

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EVELANGE MIRIAN TELES HOFFMANN

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL COMO PRÉ-
TRATAMENTO NA DIMINUIÇÃO DO ÍNDICE DE ACIDEZ DOS ÓLEOS RESIDUAIS

PALOTINA

2023

EVELANGE MIRIAN TELES HOFFMANN

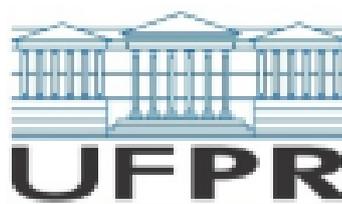
UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL COMO PRÉ-
TRATAMENTO NA DIMINUIÇÃO DO ÍNDICE DE ACIDEZ DOS ÓLEOS RESIDUAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Setor Palotina, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Joel Gustavo Teleken

PALOTINA

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E EXATAS
Rua Pioneiro, 2153, - - Bairro Jardim Dallas, Palotina/PR, CEP 85950-000
Telefone: 3360-5000 - <http://www.ufpr.br/>

ATA DE REUNIÃO

Aos trinta dias do mês de novembro do ano de dois mil e vinte e três, às dezenove horas e trinta minutos, na Sala 04 do Bloco Didático I, na Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, realizou-se a Defesa Pública e Oral do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado "Utilização de Resíduos da Construção Civil como Pré-tratamento na Diminuição do Índice de Acidez dos Óleos Residuais" apresentado pela discente Evelange Mirian Teles Hoffmann, orientada pelo Prof. Dr. Joel Gustavo Teleken, como um dos requisitos obrigatórios para conclusão do curso de graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia. Iniciados os trabalhos, o orientador e Presidente da Banca concedeu a palavra à discente, para exposição do seu trabalho. A seguir, foi concedida a palavra em ordem sucessiva aos membros da Banca de Exame, os quais passaram a arguir a discente. Ultimada a defesa, que se desenvolveu nos termos normativos, a Banca de Exame, em sessão secreta, passou aos trabalhos de julgamento, tendo atribuído à discente as seguintes notas: Profa. Dra. Adriana Ferla de Oliveira, nota: 90 (noventa), Profa. Dra. Dilcemara Cristina Zenatti, nota: 90 (noventa), e Prof. Dr. Joel Gustavo Teleken, nota: 90 (noventa). A nota final da discente, após a média aritmética dos três membros da banca de exame, foi 90 (noventa). As considerações e sugestões feitas pela Banca de Exame deverão ser atendidas pela discente sob acompanhamento de seu orientador. Nada mais havendo a tratar foi lavrada a presente ata, que, lida e aprovada, vai por todos assinada eletronicamente.



Documento assinado eletronicamente por **JOEL GUSTAVO TELEKEN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/12/2023, às 08:24, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **ADRIANA FERLA DE OLIVEIRA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/12/2023, às 08:36, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **DILCEMARA CRISTINA ZENATTI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/12/2023, às 16:49, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **6190851** e o código CRC **BB82F327**.

*Dedico esse trabalho à minha família.
Com muito amor e gratidão por serem
meu alicerce, me instigando a ter força e
determinação para realizar meus sonhos.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida, que com todo seu amor nunca me abandonou, sempre me abençoou e restaurou minhas forças quando necessário.

Aos meus pais Angela Teles e Everaldo Hoffmann, por sempre me incentivarem a sonhar e realizar, por me darem asas para voar e raízes para voltar. A minha irmã Jessica Hoffmann por sempre me proteger. E aos meus três sobrinhos Victor Hugo Hoffmann, Rafael Hoffmann e Enzo Hoffmann, por trazer mais leveza e amor a minha vida. Amo vocês com todas minhas forças

As minhas amadas avós que não estão mais presentes fisicamente, Zélia Teles e Olívia Hoffmann, mas que sempre estarão comigo. Aos meus amados avôs Fábio Teles e Pedro Hoffmann. Obrigada por todos os ensinamentos, é por vocês também que me mantenho firme e forte.

Ao Professor Dr. Joel Gustavo Teleken, por toda parceria no decorrer da minha graduação e especialmente pela orientação e suporte para elaboração deste trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Produção de Biocombustíveis (LPB), em especial a Laís Juchem, Thompson Weiser, Paulo André Cremonez por sempre que necessário estarem dispostos a me auxiliar.

A todos meus amigos pelo apoio e paciência em todo esse período, em especial a Anna Maria Juppa que foi meu apoio diário durante todos meus anos de graduação. Ao Lucas Paiano, Thauana Isoton, Paula Barboza, Maria Eduarda, Heloisa Machado, Carolaine Santos, Carlos de Oliveira, Emanuele Becker, Bianca Couto, Andressa Mott, Louise Martins, Taís Hanauer, Gabriele Anderle, e Mônica Milani por me acompanharem e apoiarem todos esses anos. As minhas grandes amigas Jennifer Antunes, Maria Luisa Pereira e Janaina Teles, que estiveram sempre comigo.

À Universidade Federal do Paraná, setor Palotina, ao departamento de Engenharias e Exatas (DEE), e ao corpo docente, pelo ensino de qualidade, e por todas oportunidades.

E a todos que de alguma forma colaboraram para que chegassem até aqui, guardo todos em meu coração, com amor e gratidão.

Tão importante quanto a chegada é o caminho percorrido, pois o que vivemos no percurso nos faz chegar mais evoluídos. (DE SÁ, PLÍNIO)

RESUMO

O biodiesel é proveniente de fontes renováveis como óleos vegetais e gorduras animais. Ele surgiu com o objetivo de minimizar a utilização dos combustíveis fósseis e mitigar os danos ao meio ambiente. O óleo residual, que é resultante da cocção de alimentos, pode servir de matéria prima para a produção de biodiesel, visando benefícios ambientais, econômicos e sociais. Entretanto esse óleo necessita de pré-tratamentos em razão da elevada concentração de ácidos graxos livres. Fatores como altas temperaturas, múltiplas utilizações e excesso de umidade desencadeiam reações que aumentam sua acidez. Diante disso, a argamassa e o concreto que são materiais fundamentais na construção civil, desempenhando papéis essenciais em diversas aplicações, sendo que sua utilização resulta em um material sobressalente que são gerados a partir de obras ou demolições. Segundo o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 307/2002, eles se enquadram em resíduos da construção civil Classe A, os quais podem ser reutilizados, reciclados ou destinados a aterros específicos de resíduos inertes, não apresentando riscos significativos ao meio ambiente. A maior parte dos resíduos da construção civil são desta classe, os chamados produtos cerâmicos, que são potenciais materiais neutralizantes. Nesse contexto este trabalho teve o objetivo de avaliar a capacidade da argamassa e do concreto em neutralizar os ácidos graxos livres presentes no óleo residual de fritura. Para isso foi realizado um estudo cinético da redução de acidez do óleo utilizando ambos os materiais, obtendo-se melhor resposta para argamassa. A partir da definição da utilização da argamassa definiu-se um delineamento composto central rotacional, com objetivo de determinar as melhores condições experimentais (temperatura, massa de argamassa e agitação) que fossem capazes de fornecer a maior redução do índice de acidez. Para a argamassa que se destacou como melhor material, foram realizados testes comparativos para redução do índice de acidez com o carvão ativado comercial (CAC). A argamassa foi caracterizada por meio de Fisissorção de Nitrogênio pelo método de Brunauer, Emmett e Teller (BET), Espectroscopia de Energia Dispersiva acoplado a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV/EDS) e Ponto de Carga Zero (pH_{PCZ}). Nas melhores condições experimentais obtidas a partir da análise estatística dos resultados do DCCR a argamassa obteve um índice de redução de acidez de 82% enquanto para o carvão ativado foi de 62%.

Palavras-chave: Biodiesel; Óleo residual; Neutralização; Resíduos da construção civil.

ABSTRACT

Biodiesel is derived from renewable sources such as vegetable oils and animal fats. It emerged with the objective of minimizing the use of fossil fuels and mitigating environmental damage. Residual oil resulting from food cooking can serve as raw material for biodiesel production, aiming for environmental, economic, and social benefits. However, this oil requires pre-treatment due to its high concentration of free fatty acids. Factors such as high temperatures, multiple uses, and excess moisture trigger reactions that increase its acidity. Therefore, mortar and concrete, which are fundamental materials in construction, play essential roles in various applications. Their use results in surplus material generated from construction or demolition, classified by CONAMA (National Council for the Environment) No. 307/2002 as Class A construction waste, which can be reused, recycled, or sent to specific inert waste landfills, posing no significant risks to the environment. Most construction waste falls into this class, specifically ceramic products, which are potential neutralizing materials. In this context, this study aimed to evaluate the ability of mortar and concrete to neutralize the free fatty acids present in residual frying oil. For this purpose, a kinetic study of acidity reduction in the oil was carried out using both materials, with a better response observed for mortar. Upon defining the use of mortar, a rotational central composite design was employed to determine the best experimental conditions (temperature, mortar mass, and agitation) capable of providing the greatest reduction in acidity index. For the mortar identified as the superior material, comparative tests were conducted for acidity index reduction with commercial activated carbon (CAC). The mortar was characterized using Nitrogen Physisorption by the Brunauer, Emmett, and Teller (BET) method, Energy Dispersive Spectroscopy coupled with Scanning Electron Microscopy (SEM/EDS), and Zero Point of Charge (pH_{PCZ}). Under the best experimental conditions derived from statistical analysis of the results from the Central Composite Rotational Design (CCRD), the mortar achieved an acidity reduction index of 82%, whereas for activated carbon, it was 62%.

Keywords: Biodiesel; Concrete; Residual oil; Neutralization; Construction waste.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO.....	19
FIGURA 2: TIPOLOGIA DOS RESÍDUOS.....	23
FIGURA 3: ATERRO SANITARIO COM RCC.....	23
FIGURA 4: FLUXOGRAMA DA COLETA, PREPARO E ANÁLISE DOS MATERIAIS	25
FIGURA 5: ARGAMASSA E CONCRETO CALCINADOS.....	27
FIGURA 6: COLETA E ANÁLISES DO ORF.....	28
FIGURA 7: BANHO-MARIA DUBNOFF.....	29
FIGURA 8: REDUÇÃO DOS ENSAIOS UTILIZANDO O MELHOR AGENTE REDUTOR DE ÁCIDEZ	31
FIGURA 9: GRÁFICO DE PARETO - REDUÇÃO DO ÍNDICE DE ACIDEZ USANDO ARG	39
FIGURA 10: SUPERFÍCIES DE RESPOSTAS DA REDUÇÃO DE ACIDEZ.....	40
FIGURA 11: GRÁFICO DE RESÍDUOS.....	42
FIGURA 12: FUNÇÃO DE SEJABILIDADE PARA DETERMINAR AS MELHORES CONDIÇÕES DE EXPERIMENTAIS.....	43
FIGURA 13: CARACTERIZAÇÃO MORFOLOGICA DA ARGAMASSA PREPARADA	46
FIGURA 14: CLASSIFICAÇÃO COMUNS DAS ISOTERMAS DE ADSORÇÃO.....	47
FIGURA 15: FOTOMICROGRAFIAS DA ARGAMASSA PREPARADA OBTIDAS POR MEV	48

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EXTRATIFICADOS POR CLASSE	24
GRÁFICO 2: REDUÇÃO DO ÍNDICE DE ACIDEZ DA ARGAMASSA PREPARADA E DO CONCETO PREPARADADOS.....	35
GRÁFICO 3: REDUÇÃO DE ACIDEZ PARA A MELHOR CONDIÇÃO	44
GRÁFICO 4: VALORES DE pH_{pcz} DA ARGAMASSA PREPARADA.....	50

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: COMPOSIÇÃO DA ARGAMASSA E DO CONCRETO.....	26
QUADRO 2: NÍVEIS DO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL (DCCR) PROPOSTO	32
QUADRO 3: MATRIZ DO DELINEAMENTO EXPERIMENTAL (DCCR)	32
QUADRO 4: MELHOR CONDIÇÃO DA ARGAMASSA PREPARADA	38
QUADRO 5: REDUÇÃO DE ACIDEZ PARA A MELHOR CONDIÇÃO	44
QUADRO 6: CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DA ARGAMASSA PREPARADA.....	45
QUADRO 7: COMPOSIÇÃO SEMI-ELEMENTAR DA ARGAMASSA PREPARADA..	49

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

AGL	-Ácidos Graxos Livres
ANOVA	-Análise de Variância
ARG	-Argamassa
AGP	-Argamassa preparada
BET	-Brunauer, Emmett e Teller
BJH	-Barret, Joyner e Halenda
CAC	-Carvão Ativado Comercial
CONAMA	-Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONC	-Concreto
CONP	-Concreto preparado
DCCR	-Delineamento Composto Central Rotacional
EDS	-Espectroscopia de Energia Dispersiva
IA	-Índice de Acidez
MEV	-Microscopia Eletrônica de Varredura
LABMATER	-Laboratório de Materiais e Energias Renováveis
LPB	-Laboratório de Produção de Biocombustíveis
OR	-Óleos Residuais
ORF	-Óleo Residual de Fritura
PCZ	-Ponto de Carga Zero
pH	-Potencial Hidrogênio
R ²	-Coeficiente de Determinação
RA	-Redução da Acidez
RCC	-Resíduos da Construção Civil
RCD	-Resíduos de Construção e Demolição
SE	-Elétrons Secundários

