).

Devido à diversidade de regiões ocupadas pela cultura do café, a variedade de climas, relevos, altitudes e latitudes, o país produz tipos variados de grãos, o que possibilita atender às diferentes demandas de paladar e preços dos consumidores brasileiros e estrangeiros. As duas principais espécies plantadas são o arábica (80% da área) e o conilon ou robusta. O País é o maior produtor e exportador de café e segundo maior consumidor da bebida no mundo, sendo o quinto produto na pauta de exportação brasileira, movimentando US\$ 5,2 bilhões em 2017 (MAPA, 2017).

A análise das safras brasileiras de café, a partir de 1960, mostra a ocorrência de grandes variações ao longo do período, conforme os dados representados na Figura 1 (MATIELLO, 2018).

Figura 1 - Evolução da produção brasileira de café em 58 anos



FONTE: MATIELLO (2018).

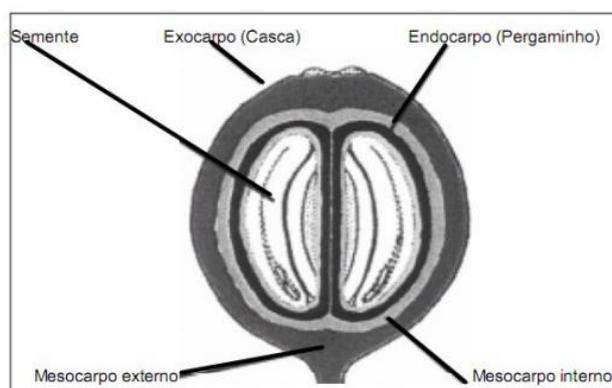
Podem ser observados níveis de safras em seis intervalos de ocorrência. Abaixo de 10 milhões de sacas/ano foram verificadas somente em duas safras (1965 e 1976),

em função da seca e da geada. Entre 10 e 20 milhões de sacas ocorreram 10 safras. Entre 20 e 30 milhões foi observado o maior número de safras (22). Entre 30 e 40 milhões somente 9 safras. Entre 40 e 50 milhões, 12 safras e acima de 50 milhões, apenas 2 safras, sendo estes níveis maiores concentrados nesses oito últimos anos. Verifica-se um crescimento constante a partir dos anos 2000 até 2018. A década com menor média de produção foi de 1971 a 1980, com 19,5 milhões de sacas. De 2011 a 2018, a média foi de 48,5 milhões, representando quase 10 milhões de sacas anuais a mais que a década anterior, de 2001 a 2010 (MATIELLO, 2018).

3.2. O café

O fruto do café apresenta várias camadas estruturais, denominadas como exocarpo/epicarpo, mesocarpo e o endocarpo, este conhecido como pergaminho, que envolve a semente. O pergaminho representa cerca de 12%, em termos de matéria seca, do fruto do cafeeiro. O mesocarpo externo, denomina-se polpa. A mucilagem que se situa na parte no mesocarpo interno e está fortemente aderida ao pergaminho do grão é um sistema de hidrogel, sendo quimicamente composta por água, substâncias pécicas, açúcares redutores e ácidos orgânicos. O exocarpo denomina-se toda superfície externa do fruto, mais conhecida como a casca. Todas estruturas presentes no fruto estão demonstradas na Figura 2 que mostra o corte longitudinal de um grão de café (VILELA, 2001).

Figura 2 - Estrutura do fruto do café



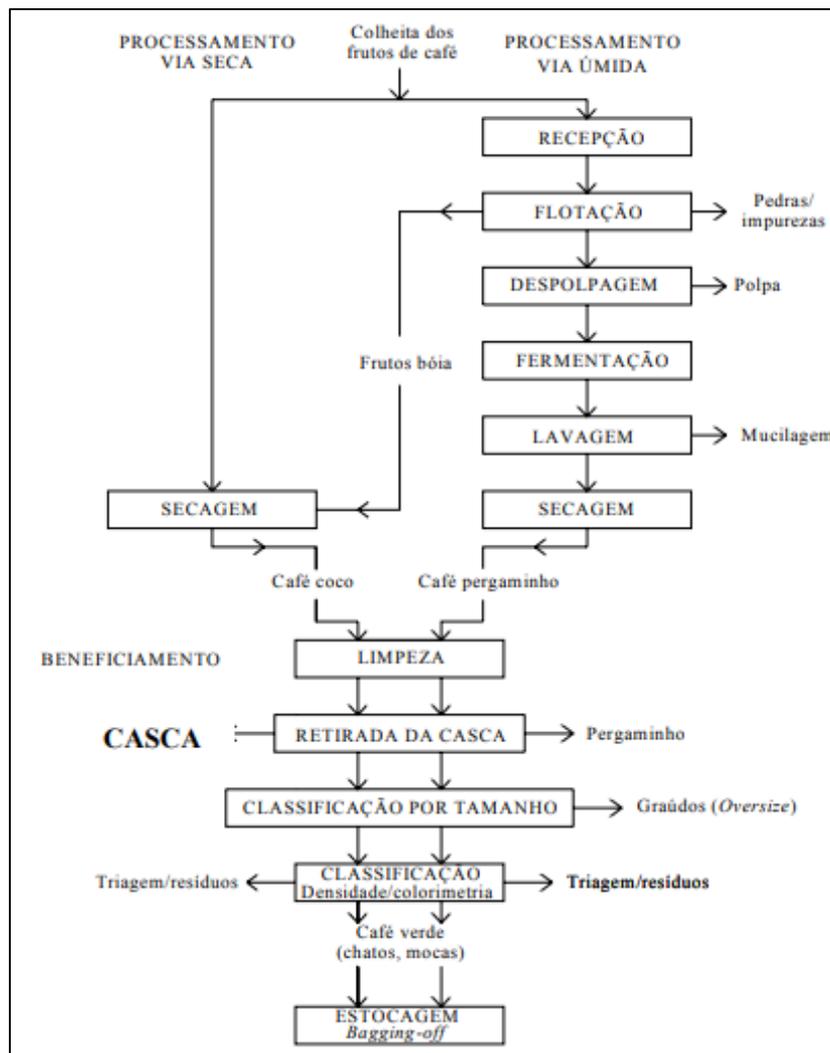
FONTE: HALAL (2008).

3.3. Processamento

3.3.1. Preparo do Café

De acordo com Sfredo (2006), o processo do café classifica-se de três maneiras distintas: por via seca, via úmida ou via semi-úmida (Figura 3).

Figura 3 - Processamento do café.



FONTE: SFREDO (2006).

3.3.1.1. Preparo por Via Seca (Café Natural)

O grão é seco com a polpa e a mucilagem, permitindo transferência do sabor adocicado ao grão. Esse café tem corpo e aroma pronunciados típicos quase que exclusivamente dos cafés do Brasil. O preparo inicia com o produto saindo da lavoura para ser seco com a casca, em terreiros ou secadores mecânicos, podendo os frutos antes de ir para secagem, passarem pelo lavador/separador de café, propiciando uma secagem específica e uniforme. Essa classificação melhora a qualidade do produto final, pois há o controle dos grãos fermentados na planta por efeito do clima, contribuindo para uma melhor qualidade da bebida final (CARVALHO, 1992).

