



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ  
CAMPUS MACAPÁ  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MINERAÇÃO

VITOR LUCAS DA CUNHA CARNEIRO

**INVESTIGAÇÃO QUALITATIVA E INICIAL SOBRE A RECUPERAÇÃO DE  
AGREGADOS FINOS POR MEIO DA MESA WILFLEY COM RESÍDUOS DE  
CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO**

MACAPÁ

2023

VITOR LUCAS DA CUNHA CARNEIRO

**INVESTIGAÇÃO QUALITATIVA E INICIAL SOBRE A RECUPERAÇÃO DE  
AGREGADOS FINOS POR MEIO DA MESA WILFLEY COM RESÍDUOS DE  
CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO**

Trabalho de Conclusão o de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em  
Mineração como requisito avaliativo para obtenção  
de título de Tecnólogo em Mineração.

Orientador: Dr. Moacir Medeiros Veras

MACAPÁ

2023

**Biblioteca Institucional - IFAP**  
**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

---

- C289i Carneiro, Vitor Lucas da Cunha  
Investigação qualitativa e inicial sobre a recuperação de agregados finos por meio da mesa Wilfley com resíduos de construção e demolição / Vitor Lucas da Cunha Carneiro - Macapá, 2023.  
46 f.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Macapá, Curso de Tecnologia em Mineração, 2023.
- Orientador: Dr. Moacir Medeiros Veras.
1. Agregados Finos. 2. RCD. 3. Mesa Wilfley. I. Veras, Dr. Moacir Medeiros, orient. II. Título.

VITOR LUCAS DA CUNHA CARNEIRO

**INVESTIGAÇÃO QUALITATIVA E INICIAL SOBRE A RECUPERAÇÃO DE  
AGREGADOS FINOS POR MEIO DA MESA WILFLEY COM RESÍDUOS DE  
CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO**

Trabalho de Conclusão o de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em  
Mineração como requisito avaliativo para obtenção  
de título de Tecnólogo em Mineração.

Orientador: Dr. Moacir Medeiros Veras

BANCA EXAMINADORA



---

Orientador

Dr. Moacir Medeiros Veras

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

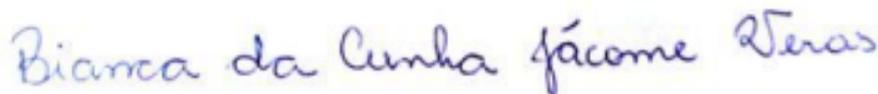
Documento assinado digitalmente  
**gov.br** ANTONIO DE PADUA ARLINDO DANTAS  
Data: 21/12/2023 11:49:45-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Avaliador

Me. Antônio de Pádua Arlindo Dantas

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá



---

Avaliadora

Ma. Bianca da Cunha Jácome Veras

Empresa Baker Hughes Company

Aprovado em: 15/12/2023

Conceito/Nota: 8,7

## RESUMO

A pesquisa aborda a gestão sustentável de rejeitos de construção e demolição (RCD), que compreende uma diversidade de resíduos sólidos secos, como concreto, madeira, metais e gesso. A disposição inadequada desses materiais nas áreas urbanas tem implicações ambientais consideráveis. A proposta do estudo é uma abordagem inovadora para a gestão de RCD, enfatizando a reutilização e reciclagem para a formação de agregados em misturas de massa de cimento. A pesquisa utiliza a Mesa *Wilfley* para recuperar resíduos na fração de agregado miúdo, realizando coleta de RCD real em ambientes de construção civil. Durante os testes operacionais, a rotação de 260 rpm foi descartada devido a uma perda de material em torno de 30%. Por outro lado, a rotação de 280 rpm demonstrou ser a mais eficiente, apresentando uma perda de material insignificante de 0,03%. Todas as faixas testadas obtiveram sucesso na produção de agregados miúdos e segregação de material. Esses resultados indicam de maneira positiva a eficácia da Mesa *Wilfley* na segregação e recuperação de finos durante o processo de gestão de RCD.

Palavras-Chave: agregado; finos; recuperação; Wilfley.

## **ABSTRACT**

The research addresses the sustainable management of construction and demolition waste (RCD), which comprises a diversity of dry solid waste, such as concrete, wood, metals and plaster. The inadequate disposal of these materials in urban areas has considerable environmental implications. The study proposal is an innovative approach to RCD management, emphasizing reuse and recycling for the formation of aggregates in cement mass mixtures. The research uses the Wilfley Table to recover waste in the fine aggregate fraction, collecting RCD real in construction environments. During operational tests, the 260 rpm rotation was discarded due to a material loss of around 30%. On the other hand, the 280 rpm rotation proved to be the most efficient, presenting an insignificant material loss of 0.03%. All tested ranges were successful in the production of fine aggregates and material segregation. These results positively indicate the effectiveness of the Wilfley Table in the segregation and recovery of fines during the RCD management process.

Keywords: aggregate; fine; recovery; Wilfley.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - RCD em área urbana (entulho).....	19
Figura 2 - Fluxograma de caracterização. ....	21
Figura 3 - Brita após britagem com diâmetro médio (4,75 mm em “A”) e (150 mm em “B)..	22
Figura 4 - Material após britagem e moagem.....	24
Figura 5 - Teste de separação química do concreto antes do teste de separação com ácido clorídrico em (A) e concreto após teste de separação com ácido clorídrico em (B). .....	27
Figura 6 - Teste de separação física com granulometria brita 1 de aproximadamente 12,5 mm (A), granulometria de brita 0 de aproximadamente 9,5 mm (B) e material de interesse aproximadamente menor que 9,5 mm (C). ....	29
Figura 7 - Alíquotas prontas após processo de homogeneização, quarteamento e armazenamento. ....	30
Figura 8 - Modelo de Mesa Wilfley do Instituto Federal do Amapá – Campus Macapá.....	31
Figura 9 - Preparação e recuperação de finos em Mesa Wilfely. ....	32
Figura 10 - Preparação e recuperação de finos em Mesa Wilfely. ....	33
Figura 11 - Preparação e recuperação de finos em Mesa Wilfely. ....	33
Figura 12 - Microscopia, segregação do material e obtenção de areia onde (a) T1P1 – Olho Nu #48, (b) T1P1 – Microscópio #48, (c) T2P1 – Olho Nu #48 e (d) T2P1 – Microscópio #48. ....	41
Figura 13 - Microscopia, segregação do material e obtenção de areia onde (a) T3P1 – Olho Nu #48, (b) T3P1 – Microscópio #48, (c) T4P1 – Olho Nu #48 e (d) T4P1 – Microscópio #48. ....	41
Figura 14 - Microscopia, segregação do material e obtenção de areia onde (a) T1P1 – Olho Nu #100, (b) T1P1 – Microscópio #100, (c) T2P1 – Olho Nu #100 e (d) T2P1 – Microscópio #100.....	42
Figura 15 - Microscopia, segregação do material e obtenção de areia onde (a) T3P1 – Olho Nu #100, (b) T3P1 – Microscópio #100, (c) T4P1 – Olho Nu #100 e (d)T4P1 – Microscópio #100. ....	42