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 JUSTIFICATIVA	17
1.2 OBJETIVO GERAL	18
1.2.1 Objetivos específicos.....	18
2 REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 BIODIESEL	19
2.2 ÓLEO RESIDUAL	20
2.3 PRÉ-TRATAMENTOS.....	21
2.4 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 ARGAMASSA E CONCRETO.....	25
3.2 ÓLEO RESIDUAL	27
3.3 ANÁLISES DO ÓLEO TRATADO	28
3.3.1 Cinética de redução do índice de acidez.....	28
3.3.2 Planejamento experimental para maximizar a redução do I.A.	30
3.3.3 Análise estatística e função desejabilidade	33
3.3.4 Ensaios de redução de índice de acidez nas melhores condições experimentais obtidas usando a função desejabilidade	33
3.4 CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA PREPARADA.....	33
3.4.1 Fisissorção de nitrogênio.....	33
3.4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia de Energia Dispersiva (MEV/EDS).....	34
3.4.3 Determinação do pH no ponto de carga zero	34
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	35
4.1 CINÉTICA DE REDUÇÃO DO ÍNDICE DE ACIDEZ – AVALIANDO ARGAMASSA PREPARADA E CONCRETO PREPARADO	35
4.2 MATRIZ DO DELINEAMENTO EXPERIMENTAL (DCCR) PARA AVALIAR A REDUÇÃO DE ACIDEZ UTILIZANDO ARGAMASSA PREPARADA	37
4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA	38
4.3.1 Gráfico de Pareto para redução do índice de acidez usando AGP	38
4.3.2 Avaliação das Superfícies de resposta da redução de acidez utilizando	39
4.3.3 Gráficos de resíduos dos testes de redução do índice de acidez	42
4.3.4 Determinação das melhores condições experimentais	43

4.3.5 Validação do modelo matemático e melhor condição experimental para argamassa preparada e o carvão ativado comercial.....	44
4.4 CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA PREPARADA.....	44
4.4.1 Fisissorção de nitrogênio.....	44
4.4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia de Energia Dispersiva (MEV/EDS).....	48
4.4.3 Determinação do pH no ponto de carga zero.....	49
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

A produção de biodiesel a partir de óleo residual de fritura (ORF) tem emergido como uma estratégia sustentável para lidar com estes resíduos orgânicos, transformando-o em um produto de valor agregado, essa iniciativa pode reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e minimizando os diversos problemas ambientais que a sociedade enfrenta atualmente (GODOY, 2021).

O biodiesel é proveniente de fontes renováveis como óleos e gorduras de origem vegetal ou animal. É amplamente utilizado como incremento para a substituição total ou parcial do diesel que é derivado do petróleo e é empregado para diversos fins, tais como utilização como combustível em máquinas agrícolas e de rodovias, os quais emitem gases poluentes (SALA, 2022).

A escolha da matéria-prima a empregar na fabricação desse biocombustível é fundamentada em critérios econômicos e na garantia da qualidade do produto (ORSI, 2021). Nesse contexto, alinhado com o crescimento econômico do Brasil e com a demanda populacional de maus hábitos alimentares, o consumo de frituras se elevou. Desta forma, se faz necessário a implementação de estratégias para a gestão desses resíduos (ARAÚJO, 2018).

Contudo no processo de cocção de alimentos várias reações se sucedem, como hidrólise, oxidação e polimerização térmica, o que implica em alterações físico-químicas do óleo, produzindo compostos como radicais livres, ácidos graxos livres, comprometendo, dessa forma, a qualidade do óleo (STOTT-MILLER, *et al.*, 2013).

Ainda, a acidez da matéria prima que no caso é o óleo, afeta diretamente o produto que é o biodiesel. Segundo Silva (2017), aumentos de apenas 5% na acidez inicial do óleo podem levar a uma redução de 4% a 5% no rendimento global do processo e podem elevar os custos de sua produção.

Apesar da ausência de uma legislação específica no Brasil para a avaliação da qualidade dos óleos residuais de fritura, é possível utilizar diversos métodos de análise com esse propósito. Alguns desses métodos incluem a avaliação da viscosidade, acidez e cor. A fim de se obter um óleo com qualidade superior (MORAIS, *et al.* 2013).

Com isso o pré-tratamento do ORF é um passo fundamental na produção de biodiesel, pois melhora a qualidade do produto, aumenta a eficiência do processo, promove a sustentabilidade, reduz resíduos e contribui para a conservação dos recursos naturais. Além disso, ao utilizar essa matéria-prima de forma responsável, a

produção de biodiesel se alinha com os princípios da economia circular e da sustentabilidade ambiental. Ou seja, contribui tanto para a redução do custo de sua produção, quanto para o descarte correto e redução dos custos do tratamento deste resíduo (DIYA'UDDEEN, 2012).

Uma possibilidade é a utilização de materiais alternativos para o pré-tratamento do ORF. Por exemplo, os resíduos da construção civil, mais precisamente os resíduos da Classe A (tijolos, argamassa e concreto), que são majoritários quando se trata de resíduos da construção civil. Segundo o estudo de Bernardes, *et al* (2008), cerca de 80% das cargas de caçambas analisadas em seu trabalho eram compostas por resíduos da Classe A. Visto o potencial de reutilização desses resíduos e objetivando prioritariamente a não geração desses resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final, surgiu a Resolução nº 307 do CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (2002).

Os resíduos da construção civil (RCC) apresentam uma natureza heterogênea, consistindo em uma variedade de materiais. Esses materiais surgem tanto da demolição de edifícios e infraestruturas quanto das perdas ocorridas durante a execução da obra. Isso inclui os excedentes e os desperdícios de materiais provenientes das diversas fases do processo construtivo (PINTO; SILVA, 2023). Esse resíduo sólido inerte é destinado prioritariamente ao preenchimento de aterros e são pouco explorados na literatura como possível agente de pré-tratamento para óleos residuais (DOMINGUINI, *et al.*2014).

Nesse contexto, o objetivo deste estudo é investigar a utilização da argamassa e do concreto como agentes de purificação. A proposta é explorar a capacidade desses materiais em atuar no pré-tratamento do óleo residual, visando a redução do índice de acidez para posterior produção de biodiesel, fornecendo assim uma alternativa eficaz para o tratamento dos óleos residuais.

1.1 JUSTIFICATIVA

Diante dos danos ambientais causados pelo descarte incorreto de óleos residuais (OR) e da disponibilidade deles, o presente projeto visa estudar o potencial de reaproveitamento da argamassa e do concreto no processo de pré-tratamento do óleo residual para posterior utilização na produção de biodiesel. No qual, devem ser

estudadas ainda as melhores condições de aplicação de tais resíduos na redução do índice de acidez (IA) do óleo residual.

Os resíduos de argamassa e de concreto podem ser reaproveitados de uma forma mais eficiente, ao serem utilizados para redução do IA do óleo residual, explorando o potencial ambiental e comercial destes resíduos.

1.2 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho visa estudar a eficiência e empregabilidade de resíduos de argamassa e concreto como agentes no pré-tratamento para a redução do índice de acidez de óleos residuais proveniente do processo de cocção de alimentos visando a produção de biodiesel.

1.2.1 Objetivos específicos

- a) Determinar o teor de ácidos graxos no óleo residual de fritura;
- b) Investigar as características físico-químicas, dos resíduos de argamassa e de concreto que mais contribuíram para o processo de pré-tratamento dos ácidos graxos presentes nos óleos residuais;
- c) Avaliar a influência de diferentes parâmetros no processo de pré-tratamento do óleo residual: temperatura, agitação e massa, na redução do índice de acidez;
- d) Determinar a melhor condição para o processo pré-tratamento do óleo residual;
- e) Comparar o desempenho do resíduo da construção civil com o do carvão ativado de origem comercial na redução do índice de acidez.

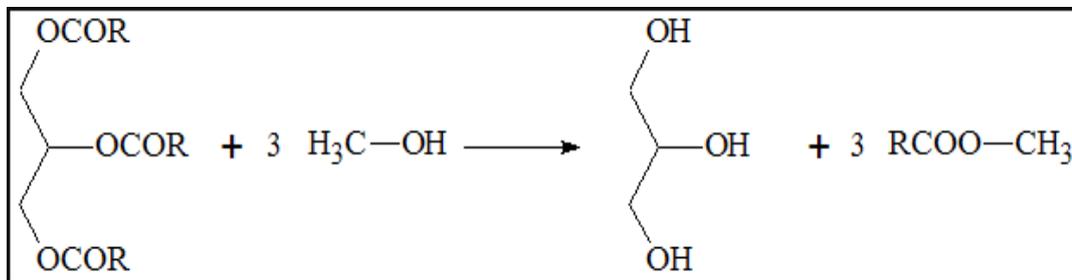
2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 BIODIESEL

O biodiesel pode ser definido como um derivado mono-álquil éster de ácidos graxos de cadeia longa, proveniente de fontes renováveis como óleos ou gorduras de origens vegetais ou animais, que são compostos de triacilgliceróis, ésteres de glicerol e ácidos graxos. Ele é um substituinte de combustíveis fósseis em motores de ignição por compressão, ou seja, os motores do ciclo Diesel (DABDOUB; BRONZEL; RAMPIN, 2009).

O biodiesel é sintetizado a partir de óleos ou gorduras de origem vegetal ou animal, através da reação de transesterificação (Figura 1) com álcoois na presença de um catalisador ácido, básico ou enzimático, que pode ser homogêneo ou heterogêneo, resultado em uma baixa emissão de poluentes ao ser aplicado como combustível renovável. (LIMA, *et al*, 2020).

FIGURA 1: REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO



Fonte: Meio ambiente (2014).

Considerado um produto biodegradável, sendo praticamente livre de enxofre e aromáticos, quando comparado com a queima do diesel mineral, ao ser usado em um motor diesel convencional resulta em uma redução substancial de monóxido de carbono (CO) e de hidrocarbonetos não queimados (WAZILEWSKI, 2012).

Juntamente com as preocupações relacionadas a poluição do meio ambiente, o interesse por biocombustíveis cresceu de forma significativa nos últimos anos, visto que o biodiesel é uma ótima alternativa para substituição total ou parcial de combustíveis derivados de petróleo, segundo o Governo Federal do Brasil (GOV. BR, 2023) para a substituição parcial, a porcentagem de biodiesel no diesel é de cerca de

13%. A definição depende da quantidade de biodiesel na mistura. Segundo Gomes, Lima e Rezende (2008), no mercado, a sua utilização se dá em quatro níveis de concentração: Puro (B100), Misturas (B20 – B30), Aditivo (B5) e Aditivo de lubricidade (B2).

A produção de biodiesel possui uma ampla variedade de possíveis matérias primas, entre elas a que se destaca no Brasil é o óleo de soja. Essa é a oleaginosa mais utilizada em nível industrial, chegando a 78% do total, tendo em vista sua vasta produção e a consolidação de sua cadeia produtiva a nível nacional e internacional (OLIVEIRA, *et al.* 2017).

2.2 ÓLEO RESIDUAL

O processo de fritura de alimentos envolve o aquecimento do óleo para o preparo do mesmo. Nesse procedimento, o óleo de soja se destaca como uma escolha comum, devido ao seu custo mais acessível. No entanto, após o uso, muitos estabelecimentos comerciais (como bares, restaurantes, pastelarias, lanchonetes e residências) por diversas vezes não descartam os resíduos de maneira adequada e esse mau hábito pode ser devido à falta de conhecimento e informação (FONSECA *et al.*, 2019).

Esses resíduos frequentemente são descartados em pias, resultando em entupimentos e chegando diretamente aos sistemas de esgoto. Ao entrar em nossos sistemas de esgoto, o óleo, devido à sua menor densidade em relação à água, forma uma camada superficial que impede a entrada de luz e a oxigenação da água, prejudicando o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos, afetando os níveis da cadeia alimentar (FONSECA; TELEKEN; ALMEIDA., 2019).

Os óleos e gorduras residuais provenientes de atividades industriais, comerciais ou domésticas têm a possibilidade de serem reciclados e aproveitados como materiais primários na fabricação de biodiesel. A principal vantagem associada ao uso desse tipo de matéria-prima está intimamente ligada ao impacto ambiental substancial que resulta do descarte inadequado desses óleos. Mais de 80% desses óleos são geralmente consumidos em ambientes domésticos e posteriormente descartados em sistemas de esgoto, levando à poluição da água, rios, aquíferos e, conseqüentemente, do solo. Portanto, direcionar esses óleos para a produção de biodiesel surge como uma alternativa altamente atraente (ORSI, 2021).

A utilização direta de óleos vegetais apresenta desafios, como sua composição ácida, teor de ácidos graxos livres, suscetibilidade à oxidação e polimerização durante o armazenamento e combustão, bem como à formação de depósitos de óleo e ao acúmulo de resíduos de carbono (ORSI, 2021). Uma estratégia economicamente viável para diminuir a acidez dos óleos residuais é empregar os materiais alcalinos, como é o caso de materiais empregados construção civil.

2.3 PRÉ-TRATAMENTOS

O pré-tratamento do óleo residual é uma etapa crucial no processo de produção de biodiesel, uma vez que os óleos residuais frequentemente contêm impurezas e compostos indesejados que podem afetar a qualidade e a eficiência do biodiesel produzido.