3.3.1.2. Preparo por Via Úmida (Café despulpado ou lavado)

O café despulpado ou lavado tem removida toda polpa e mucilagem para secagem do pergaminho. Quando bem preparados, têm aspecto de bebida suave, com corpo e aroma menos pronunciados que os cafés naturais. O processo envolve a fermentação com uma posterior lavagem, para eliminação da mucilagem, originando o café despulpado. Este preparo propicia a diminuição do volume para secagem, requerendo menor área de terreiro e menos tempo de secagem, melhorando também a qualidade do produto, mas exigindo investimentos em infraestrutura, maior mão-de-obra e custo operacional (VILELA et al., 2001).

3.3.1.3. Preparo por Via semi-úmida

Adotado principalmente em regiões com alto índice de pluviosidade e umidade, que prejudicam a colheita e a secagem. Os frutos colhidos são colocados para secar separadamente, com o prévio descascamento dos frutos cereja, sem passar pelo tanque de fermentação, resultando no café cereja descascado de qualidade superior, com uma melhor classificação de bebida, propiciada pela alta atividade da enzima polifenoloxidase, maior índice de coloração e baixo teor de acidez (HALAL, 2008).

3.3.2. Torrefação e Moagem

Encerrada a secagem, o produto pode seguir dois caminhos. Ser encaminhado ao armazenamento, devendo estar com a umidade entre 10 e 12%, ou submetido ao beneficiamento preparatório para ser comercializado.

A torrefação é responsável pela transformação do grão verde em grão torrado para a confecção da bebida. Primeiramente, o café verde é transportado crus ao torrador, que passa por um tratamento térmico a uma temperatura de mais ou menos 200 °C, num tempo de torra de no máximo 25 minutos para adquirir as características desejadas (HALAL, 2008).

O café após torrado passará por um sistema de resfriamento através de ar frio por um tempo de 5 minutos. O resfriamento é processo sucessivo e rápido que visa condensar no interior do grão as substâncias aromáticas, responsável pelo aroma e sabor do café, são dois métodos normalmente utilizados: ar ou água (HALAL, 2008).

Moagem é o processo final do beneficiamento, em que os grãos torrados são triturados até se transformarem em um pó fino. A moagem é feita em moinhos apropriados, observando-se a granulação correta, preparando e adequando para se obter uma filtragem mais rápida e uma extração melhor do aroma e sabor da bebida final. O café moído é embalado a vácuo e colocado em embalagens cartonadas para a destinação ao consumidor (HALAL, 2008).

3.4. Resíduo

Com o aumento da produção de café, conseqüentemente, a quantidade de resíduos agroindustriais também cresce. Estes são fontes reconhecidas de poluição e, se dispostos inadequadamente, podem causar a contaminação de solos e águas. No entanto, os resíduos podem deixar de ser um risco e passar a gerar lucro se conduzidos corretamente (GRAÇA; CALDAS, 2017).

Nas lavouras cafeeiras, é gerada uma quantidade de resíduos significativa, na ordem de 45% do total do café colhido, o que torna a palha de café uma fonte de recurso natural para o desenvolvimento energético sustentável (YOSHIDA, 2005). Atualmente,

não existe nenhuma aplicação para a casca dos grãos de café, o que a torna um grande problema ambiental. Mesmo sendo um excelente adubo orgânico, uma parcela da casca de café vem sendo desprezada por agricultores que não têm conhecimento do seu grande fornecimento de matéria orgânica (MATOS et al., 2000).

Alguns resíduos sólidos gerados a partir da fase de separação de impurezas dos frutos do cafeeiro são folhas, gravetos, solo, pedriscos e outros materiais, os quais têm sido separados por abanação ou por separação hidráulica. Esses resíduos não são considerados problemáticos e têm retornado ao campo, para servirem, notadamente, como cobertura morta. Já a casca, é o primeiro resíduo gerado no processamento do fruto do cafeeiro, representa cerca de 39% da massa fresca ou de 29% da matéria seca do fruto, sendo a quantidade de casca presente no fruto tipo cereja dependente do estado de maturação, das condições climáticas dominantes durante o desenvolvimento dos frutos e da variedade de cafeeiro cultivada (CAVALCANTI; FERNANDES, 2014).

Diferentes preparos dos resíduos de beneficiamento do café resulta em características distintas em relação as propriedades funcionais, tais como potássio, nitrogênio, carbono, celulose, hemicelulose, lignina, fenóis totais, pH, condutividade e capacidade de retenção de fluidos como água e óleo. A liberação de K é alta (acima de 90%), mas independente da constituição ou tipo de resíduo do benefício de café que, assim, poderiam ser utilizados como substituto do fertilizante mineral. O resíduo enriquecido enriquecido e compostado com gesso, a casca do café cereja e do café natural seco em coco proporcionam lixiviação maior que a observada com aplicação de fertilizantes potássio natural (ZOCA, 2012).

3.5. Características Funcionais de resíduos

Com o grande volume de resíduos sólidos gerados no beneficiamento dos frutos do cafeeiro, formas alternativas de disposição e aproveitamento da casca têm sido estudadas. A casca do fruto do cafeeiro é rica em potássio e outros minerais e, por isso, o seu aproveitamento agrícola como adubação orgânica “in natura” ou após a compostagem constitui alternativa interessante, tanto no que se refere aos aspectos econômicos como ambientais (CAVALCANTI; FERNANDES, 2014).

As características funcionais dos alimentos, como retenção e absorção de água, capacidade de retenção de molécula orgânica, bem como as relacionadas à afinidade por componentes lipídicos são úteis para a indústria de alimentos. Desta maneira, alguns materiais como fibras são adicionados com o objetivo de melhorar as propriedades tecnológicas, pois o preparo da matéria-prima e os diferentes processos de extração e moagem podem afetar diferentemente a estrutura celular e as propriedades físico-químicas, funcionais e fisiológicas dos farelos (CAPITANI et al., 2012).

3.6. Pectina

A pectina refere-se a uma família de oligossacarídeos e polissacarídeos, com características comuns, todavia extremamente diversos em sua estrutura fina. O esqueleto péctico é primariamente um homopolímero de ácido galacturônico ligado em α (1 \rightarrow 4), com grau variável de grupos carboxilas metil esterificados. A pectina deve ser constituída de, no mínimo, 65% de ácido galacturônico, segundo a FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura) e EU (União Europeia) (CANTERI et al., 2011)

A extração de pectina varia de acordo com a matéria-prima. O processo compreende: extração do vegetal de origem em meio aquoso ácido; purificação desse líquido extraído e isolamento da pectina por precipitação. A extração em meio ácido sob aquecimento é o método utilizado industrialmente para obtenção de pectinas a partir de resíduos industriais, diferentes ácidos podem ser utilizados nesse processo. As condições são variáveis, mas via de regra um pH na faixa de 1,5-3,0 é utilizado por 0,5-6,0 horas, numa faixa de temperatura de 60-100 °C. A razão sólido-líquido é geralmente 1:18 (CANTERI et al., 2011; PAGÁN, et al. 2001).