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Percentual da classificação dos materiais. ....	20
Gráfico 2 - Comparativos de recuperação .....	39
Gráfico 3 - Comparativos de perda.....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Catalogação e levantamento do RCD coletado em campo.....	19
Tabela 2 - Teste e eficiência de britagem do concreto e seixo com APF (de ~0,7 mm).....	22
Tabela 3 - Teste de moagem em moinho de bolas do concreto e seixo. ....	23
Tabela 4 - Teste de moagem em moinho de bolas após 30 minutos (massa de 2,664 Kg). ....	23
Tabela 5 - Teste de moagem em moinho de bolas após 1 hora (massa de 2,098 Kg). ....	23
Tabela 6 - Peneiramento via seco - agregado miúdo - massa de ~270 (g) A. ....	25
Tabela 7 - Peneiramento via úmido - agregado miúdo - massa de ~240 (g) B. ....	25
Tabela 8 - Peneiramento Via Seco - agregado miúdo - massa de ~270 (g) C.....	25
Tabela 9 - Peneiramento Via Úmido - agregado miúdo - massa de ~290 (g) D. ....	26
Tabela 10 - Teste preliminar de densidade de RCD - concreto (brita) #4.75.....	28
Tabela 11 - Teste Preliminar de Densidade de RCD - Concreto (Brita) #100. ....	28
Tabela 12 - Dados de Amostragem T1 e variáveis operacionais dos testes em Mesa Wilfley.	33
Tabela 13 - Concentrado T1 - Teste em Mesa Wilfley - 260 RPM.....	34
Tabela 14 - Misto T1 - Teste em Mesa Wilfley - 260 RPM.....	34
Tabela 15 - Rejeito T1 - Teste em Mesa Wilfley - 260 RPM. ....	34
Tabela 16 - Rejeito do Rejeito T1 - Teste em Mesa Wilfley - 260 RPM.....	34
Tabela 17 - Dados de Amostragem T2 e variáveis operacionais dos testes em Mesa Wilfley.	35
Tabela 18 - Concentrado T2 - Teste em Mesa Wilfley - 280 RPM.....	35
Tabela 19 - Misto T2 - Teste em Mesa Wilfley - 280 RPM.....	35
Tabela 20 - Rejeito T2 - Teste em Mesa Wilfley - 280 RPM ....	36
Tabela 21 - Rejeito do Rejeito T2 - Teste em Mesa Wilfley - 280 RPM.....	36
Tabela 22 - Dados de Amostragem T3 e variáveis operacionais dos testes em Mesa Wilfley.	36
Tabela 23 - Concentrado T3 - Teste em Mesa Wilfley – 300 RPM.....	37
Tabela 24 - Misto T3 - Teste em Mesa Wilfley – 300 RPM.....	37
Tabela 25 - Rejeito T3 - Teste em Mesa Wilfley – 300 RPM.....	37
Tabela 26 - Rejeito do Rejeito T3 - Teste em Mesa Wilfley – 300 RPM. ....	37
Tabela 27 - Dados de Amostragem T4 e variáveis operacionais dos testes em Mesa Wilfley.	38
Tabela 28 - Concentrado T4 - Teste em Mesa Wilfley – 320 RPM.....	38
Tabela 29 - Misto T4 - Teste em Mesa Wilfley – 320 RPM.....	38
Tabela 30 - Rejeito T4 - Teste em Mesa Wilfley – 320 RPM.....	38
Tabela 31– Rejeito do Rejeito T4 - Teste em Mesa Wilfley – 320 RPM. ....	39

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos resíduos sólidos. ....	16
Quadro 2 - Análise qualitativa do procedimento. ....	24
Quadro 3 - Análise do procedimento. ....	27
Quadro 4 - Análise do procedimento. ....	29
Quadro 5 - Parâmetros e procedimentos para o processo de recuperação. ....	29
Quadro 6 - Ajustes e parâmetros da Mesa Wilfley. ....	30
Quadro 7 - Massas do material utilizado para análise em Mesa Wilfely. ....	30

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>18</b>
<b>4.1</b>	<b>Coleta de materiais (resíduos de construção civil)</b>	<b>18</b>
<b>4.2</b>	<b>Classificação de materiais e caracterização tecnológica</b>	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSÕES</b>	<b>22</b>
<b>5.1</b>	<b>Testes Preliminares de britagem e moagem</b>	<b>22</b>
<b>5.2</b>	<b>Teste de separação química (concreto com seixo)</b>	<b>26</b>
<b>5.3</b>	<b>Teste de separação física (concreto com brita)</b>	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>TESTE EM MESA</b>	<b>31</b>
<b>6.1</b>	<b>Análise granulométrica com dados da mesa</b>	<b>32</b>
<b>6.2</b>	<b>Dados operacionais com mesa <i>Wilfley</i> em 260 RP</b>	<b>33</b>
<b>6.3</b>	<b>Dados operacionais com mesa <i>Wilfley</i> em 280 RPM</b>	<b>35</b>
<b>6.4</b>	<b>Dados operacionais com mesa <i>Wilfley</i> em 300 RPM</b>	<b>36</b>
<b>6.5</b>	<b>Dados operacionais com mesa <i>Wilfley</i> em 320 RPM</b>	<b>38</b>
<b>7</b>	<b>ANÁLISE VISUAL – MICROSCOPIA</b>	<b>41</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>43</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>44</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O setor de construção civil atua como importante instrumento no desenvolvimento do país no que diz respeito aos enfoques sociais e econômicos, pois possibilita melhorias na qualidade de vida dos cidadãos, enquanto setor que oferta moradia, ou disponibilizando oportunidades de trabalho em suas obras. No sentido econômico, o setor da construção civil apresentou crescimento considerável na década de 2000 até meados de 2013, com ênfase em 2010, onde o setor de materiais de construção também comemorou o desempenho no ano, com alta na produção de 12,89% nos 10 primeiros meses deste mesmo ano graças à intervenção do governo federal com planos de financiamento que possibilitaram a um número maior de pessoas o acesso à casa própria, como o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) que instituiu o Minha Casa, Minha Vida, aumentando o volume dos recursos investidos na construção civil e em novas tecnologias para o setor e fomentando a incorporação imobiliária.

A indústria da construção civil gera impactos ambientais adversos desde a extração de matéria-prima, abrangendo a produção de materiais, a realização das obras e a gestão dos resíduos, resultando na formação de áreas degradadas como consequência. A Resolução 307/2022 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias para minimizar os impactos ambientais, definindo as especificações de resíduos da construção civil.

Mesmo que com oscilações de curto prazo, ao longo prazo o setor da construção imobiliária cresce constantemente, devido a demanda por moradia. O aumento dos insumos (materiais) para construção civil, por outro lado, passou a gerar um passivo ambiental de custo elevado para a indústria da construção e em pequenas reformas, este novo cenário, levou as políticas criarem legislações que organizam e classificam esses insumos, tais como a Norma Brasileira – NBR 10.004 (Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 2004), que trata dos resíduos sólidos quanto sua classificação, onde a mesma faz referência aos resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente, seu manuseio, descarte e reaproveitamento destes, além da NBR 15.114 (ABNT, 2004), que trata sobre os resíduos sólidos da construção civil – áreas de reciclagem – diretrizes para projeto, implantação e operação.

A substituição de agregado natural por agregado reciclado na construção civil emerge como uma estratégia promissora em prol da sustentabilidade, visando a redução de resíduos e a preservação de recursos naturais. Assim, a investigação em tela tem o objetivo de utilizar a

Mesa *Wilfley* como instrumento de separação seletiva a fim de obter a separação de materiais como cascalho de concreto, areia, gesso, cerâmicos, e os demais resíduos como madeira, metais e outros que serão avaliados para outros destinos. O estudo tem potencial para maximizar um conjunto de informações que irão gerar impactos diretos na economia circular. Por se tratar de uma investigação incipiente, inúmeros desafios foram encontrados durante o desdobramento deste projeto, porém, o sinergismo é cativado pela resolução de problemas da matriz motora no desenvolvimento de Ciência e Tecnologia para encontrar respostas ou solução da problemática em tela.

O propósito deste estudo é investigar a interação entre engenharia e meio ambiente, com foco na viabilidade do reaproveitamento de resíduos de construção e demolição (RCD) como agregado reciclado na produção de agregado fino para concreto. A abordagem adotada concentra-se na prática de recuperar, reciclar e reutilizar minerais valiosos a partir de resíduos sólidos urbanos, com ênfase em resíduos de construção e demolição. Essa metodologia busca aproveitar os materiais disponíveis em áreas urbanas, reduzindo a necessidade de recursos naturais e minimizando os impactos ambientais associados à extração convencional. Além de avaliar as implicações da substituição de agregados, a pesquisa visa contribuir para o avanço de práticas construtivas sustentáveis.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Investigar qualitativamente a viabilidade da recuperação de agregados finos provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD) por meio da Mesa Wilfley, visando contribuir para a gestão sustentável de RCD e promover alternativas eficazes de reutilização e reciclagem na formação de agregados para posteriormente possíveis misturas de massa de cimento.