Nos processos industriais de produção de biodiesel, é comum empregar dois métodos distintos: o método por via úmida e o método por via seca. Sendo que o método por via úmida é o mais tradicional, com o objetivo de remover impurezas e substâncias indesejadas de uma substância ou material com o uso de líquidos ou soluções aquosas. Esse método é amplamente explorado em diversas indústrias e processos químicos, sendo especialmente eficaz quando se trata de substâncias solúveis em água ou que reagem com soluções específicas. Desta forma a água é adicionada, o que acarreta uma grande porcentagem de efluentes, os quais deverão ter tratamento para sua reutilização ou descarte (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

O método de purificação por via seca é especialmente útil quando se lida com compostos sensíveis à umidade ou que reagem com a água. É uma técnica que envolve o contato entre materiais sólidos e líquidos, resultando na transferência de substâncias da fase líquida para a superfície da porção sólida. Desta forma, ocorre a separação dos componentes do líquido através de uma atração na superfície do material adsorvente. O resultado da adsorção é influenciado por múltiplos fatores, incluindo pH, área superficial, temperatura, pressão e natureza polar dos compostos envolvidos (CAVALLARI, 2012).

O processo de adsorção baseia-se no princípio de seletividade, que é a relação entre a capacidade de um adsorvente de transportar um componente em relação a outro para uma concentração específica do fluido. A realização de um processo de adsorção eficaz e bem-sucedido requer a escolha de um adsorvente adequado, que

possua alta seletividade e capacidade de adsorção. Idealmente, o componente mais abundante na mistura não deve ser facilmente adsorvido (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

Esse processo é feito por meio de uma operação de transferência de massa da natureza sólido-fluido. Onde alguns sólidos denominados adsorventes tem a capacidade de adsorver em suas superfícies uma porcentagem das substâncias presentes no fluido líquido ou gasoso, chamados de adsorvatos. Para tal objetivo, o sólido precisa ter de uma elevada área específica, encontrada normalmente em materiais altamente porosos (GOMIDE, 1988).

A adsorção pode ser definida em duas categorias: física e química. A adsorção física é predominantemente causada por forças eletrostáticas e interações de *van der waals* entre as moléculas do adsorvato e os átomos constituintes da superfície do adsorvente. A capacidade de adsorção é diretamente proporcional à área específica da superfície. Em contrapartida, a adsorção química ocorre de forma mais seletiva, no entanto, esta modalidade apresenta ligações químicas notavelmente mais robustas devido ao compartilhamento ou à troca de elétrons (NASCIMENTO *et al.*, 2020).

Segundo Dominguimi *et al* (2014), materiais sólidos como a cerâmica e seus derivados como a argamassa, são pouco estudados como adsorventes, embora que exista vários estudos de adsorção de íons metálicos em argilas. Apesar disso esses materiais tem um potencial para neutralização, os materiais cerâmicos provem da argila e estas são utilizadas em processos de adsorção (C. S. Miyashiro, *et al*, 2015).

2.4 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os resíduos provenientes da construção civil são gerados no contexto do processo produtivo industrial. Esses RCC originam-se tanto de demolições de edifícios e infraestruturas como das perdas ocorridas durante a execução das obras. Tal abrangência envolve os excedentes e os desperdícios de materiais que avançam nas diferentes etapas do processo construtivo (FIGURA 2).

FIGURA 2: TIPOLOGIA DOS RESÍDUOS



FONTE: Resíduo all (2017).

Parte desses materiais podem ser reaproveitados no mesmo processo. No entanto, é notável o descarte significativo desses materiais como resíduos sólidos, que muitas vezes são usados como preenchimento em aterros. (Figura 3)

FIGURA 3: ATERRO SANITARIO COM RCC



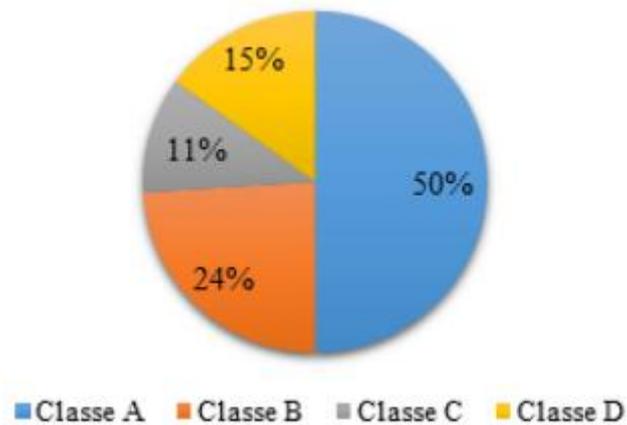
FONTE: Correio do estado (2017).

A partir da implementação das diretrizes previstas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) em 2002, o setor da construção civil iniciou o processo de integração e aplicação de discussão relacionadas ao controle e à responsabilidade sobre a destinação dos resíduos de construção e demolição (RCD). Paralelamente, a

comunidade científica iniciou a formulação de soluções para lidar com os resíduos provenientes dessa indústria significativa. Dentro das obras, os resíduos de construção e demolição são categorizados de acordo com os critérios estipulados na resolução CONAMA 307 de 2002.

Onde, a argamassa e o concreto que fazem parte da classe A, lideram a porcentagem de resíduos da construção civil. O Gráfico 1 demonstra isso.

GRÁFICO 1: RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EXTRATIFICADOS POR CLASSE



FONTE: Frota e Melo (2014).

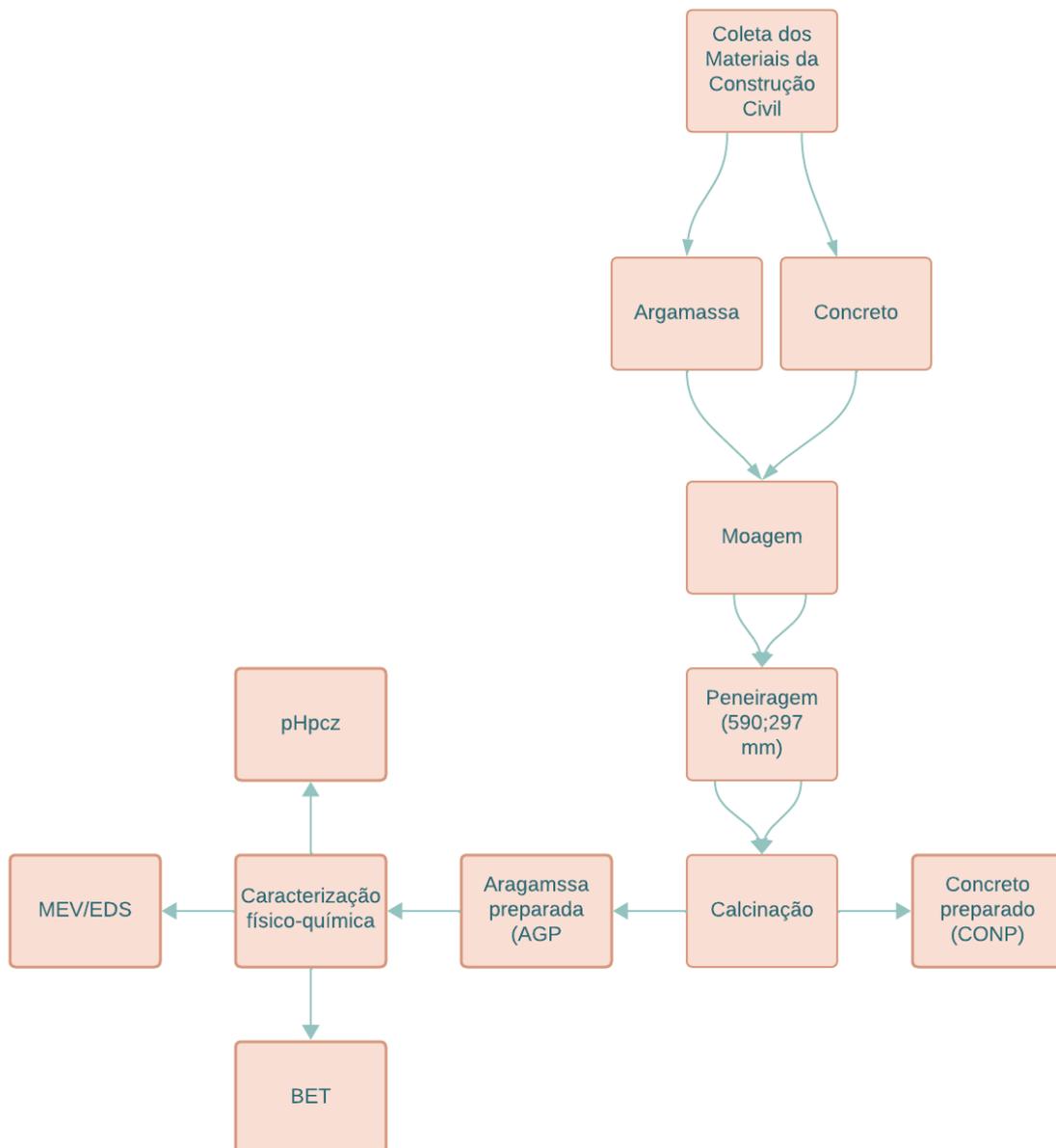
Dando ênfase aos resíduos da classe A, segundo a resolução nº 307 do CONAMA (2002) são os resíduos com maior potencial de reutilização e reciclagem. São provenientes de reparos ou construção de elementos cerâmicos, como placas de pisos cerâmicos, argamassa e concreto. E ainda, entulhos vindos de demolição ou produção de peças pré-moldadas fabricadas *in loco*, ou seja, dentro do canteiro de obras.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ARGAMASSA E CONCRETO

Neste tópico será apresentado a coleta, preparo e análise dos materiais da construção civil e para exemplificar visualmente de forma sintetizada segue a Figura 4.

FIGURA 4: FLUXOGRAMA DA COLETA, PREPARO E ANÁLISE DOS MATERIAIS



FONTE: A autora (2023).

Os materiais utilizados foram de resíduos de Classe A da construção civil, os quais são majoritariamente compostos por argamassa (ARG) e por concreto (CONC). A argamassa foi coletada na cidade de Guaíra proveniente da atividade do reboco. E o concreto que também foi coletado de resíduo de construção civil da cidade de Guaíra-Paraná, do corpo de prova de uma obra. Ambos os materiais foram coletados e condicionados em galões de plástico de 5 kg, sendo que foi pesado 2 kg de cada material.

QUADRO 1: COMPOSIÇÃO DA ARGAMASSA E DO CONCRETO

Material	Composição
Argamassa	1:2:8 – Cimento, cal hidratada e areia
Concreto	1:2:5 – Cimento, areia e brita

FONTE: A autora (2023).

Tais materiais foram triturados na Universidade Tecnológica do Paraná (UTFPR) situada na cidade de Toledo-Paraná, em um moinho de bolas (Figura 5).

Após a moagem foi realizado a granulométrica da amostra, utilizando peneiras de faixa 590 mm e 297 mm, com o auxílio de um Agitador de Peneiras para Análises Granulométricas Eletromagnético. A porção resultante foi homogeneizada de forma manual, e armazenada em um recipiente com tampa, até a próxima etapa.

Seguindo o preparado das amostras, a mufla do Laboratório de Produção de Biocombustíveis (LPB) da Universidade Federal do Paraná, setor Palotina/PR, foi operada para calcinar as amostras a uma curva de aquecimento de 10°C/min, até atingir a temperatura de 850°C e ao alcançar esta marca elas foram mantidas na mufla por 1 hora. Posteriormente os materiais foram armazenados em um recipiente de vidro. Obtendo assim a argamassa preparada (AGP) e o concreto preparados (CONP) (FIGURA 5)

FIGURA 5: ARGAMASSA E CONCRETO CALCINADOS

(a) AGP



(b) CONP



FONTE: A autora (2023).