Isso aponta a tendência crescente das indústrias em buscar alternativas que promovam o fechamento da reutilização de um resíduo, com o máximo de aproveitamento e por meio da maior exploração comercial dos componentes antes considerados como subprodutos (WILLATS; KNOX; MIKKELSEN, 2006; PAIVA; LIMA; PAIXÃO, 2009).

A pectina apresenta-se como alternativa para agregação de valores aos resíduos sólidos vegetais, associado à minimização do volume a ser descartado, indicada como diretriz para futuras pesquisas com relação a reutilização de subprodutos industriais.

3.7. Comportamento reológico

A reologia é uma ciência que estuda as deformações e do escoamento. Seu objetivo consiste no estudo do comportamento mecânico da matéria, ou seja, no estabelecimento de relações entre as forças aplicadas e as deformações resultantes (MACOSCO, 1994).

Na área de alimentos, as propriedades reológicas são utilizadas no controle de qualidade, avaliação da textura, projetos de controle e processos e determinação da estrutura do alimento, incluindo mudanças físico-químicas que ocorrem durante o processamento e armazenamento (ALVARADO; AGUILERA, 2001).

O comportamento reológico dos fluidos está dividido em newtonianos e não-newtonianos, sendo os newtonianos caracterizados por uma relação linear entre tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada, dependendo apenas da temperatura e da composição do fluido. Os fluidos não-newtonianos são os fluidos inelásticos, dependentes ou independentes do tempo, de modo que, os independentes não são afetados pelo histórico anterior de cisalhamento. Estes são classificados como pseudoplásticos (MACOSCO, 1994).

O modelo reológico mais largamente utilizado para descrever o escoamento de fluidos não newtonianos é o modelo da Lei da Potência. É recomendado para fluidos que iniciam o processo de escoamento quando a tensão de cisalhamento aplicada supera a tensão inicial característica de cada um desses fluidos (QUEIROZ, 1998).

A viscosidade é considerada a principal propriedade reológica de um fluido. Em muitas operações das indústrias de alimentos, conhecer a viscosidade do fluido é essencial para a definição do equipamento mais apropriado. No processamento de alimentos, a medição da viscosidade permite controlar a qualidade das matérias-primas, avaliar o efeito das variações nas condições de processamento sobre os produtos durante a fabricação e estimar o produto final. Essa medição constitui uma valiosa informação para otimização das propriedades dos produtos na indústria

alimentícia, para a redução dos custos nos ingredientes e para garantir uma melhor consistência do produto (LEWIS, 1993).

A viscosidade pode mudar consideravelmente em algumas operações, em particular, nos processos que envolvem aquecimento, resfriamento, homogeneização e concentração, bem como durante fermentações industriais. A viscosidade pode ser definida como o atrito interno de um fluido, representando, qualitativamente, a resistência de um material ao fluxo e, quantitativamente, é definida como o coeficiente entre a força de cisalhamento em fluxo estacionário (LEWIS, 1993).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

As cascas de café foram adquiridas na Cooperativa Agroindustrial Coamo, da cidade de Campo Mourão (PR).

As cascas foram peneiradas para separação de materiais estranhos como folhas, galhos e sujidades e após a classificação trituradas em um moinho de facas.

4.1. Propriedades Funcionais do farelo da casca de café

4.1.1. Capacidade de retenção de água (CRA) e capacidade de retenção de óleo (CRO)

Conforme Chau, Cheung e Wong (1997), 1 g (base seca) de amostra, de farelo de casca de café, foi pesada e homogeneizada com 10 mL de água destilada e 10 mL óleo de canola comercial (densidade 0,7267 g/cm³) separadamente. Quatro amostras foram submetidas a uma centrifugação a 6000 rpm por 30 min (Excelsa II, 206BL, 10 cm, Fanem, Brasil) e o volume de sobrenadante foi medido coletado a partir de uma pipeta graduada (Tabela 1). A CRA foi expressa em massa de água retida por massa de amostra e a CRO como massa de óleo retido por massa de amostra.

Tabela 1: Materiais e equipamentos utilizados no experimento

| Materiais e Equipamentos |
|--------------------------|
| Tubos de ensaio |
| Centrifuga |
| Pipeta graduada |

4.1.2. Capacidade de absorção de molécula orgânica (CAMO)

De acordo com Zambrano et al. (2001), 3 g (base seca) de amostra, de farelo da casca de café, foram colocadas em quantidade excessiva de óleo de canola (25 mL) por 24 h a temperatura ambiente. Em seguida as quatro repetições foram submetidas

a centrifugação a 6000 rpm por 15 min (Excelsa II, 206BL, 10 cm, Fanem, Brasil) (Tabela 2). O resultado foi expresso como componente hidrofóbico absorvido e calculado em termos de ganho de massa da amostra (g óleo/g amostra).

Tabela 2: Materiais e equipamentos utilizados no experimento

| Materiais e Equipamentos |
|--------------------------|
| Tubos de ensaio |
| Centrifuga |
| Pipeta graduada |

4.1.3. Cor Instrumental

Os parâmetros de cor descritos a seguir, foram medidos com um espectrofotômetro de reflectância difusa MiniScan EZ (HunterLab, MSEZ-4000S, USA). O instrumento, com sensor ótico geométrico de esfera, utilizando ângulo de observação de 2°, iluminante principal D75 e escala CIE Lab. O eixo L* representa a luminosidade, de 0 (preto) a 100 (branco). Os parâmetros a* e b*, expressam, respectivamente, o eixo verde/vermelho (-a*/a*) e o eixo azul/amarelo (-b*/b*), e foram utilizados para calcular os parâmetros da escala L*C*h* (Equações 1 e 2). A saturação (C*) é o grau de pureza de uma cor em relação à mistura com o cinza e o ângulo de tom (h*) representa as diferentes cores existentes (CIE, 1986; HUNTERLAB, 2000).

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (1)$$

$$h^* = \arctan \frac{a^*}{b^*} \quad (2)$$

4.2. Extração da Pectina da casca de café

O procedimento foi adaptado da metodologia de Canteri (2010), baseando-se nas condições propostas por Chan e Choo (2013). Foram pesadas 5 gramas de cascas e misturadas (1:25, massa:volume ou 1:10, massa:volume) com amostragens de soluções extratoras distintas (ácido cítrico a pH 2,5 ou ácido clorídrico pH 2,5). Após 10

minutos de maceração, a mistura foi transferida para um balão de fundo chato e aquecida (50°C ou 95°C), acoplada a um condensador por um determinado tempo (1,5 hora ou 3 horas). Após resfriamento até temperatura ambiente, a solução foi filtrada a vácuo. Para a formação do gel de pectina, foram adicionados dois volumes de etanol (99,8°GL) ao filtrado, com referência ao volume adicionado anteriormente de solução extratora. O precipitado foi obtido por centrifugação durante 10 minutos, a 6000 rpm e 5°C. Após a separação, o precipitado foi seco em estufa de circulação de ar a 50 °C por 24 horas (Tabela 3). Com a massa final dos três procedimentos de extração realizados, calculou-se o percentual médio de pectina extraída (rendimento), a partir da razão entre a massa (base seca) da pectina obtida e a massa da matéria-prima.