### **2.2 Objetivos específicos**

Realizar uma revisão abrangente da literatura sobre a gestão de resíduos de construção e demolição (RCD), destacando as práticas atuais, desafios ambientais e oportunidades de reaproveitamento;

Identificar e caracterizar os resíduos de construção e demolição disponíveis em áreas reais de construção civil, com foco na fração de agregado miúdo;

Avaliar as propriedades físicas e químicas dos resíduos de construção e demolição coletados para compreender a composição dos materiais disponíveis para recuperação;

Projetar e implementar experimentos utilizando a Mesa Wilfley para recuperar agregados finos dos resíduos de construção e demolição, explorando diferentes parâmetros operacionais;

Contribuir para o desenvolvimento de diretrizes e recomendações para a gestão sustentável de resíduos de construção e demolição, enfatizando a aplicação eficaz da Mesa Wilfley na recuperação de agregados finos.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

A Mesa *Wilfley* tem se destacado como uma ferramenta promissora na recuperação e separação de finos provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD). Este estudo empreende uma verificação preliminar para avaliar a afinidade dessa tecnologia na recuperação de RCD, visando a fabricação de agregado miúdo. O objetivo é estabelecer uma pré-avaliação qualitativa da rota de processo para a produção desse material crucial.

Muitas cidades têm encontrado dificuldades para gerenciar de forma eficiente as grandes quantidades de RCD que são gerados diariamente. A execução do projeto se justifica pela necessidade de desenvolver técnica para reaproveitar os resíduos de construção e demolição. Para Szigethy e Antenor (2021) nas cidades brasileiras, a crescente geração desse tipo de resíduo e as práticas de descarte estabelecidas, aliados ao ainda alto custo de armazenagem, resultaram em volumes crescentes de RSU acumulados e, historicamente, em sérios problemas ambientais e de saúde pública. Ao longo dos anos, a disposição irregular de RSU tem causado a contaminação de solos, cursos d'água e lençóis freáticos, e também doenças como dengue, leishmaniose, leptospirose e esquistossomose, entre outras, cujos vetores encontram nos lixões um ambiente propício para sua disseminação. E ainda, para Szigethy e Antenor (2021) existem no Brasil empresas que projetam e vendem soluções tecnológicas para a implantação de aterros, gerando ganho de escala e diluição progressiva de custos para sua implantação, além de outras soluções. É o caso da RedeResíduos, que atuando com o conceito de cidades inteligentes recebeu apoio de um programa da Fapesp destinado a pesquisas inovadoras em pequenas empresas e desenvolveu um sistema que conecta geradores de resíduos com recicladores, transportadores e empresas de tratamento interessados na obtenção de materiais descartados para reaproveitamento. Portanto, uma solução e uma abordagem, é que os materiais finos e arenosos oriundos de obras e/ou reformas de construção podem ser recuperados em Mesa *Wilfley*, cuja técnica de concentração gravimétrica pode funcionar como instrumento de aplicação para esta finalidade e buscar solucionar o problema das deposições de RCD em áreas inapropriadas. Entende-se que este é um passivo ambiental gerado em grande parte dos municípios da região norte e que pode ser tratado in loco. O RCD é um material inevitável devido sua geração, por se tratar de uma resultante da transformação na indústria da construção civil. As carências de tecnologias e técnicas para seu reaproveitamento no próprio local da obra, não deixa outra alternativa senão apenas a disposição em aterros sanitários.

Segundo a ABRECON, hoje, em São Paulo o custo de deposição do RCD pode chegar a 54% mais caro que o custo de compra da matéria-prima do concreto, tijolo, telha, ou pasta de

cimento. Este alto valor está relacionado aos valores praticados pelo frete, locação de tira entulhos, e aterros sanitários. Conforme Paulino e col. (2023), no contexto internacional, especificamente na Europa, foi estimado que em 2014 foram produzidas 858 milhões de toneladas de Resíduos de Construção e Demolição, representando 34,7% do total de resíduos gerados (Eurostat, 2017). Em 2018, a geração de resíduos atingiu a marca de 5,2 toneladas por habitante; desse montante, 38,5% foram destinados a aterros e 37,9% foram encaminhados para reciclagem (Eurostat, 2022). Países como Holanda, Dinamarca, Alemanha e Suíça destacam-se ao reutilizar e reciclar entre 50% e 95% do RCD gerado (Ângulo, 2005). Apesar do elevado índice de reciclagem desses países em relação aos RCD, em média, menos de 20% do agregado natural é efetivamente substituído por agregado reciclado, indicando que a maior parte da utilização está direcionada para a regularização/nivelamento de terrenos ou aterramento (Miranda et al., 2009). Na Alemanha, o país conta com aproximadamente 3.000 usinas móveis e 1.600 usinas fixas dedicadas a esse fim (Mulder et al., 2007).

Uma solução passiva para o problema em questão seria a integração de tecnologias já existentes, possibilitando a recuperação desse material a um custo inferior ao da sua deposição em aterros. A mesa do tipo *Wilfley* é uma das opções que permite trabalhar no range granulométrico dessas espécies na mineração, tornando a tecnologia viável para investigação de sua aplicação no tratamento de resíduos do RCD. A avaliação das características físicas, como as medidas de densidade ( $\sim 1,37 \text{ g/cm}^3$  na densidade média do RCD, conforme Sampaio e Silva, 2009), exige o uso de uma balança confiável para a pesagem da amostra. No entanto, é importante notar que nem sempre essa infraestrutura está prontamente disponível no campo, assim como os equipamentos necessários para medir os volumes da amostra.

A Resolução CONAMA nº 307 de 05/07/2002, define que os resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha, porém com o avanço das novas tecnologias a resolução passou por alterações (Resolução 448, de 18 de janeiro de 2012) estabelecendo melhores diretrizes, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais sendo os resíduos sendo separados por categorias, sendo estabelecidos da seguinte maneira conforme o art. 3: como os resíduos da construção civil deverão ser classificados. Para efeito desta resolução, a classificação é descrita no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação dos resíduos sólidos.		
Classificação do Resíduo	Tipo	Material
A	I	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem, de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto.
B	II	Plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros.
C	III	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso.
D	IV	São os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

Fonte: Elaborado pelo autor com base na Resolução do CONAMA nº 307 de 05/07/2002.

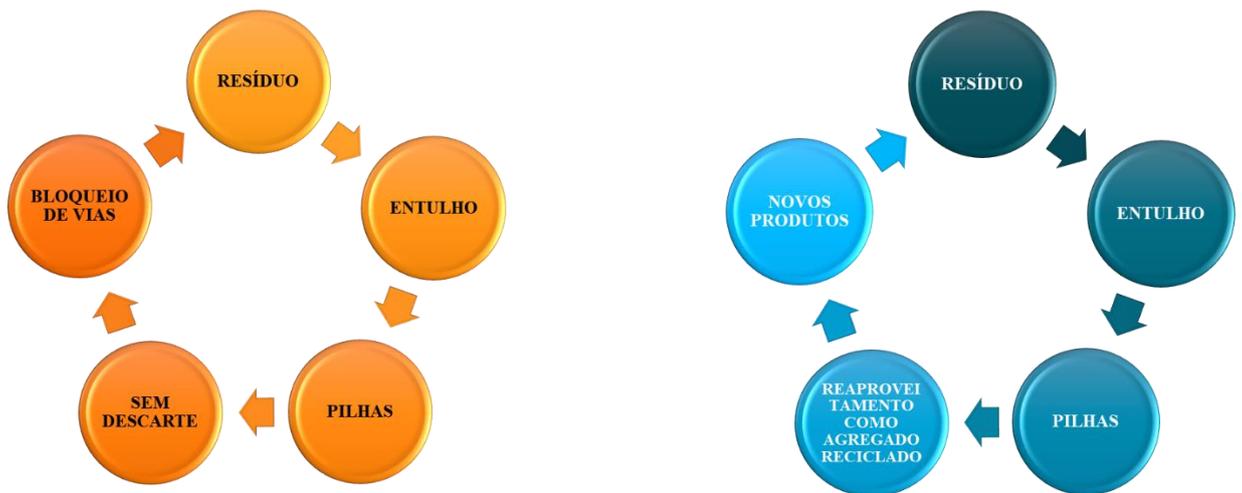
Quando o tema é resíduo da construção civil ou, tecnicamente, Resíduos da Construção e Demolição (RCD), deve ser tratado com aprimorado conhecimento técnico, pois esses materiais são, na maioria das vezes, matéria prima para agregados de ótima qualidade, podendo ser utilizados em outras etapas do processo construtivo. A construção civil brasileira tem se caracterizado pela introdução de novas tecnologias, no entanto, métodos arcaicos ainda são utilizados devido ao acelerado crescimento do setor e falta de qualificação da mão de obra. Utilizar métodos ultrapassados ocasiona sempre desperdício, no caso da construção civil, prejuízo e geração de um grande volume de resíduos. Além de reduzir o volume de RCD produzido é necessária a implantação de um sistema eficiente de reciclagem (Silva e Fernandes, 2012). A indústria explora grande quantidade de recursos naturais e traz com ela ampla produção de resíduos, sendo os resíduos de construção e demolição responsáveis por aproximadamente 50% dos resíduos sólidos urbanos produzidos no Brasil (Orozco e Frederico, 2015). Portanto, vale ressaltar a importância de estudar e trabalhar métodos para aproveitamento do material, além de caracterizar e analisar os resíduos e destinar os mesmos para novos fins e objetivos.