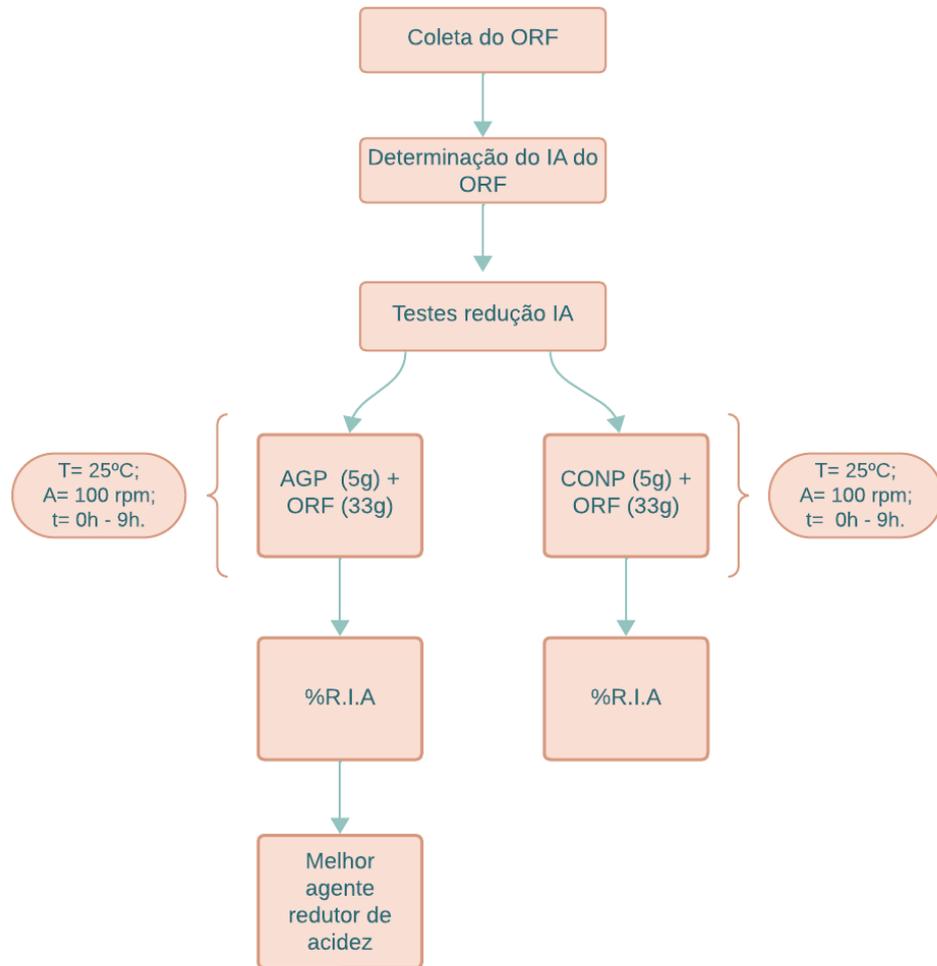
Foi utilizado o carvão ativado comercial, o qual é utilizado como adsorvente padrão, para comparativo com os experimentos feitos, ele dispõe de partículas uniformes de tamanho 0,004 mm (4 μm), sendo um reagente analítico do fabricante Alphatec. O carvão ativado possui microporosidade elevada, quantidade significativa de mesoporos e área superficial de 697 $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. O mesmo não necessitou de tratamentos prévios.

3.2 Óleo residual

O óleo residual de fritura foi adquirido por doação do restaurante universitário (RU) da UFPR na cidade de Palotina-Paraná.

Foi recebido 2 galões de plástico de 5 L, devidamente tampados e guardados ao abrigo da luz e do calor. Não necessitou de novas coletas. (Figura 6)

FIGURA 6: COLETA E ANÁLISES DO ORF



FONTE: A autora (2023).

3.3 ANÁLISES DO ÓLEO TRATADO

3.3.1 Cinética de redução do índice de acidez

A cinética foi realizada a partir do índice de acidez da amostra de óleo residual *in natura*, e das amostras submetidas a ação da argamassa preparada e do concreto preparado, as amostras foram preparadas e foi mantido fixo os valores de temperatura (25°C), agitação (100rpm) e massas (5g). Sendo que foram pesados 5g de cada material (ARG e CONC) em uma balança analítica em erlenmeyer de 125 mL e adicionado 33g de ORF. Subsequentemente foram deixados no banho-maria Dubnoff provido de sistema de agitação onde permaneceram por diferentes tempos (15 min, 30 min, 1h, 2h, 3h, 4h, 5h, 6h, 7h, 8h e 9h). Ao final deste tempo as amostras foram centrifugadas para posterior análise do índice de acidez (Figura 7).

FIGURA 7: BANHO-MARIA DUBNOFF



FONTE: A autora (2023).

A determinação IA foi feita conforme a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). A qual será adotada também para as análises do planejamento experimental. Em uma balança analítica foram pesados 2 g de amostra em um frasco erlenmeyer de 125 mL, ao qual foram adicionados 25 mL da solução éter de petróleo:álcool etílico absoluto 2:1(v/v) e duas gotas do indicador fenolftaleína. A mistura foi homogeneizada e titulada com solução de hidróxido de sódio (0,01 mol/L) previamente padronizado até que a coloração rósea pudesse ser observada e persistisse por aproximadamente 30 segundos. Deste modo, o cálculo do IA foi feito com base no volume gasto na titulação (Equação 1). Salientado que o experimento foi feito em duas bateladas e os testes delas foram feitos em triplicatas. Tais experimentos foram feitos no Laboratório de Produção de Biocombustíveis da UFPR - Setor Palotina.

O cálculo do índice de acidez foi calculado conforme Equação 1.

$$IA = \frac{V \times C_{NAOH} \times M}{m} \quad (1)$$

Onde:

IA = Índice de acidez (mg NaOH/g de óleo);

V = Volume de NaOH gasto na titulação (mL);

C = Concentração da solução de NaOH (mol L⁻¹);

M = Massa molar do NaOH (g mol⁻¹); m = Massa de óleo (g).

Para determinar a porcentagem de Redução de Acidez (RA) utilizou-se a seguinte Equação (2):

$$\%R = \frac{I_{A\text{ inicial}} - I_{A\text{ final}}}{I_{A\text{ inicial}}} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

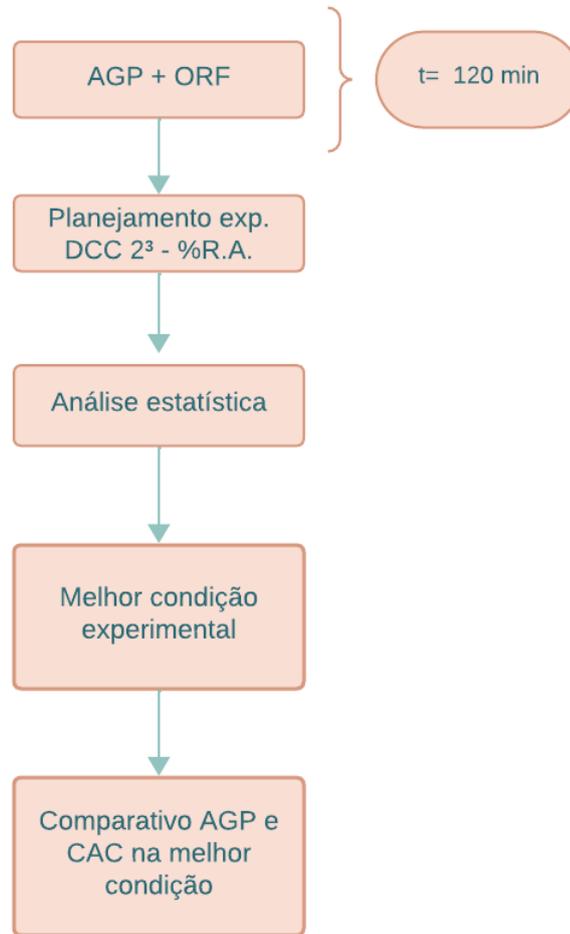
%R = Porcentagem de Redução da Acidez.

3.3.2 Planejamento experimental para maximizar a redução do I.A.

Analisando as duas curvas de cinética foi possível identificar o material com maior RA e qual foi melhor tempo de análise, desta forma foi possível fazer um planejamento experimental baseado em um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), alinhado com as análises estatísticas e a função desejabilidade, objetivando reduzir os números de ensaios e trabalhando com as melhores condições de tratamento.

O melhor material foi utilizado nos ensaios para avaliar a redução do índice de acidez nas condições experimentais definidas no DCCR (Figura 8).

FIGURA 8: REDUÇÃO DOS ENSAIOS UTILIZANDO O MELHOR AGENTE REDUTOR DE ACIDEZ



Fonte: A autora (2023).

O DCCR foi feito com 3 variáveis independentes (temperatura, agitação e massa de argamassa preparada) em 5 níveis (-1,68; -1; 0; 1; 1,68) (QUADRO 2), conferindo um planejamento fatorial do tipo 2³ com 6 pontos axiais e triplicata no ponto central, totalizando 17 ensaios (QUADRO 3) para testar a capacidade de redução do índice de acidez nos ORF.

QUADRO 2: NÍVEIS DO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL (DCCR) PROPOSTO

Variáveis	-1,68	-1	0	1	1,68
Temperatura do banho (°C)	15	17	20	23	25
Agitação do banho (rpm)	100	120	150	180	200
Massa de resíduo da construção civil (g)	2	3,21	5	6,79	8

FONTE: a autora (2023).

Este fatorial possibilita encontrar as melhores condições para obter a maior redução de acidez do ORF.

QUADRO 3: MATRIZ DO DELINEAMENTO EXPERIMENTAL (DCCR)

Testes	Valores Reais		
	T (°C)	A (rpm)	m (g)
1	17	120	3,21
2	23	120	3,21
3	17	180	3,21
4	23	180	3,21
5	17	180	6,79
6	23	120	6,79
7	17	180	6,79
8	23	180	6,79
9	20	150	5
10	25	150	5
11	20	100	5
12	20	200	5
13	20	150	2
14	20	150	8
15	20	150	5
16	20	150	5
17	20	150	5

FONTE: A autora (2023).

Obs: Planejamento fatorial (1 ao 8), pontos axiais (9 ao 14) e pontos centrais (15 ao 17)

As análises do índice de acidez foram realizadas em triplicata, para cada condição experimental definida no DCCR. Para realização dos experimentos foram pesadas em uma balança analítica 33 g de ORF em um erlenmeyer de 125 mL, e posteriormente foram adicionados no banho-maria Dubnoff provido de sistema de agitação onde permaneceram por um tempo fixo de 2 horas (definido na cinética preliminar) sob agitação e temperatura controladas de acordo com cada experimento

previsto no Quadro 3. Ao final deste tempo as amostras foram centrifugadas para posterior análise do índice de acidez.

3.3.3 Análise estatística e função desejabilidade

Com os resultados alcançados na análise de índice de acidez na forma de porcentagem de Redução da Acidez (RA), e fazendo um comparativo com a acidez do óleo *in natura*, foi possível avaliá-los estatisticamente com o auxílio do programa *Statistica*, assim considerando a influência dos fatores temperatura, agitação e massa por meio do gráfico de Pareto, Superfícies de Resposta e função desejabilidade.

O que levou a determinação de qual experimento apontou a RA mais elevada e por consequência a melhor condição do planejamento experimental.

3.3.4 Ensaios de redução de índice de acidez nas melhores condições experimentais obtidas usando a função desejabilidade

Sabendo quais seriam as melhores condições para a RA por meio da análise estatística foi possível fazer um comparativo do melhor material com o carvão ativado comercial

Este procedimento foi conduzido na mesma linha que os anteriores, foi pesado 33g do óleo residual, as massas tanto para a argamassa preparada quanto para o carvão ativado foram fixas (5,26g), assim como a agitação (153,5 rpm) e a temperatura (20°C) para o banho-maria Dubnoff. Mantendo um tempo de 2h e posteriormente o material foi centrifugado, e feita a análise do índice de acidez.

Ressaltando que, foi feita a duplicata dos materiais e a triplicata da análise. Esse procedimento teve o objetivo de verificar se o resultado corresponderia com o modelo matemático de desejabilidade.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA PREPARADA

3.4.1 Fisissorção de nitrogênio

A análise de nitrogênio foi feita pela técnica denominada Brunauer-Emmett-Teller (BET) no Laboratório de Materiais e Energias Renováveis (LABMATER) situado na UFPR - Setor Palotina, onde visou a caracterização textual da amostra do melhor

material, mostrando os diâmetros e volumes de mesoporos do mesmo, na temperatura de nitrogênio líquido (-196°C), desta forma medindo a quantidade de nitrogênio que transita na amostra sólida.

3.4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia de Energia Dispersiva (MEV/EDS)

Esta análise foi feita com a finalidade de discernir sobre a morfologia e a dispersão das partículas do material com melhor resultado, assim sendo foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura, da Universidade Federal do Paraná. As amostras foram fixadas sobre fita dupla face de carbono e, em seguida metalizadas com uma fina camada de ouro na superfície (sputtering). As imagens das micrografias foram obtidas com vários aumentos em módulo de Elétrons Secundários (SE), com detector de elétrons retro espalhados.

Para título de complementação foi utilizada a ferramenta EDS (Espectroscopia de Energia Dispersiva) que é acoplada ao MEV e dispõe de análises semi quantitativas dos elementos químicos presente na amostra.

3.4.3 Determinação do pH no ponto de carga zero

Para determinar o ponto de carga zero da argamassa preparada (melhor material) foram pesados aproximadamente 100 mg da amostra em béqueres de 100 mL aos quais foram adicionados 100 mL de solução de NaCl padronizada com água destilada, com valores de pH variando de 1,0 a 12, os mesmos foram ajustados com soluções de HCl ou NaOH 0,1 mol.L⁻¹. Em seguida, os béqueres foram colocados em uma incubadora shaker, sob agitação de 100 rpm, a 25 °C por 24 horas. Após 24 horas de equilíbrio utilizou-se um pHmetro para medir o pH final das amostras. O pH_{PCZ} correspondeu à faixa em que o pH final se manteve constante. Neste trabalho os testes foram realizados em triplicata.