Tabela 3: Materiais e equipamentos utilizados no experimento

| Materiais e Equipamentos |
|-----------------------------|
| Triturador a facas |
| Cadinho |
| Manta de aquecimento |
| Condensador Allhin (bolas) |
| Balão de fundo chato |
| Béquer |
| Kitassato |
| Bastão de vidro |
| Bomba a vácuo |
| Filtro de pano (poliéster) |
| Placa de petri |
| Estufa com circulação de ar |

4.3. Caracterização reológica da pectina

Para a determinação da viscosidade aparente das amostras de pectina, foram preparadas soluções dissolvendo-se a pectina (1,333 g/L), em água destilada com agitação utilizando bastão de vidro até obter homogeneização e dissolução da pectina.

As amostras foram analisadas em um reômetro da marca Brookfield, modelo LVDV III, acoplado a um banho termostático Tecnal T-184 (Tecnal, Piracicaba, SP, Brasil) a duas diferentes temperaturas (25 e 45 °C). O *spindle* selecionado, por melhor torque a partir da viscosidade das amostras, foi o SC4-18 (Tabela 4).

Os dados de viscosidade aparente (η_{ap}), tensão de cisalhamento ($\dot{\gamma}$) e taxa de deformação ($\dot{\gamma}$), foram obtidos utilizando o software Rheocalc (versão V3.1-1, Brookfield Engineering Laboratories, EUA). As amostras não foram reutilizadas após o aquecimento, devido às alterações que podem ocorrer nas propriedades reológicas (CHAKRABANDHU; SINGH, 2005), sendo assim, destinadas ao devido descarte residual. Para cada corrida experimental, as curvas ascendente e descendente foram obtidas através de 25 pontos de tensão de cisalhamento versus taxa de deformação, dos quais foi calculado o valor médio da tensão de cisalhamento para cada taxa de deformação. Três corridas experimentais foram feitas para cada amostra e a tensão de cisalhamento resultante foi a média de dois valores experimentais.

Para o ajuste dos dados obtidos, foi utilizado o modelo matemático da Lei da Potência (Equação 3) (Steffe, 1996).

$$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n \quad (3)$$

Onde τ é a tensão de cisalhamento (N/m²), K o índice de consistência (Pa.s), n é índice de comportamento do escoamento (adimensional) e $\dot{\gamma}$ representa a taxa de deformação (s⁻¹).

O melhor ajuste aos dados experimentais foi considerado levando em conta o parâmetro R² (proporção da variação total da média explicada pela regressão), definido como razão entre a soma quadrática total. Quanto menor o valor de R² maior a distância dos pontos experimentais ao modelo ajustado. Portanto, o modelo que melhor se ajusta é aquele com altos valores de R² (próximo de 1) (MONTGOMERY; RUNGER, 2003).

Também foi avaliado o efeito da temperatura sobre o comportamento reológico dos géis através da equação de Arrhenius (Equação 4), que envolve a temperatura (T), a constante universal dos gases (R), o fator pré-exponencial (η_0) e a energia de ativação para viscosidade (E_{at}) (STEFFE, 1996).

$$\eta_{ap} = \frac{\eta_0 \exp \frac{E_{at}}{R.T}}{R.T} \quad (4)$$

Onde η_{ap} é a viscosidade aparente (mPa.s), η_0 o fator pré-exponencial, T é a temperatura (K), R é a constante universal dos gases (8,314 kJ.mol⁻¹.K⁻¹) e E_{at} representa a energia de ativação para viscosidade (kJ.mol⁻¹).

Tabela 4: Materiais e equipamentos utilizados no experimento

| |
|--|
| Materiais e Equipamentos |
| Béquer |
| Bastão de vidro |
| Reômetro acoplado com banho termostático |

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Propriedades Funcionais do farelo da casca do café

5.1.1. Capacidade de retenção de água (CRA), capacidade de retenção de óleo (CRO) e capacidade de absorção de molécula orgânica (CAMO).

A importância de quantificar a capacidade de absorver e reter água e óleo pode servir como parâmetro para melhorar a textura, a retenção de sabor, o paladar e reduzir as perdas de umidade e óleo de alimentos processados. Segundo Massola e Bianchini (2019) a absorção de óleo varia em função do número de grupos hidrofóbicos expostos da proteína. Os autores dizem também que o mecanismo de absorção de óleo pode ser explicado como um aprisionamento físico do óleo pelas cadeias laterais não polares da proteína, o que contribui para as propriedades de retenção do óleo em alimentos.

Conforme mostrado na Tabela 1, a capacidade média de retenção de água (CRA) foi de 3,45 g água/g amostra. A capacidade média de retenção de óleo (CRO) foi de 3,98 g óleo/g amostra. Fontanari et al. (2007) explicam que diferentes valores de CRO observados, em comparação à CRA, revelam que essa propriedade pode resultar da interação das moléculas apolares que, ao expor mais áreas hidrofóbicas, acabam levando a uma maior retenção de óleo. O valor médio obtido pela capacidade de absorção de molécula orgânica (CAMO) foi de 2,76 g óleo/g amostra.

Tabela 5 - Propriedades funcionais do farelo da casca de café

| Propriedade funcional | Média ± desvio padrão |
|--|-----------------------|
| Capacidade de retenção de água (CRA) | 3,45 ± 0,31 |
| Capacidade de retenção de óleo (CRO) | 3,98 ± 0,05 |
| Capacidade de absorção de molécula orgânica (CAMO) | 2,76 ± 0,73 |

5.1.2. Cor instrumental

Os parâmetros colorimétricos da casca de café estão descritos na Tabela 2. A análise combinada dos parâmetros permitiu identificar uma coloração tendendo ao amarelo alaranjado.

Na indústria alimentícia, utiliza-se a verificação da cor instrumental para avaliação de mudanças de cor de alimentos com o tempo, para a adição de diferentes compostos em formulações originais, ou qualquer outra mudança que possa influenciar na aceitação final do produto no mercado. A falta de padronização prejudica o posicionamento do mercado/consumidor, trazendo muitas vezes a rejeição de produtos por não ter padrões de cores aceitáveis para o determinado produto (DURÁN et al., 2012).

Durán et al. (2012) realizaram análises colorimétricas em amostras de açúcar mascavo, para verificar a diferença entre a produção entre diferentes produtores durante o ano. As leituras foram analisadas a partir das coordenadas L*, a* e b* (para identificar tonalidade e intensidade da cor) e análise do desvio total de cor (para observar a variação entre duas amostras), para o determinado produto nos dois períodos do ano.

Tabela 6 - Valores médios dos parâmetros calorimétricos da casca de café

| Parâmetros | Médias \pm desvio padrão |
|------------|----------------------------|
| L* | 41,52 \pm 2,95 |
| a* | 10,84 \pm 0,46 |
| b* | 31,27 \pm 1,37 |
| C* | 33,09 \pm 1,26 |
| h* | 1,24 \pm 0,02 |

5.2. Extração da Pectina da casca do café

Foram realizados testes de extração da pectina da casca de café através de uma adaptação da metodologia convencional de Canteri (2010). Os testes com as condições de extração foram baseados nos melhores resultados obtidos por Chan e Choo (2013) e com procedimentos de separação do precipitado de pectina por centrifugação (Figuras 4 e 5).