Os rejeitos de construção e demolição passaram a ser um passivo ambiental de custo elevado para as empreiteiras ou órgãos públicos. A relevância dos resultados da pesquisa se evidencia no novo modelo de gestão de RCD, e com essa ação, será possível projetar uma proposta de recuperação desse material para estimular a economia reutilizando e reciclando este

insumo. Esta investigação poderá agregar dado científico com trabalhos acadêmicos em outras frentes de reaproveitamento deste rejeito.

Ao incorporar os princípios da engenharia ambiental, o estudo visa não apenas à otimização das propriedades do concreto, mas também a atender às preocupações ambientais associadas à geração de resíduos na indústria da construção. Essa perspectiva interdisciplinar reflete o compromisso com a harmonização do desenvolvimento urbano, visando aprimorar a eficiência estrutural e minimizar o impacto ambiental, como mostrado no Fluxograma 1. Desta forma, delinea-se um caminho para uma construção mais sustentável, destacando a integração sinérgica entre mineração, engenharia e meio ambiente. A Gestão Diferenciada dos RCD surge como um novo serviço público, visando cumprir compromissos com a limpeza urbana e a preservação do meio ambiente.

Fluxograma 1 – Rota não adequada (em laranja) e rota adequada (em azul).



Fonte: Autor (2023).

A escolha da Mesa Concentradora *Wilfley* é motivada por sua inovação e pela capacidade de realizar uma separação criteriosa dos finos. Esta decisão estratégica não apenas reflete o compromisso com práticas inovadoras, mas também destaca a eficácia da Mesa *Wilfley* na seleção precisa dos resíduos finos provenientes da construção e demolição. Essa abordagem visa não só avaliar a aptidão da Mesa *Wilfley* na recuperação de resíduos, mas também reforçar o comprometimento do estudo com métodos eficientes e criteriosos na gestão sustentável de materiais.

## 4 METODOLOGIA

Este estudo realiza uma verificação preliminar da afinidade da Mesa *Wilfley* na recuperação e separação de finos, visando o aproveitamento como agregado miúdo, provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD) na região urbana do município de Macapá. A investigação tem como objetivo principal avaliar a eficácia da Mesa *Wilfley* na recuperação de RCD, com foco na produção de agregado miúdo, além de estabelecer uma pré-avaliação qualitativa da rota de processo para a fabricação desse material. Essa análise inicial busca fornecer informações fundamentais para a metodologia do estudo, delineando as etapas iniciais e as metas específicas a serem alcançadas durante a pesquisa. Os ensaios foram realizados nas pendências do Instituto Federal do Amapá (IFAP) – campus Macapá nos laboratórios de processamento e química aplicada à mineração.

A pesquisa foi desenvolvida a partir das seguintes etapas metodológicas:

- 1) coleta de materiais (resíduos de construção civil);
- 2) processamento de materiais;
- 3) classificação de materiais;
- 4) caracterização tecnológica;
- 5) testes preliminares de britagem e moagem;
- 6) teste de separação química (concreto com seixo);
- 7) teste de separação física (concreto com brita);
- 8) teste em mesa;
- 9) análise granulométrica;
- 10) análise microscópica (percepção visual de segregação).

### 4.1 Coleta de materiais (resíduos de construção civil)

Para o estudo em tela, o resíduo escolhido foi o de concreto, material esse, que veio a ser coletado em dois pontos da área urbana de Macapá, sendo que, o concreto com seixo foi resíduo proveniente de uma reforma no próprio Instituto Federal – Campus Macapá e o material de concreto com brita estava disposto em área pública proveniente de uma demolição/reforma de uma casa residencial. O material recolhido inicialmente agregava diversos tipos de materiais como bloco cerâmico, argamassa e revestimento como mostra a Figura 1.

Figura 1- RCD em área urbana (entulho).



Fonte: Autor (2023).

Para a realização deste estudo, foram coletados aproximadamente 125,00 kg de materiais de forma aleatória, abrangendo diversas categorias, tais como tijolo cerâmico, concreto e revestimento. A Tabela 1 apresenta a quantidade específica de cada tipo de material coletado. É relevante ressaltar que os itens 1 e 2 (concreto) foram priorizados como objetos de estudo, uma vez que esses materiais contêm em sua composição areia, um elemento de interesse a ser recuperado no presente estudo.

Essa abordagem sistemática na coleta de materiais proporciona uma base representativa para a condução das análises e testes subsequentes, enriquecendo a qualidade e a relevância dos resultados obtidos.

Tabela 1 - Catalogação e levantamento do RCD coletado em campo.

Item	Material	Peso (Kg)	Quantidade em Porcentagem Simples (%)
1	Concreto - Argamassa + Seixo	29,632	23,7
2	Concreto - Argamassa + Brita	10,262	8,2
3	Argamassa	21,390	17,1
4	Bloco Cerâmico (Tijolo 6 Furos)	6,094	4,9
5	Revestimento + Argamassa	7,880	6,3
6	Bloco Cerâmico + Argamassa	44,868	35,9
7	Conglomerado	4,858	3,9
Total	-	124,984	100

Fonte: Autor (2023).

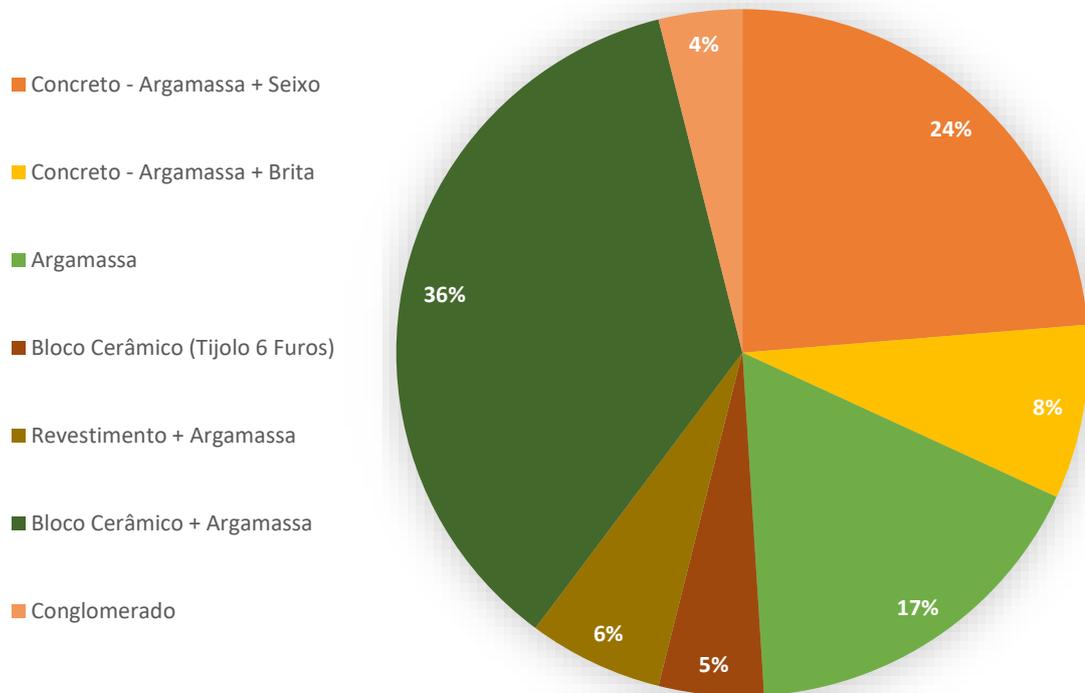
## 4.2 Classificação de materiais e caracterização tecnológica

A análise mineralógica de minérios é uma etapa fundamental para otimizar a eficiência na utilização de recursos minerais, proporcionando ao engenheiro informações cruciais para o correto dimensionamento da rota de processo. Essa abordagem não apenas viabiliza a identificação precisa de ineficiências e perdas em processos existentes, mas também oferece a oportunidade de aprimorar o rendimento global de uma planta mineral.