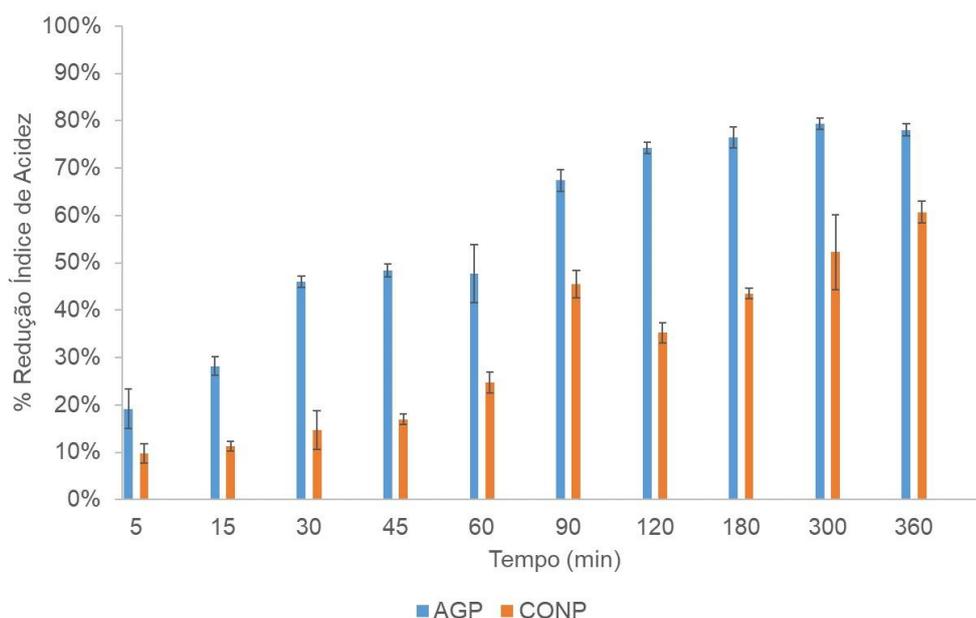
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados desse trabalho podem ser subdivididos em dois tópicos, análises do óleo tratado e caracterização da argamassa preparada.

4.1 CINÉTICA DE REDUÇÃO DO ÍNDICE DE ACIDEZ – AVALIANDO ARGAMASSA PREPARADA E CONCRETO PREPARADO

A primeira parte do experimento verificou-se o índice de redução de acidez do óleo residual de fritura, na mesma agitação e massa, variando apenas os tempos, assim fazendo um comparativo entre a argamassa preparada e o concreto preparado para identificar qual teria uma maior redução dos ácidos graxos presentes no ORF. Os experimentos foram feitos em duas bateladas. E para forma de comparativo foi analisada a acidez do óleo *in natura*, onde ele tinha uma acidez inicial de 1602,45 e sendo que a acidez final do óleo tratada com a argamassa preparada no tempo de 120 min foi de 315,2 e obtendo uma redução de 70%. Pode-se observar pelo Gráfico 2 que a AGP apresentou uma maior redução do índice de acidez ao ser comparada com o CONP.

GRÁFICO 2: REDUÇÃO DO ÍNDICE DE ACIDEZ DA ARGAMASSA PREPARADA E DO CONCRETO PREPARADOS.



FONTE: A autora (2023).

Para o Gráfico 2 foi feita uma média aritmética entre as duas bateladas da AGP e das duas bateladas do CONP, em forma de comparativa para a redução do índice de acidez.

Ao verificar o comportamento da cinética da argamassa preparada pelo gráfico 2, constatou-se que no tempo de 120 min de batelada obteve a melhor resposta de redução do índice de acidez de cerca de 70%, visto que, houve maior estabilidade entre as duas bateladas nesse tempo e que nos tempos subsequentes a diminuição não obteve alterações significativas dessa variável. Assim, fixando este valor para as próximas bateladas.

A porcentagem de redução de acidez utilizando o concreto preparado foi inferior ao ser comparada com a argamassa preparada, obtendo seu climax em 360 min (6 horas) com 61%. Além disso, apresentou bastante discrepância entre as duas bateladas.

A proposta para a purificação do ORF utilizando esses materiais alternativos consiste dentre outros fatores, a transferência de massa do soluto para a superfície exterior do sólido. Há outros tipos de materiais que já foram testados para a mesma finalidade reduzir o índice de acidez do óleo.

Tais materiais como a argila que foi testada por Ferreira (2020), houve variação na concentração de argila no óleo residual, obtendo uma melhor RA (37%) na concentração de 13%, em seguida ele testou diferentes tempos, sendo que em 1h de experimento ele teve uma melhor redução com 36% de RA. Já Vasconcelos *et al.* (2019) faz um comparativo entre o sabugo de milho e a casca de banana para verificar a eficiência de ambos para a redução do índice de acidez do ORF, constatando que são eficientes para o tratamento com resultados de 9% e 13,4%, respectivamente.

A cinética de adsorção tem o objetivo de revelar o comportamento dos materiais no decorrer do processo de purificação. Possuindo etapas difusivas e transferência de massa entre as fases (GARCÍA, *et al.*, 2017).

Diante disso, estabelecendo o tempo de 120 min (2 horas), verificou-se que a argamassa preparada foi o material que possuía maior estabilidade de valores e maior redução do índice de acidez e, conseqüentemente, esses foram os parâmetros fixados para as próximas análises.

4.2 MATRIZ DO DELINEAMENTO EXPERIMENTAL (DCCR) PARA AVALIAR A REDUÇÃO DE ACIDEZ UTILIZANDO ARGAMASSA PREPARADA

Conforme o Quadro 4, podemos chegar a conclusão que o parâmetro que mais teve influenciencia foi a temperatura. Em destaque esta o teste 14 onde obteve-se o melhor resultado com uma RA de 80% e um desvio padrao de 2%. Todos os desvios padrões desse experimento foram inferiores a 10% o que mostra que os dados foram homogêneos e durante o experimento houve um ótimo controle entre as triplicatas.

Os teste 1 e 3 observou-se que temperaturas baixas associadas a concentrações e agitações mínimas resultaram em uma redução de acidez alta. Além disso, maiores temperaturas associadas com maiores agitações e concentrações mínimas se enquadram similarmente em uma alta redução da acidez do ORF, podendo ser observado no teste 4. Enquanto isso os testes 5 e 7 obtiveram uma RA de 74%, onde tinham temperatura mínima associada a agitação e massa intermediária. E no melhor resultado que foi apresentado no teste 14, teve temperatura e agitação intermediária associada a uma alta concentração dos resíduos.

A influencia da temperatura é explica por da Silva (2013) em seu trabalho, onde ele diz que a temperatura influencia devido ao aumento da energia cínética das especies envolvidas, desta forma aumentando o choque entre as moléculas e a energia de ativação necessaria.

QUADRO 4: MELHOR CONDIÇÃO DA ARGAMASSA PREPARADA

Testes	Valores Reais			Redução de Acidez (%)	Desvio Padrão (%)
	T (°C)	A (rpm)	m (g)		
1	17	120	3,21	69	1
2	23	120	3,21	19	5
3	17	180	3,21	65	5
4	23	180	3,21	76	2
5	17	180	6,79	74	0
6	23	120	6,79	33	3
7	17	180	6,79	74	2
8	23	180	6,79	57	1
9	20	150	5	40	7
10	25	150	5	45	4
11	20	100	5	35	2
12	20	200	5	43	3
13	20	150	2	28	4
14	20	150	8	80	2
15	20	150	5	47	2
16	20	150	5	39	5
17	20	150	5	51	3

Nota: Em destaque o experimentos com melhores condições de RA(%).

FONTE: a autora (2023).

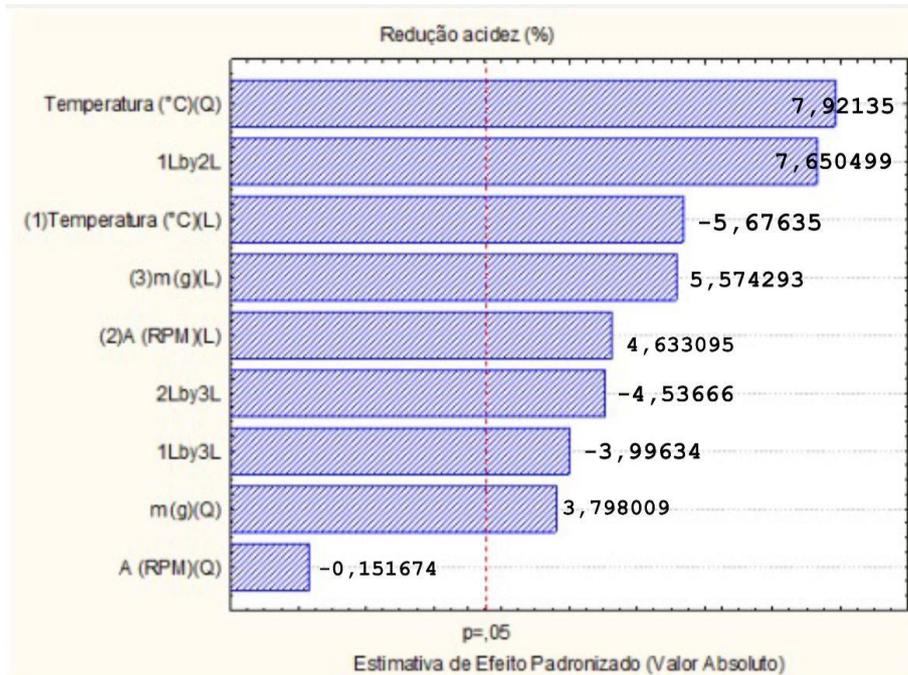
4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas validaram a relevância dos parâmetros analisados dentro dos intervalos estipulados e determinou-se as melhores condições experimentais, no intervalo avaliado usando a função desejabilidade a fim de maximizar a neutralização do ORF.

4.3.1 Gráfico de Pareto para redução do índice de acidez usando AGP

A seguir na Figura 9 estão representados os dados de p-valor organizados na forma do Gráfico de Pareto para os ensaios realizados utilizando argamassa preparada no pré-tratamento do ORF.

FIGURA 9: GRÁFICO DE PARETO - REDUÇÃO DO ÍNDICE DE ACIDEZ USANDO ARG



FONTE: A autora (2023)

Através do Gráfico de Pareto foi analisada a influência das variáveis independentes sobre a redução do índice de acidez utilizando a argamassa preparada, com um nível de significância de 5%. Sendo que o gráfico de Pareto não apresentou linearidade visto que a curvatura 1 depende da 2. Dentro dos parâmetros analisados a temperatura foi a que demonstrou a maior influência na redução do índice de acidez, seguido da massa e da agitação (rpm). Ou seja, a agitação foi o parâmetro que menos influenciou na RA.

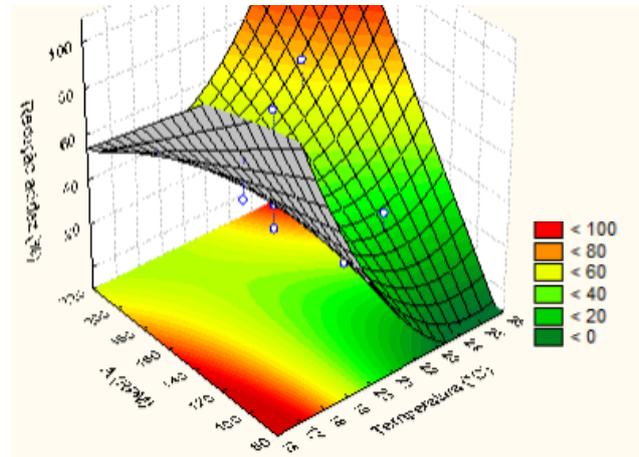
No trabalho feito por Junior (2009), ele cita que o aumento na temperatura ou a diminuição do diâmetro das partículas promoveu melhores resultados. O parâmetro ideal vai depender do material analisado e de quais variáveis vão ser combinadas.

4.3.2 Avaliação das Superfícies de resposta da redução de acidez utilizando ARG.

Na Figura 10 esta apresentada a superfície de resposta alcançada para redução do índice de acidez em relação à temperatura e agitação.

FIGURA 10: SUPERFÍCIES DE RESPOSTAS DA REDUÇÃO DE ACIDEZ

(a)

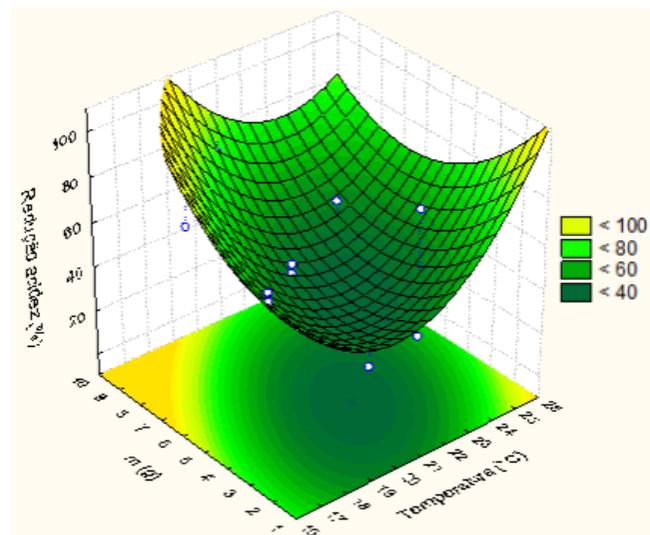


Massa 5,26 g (melhor condição)

Equação 3: Equação do modelo: Massa (m)

$$m = 1411,56 + 1,78x^2 - 104,83x - 3,50y + 0,18xy \quad (3)$$

(b)

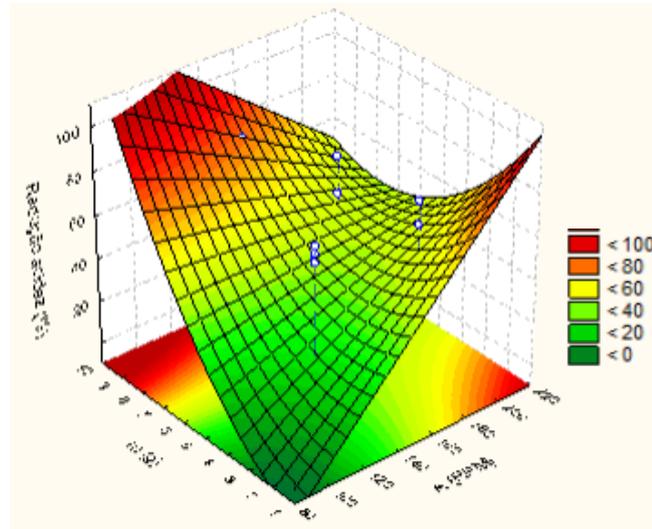


Agitação 153,3 rpm (melhor condição)

Equação 4: Equação do modelo: Agitação (A)

$$A = 731,17 + 1,78x^2 + 1,42y^2 - 69,33x + 19,81y - 1,49xy \quad (4)$$

(c)



Temperatura 20,29 °C (melhor condição)

Equação 5: Equação do modelo: Temperatura (T)

$$T = -104,02 + 1,42y^2 + 1,04x + 15,48y - 0,17xy \quad (5)$$

Com as curvas de níveis foi possível avaliar a forma de interação das variáveis e como elas se relacionam.