Os procedimentos foram realizados a partir de duas concentrações (1:10 e 1:25) de amostra em relação a solução extratora, duas soluções extratoras à pH 2,5 (ácido clorídrico e ácido cítrico), dois tempos de processo (1,5 e 3 horas) e duas temperaturas distintas (50 °C e 95 °C). Assim, obtiveram-se rendimentos variados de cada amostragem em particular, possibilitando observar a melhor condição de extração da pectina da casca de café. Um primeiro experimento de extração foi realizado,

combinando todas as condições estabelecidas. Os rendimentos em base seca obtidos estão apresentados nas Tabelas 3 (ácido cítrico) e na Tabela 4 (ácido clorídrico).

Figura 4: Procedimento experimental de extração de pectina da casca de café



Figura 5: Procedimento de filtração a vácuo



Tabela 7 - Condições da primeira extração da pectina com ácido Cítrico

| Amostragens | Concentrações | Tempo (h) | Temperatura (°C) | Rendimento (%) |
|-------------|---------------|-----------|------------------|----------------|
| 1 | 1:10 | 3 | 50 | 0,46 |
| 2 | 1:10 | 3 | 95 | 0,62 |
| 3 | 1:25 | 3 | 50 | 0,2 |
| 4 | 1:25 | 3 | 95 | 2,04 |
| 5 | 1:10 | 1,5 | 50 | 0,25 |
| 6 | 1:10 | 1,5 | 95 | 1,08 |
| 7 | 1:25 | 1,5 | 50 | 0,22 |
| 8 | 1:25 | 1,5 | 95 | 1,0 |

Tabela 8 - Condições da primeira extração da pectina com ácido Clorídrico

| Amostragens | Concentrações | Tempo (h) | Temperatura (°C) | Rendimento (%) |
|-------------|---------------|-----------|------------------|----------------|
| 1 | 1:10 | 3 | 50 | 1,31 |
| 2 | 1:10 | 3 | 95 | 1,42 |
| 3 | 1:25 | 3 | 50 | 2,24 |
| 4 | 1:25 | 3 | 95 | 1,3 |
| 5 | 1:10 | 1,5 | 50 | 2,34 |
| 6 | 1:10 | 1,5 | 95 | 3,2 |
| 7 | 1:25 | 1,5 | 50 | 1,6 |
| 8 | 1:25 | 1,5 | 95 | 1,98 |

Após a análise dos rendimentos da primeira extração, excluiu-se o procedimento de extração com a solução extratora de ácido cítrico, evidenciando o baixo rendimento quando comparado com a extração com solução extratora ácido clorídrico. Em seguida, foram realizadas duas extrações para uma análise confirmativa, em triplicata, da melhor condição experimental para a extração de pectina da casca do café, chegando aos dados médios de rendimento descritos na Tabela 5.

O melhor rendimento obtido das combinações de extrações foi de 3,79% de pectina em base seca, com concentração de 1:10 de amostra:solução, solução extratora de ácido clorídrico, por 1,5 horas à 95 °C. Comparando e observando as duas temperaturas utilizadas no estudo (50 e 95°C), percebeu-se que de acordo o aumento da temperatura, aumentou significativamente o rendimento da pectina extraída em todas as amostragens. Tal comportamento é confirmado pelo estudo realizado por Chan e Choo (2013), onde as temperaturas baixas podem ser insuficientes para permitir a hidrólise da protopectina (a forma insolúvel da pectina) por ácidos, não sendo efetivas na obtenção do máximo de aproveitamento da extração desse polissacarídeo da casca

do café. Nas figuras 6, 7 e 8 são mostrados os procedimentos de precipitação e secagem da pectina da casca do café.

Tabela 9 - Valores médios de rendimento das extrações de pectina com ácido clorídrico

| Amostragens | Concentrações | Tempo (h) | Temperatura (°C) | Rendimento (%) |
|-------------|---------------|-----------|------------------|----------------|
| 1 | 1:10 | 3 | 50 | 1,32 ± 0,01 |
| 2 | 1:10 | 3 | 95 | 1,46 ± 0,06 |
| 3 | 1:25 | 3 | 50 | 2,27 ± 0,04 |
| 4 | 1:25 | 3 | 95 | 1,30 ± 0,00 |
| 5 | 1:10 | 1,5 | 50 | 2,36 ± 0,02 |
| 6 | 1:10 | 1,5 | 95 | 3,79 ± 1,95 |
| 7 | 1:25 | 1,5 | 50 | 2,39 ± 1,21 |
| 8 | 1:25 | 1,5 | 95 | 2,56 ± 5,12 |

Figura 6: Precipitação da pectina com etanol



Figura 7: Pectina precipitada (base úmida)



Figura 8: Pectina (base seca)



A partir da relação entre amostra:solução extratora, observou-se que mistura mais concentrada, de 1:10, proporcionou um maior rendimento de pectina. Isso pode ser explicado por Kulkarni e Vijayanand (2010), pois segundo seu estudo, quando todas as pectinas forem completamente extraídas, um aumento adicional no volume de extrator não mostra um aumento significativo no rendimento. O resultado é vantajoso para um processo industrial, por exemplo, do ponto de vista dos gastos com volumes de solução extratora maiores que o necessário.

Segundo estudos de Kalapathy, e Proctor, (2001) observou-se que os tempos de extração mais longos não afetam no rendimento final da pectina. O fator limitante dessa variável seria a quantidade de material péctico extraível da matéria-prima, ou seja, a quantidade de material péctico extraível daquele determinado material influenciará no rendimento final e não a permanência de longos tempos na extração. Tais informações corroboram os resultados obtidos no presente trabalho.

Estudos constataram que o tipo de ácido interfere no processo de extração de pectina. Kalapathy e Proctor (2001) investigaram o efeito da concentração do ácido na extração de pectina a partir da casca de soja e a influência do pH do solvente de precipitação no rendimento e na pureza da pectina obtida. Os autores estabeleceram como condição ótima para extração de pectina da casca de soja, a utilização de ácido clorídrico a 0,05 N e precipitação com álcool a 3,5 de pH. Os pesquisadores observaram que as soluções concentradas de ácidos podem induzir ao aumento da solubilidade de moléculas menores de pectina, devido à hidrólise parcial, podendo estas não precipitar

com a adição de álcool, resultando em menor rendimento. Além disso, meios de precipitação mais ácidos (pH em torno de 2,0) favorecem precipitações de outros componentes além da pectina, reduzindo a pureza do produto. Esses estudos sugerem que tanto o tipo de ácido quanto a concentração, utilizada na extração da pectina, constituem fator importante no processo.

5.3. Caracterização reológica da pectina extraída da casca do café

Com os dados de tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento obtidos experimentalmente, foram realizados os ajustes ao modelo reológico da Lei da Potência (Ostwald-de-Waelle). Foram obtidos os parâmetros a partir de modelos matemáticos, Lei da Potência e Equação de Arrhenius, com a finalidade de descrever o comportamento reológico das amostras. Os parâmetros reológicos são exibidos na Tabela 6, nas temperaturas de 25°C e 45°C.