No contexto da indústria, a caracterização mineralógica é frequentemente denominada como mineralogia de processos, destacando sua aplicação direta na otimização de operações. O processo de caracterização, por sua vez, destaca a importância do fracionamento da amostra, uma etapa crucial para a obtenção de dados representativos e confiáveis.

Através de análises específicas, é possível constatar que o material selecionado desempenha um papel significativo, representando aproximadamente 32% do total, conforme evidenciado no Gráfico 1. Essa informação é fundamental para uma compreensão abrangente das propriedades do material, proporcionando insights valiosos para a tomada de decisões em relação ao processo de beneficiamento mineral.

Gráfico 1 - Percentual da classificação dos materiais.



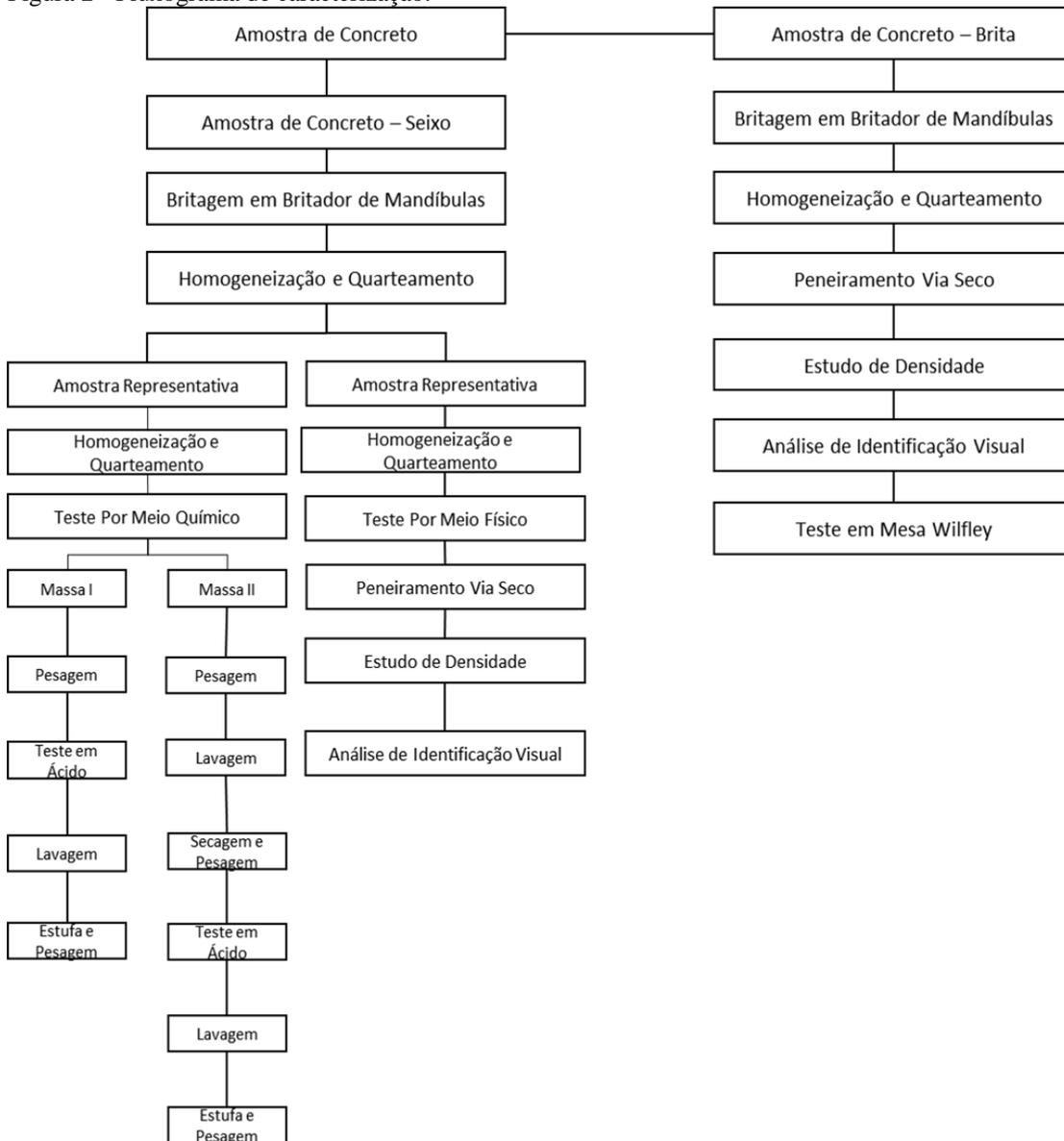
Fonte: Autor (2023).

Um fracionamento otimizado facilita a identificação dos minerais, reduz o erro de sua quantificação e ainda fornece informações a respeito de suas propriedades físicas com aplicação

direta no desenvolvimento conceitual da rota de processamento. A grande questão é justamente otimizar este fracionamento, pois o excesso multiplica o número de frações a serem analisadas, implicando em aumento de análises subsequentes, tempo, custos e eventualmente em alíquotas com pouco material ou quantidade excessiva de material de partida, dificultando a sua manipulação (CETEM, 2010).

Baseando-se no modelo de fluxograma para caracterização tecnológica de minérios, foi definido um modelo inicial para dois processos de separação conforme a Figura 2, sendo eles, um processo químico e um físico, para entender o comportamento e uma possível possibilidade a mais de separação fora a Mesa *Wilfley*, visto que, desde os estudos bibliográficos existe uma certa dificuldade para a recuperação de miúdos.

Figura 2 - Fluxograma de caracterização.



Fonte: Autor (2023).

## 5 RESULTADOS E DISCUSÕES

### 5.1 Testes Preliminares de britagem e moagem

O material inicialmente foi processado de maneira direta da obra para o britador, seguindo parâmetros pré-definidos para o estudo. Uma abertura de aproximadamente 0,5 cm (APF – Abertura em Posição Fechada) foi inicialmente estabelecida para o britador, mas acabou sendo ajustada para ~0,7 cm durante o processo. O britador não foi capaz de lidar com a granulometria do material original, levando à necessidade de uma quebra manual para reduzir a granulometria antes de ser introduzido na máquina de britagem. Isso resultou em alguma perda de material, mas essa perda não comprometeu significativamente o estudo, reduzindo a amostra de 7 kg para aproximadamente 6,6 kg.

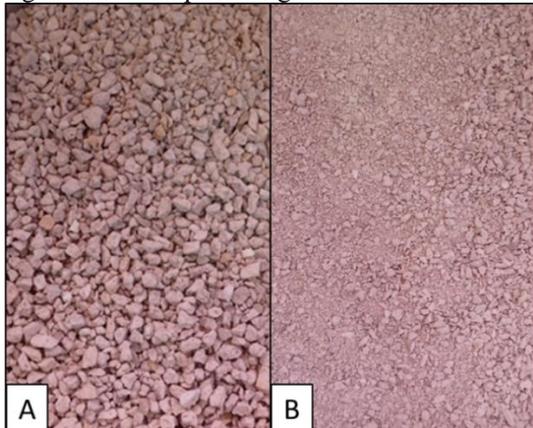
Após a britagem conforme Figura 3, as partículas foram submetidas a um processo de peneiramento a seco, seguindo as especificações para agregado miúdo conforme estabelecido pelas normas da ABNT – NBR 7211 (especificações para agregados de concreto) e ABNT – NBR 5734 (peneiras para ensaios). Os testes preliminares de britagem e moagem foram realizados conforme descrito na metodologia. O resultados obtidos encontra-se na Tabela 2, brita após britagem com diâmetro médio de #4 mesh (4,75 mm em “A”) e #100 mesh (150 mm em “B). Onde foi verificado uma ineficiência.