De acordo com Figura 10 (a), o qual relaciona a temperatura e agitação, mostra que temperaturas baixas combinadas com agitações intermediárias resultam em uma melhor redução de acidez, como demonstra os testes 3 e 14. Além disso, maiores temperaturas associadas com maiores agitações se enquadram igualmente em uma alta redução da acidez do ORF, podendo ser observado no teste 4.

A temperatura e agitação são uma combinação poderosa para o processo de neutralização do óleo, o aumento da temperatura aumenta a dispersão das moléculas, e a agitação beneficia a distribuição das partículas e diminuindo a resistência das mesmas (DOGAN *et al.*, 2004).

A Figura 10 (b) traz uma relação entre a massa e a temperatura. Demonstra que valores baixos de concentrações de massa, com temperaturas mais elevadas tem uma alta redução, e que temperaturas mínimas com máximas concentrações trazem elevados percentuais de RA. Como é o caso do teste 4.

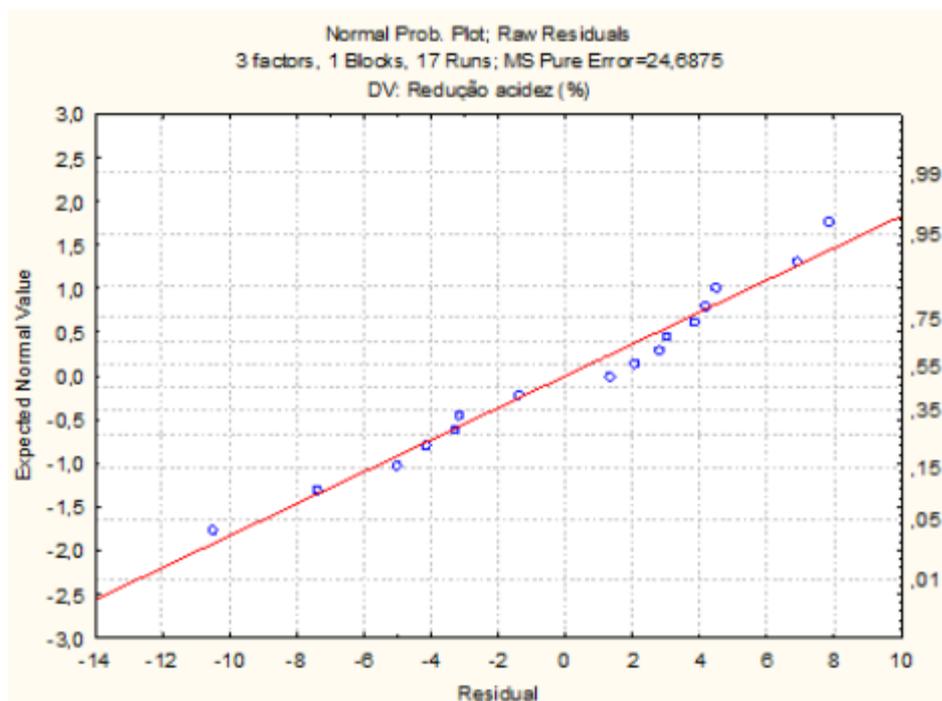
Segundo Suseno *et al.* (2013), a massa do material purificante do óleo residual influencia no potencial da remoção dos ácidos graxos, quanto maior a concentração maior a RA.

A Figura 10 (c) apresenta a interação da massa com a agitação, observou-se que a agitação no ponto central com máximas concentrações obteve uma alta redução de acidez, observado no teste 14.

4.3.3 Gráficos de resíduos dos testes de redução do índice de acidez

As representações dos gráficos a seguir expõem a dispersão dos dados da argamassa preparada de acordo com os resultados alcançados. Verificou-se que esses gráficos exibiam uma distribuição normal e uma configuração dominante ao longo de uma reta. A dispersão dos dados foi igualmente segura, como demonstrado na Figura 11, onde apresenta de forma questionada e independente, com poucos valores atípicos (outliers) e sem evidências de interferências ou tendências.

FIGURA 11: GRÁFICO DE RESÍDUOS



FONTE: A autora (2023)

Esse modelo quadrático apresenta uma capacidade 75,32% (R^2) da variação na eficiência de redução da acidez presente no óleo residual de fritura quando se utiliza a argamassa preparada como neutralizante. Vale ressaltar que os erros observados podem estar associados a diversos fatores, incluindo as especificações analíticas, calibração de equipamentos e os métodos propostos. Além desses erros

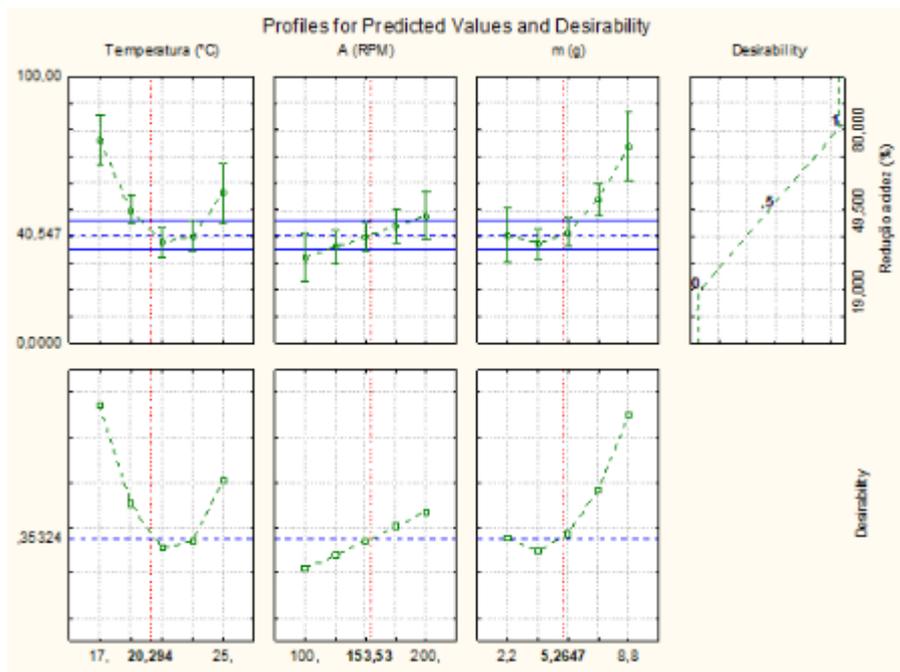
sistêmicos, é importante considerar a complexidade intrínseca desse processo heterogêneo, que envolve tanto fases sólidas quanto líquidas, com inúmeras possibilidades de interações e interferências.

Dentre essas inúmeras possibilidades foi apresentado os melhores cenários para essas variáveis e desta forma fazer as determinações por meio dos testes com essas melhores condições.

4.3.4 Determinação das melhores condições experimentais

A partir da análise dos resultados experimentais obtidos em cada um dos 17 ensaios do planejamento experimental, avaliou-se com auxílio da função desejabilidade a melhor condição experimental (dentro dos limites avaliados) para fornecer a maior redução do índice de acidez do OR (FIGURA 12).

FIGURA 12: FUNÇÃO DESEJABILIDADE PARA DETERMINAR AS MELHORES CONDIÇÕES DE EXPERIMENTAIS



FONTE: A autora (2023)

A partir do ajuste, obtiveram-se as seguintes condições experimentais, para temperatura 20,29°C, agitação 153,5rpm e 5,26g, com uma redução de acidez teórica de 80%.

4.3.5 Validação do modelo matemático e melhor condição experimental para argamassa preparada e o carvão ativado comercial.

A partir das melhores condições experimentais calculadas com auxílio da função desejabilidade ($T= 20,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, $m=5,26\text{ g}$ e $\text{Agitação}= 153,5\text{ rpm}$) foi realizado um experimento com AGP e CAC nestas condições a fim de testar e comprovar experimentalmente os valores teóricos preditos pelo modelo para redução do índice de acidez.

QUADRO 5: REDUÇÃO DE ACIDEZ PARA A MELHOR CONDIÇÃO

Testes	Material	T ($^{\circ}\text{C}$)	A (rpm)	m (g)	Redução de Acidez (%)	Desvio Padrão (%)
1	Argamassa Preparada	20	153,5	5,26	80	2,82
2	Carvão Ativado	20	153,5	5,26	62	4,24

O Quadro 5 exibe um resultado interessante, obtendo uma RA de aproximadamente 80% ao fazer a média das duas bateladas. Dessa forma atendendo as expectativas de ser um agente neutralizante do óleo residual de fritura, enquanto o carvão ativado obteve cerca de 61% de redução de acidez ao ser feito a média das duas bateladas.

Segundo Lashaki *et al.* (2016) o carvão ativado é frequentemente utilizado como purificante, devido às suas características superficiais e texturas distintivas. Dependendo do método de ativação, ele apresenta diversos grupos funcionais em sua superfície, que podem ser ácidos, básicos e/ou neutros.

Desta forma a argamassa poderia ser um substituinte do CAC para neutralização do óleo, visto que obteve uma alta RA.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA PREPARADA

4.4.1 Fisissorção de nitrogênio

A análise de fisissorção de nitrogênio foi realizada pelo método de B.E.T. para gerar isotermas de volume de nitrogênio adsorvido ($\text{cm}^3\text{ g}^{-1}$) versus pressão relativa

P/P₀ e pelo método de Barret, Joyner e Halenda (B.J.H.) é uma técnica amplamente utilizada na caracterização de materiais porosos, especialmente em estudos de adsorção e desadsorção de gases em sólidos porosos.

Os resultados da caracterização morfológica (Quadro 6) e os dados de adsorção de N₂ (Figura 13), seguem a baixo.

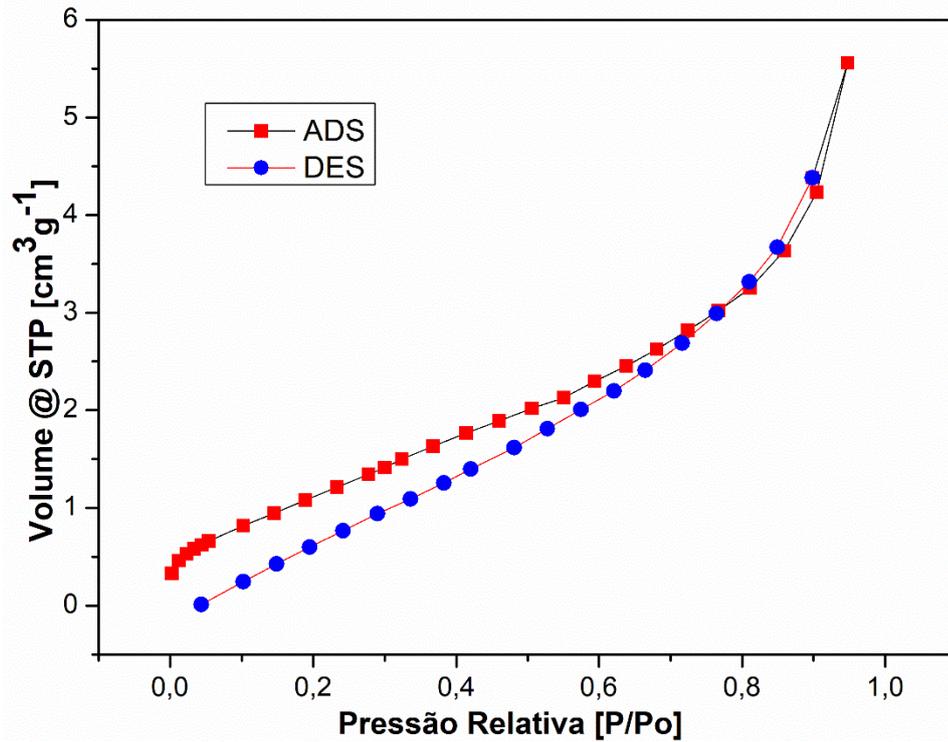
QUADRO 6: CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DA ARGAMASSA PREPARADA

Área superficial (BET)	4.773e+00 m ² /g
Volume do poro (BJH)	8.709e-03 cc/g
Raio do poro (BJH)	1.617e+01 Å