Tabela 10 - Parâmetros reológicos em temperatura de 25 °C e 45 °C

| T (°C) | Índice de consistência k (Pa.s ⁿ) | Índice de comportamento n (adimensional) | R ² (%) |
|--------|--|---|--------------------|
| 25 | 0,404 | 0,764 | 99,2 |
| 45 | 0,364 | 0,753 | 99,5 |

De acordo com os valores de coeficiente de determinação (R²), os dados experimentais ajustaram-se adequadamente ao modelo da Lei da Potência, apresentando valores maiores que 0,99 para o R². O modelo de Ostwald-de-Waelle é o mais indicado por ser simples e de ampla aplicação tecnológica (BRANCO; GASPARETO, 2003).

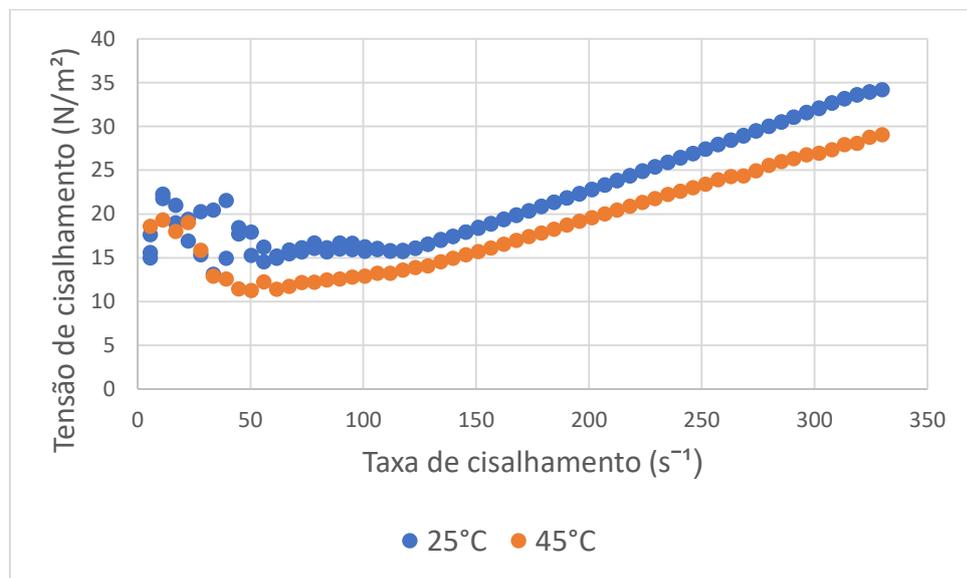
O índice de comportamento do fluido (n) obtido pelo ajuste não linear dos dados de taxa de cisalhamento por tensão de cisalhamento caracterizou as amostras como fluidos não newtonianos, pois para todos os tratamentos o valor de “n” foi inferior a um (1), confirmando a natureza pseudoplástica das amostras (STEFFE, 1996).

Esse tipo de fluido demonstra um decréscimo na viscosidade com um aumento na tensão de cisalhamento, sendo que a taxa de deformação versus a tensão de cisalhamento forma uma linha convexa (SHARMA et al., 2000). As moléculas desses fluidos quando em repouso apresentam um estado desordenado, e quando submetidos

a uma tensão de cisalhamento, tendem a se orientar na direção da força aplicada. Quanto maior a tensão aplicada, maior será a ordenação, das moléculas, conseqüentemente, a viscosidade aparente será menor (HOLDSWORTH, 1971).

Na Figura 3 é mostrado o comportamento reológico (curvas de fluxo) das amostras. Para os ajustes foram utilizadas as curvas ascendentes e descendentes, tomando os pontos que representam o valor médio dos dados experimentais dos reogramas.

Figura 9: Comportamento reológico



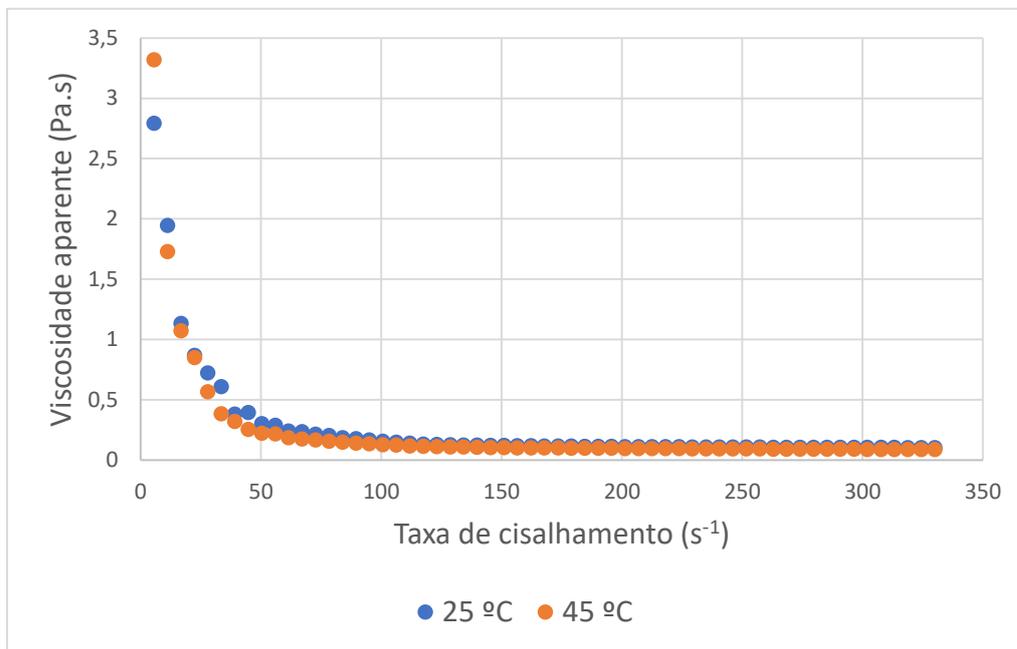
Pode-se verificar o comportamento não-newtoniano para as amostras, onde a inclinação das curvas tende a diminuir com o aumento da tensão de cisalhamento, apesar dos valores de n serem próximos de 1, apresentando a uma relação próxima à da linear entre os parâmetros. Tal comportamento pode ser verificado principalmente em uma taxa de cisalhamento superior a $110 s^{-1}$, quando ocorre a maioria das operações nas indústrias de alimentos.

Na Figura 4, observa-se a variação da viscosidade aparente em função da taxa de cisalhamento das amostras, nas duas temperaturas estudadas (25 e 45°C). Pode ser verificada a tendência a diminuição da viscosidade com o aumento da temperatura aplicada.

Nas duas temperaturas, observa-se a formação de duas regiões bem distintas, às quais correspondem comportamentos estruturais diferenciados. A primeira região,

conforme Bezerra et al. (2013), caracterizada como a zona de taxa de cisalhamento inferior a 100 s^{-1} , na qual as forças de agregação, em razão do movimento browniano, começam a ser superadas pelas forças de cisalhamento, induzindo o alinhamento das partículas, de modo que a viscosidade aparente da amostra diminua exponencialmente. Na segunda região, na zona de taxa de cisalhamento superior a 100 s^{-1} , o estado de alinhamento e orientação das partículas encontra-se plenamente estabelecido, e a viscosidade aparente tende a ficar constante. Tal tendência pode indicar uma aproximação ao comportamento newtoniano.