Tabela 2 - Teste e eficiência de britagem do concreto e seixo com APF (de ~0,7 mm).

Alíquota	Abertura (mm)	Mesh (#)	Massa (Kg)	(%) Simples Retido	(%) Acumulado	(%) Passante
1	4.75	4	4,406	65,0	65,0	35,0
2	150	100	2,188	32,3	97,3	2,7
3	-150	-100	0,180	2,7	100,0	0,0
Total		-	6,774	100	-	-

Fonte: Autor (2023).

Figura 3 - Brita após britagem com diâmetro médio (4,75 mm em “A”) e (150 mm em “B).



Fonte: Autor (2023).

O ensaio de britagem isolado demonstrou ineficácia. Diante disso, uma abordagem metodológica alternativa foi empregada para reduzir ainda mais a granulometria do material. O material fracionado com tamanho #4 foi submetido ao processo de trituração por meio de um moinho de martelo. No entanto, durante o processo, ocorreu um entupimento da máquina, resultando em perda do material. Além disso, a granulometria obtida ainda permaneceu fora dos parâmetros desejados, levando à decisão de descartar esse método. Posteriormente, adotou-se a abordagem de utilização de um moinho de bolas, com a expectativa de que o atrito intrínseco do material contribuísse para a redução da granulometria a níveis aceitáveis conforme os parâmetros estabelecidos. Durante essa etapa, foram coletados e registrados dados relevantes, os quais estão documentados nas Tabelas 3, 4 e 5, onde existiu uma baixa na eficiência na recuperação, de 13,46% obtivemos uma queda para 7,81%, inviabilizando o processo.

Tabela 3 - Teste de moagem em moinho de bolas do concreto e seixo.

Alíquota	Abertura (mm)	Mesh (#)	Massa (Kg)	(%) Simples Retido	(%) Acumulado	(%) Passante
1	4.75	4	2,664	72,3	72,3	27,7
2	150	100	0,932	25,3	97,6	2,4
3	-150	-100	0,088	2,4	100,0	0,0
Total		-	3,684	100	-	-

Fonte: Autor (2023).

Tabela 4 - Teste de moagem em moinho de bolas após 30 minutos (massa de 2,664 Kg).

Alíquota	Abertura (mm)	Mesh (#)	Massa (Kg)	(%) Simples Retido	(%) Acumulado	(%) Passante
1	4.75	4	2,098	82,7	82,7	17,3
2	150	100	0,356	14,0	96,7	3,3
3	-150	-100	0,084	3,3	100,0	0,0
Total		-	2,538	100	-	-
Eficiência de 13,46%						

Fonte: Autor (2023).

Tabela 5 - Teste de moagem em moinho de bolas após 1 hora (massa de 2,098 Kg).

Alíquota	Abertura (mm)	Mesh (#)	Massa (Kg)	(%) Simples Retido	(%) Acumulado	(%) Passante
1	4.75	4	1,878	90,6	90,6	9,4
2	150	100	0,166	8,0	98,6	1,4
3	-150	-100	0,028	1,4	100,0	0,0
Total		-	2,072	100	-	-
Eficiência de 7,81%						

Fonte: Autor (2023).

Dado que se trata de um teste experimental e análises qualitativas visando a recuperação de finos, foi conduzida uma abordagem paramétrica nos testes experimentais. Este

procedimento foi adotado com o intuito de otimizar a eficiência do processo, como detalhado no Quadro 2.

Quadro 2 - Análise qualitativa do procedimento.	
Erro	Ajustes / Percepção
Granulometria	- Parâmetros do Britador; - Diminuir a APF (Abertura Posição Fechada).
Teste em Moinho de Bolas	- Verificar os contaminantes (se existe resíduo como cimento por exemplo), realizar uma lavagem antes do processo; - Após análise, os testes com o moinho foram considerados desnecessários. O material se reduz a uma consistência que pode ser caracterizada como pó identificado na Figura 4, ou, em alguns casos, ele gira a ponto de adquirir uma forma essencialmente esférica devido ao atrito interno. Nesse estágio, sua eficiência é nula.

Fonte: Autor (2023).

Na Figura 4, podemos analisar e perceber o Material após britagem e moagem. Granulometria superior e sem separação eficiente em (A), muita produção de “pó” em (B) e material contaminado por cimento em (C).

Figura 4 - Material após britagem e moagem.



Fonte: Autor (2023).

A britagem se revela como um método eficiente, contudo, exige ajustes e parametrizações meticolosas. No entanto, a desagregação do seixo mostra-se desafiadora unicamente por meio dos processos de britagem e moagem. Após as tentativas de redução da granulometria revelarem-se ineficazes, optou-se por descartar esse método. Em seguida, foram conduzidos os processos de peneiramento tanto no seco quanto via úmido do material #100, seguido por uma análise granulométrica conforme mostrado nas Tabelas 6, 7, 8 e 9 (com quatro amostras). Importante ressaltar que o material em questão já se encontrava classificado pela norma ABNT – NBR 7211 como agregado miúdo.

Tabela 6 - Peneiramento via seco - agregado miúdo - massa de ~270 (g) A.

Alíquota	Abertura(mm)	Mesh(#)	Massa(g)	Simples Retido (%)	Acumulado (%)	Passante (%)
1	6,30	1/4"	0,00	0,00	0,0	100,0
2	4,75	4	0,00	0,00	0,0	100,0
3	2,36	-4#+8#	38,46	14,24	14,2	85,8
4	1,18	-8#+14#	80,65	29,87	44,1	55,9
5	0,600	-14#+28#	96,35	35,69	79,80	20,20
6	0,300	-28#+48#	36,12	13,38	93,18	6,82
7	0,150	-28#+100#	14,70	5,44	98,62	1,38
8	-0,150	-100#	3,72	1,38	100,00	0,0
Total	-	-	270,00	100,00	-	-

Fonte: Autor (2023).

Tabela 7 - Peneiramento via úmido - agregado miúdo - massa de ~240 (g) B.

Alíquota	Abertura(mm)	Mesh(#)	Massa(g)	Simples Retido (%)	Acumulado (%)	Passante (%)
1	6,30	1/4"	0,00	0,00	0,0	100,0
2	4,75	4	0,44	0,18	0,2	99,8
3	2,36	-4#+8#	82,91	34,22	34,4	65,6
4	1,18	-8#+14#	69,67	28,75	63,2	36,8
5	0,600	-14#+28#	26,02	10,74	73,89	26,11
6	0,300	-28#+48#	30,43	12,56	86,45	13,55
7	0,150	-28#+100#	18,15	7,49	93,95	6,05
8	-0,150	-100#	14,67	6,05	100,00	0,0
Total	-	-	242,29	100,00	-	-

Fonte: Autor (2023).

Tabela 8 - Peneiramento Via Seco - agregado miúdo - massa de ~270 (g) C.

Alíquota	Abertura(mm)	Mesh(#)	Massa(g)	Simples Retido (%)	Acumulado (%)	Passante (%)
1	6,30	1/4"	0,00	0,00	0,0	100,0
2	4,75	4	0,00	0,00	0,0	100,0
3	2,36	-4#+8#	69,44	25,56	25,6	74,4
4	1,18	-8#+14#	93,05	34,25	59,8	40,2
5	0,600	-14#+28#	67,13	24,71	84,52	15,48
6	0,300	-28#+48#	27,33	10,06	94,58	5,42
7	0,150	-28#+100#	11,70	4,31	98,88	1,12
8	-0,150	-100#	3,03	1,12	100,00	0,0
Total	-	-	271,68	100,00	-	-

Fonte: Autor (2023).

Tabela 9 - Peneiramento Via Úmido - agregado miúdo - massa de ~290 (g) D.