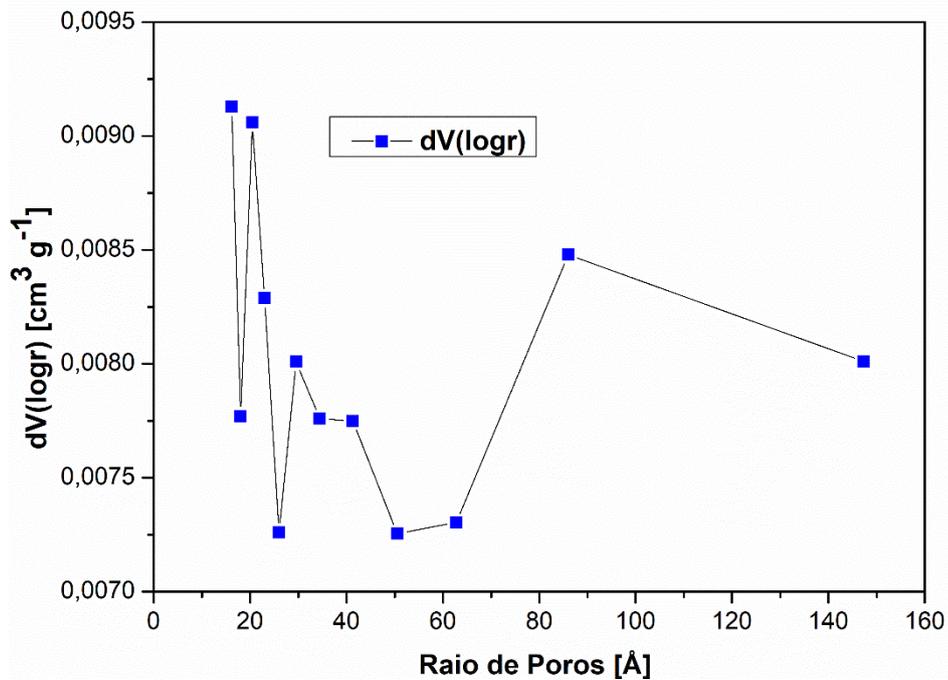
A técnica permitiu averiguar a textura do material, como a extensão de sua área superficial por unidade de volume (área específica), o tamanho de seus poros e sua distribuição através da medição da área ocupada por uma dada quantidade de moléculas de N₂ retidas na superfície do material (SING *et al.*, 1985).

É uma técnica importante que foi utilizada para caracterização de áreas específicas de superfície da argamassa preparada e verificar sua porosidade e a distribuição dos poros na amostra, visto que a porosidade da argamassa preparada interfere nas propriedades dela, como em sua permeabilidade, sendo que quanto mais fissuras, mais poros, e mais permeabilidade. Essa amostra apresentou ser um material com porosidade, desta forma apresentando alto nível de permeabilidade na amostra, ideal para o processo de purificação do óleo.

FIGURA 13: CARACTERIZAÇÃO MORFOLOGICA DA ARGAMASSA PREPARADA
 (a) Isoterma de adsorção/dessorção de N₂ da AGP.



(b) Volume de poros da AGP.



A Figura 13 (a) apresenta a proposta do isoterma de adsorção, que é um modelo matemático para analisar os dados no estado de equilíbrio de adsorção,

relacionando a quantidade de material adsorvido com a pressão parcial (GREGG e SING, 1982).

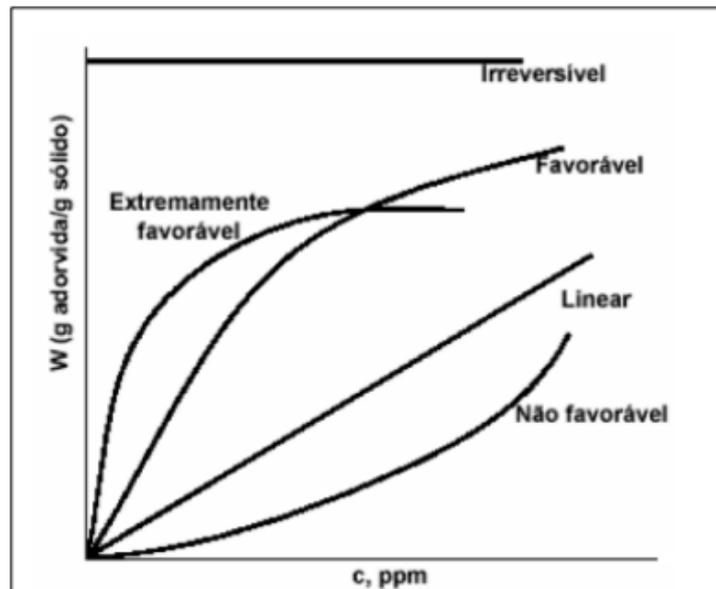
A isoterma gerada é a curva que expõe o volume de nitrogênio adsorvido ($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$) versus pressão relativa P/P_0 , registrada continuamente durante a adsorção/dessorção (BRUNAUER; EMMETT; TELLER, 1938).

A Figura 13 (b), mostra que os poros com raios menores adsorveram mais N_2 . Isso se confirma ao dizer que quanto menor o tamanho do poro, maior é o potencial de ser um agente neutralizante (SING *et al.*, 1985).

A argamassa foi submetida a ciclos de molhagem e secagem, desta forma os sais dissolvidos cristalizam provocando expansão e fissuração do revestimento (QUARCIONI *et al.*, 2001).

Com a Figura 14 é possível ter um melhor entendimento dos possíveis tipos de curvas e qual tipo de isoterma o material se enquadra.

FIGURA 14: CLASSIFICAÇÃO COMUNS DAS ISOTERMAS DE ADSORÇÃO



FONTE: Morais, Santana; Lelis; Paes (2014).

- Isoterma não favorável: A quantidade de massa adsorvida de adsorbato é muito baixa, ainda que tenha uma elevada concentração de equilíbrio.
- Isoterma favorável: Ocorre quando a massa adsorvida do adsorbato é muito grande em uma concentração de equilíbrio baixa.

- Isoterma muito favorável: Ocorre da mesma forma da isoterma favorável, porém com mais intensidade de retenção do adsorbato.
- Isoterma linear: É quando a capacidade de adsorção é proporcional a concentração e equilíbrio.
- Isoterma irreversível: É quando a quantidade em massa do adsorbato adsorvida não depende da concentração de equilíbrio (RODRIGUES, 2018).

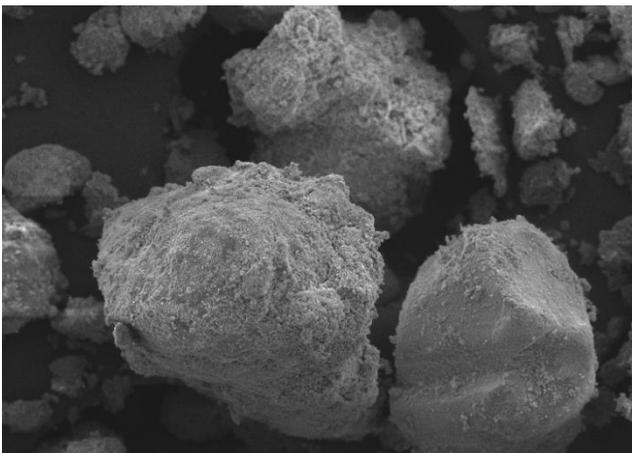
No caso da argamassa preparada a curvatura dela se assemelha ao isoterma não favorável.

4.4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia de Energia Dispersiva (MEV/EDS)

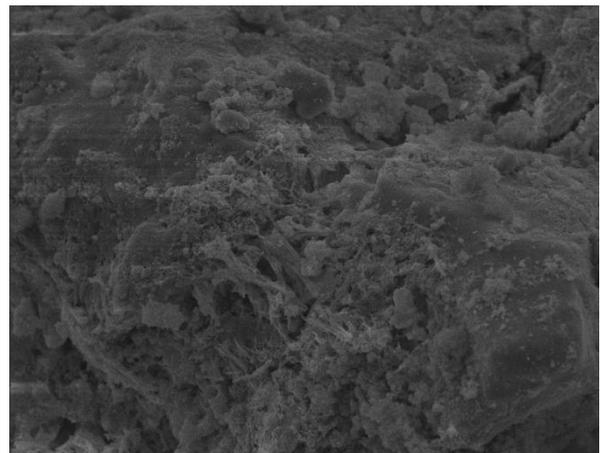
Com a utilização do MEV foi possível verificar a morfologia das partículas e as propriedades de porosidade da argamassa preparada. A Figura 15 representa o resultado do MEV por meio de micrografias, que objetivam a identificação da morfologia das superfícies da argamassa preparada. Já com a análise semi-quantitativa, via EDS, identificar alguns compostos que estão presentes em maiores concentrações.

FIGURA 15: FOTOMICROGRAFIAS DA ARGAMASSA PREPARADA OBTIDAS POR MEV

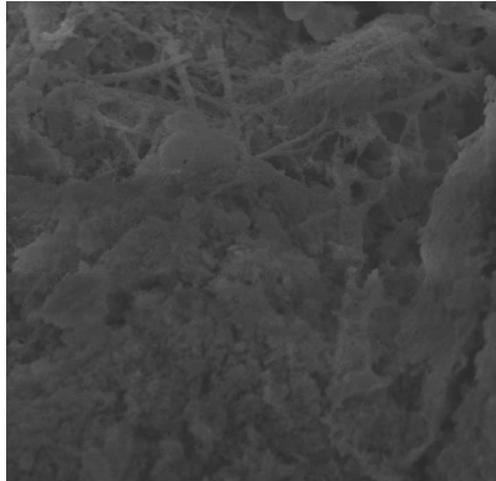
(a)



(b)



(c)



FONTE: A autora (2023)

No item (a) em um zoom de 500x pode-se observar a heterogeneidade e diversidade morfológica da amostra, validando o que foi falado anteriormente que a amostra possui diferente granulometria. Em um zoom mais potente nos itens (b) e (c) com 5.000x e com 10.000x respectivamente constatasse que o material é altamente poroso, contendo fissuras ao longo de sua estrutura.

Validando a ideia de heterogeneidade da amostra foi feito a análise de EDS e o resultado é mostrado no Quadro 6.

QUADRO 7: COMPOSIÇÃO SEMI-ELEMENTAR DA ARGAMASSA PREPARADA

Elementos	O	Ca	Mg	C	Si	Al	F	S	Fe
(%)	52,92	26,19	7,71	5,91	4,70	0,92	0,86	0,61	0,18

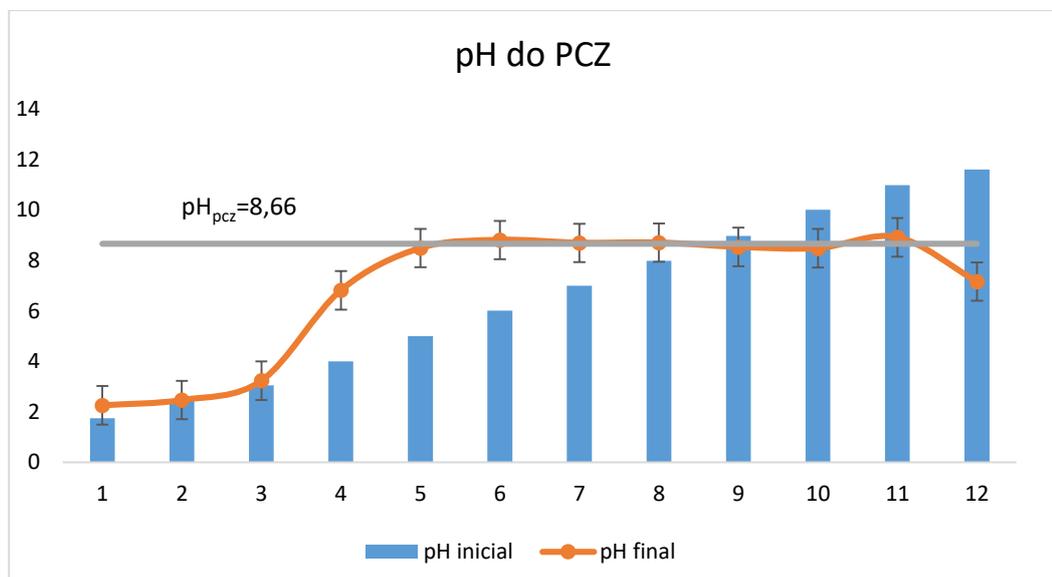
Sendo que o elemento mais abundante na amostra mostrado pela análise de EDS foi Oxigênio (52,92%), seguido do Cálcio (26,19%). O fato da argamassa preparada ter passado por todo o processo de pré-tratamento influencia em sua morfologia.

4.4.3 Determinação do pH no ponto de carga zero

Com a análise do pH do PCZ foi possível identificar o pH em que a argamassa preparada apresentou carga nula, isso significa que a quantidade cargas positivas e negativas são as mesmas.

Objetivou verificar o processo de neutralização, quimicamente falando, quando o pH da solução que o fluido (óleo) presente é menor do que o pH_{pcz} . A superfície do mesmo ficara carregada positivamente, atraindo majoritariamente cargas negativas. Em contrapartida, caso o pH da solução for maior que o pH_{pcz} , do sólido (argamassa preparada), resultará em uma superfície carregada negativamente, o que levará a atração de substâncias de caráter ácido. O Gráfico 5 mostra o resultado obtido.