Figura 10: Variação da viscosidade aparente versus taxa de cisalhamento das amostras



A relação de Arrhenius (Equação 4) empregada apresentou bom ajuste do efeito da temperatura na viscosidade aparente das amostras, devido ao alto valor de R^2 encontrado, acima de 0,999. O valor da energia de ativação calculado entre as temperaturas de 25 e 45°C foi de 8,95 kJ/mol.

6. CONCLUSÃO

As propriedades funcionais possibilitam a utilização do resíduo como matéria-prima e desenvolvimento de novas tecnologias.

Os dados experimentais mostram a capacidade do farelo da casca de café em absorver e reter água e óleo podem ser úteis para a indústria de alimentos, para determinação da matriz alimentícia de utilização dessa determinada matéria-prima. Com relação a caracterização colorimétrica, o farelo da casca de café apresentou coloração amarelo-alaranjada.

Várias condições de extração foram investigadas neste estudo para a obtenção de pectina a partir do farelo da casca de café. Os rendimentos de extração de pectina obtidos do farelo da casca de café variaram de 0,22% a 2,04% utilizando ácido cítrico como solução extratora e 1,3% a 3,81% utilizando ácido clorídrico como solução extratora. A temperatura mais favorável a maiores rendimentos foi de 95 °C, com uma concentração de 1:10 (amostra/solvente) e tempo de 1,5 horas de extração.

A pectina extraída apresentou propriedades reológicas a partir de dados de taxa de cisalhamento *versus* tensão de cisalhamento que possibilitam caracterizar como fluido não-newtoniano de natureza pseudoplástica. Porém, quando se analisa a viscosidade em função da taxa de cisalhamento, observa-se que com o aumento da taxa de cisalhamento (zona maior que 100 s^{-1}), inicia-se um alinhamento e orientação das partículas.

É de extrema importância o entendimento do comportamento dos fluidos e suas características funcionais, principalmente os de natureza não-newtoniano, por não apresentarem propriedades bem definidas, como a dependência proporcional da tensão e deformação, dada pela viscosidade. Com a vasta aplicabilidade nos variados campos industriais, faz-se necessário o estudo do potencial tecnológico desse resíduo.

7. REFERÊNCIAS

- ABIC. **Associação Brasileira da Indústria de Café**. 2016. Disponível em: <<http://abic.com.br/cafe-com/historia/>>. Acesso em: 05 out. 2019.
- ALVARADO, J. D.; AGUILERA, J. M. **Métodos para medir Propriedades Físicas em Indústrias de Alimentos**. Ed. Acribia S.A. Zaragoza, 2001. p.410.
- BAGGIO, J. **Avaliação dos resíduos (casca e pó orgânico) de café (*Coffea arabica* L.) como provável fonte de substâncias bioativas**. 2006. 88 f. Monografia (Especialização), Curso de Ciência dos Alimentos, Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- BEZERRA, C. V.; SILVA, L. H. M.; COSTA, R. D. S.; MATTIETTO, R. A.; RODRIGUES, A. M. C. Rheological properties of tropical juices. **Brazilian Journal of Food Technology**. Campinas, v.16, n.2, p.155-162, 2013.
- BRANCO, I. G.; GASPARETTO, C. A. Response surface methodology applied to the study of temperature effect on the rheological behavior of ternaries mixtures with mango pulp and orange and carrot juices. **Food Science and Technology**, v. 23, p.166-171, 2003.
- BRUM, S. S. **Caracterização e modificação química de resíduos sólidos do beneficiamento do café para produção de novos materiais**. 2007. 138 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agroquímica, Universidade Federal de Lavras. 2007.
- CANTERI, M. H. C. **Caracterização comparativa entre pectinas extraídas do pericarpo de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*)**. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos), UFPR, Curitiba, PR 2010.
- CANTERI, M. H. G.; MORENO, L.; SCHEER, A. P.; WOSIACKI, G. Pectina: da Matéria-Prima ao Produto Final. **Polímeros (online)**, v. 22, n.2, pp.149-157, 2012.
- CARVALHO, F. C. Disponibilidade de resíduos agroindustriais e do beneficiamento de produtos agrícolas. **Informações Econômicas**. São Paulo, v. 22, n. 3, 1992.
- CAPITANI, M. I.; SPOTORNO, V.; NOLASCO, S. M.; TOMÁS, M. C. Physicochemical and functional characterization of by-products from chia (*Salvia hispanica* L.) seeds from Argentina. **LWT – Food Science and Technology**, n. 45, p. 94-102, 2012.
- CAVALCANTI, W. M.; FERNANDES, M. A. **Técnicas de uso dos resíduos sólidos de Café como agregado para briquetes/péletes e compósitos de madeira**. 2014. Disponível em: <http://www.convibra.com.br/upload/paper/2015/30/2015_30_11239.pdf>. Acesso em: 09 out. 2019

CHAU, C.; CHEUNG, K.; WONG, Y. Functional properties of protein concentrate from three Chinese indigenous legume seeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, n. 45, p. 2500-2503, 1997.

CHAN, S. Y.; CHOO, W. S. Effect of extraction conditions on the yield and chemical properties of pectin from cocoa husks. **Food Chemistry**. 141, 3752-3758, 2013.

CHAKRABANDHU, K.; SINGH, R. K. Rheological properties of coarse food suspensions in tube flow at high temperatures. **Journal of Food Engineering**, v. 66, p.117–128, 2005.

CIE. **CIE Publications**. 15.2.CIE, Viena, Áustria, 1996.

DURÁN, E.; PÉREZ, R.; CARDOSO, W. PEREZ, A. O. Análise colorimétrica de açúcar mascavo e sua aceitação no mercado de Viçosa-MG, Brasil. **Temas Agrarios**, v. 17, n. 2, p. 30-42, 2012.

EL HALAL, S. L. M. **Composição, processamento e qualidade do café**. 47 f. Tese (Doutorado) - Curso de Bacharelado em Química de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

EMBRAPA. **Seis maiores estados produtores dos Cafés do Brasil atingiram 98% do volume da safra de 2017**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/31081641/seis-maiores-estados-produtores-dos-cafes-do-brasil-atingiram-98-do-volume-da-safra-de-2017>>. Acesso em: 03 dez. 2019

FASSIO, L. H.; SILVA, A. E. S. **Importância econômica e social o café Conilon**. 2015. Disponível em: <<https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/item/694>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

FERNANDES, G. **Extração e purificação de cafeína da casca de café**. 2007. 107 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia. 2007.

FIETZ, V. R.; SALGADO, J. M. Efeito da pectina e da celulose nos níveis séricos de colesterol e triglicerídeos em ratos hiperlipidêmicos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 3, p. 318-321, 1999.

FONTANARI, G. G.; JACON, M. C.; PASTRE, I. A.; FERTONANI, F. L.; NEVES, V. A.; BATISTUTI, J. P. Isolado protéico de semente de goiaba (*Psidium guajava*): caracterização de propriedades funcionais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, n. 27(supl.), p. 73-79, ago. 2007.