Alíquota	Abertura(mm)	Mesh(#)	Massa(g)	Simples Retido (%)	Acumulado (%)	Passante (%)
1	6,30	1/4"	0,00	0,00	0,0	100,0
2	4,75	4	0,23	0,08	0,1	99,9
3	2,36	-4#+8#	67,60	24,48	24,6	75,4
4	1,18	-8#+14#	82,87	30,01	54,6	45,4
5	0,600	-14#+28#	43,24	15,66	70,24	29,76
6	0,300	-28#+48#	42,28	15,31	85,55	14,45
7	0,150	-28#+100#	30,40	11,01	96,56	3,44
8	-0,150	-100#	9,49	3,44	100,00	0,0
Total	-	-	276,11	100,00	-	-

Fonte: Autor (2023).

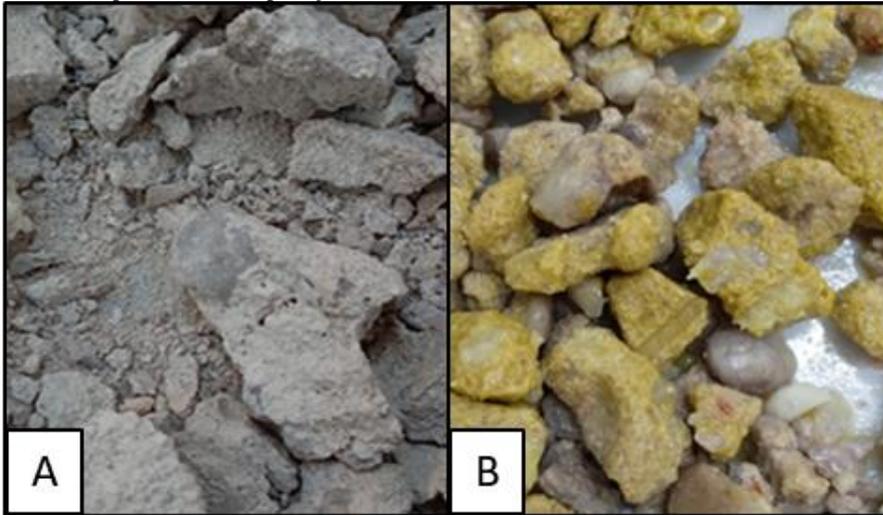
Durante a elaboração e os testes, observa-se que, independentemente do método de processamento, seja ele a seco ou a úmido, os materiais exibem comportamento semelhante.

## 5.2 Teste de separação química (concreto com seixo)

Na perspectiva da sua aplicação, o ácido clorídrico desempenha um papel significativo em diversas áreas, sendo amplamente empregado na limpeza e galvanização de metais, no curtimento de couros, e na obtenção de diversos produtos, incluindo tintas, corantes, e haletos orgânicos. Além disso, é utilizado na hidrólise de amidos e proteínas pelas indústrias alimentícias, bem como na extração de petróleo, onde contribui para a dissolução de rochas, facilitando o fluxo até a superfície. Em sua forma impura, conhecida como ácido muriático, é utilizado para a limpeza de pisos, azulejos, paredes de pedra e superfícies metálicas, especialmente antes de processos de soldagem. Devido à emissão de vapores tóxicos e irritantes quando aquecido, o manuseio do ácido muriático requer extrema cautela, sendo essencial o uso de máscara de respiração, luvas e óculos de proteção. Recomenda-se evitar a utilização próxima a corpos d'água, pois sua presença pode ser prejudicial à vida aquática. Concentrações elevadas do ácido clorídrico podem reduzir o pH do meio, impactando negativamente as bactérias oxidantes ao inibir a demanda de oxigênio.

Como ilustrado na Figura 5, uma análise comparativa do antes e pós-processo revelou-se fundamental para descartar um método adicional de separação.

Figura 5 - Teste de separação química do concreto antes do teste de separação com ácido clorídrico em (A) e concreto após teste de separação com ácido clorídrico em (B).



Fonte: Autor (2023).

Foi verificado que a separação ocorreu durante a realização do teste, no entanto, de maneira pouco significativa, não resultando em efeitos expressivos. Diante da ausência de evidências de sucesso, o processo foi descartado. Devido à complexidade do procedimento, desde a manipulação até a etapa de lavagem, aliada à persistência de resíduos no material, tornou inviável a continuidade do teste, conforme destacado no Quadro 3.

Quadro 3 - Análise do procedimento.	
Erro	Ajustes / Percepção
Proporção de Material e Reagente	- Não foi encontrado referencial bibliográfico para embasar uma definição quantitativa da razão reagente/material.
Teste Perigoso e Oneroso	- A separação demanda tempo e é tão desprezível que se faz uma percepção de separação no momento desnecessário.

Fonte: Autor (2023).

Apesar de apresentar uma taxa de recuperação inferior a 80%, o método físico revela-se mais eficiente em comparação com o processo químico. Nesse contexto, ajustes no maquinário emergem como a abordagem mais indicada para otimizar o processo de recuperação de agregado miúdo.

### 5.3 Teste de separação física (concreto com brita)

O material evidenciou eficiência notável devido à calibração precisa do britador. Após a caracterização minuciosa realizada nas fases anteriores do processo, efetuou-se a recuperação do material, seguida de uma análise de densidade.

Após os ensaios preliminares, procedeu-se a uma nova etapa de britagem, ajustando o material que passou pela peneira de #4.75. Esse ajuste possibilitou uma análise na mesa, utilizando os mesmos parâmetros e normas vigentes para agregados miúdos/areia. Essa abordagem técnica assegura uma avaliação consistente e alinhada com os padrões estabelecidos para a análise de agregados finos,

Conforme apresentado nas Tabelas 10 e 11, onde apresenta-se a densidade real do material, foi calculada a mesma utilizando a Equação 1.

$$Dr = \frac{(PP+MA)-(PP)}{(PPA)+(PP+AM)-[(PP)+(PPA+AM)]} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

“Dr”: Densidade real;

“PP”: Peso da proveta;

“MA”: Massa da amostra;

“PPA”: Peso da proveta com água.

Tabela 10 - Teste preliminar de densidade de RCD - concreto (brita) #4.75.

Amostra	PP (g)	PPA (g)	MA (g)	PPA+MA (g)	Densidade Real (g/cm <sup>3</sup> )
1	525	1506,46	253,50	1662,02	2,59
2	525	1506,46	250,33	1656,45	2,49
3	525	1506,46	252,89	1652,45	2,37
4	525	1506,46	254,39	1654,92	2,40
5	525	1506,46	254,24	1658,68	2,49
Média					2,47

Fonte: Autor (2023).

Em comparação com materiais exclusivamente classificados como areia, o material fino, composto por brita, areia comum e cimento, demonstrou uma densidade próxima à areia úmida, que possui uma densidade situada na faixa de 1,7 g/cm<sup>3</sup> até 2,3 g/cm<sup>3</sup>.

Tabela 11 - Teste Preliminar de Densidade de RCD - Concreto (Brita) #100.

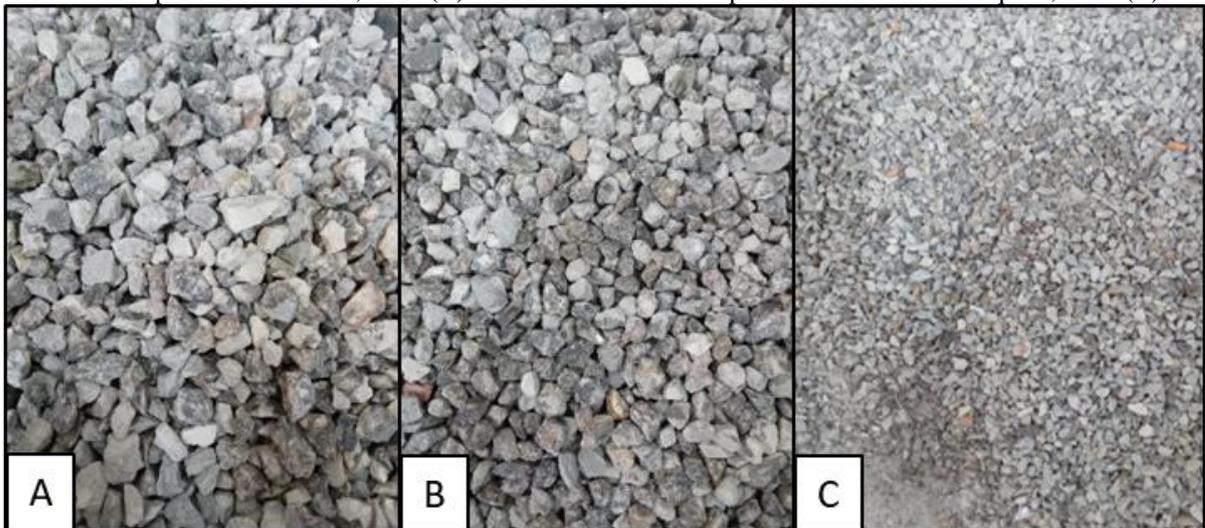
Amostra	PP (g)	PPA (g)	MA (g)	PPA+MA (g)	Densidade Real (g/cm <sup>3</sup> )
1	525	1506,46	279,16	1654,86	2,13
2	525	1506,46	271,38	1653,52	2,18
3	525	1507,46	272,94	1654,37	2,17
4	525	1508,46	275,47	1646,9	2,01
5	525	1509,46	238,28	1644,83	2,32
Média					2,16

Fonte: Autor (2023).