GRÁFICO 4: VALORES DE pH_{pcz} DA ARGAMASSA PREPARADA



Foi realizada uma base aritmética com os pontos que se mantiveram constantes no pH final para identificar os pontos que apresentaram neutralidade no pH final. A argamassa preparada obteve um valor de 8,66 apresentando o resultado de caráter básico, logo que o trabalho deseja a absorção de moléculas de ácidos graxos livres presentes no ORF, desta forma diminuindo o índice de acidez dele.

No estudo realizado por Werneck, *et al*, onde ele estudou diferentes tipos de argila para verificar o melhor material adsorvente ele obteve os seguintes resultados, Argila *in natura* 4,4, Bentonita/CTAB 6,1, Bentonita/BAC 7,4 e Bentonita/Quitossana 8,1. Essas argilas foram sintetizadas com surfactantes catiônicos, e observou-se que o pH_{pcz} aumentou em referência a argila *in natura*, conforme o esperado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resíduos da construção civil, argamassa e concreto foram coletados de corpo de obra. O melhor resultado da RA do ORF, foi obtido pela argamassa e ela se apresenta como um material heterogêneo, e com granulometrias distintas.

O resultado da caracterização da argamassa preparada apresentou ser um material poroso especialmente após passar pelo processo de moagem onde é propício a desenvolver fissuras. Além disso pela análise EDS demonstrou que ela possui bastante Ca e pH_{pcz} alto, constatando que ela tem caráter básico, o se mostra positivo para o processo, logo que, para produção do biodiesel usualmente é feita uma transesterificação alcalina.

Em resposta DCCR em comparativo com o CAC, a argamassa preparada apresentou uma redução de acidez até 82%, enquanto o CAC apresentou 62% de RA. Sendo que observando os gráficos de superfícies pode-se constatar que que temperaturas baixas combinadas com agitações intermediarias resultam em uma melhor redução de acidez, como demonstra os testes, 1,3 e 14.

A relação entre a massa e a temperatura, demonstra que valores baixos concentrações de massa, com temperaturas mais elevadas tem uma alta redução, e que temperaturas mínimas com máximas concentrações trazem elevados percentuais de RA, como é o caso do teste 4.

E também, a interação da massa com a agitação, observou-se que a agitação no ponto central com máximas concentrações obteve uma alta redução de acidez, observado no teste 14.

Sendo assim a argamassa preparada se apresenta como um potencial neutralizante do óleo residual de fritura, servindo como pré tratamento do mesmo para a produção de biodiesel.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, L.; JÚNIOR, W. Óleo de cozinha como agente poluente do meio ambiente: Uma avaliação dos seus impactos por meio dos moradores de Paulista-PE. 2018.

BARBOSA, Grazielly Norões; PASQUALETTO, Antônio. Aproveitamento do óleo residual de fritura na produção de biodiesel. **Departamento de Engenharia Ambiental). Universidade Católica de Góias**, 2007.

BERNARDES, Alexandre *et al.* Quantificação e classificação dos resíduos da construção e demolição coletados no município de Passo Fundo, RS. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 3, p. 65-76, 2008.

BRUNAUER, S.; EMMETT, P.; TELLER, E. Adsorção de Gases em Camadas Multimoleculares. *Jornal da Sociedade Química Americana*, 1938

CAVALCANTI, B. Decreto regulamenta descarte de lixo da construção civil. *Correio do estado*, 2017. Disponível em: <<https://correiodoestado.com.br/cidades/decreto-regulamenta-descarte-br-de-lixo-da-construcao-civil/306391/>>. Acesso em: 28 de Ago

CAVALLARI, P. I. **Avaliação dos processos de purificação do biodiesel por via seca**. 2012. 45 p. Trabalho de Conclusão (Curso de Engenharia Química). Escola de Engenharia de Lorena (USP). Lorena (SP).

COSTA NETO, Pedro R. *et al.* Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Química nova**, v. 23, p. 531-537, 2000.

CONAMA - **Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº. 307**, de 05 de julho de 2002. Brasília. Diário Oficial da União, de 30 de agosto de 2002, seção I, p. 17.241

MIYASHIRO, C. S.; PARISOTTO, EI B.; TELEKEN, J. G. utilização da argila bentonita como material adsorvente para diminuição do índice de acidez dos óleos residuais. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 4, p. 515-522, 2015.

DABDOUB, Miguel J.; BRONZEL, João L.; RAMPIN, Márcia A. Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria. **Química Nova**, v. 32, p. 776-792, 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/LRRfnRHHqcwhcND76vVS4BH/>> Acesso em: 21 de Ago de 2023.

DA SILVA, Tatiana Aparecida R.; NETO, Waldomiro B. Estudo da redução da acidez do óleo residual para a produção de biodiesel utilizando planejamento fatorial fracionado. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 5, p. 828-839, 2013.

DIYA'UDDEEN, B. H.; AZIZ, A. R. A.; DAUD, W.M.A.W.; CHAKRABARTI, M.H. Performance evaluation of biodiesel from used domestic waste oils: A review. *Process Safety and Environmental Protection* v. 90, p. 164–179, 2012.

DOGAN, M.; ALKAN, M.; TURKYILMAZ, A.; OZDEMIR, Y. Kinetics and mechanism of removal of methylene blue by adsorption onto perlite. *Journal of Hazardous Materials*, v. 10, n. 1-3, p. 141–148, 2004.

DOMINGUINI, Lucas *et al.* Utilização de resíduos de materiais cerâmicos na adsorção de corante azul de metileno. **Cerâmica**, v. 60, p. 218-222, 2014.

ESSENCIS TECHNOLOGIES. BM40 | Moinho de Bolas Planetário de Laboratório. 2023. Acesso em: 23 de Set de 2023. Disponível em: <<https://essencistech.com.br/produtos-solucoes/bm40-moinho-de-bolas-planetario/>>

FERREIRA, Kaison Almeida *et al.* Utilização da argila e biomassa da casca de banana como adsorventes para redução do índice de acidez do óleo de fritura residual visando a produção de biodiesel. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 28852-28858, 2020.

FONSECA, J. M.; TELEKEN, J. G.; ALMEIDA, C. V.; SILVA, C. Biodiesel from waste frying oils: Methods of production and purification. **Energy conversion and management**, v. 184, p. 205-218, 2019.

FROTA, C. A. DA., MELO, J. R. DE S. A situação dos resíduos sólidos oriundos da construção civil vertical na cidade de Manaus. Artigo. Fucapi. Manaus, 2014.

GARCÍA, A. M.; CORZO, M. G.; DOMÍNGUEZ, M. A.; FRANCO, M. A.; NAHARRO, J. M. Study of the adsorption and electroadsorption process of Cu (II) ions within 77 thermally and chemically modified. **Revista de materiais perigosos**, v. 328, p. 46-55, 2017.

GHAEDI, M.; AZAD, F. N.; DASHTIAN, K.; HAJATI, S.; GOUDARZI, A.; OYLAK, M. Central composite design and genetic algorithm applied for the optimization of ultrasonic-assisted removal of malachite green by ZnO nanorod-loaded activated carbon. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, v. 167, p. 157-164, 2016.

GODOY, Pedro Henrique de. *Tecnologias para Produção de Biodiesel a partir do Óleo de Cozinha Residual: Uma Análise dos Processos de Transesterificação*. 2021.

GOMIDE, R. *Operações unitárias: operações de transferência de massa*, v. 4, 1ª ed. São Paulo: Edição do Autor, 1988.

GOMES, S. V.; LIMA, AAT; REZENDE, J. Biodiesel: uma nova fonte em potencial produtivo e econômico. **XXVIII Encontro Nacional de engenharia de produção**, Rio de Janeiro, 2008.

GOV.BR. Governo oficializa ampliação da mistura de biodiesel no diesel vendido no país. *Transição energética*. 2023.

GREGG, S. J.; SING, K. S. W., **Adsorption, Surface area and Porosity**. 2 ed. 1982.
LASHAKI, M. J.; ATKINSON, J. D.; HASHISHO, Z.; PHILIPS, J. H.; ANDERSON, J. E.; NICHOLS, M. The role of beaded activated carbon's surface oxygen groups on irreversible adsorption of organic vapors. *Journal of Hazardous Materials*, v. 317, p. 284–294, 2016.

JUNIOR, Expedito Besinella *et al.* Efeito da temperatura e do tamanho de partículas na adsorção do corante remazol amarelo ouro RNL em carvão ativado. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 31, n. 2, p. 185-193, 2009.

LIMA, Bruno Felipe Bernardo de *et al.* Síntese de biodiesel a partir da reação de transesterificação de óleo de soja etílico catalisado por hidróxidos duplos lamelares (HDL). 2020.

MEIO AMBIENTE. **Biodiesel - (Mono-alquil Ésteres)**. 2014. Acesso em: 30 de Nov. Disponível em <<https://professoralucianekawa.blogspot.com/2014/04/biodiesel-mono-alquil-esteres.html>>.

Ministério de Minas e Energia: **Biodiesel**. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/biodiesel>> Acesso em: 23 de Ago de 2023.

MORAIS, Verônica Santos de *et al.* Cor ASTM: um método simples e rápido para determinar a qualidade do biodiesel produzido a partir de óleos residuais de fritura. **Química Nova**, v. 36, p. 587-592, 2013.

MORAIS, E. D. de. Produção do carvão ativado a partir do mesocarpo do cocode-baía (cocosnuciferalinn) utilizando H₃PO₄, CH₃COONa e KOH como ativantes. 2014. 70f. Dissertação (Mestrado Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, jun. 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/22732>> Acesso em: 30 de Set de 2023.

NALEVAIKO, Jaqueline. **Purificação de óleo residual utilizando casca de coco como adsorvente**. 2021. 74f. Dissertação (Mestrado em Pós-Graduação em Bioenergia) - Universidade Federal do Paraná-UFPR, Palotina., 2021. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/73530/R%20-%20D%20-%20JAQUELINE%20ZANOVELLI%20NALEVAIKO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 23 de Ago de 2023.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. 2. ed. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2020.

OLIVEIRA, de F. C.; COELHO, S. T. History, evolution, and environmental impact of biodiesel in Brazil: A review. **Elsevier: Renewable and Sustainable Energy Reviews** 75 (2017) 168–179.

OLIVEIRA, R. S. *et al.* Adsorção de contaminantes do biodiesel por fibras de bagaço modificadas na superfície. **Química Nova**, v. 41, n. 2, p. 121-128, 2020.

ORSI, Helena Medeiros. Tecnologias de produção de biodiesel: uma revisão. 2021. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2021.

PINTO, Cynthia; SILVA, Simone. Análise do gerenciamento de resíduos da construção civil na cidade de Manaus, sob a perspectiva da sustentabilidade. **Peer Review**, v. 5, n. 12, p. 223-243, 2023.

SILVA, H. C. **Avaliação da acidez de óleo residual no rendimento do biodiesel.** 2017. 31 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Produção Sucroalcooleira) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - PB, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/15932?mode=full>. Acesso em 24 de Ago de 2023.

VASCONCELOS, R. L.; MARTINS, L. F.; DANTAS, S. C. **Produção de biodiesel a partir de óleo residual pré-tratado pelo processo de adsorção.** Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2019.

RESIDUO ALL. **Resíduos sólidos da construção civil. O que fazer?** 2017. Disponível em: <https://residuoall.com.br/2017/05/17/residuos-solidos-da-construcao-civil-o-que-fazer/>. Acesso em: 21 de Out de 2023.

RODRIGUES, Patrícia V. Aplicação de Palygorskita na adsorção de glifosato em efluente aquoso. 2018, 75f. Monografia (Graduação em Química com Atribuições Tecnológicas,) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2018. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/5653>. Acesso em: 28 set. 2023.

SALA, José A. *et al.* Desempenho de um motor diesel utilizando diferentes misturas de biodiesel e configurações de injeção. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** , v. 27, p. 70-78, 2022.

SING, K.S.W., EVERETT, D.H., HAUL, R.A.W., MOSCOU, L., PIEROTTI, R.A. Relatando Dados de Fisissorção para Sistemas Gás/Sólidos com Referência Especial para a Determinação da Área Superficial e Porosidade. *Química Pura e Aplicada*, 57, 603-619. 1985.

SUSENO, S. H.; IZAKI, A. F.; SUPTIJAH, P.; JACOB, M. A.; SARASWAT. Kinetic Study of Free Fatty Acid Adsorption Using Adsorbent in Sardine (*Sardinella sp.*) Oil Refining. *Asian Journal of Agriculture and Food Science*, v. 1, n. 5, p. 286-293, 2013.

STOTT-MILLER, M.; NEUHOUSER, M. L.; STANFORD, J. L. Consumption of DeepFried Foods and Risk of Prostate Cancer. *The Prostate*. v. 73, p. 960-969, 2013.

QUARCIONI, V. A. *et al* Caracterização da Porosidade de Argamassa Mista Endurecida de Cimento e Cal com Vistas à Durabilidade. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4., 2001, Brasília, DF.

WERNECK, G.; REIS, A. DANIEL, K.; MELGAR, L. Determinação do ponto de carga zero de adsorventes utilizados na remoção de contaminantes em soluções aquosas. 2018.

WAZILEWSKI, Willian Tenfen. **Estudo da estabilidade do biodiesel de crame e soja**. 2012. 50 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel. 2012.