GRAÇA, C. H.; CALDAS, R. M. F. Estimativa da quantidade de resíduos (casca e polpa) produzidos durante o processo de beneficiamento do café no município de Varginha – MG. **Revista Geonorte** v. 8, n. 30, p. 104-117, dez. 2017.

HALAL, S. L. M. E. **Composição, Processamento e qualidade do café**. 2008. Disponível em: <<https://quimicadealimentos.files.wordpress.com/2009/08/cafe.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2019.

HUNTERLAB. What is color and how is measured. **Applications Note**, v. 12, n. 5, p.1-8, 2000.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v. 1: **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. São Paulo: IMESP, 3. ed., 1985. p. 59.

KALAPATHY, U.; PROCTOR, A. Effect of acid extraction and alcohol precipitation conditions on the yield and purity of soy hull pectin. **Food Chemistry**, v. 73, n. 4, p. 393-396, 2001.

KULKARNI, S. G., VIJAYANAND, P. Effect of extraction conditions on the quality characteristics of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* L.). **Food Science and Technology**, 43, 1026–1031, 2010.

KLIEMANN, E.; SIMAS, K. N.; AMANTE, E. R.; PRUDÊNCIO, E. S.; TEÓFILO, R. F.; FERREIRA, M. M. C.; AMBONI, R. D. M. C. Optimization of pectin acid extraction from passion fruit peel (*Passiflora edulis* *flavicarpa*) using response surface methodology. **International Journal of Food Science and Technology**, n. 44, p. 476–483, 2009.

LAUFENBERG, G.; KUNZ, B.; NYSTROEM, M. Transformation of vegetable waste into value added products: (A) the upgrading concept; (B) practical implementations. **Bioresource Technology**, n. 87, p. 167-198, 2003.

LEWIS, M.J. **Propriedades Físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado**. 1 ed. Ed. Acribia. Zaragoza, 1993.

MACOSCO, C. W. **Reology: principles, Measurements and applications**. Minneapolis, VCH publishers, inc., 1994.

MARONI, C. Pectina e suas aplicações na indústria de alimentos. In: MARONI, C. Curso sobre as propriedades de hidrocolóides e aplicações. Campinas: ITAL, 1992.
MARTINS, A. L. **História do Café**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2008.

MASSOLA, B. C. P.; BIANCHINI, M. d. G. d. A. **Análise de absorção de água e gordura das farinhas de amaranto em diferentes tratamentos térmicos**. Disponível em: <<http://www.sbpcnet.org.br/livro/64ra/resumos/resumos/8687.htm>>. Acesso em: 27 out. 2019

MATIELLO, J. B. **Evolução da produção brasileira de café**. 2018. Disponível em: <<https://www.cafepoint.com.br/noticias/tecnicas-de-producao/evolucao-da-producao-brasileira-de-cafe-211254/>>. Acesso em: 05 out. 2019.

MATOS, A.T.; PINTO, A.B.; BORGES, J.D. Caracterização das águas residuárias da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro e possibilidades de seu uso na fertirrigação. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON BIOTECHNOLOGY IN THE COFFEE AGROINDUSTRY, 3, Londrina, 2000. **Proceedings**. Londrina: UFPR, IAPAR, IRD, p. 395-396. 2000.

MAY, C. D. Industrial pectins: sources, production and applications. **Carbohydrate Polymers**, v. 12, n. 15, p. 79-99, 1990.

MOHNEN, D. Pectin structure and biosynthesis. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 11, p. 266–277, 2008.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. CALADO, V. (Trad.), 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 461p., 2003.

PAGÁN, J. et al. Extraction and characterization of pectin from stored peach pomace. **Food Research International**, v. 34, n. 7, p. 605-612, 2001.

PAIVA, E. P.; LIMA, M. S.; PAIXÃO, J. A.. **PECTINA: Propriedades químicas e importância sobre a estrutura da parede celular de frutos durante o processo de maturação**. 2009. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/profile/Jose_Paixao4/publication/266606362_Pectina_Propriedades_quimicas_e_importancia_sobre_a_estrutura_da_parede_celular_de_frutos_durante_o_processo_de_maturacao/links/550a0ffa0cf20ed529e23f07.pdf>.

Acesso em: 17 nov. 2019.

PANDEY, A.; SOCCOL, C. R.; NIGAMC, P.; BRAND, D.; MOHAN, R.; ROUSSOS, S. Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses, **Biochemical Engineering Journal**, n. 6, p. 153-162, 2000.

QUEIROZ, A. J. M. **Estudo do comportamento reológico dos sucos de abacaxi e manga**. Tese de Doutorado (Faculdade de Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas, 1998. 170 p.

REZENDE, C. M.; DURÁN, C. A. A.; TSUKUI, A.; SANTOS, F. K. F.; MARTINEZ, S. T.; BIZZO, H. R. Café: Aspectos Gerais e seu Aproveitamento para além da Bebida. **Revista Virtual de Química**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p.1-28, 22 nov. 2016.

SFREDO, M. A. **Dispersão de frutos de café no escoamento em secador de múltiplas bandejas vibradas**. 321f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia 2006.

SHARMA, S. K., MULVANEY, S. J., RIZVI, S. S. H. **Food processing engineering: theory and laboratory experiments**. United States of America: Wiley-Interscience. 348p. 2000.

SHIE, T. **História do Café – A Origem e Trajetória da Bebida no Mundo**. 2018. Disponível em: <<https://www.graogourmet.com/blog/historia-do-cafe/>>. Acesso em: 05 out. 2019.

STEFFE, J. F. **Rheological methods in food process engineering**. 2. ed. Freeman Press, 412 p., 1996.

SOCCOL, C. R. Resíduo de café: um substrato promissor para a produção industrial de bioprodutos com alto valor agregado. In: EMBRAPA-CAFÉ. (Org.). **I Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**. 1 ed. Brasília: EMBRAPA, v. 1, p. 83-98, 2002.

VEGRO, C. L. R.; CARVALHO, F. C. **Disponibilidade e utilização de resíduos gerados no processamento agroindustrial do café**. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/ftp/iea/ie/1994/tec1-0194.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2019.

VILELA, F. G.; PEREZ, J. R. O.; TEIXEIRA, J. C.; REIS, S. T. Uso da casca de café melosa em diferentes níveis na alimentação de novilhos confinados. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 1, p. 198-205, 2001.

YOSHIDA, L. M. **Extração de solúveis do café torrado**, 198f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

WILLATS, W. G. T.; KNOX, J. P.; MIKKELSEN, J. D. Pectin: new insights into and old polymers are starting to gel. **Trends in Food Science & Technology**, v. 17, n. 3, p. 97-104, 2006.

ZAMBRANO, M. L.; MELÉNDEZ, R.; GALLARDO, Y. **Propiedades funcionales y metodología para su evaluación en fibra dietética**. Livraria Varela, 2001.

ZOCA, Samuel Menegatti. **Avaliação da liberação de potássio por resíduos do benefício de café**. 2012. Disponível em: <<http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/6029>>. Acesso em: 04 dez. 2019.