A separação utilizando exclusivamente o agregado de brita no processo de britagem apresentou uma eficiência significativa, destacando-se como uma opção vantajosa para a

recuperação. Entretanto, o objetivo principal é obter granulometrias próximas às características da areia e do material "in natura". Esse propósito será avaliado por meio de testes subsequentes na mesa, seguidos por uma análise comparativa entre as metodologias e rotas de processo para a recuperação de Resíduos de Construção e Demolição (RCD). O material de interesse é exemplificado na Figura 6 e detalhado no Quadro 4, representando uma abordagem de ajuste no procedimento.

Figura 6 - Teste de separação física com granulometria brita 1 de aproximadamente 12,5 mm (A), granulometria de brita 0 de aproximadamente 9,5 mm (B) e material de interesse aproximadamente menor que 9,5 mm (C).



Fonte: Autor (2023).

Quadro 4 - Análise do procedimento	
Erro	Ajustes / Percepção
Granulometria	- Diminuir o APF menor que 1,5 cm

Fonte: Autor (2023).

Dado os procedimentos e análises conduzidos, foi elaborado um beneficiamento ou formulação de tratamento que precede a utilização da mesa, conforme descrito no Quadro 5.

Quadro 5 - Parâmetros e procedimentos para o processo de recuperação	
Análise	Ajustes / Percepção
Granulometria	<p>Visto a importância do processo de britagem e moagem, o material passou por ajustes para que posteriormente venha a ser passado na mesa de concentração, sendo assim:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- O britador foi regulado com um ajuste de APF com cerca de 1,5 cm;</li> <li>- O material foi peneirado por três faixas granulométricas, seguindo o fator da granulometria da NBR 7211:2005 – Agregado Para Concreto;</li> <li>- O material passante na série normal de 4.75 foi utilizado para o processo de concentração.</li> </ul>

Fonte: Autor (2023).

O material passante na série normal de 4.75 foi utilizado para o processo de concentração. Para os ajustes da mesa foram considerados os seguintes padrões de ajuste conforme o Quadro 6.

Quadro 6 - Ajustes e parâmetros da Mesa Wilfley			
Amplitude do Equipamento	Vazão da Água	Ângulo	Frequência
1,2 cm	35%	5°	260 Rpm até 320 Rpm

Fonte: Autor (2023).

Seguindo o fluxograma de caracterização fornecido pelo CETEM, a amostra teste foi homogeneizada, quarteada e armazenada em 4 alíquotas conforme ilustrada na Figura 8 e suas massas no Quadro 7.

Figura 7 - Alíquotas prontas após processo de homogeneização, quarteamento e armazenamento.



Fonte: Autor (2023).

Quadro 7 - Massas do material utilizado para análise em Mesa Wilfely			
Alíquota A	Alíquota B	Alíquota C	Alíquota D
436,38 gramas	477,11 gramas	429,65 gramas	399,90 gramas

Fonte: Autor (2023)

## 6 TESTE EM MESA

A concentração gravimétrica pode ser definida como um processo no qual partículas de diferentes densidades, tamanhos e formas são separadas uma das outras por ação da força de gravidade, por forças centrífugas ou por forças conjuntas. A concentração gravimétrica é um dos processos mais antigos de concentração de minérios utilizadas pelo homem e permanece ainda como um importante método de concentração física.

O método de concentração gravimétrica da Mesa *Wilfley* foi desenvolvido empiricamente no final do século passado por Arthur R. *Wilfley* e tem sido um fator de importância em muitos processos metalúrgicos. Esta mesa vibratória é um dos equipamentos de concentração gravimétrica mais utilizado no tratamento de minérios e que para muitas aplicações ganha particular importância não sendo igualada em seu funcionamento eficiente e econômico por nenhum outro equipamento. (Galvão,2017). Na pesquisa em questão, foi empregada a mesa de concentração tipo *Wilfley*, nas instalações do Instituto Federal do Amapá, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 8 - Modelo de Mesa Wilfley do Instituto Federal do Amapá – Campus Macapá.



Fonte: Autor (2023).

### 6.1 Análise granulométrica com dados da mesa

O material passou por quatro diferentes frequências de processamento, sendo que para cada frequência foram consideradas quatro tipologias de material: concentrado, misto, rejeito e o "rejeito do rejeito". Cada tipologia foi submetida a um procedimento de preparação na mesa de concentração conforme Figuras 9, 10 e 11 e, em seguida, passou por um processo de secagem em estufa com duração de 24 horas. Posteriormente, foi realizado o peneiramento para a análise granulométrica conforme as Tabelas de 12 até 31, além da inspeção visual da separação utilizando um microscópio. Pelo diagrama de atividades estabelecido, foram obtidos os seguintes resultados para os procedimentos analíticos, onde cada em tempo e porção foi por:

(T) Tempo de frequência, sendo:

- T1 (260 RPM);
- T2 (280 RPM);
- T3 (300 RPM);
- T4 (320 RPM).

(P) Porção, onde:

- P1 (Concentrado);
- P2 (Misto);
- P3 (Rejeito);
- P4 (Rejeito do Rejeito).

Figura 9 - Preparação e recuperação de finos em Mesa Wilfely.



Fonte: Autor (2023).

Figura 10 - Preparação e recuperação de finos em Mesa Wilfely.



Fonte: Autor (2023).

Figura 11 - Preparação e recuperação de finos em Mesa Wilfely.



Fonte: Autor (2023).

## 6.2 Dados operacionais com mesa *Wilfley* em 260 RP

Tabela 12 - Dados de Amostragem T1 e variáveis operacionais dos testes em Mesa Wilfley.

Inclinação	5 graus
Vazão da Água	30% a 35%
Amplitude	1,2 cm
Rotação	260 RPM
Massa Inicial (g)	436,38
Massa Final (g)	315,00
Total de Perda (g)	121,38

Fonte: Autor (2023).

Tabela 13 - Concentrado T1 - Teste em Mesa Wilfley - 260 RPM.

(#) Mesh	Malhas		Massa (g)	Descrição		
	Abertura (mm   $\mu\text{m}$ )			%Simples	%RA	%PA
4	4.75		1,90	1,47%	1,47%	98,53%
8	2.36		83,44	64,48%	65,95%	34,05%
14	1.18		16,19	12,51%	78,46%	21,54%
28	600		9,41	7,27%	85,73%	14,27%
48	300		14,16	10,94%	96,68%	3,32%
100	150		4,08	3,15%	99,83%	0,17%
-100	-150		0,22	0,17%	100,00%	0,00%
Total	-		129,40	100,00%	100,00%	-

Fonte: Autor (2023).

Tabela 14 - Misto T1 - Teste em Mesa Wilfley - 260 RPM.

(#) Mesh	Malhas		Massa (g)	Descrição		
	Abertura (mm   $\mu\text{m}$ )			%Simples	%RA	%PA
4	4.75		0,54	0,48%	0,48%	99,52%
8	2.36		71,28	63,30%	63,78%	36,22%
14	1.18		32,21	28,61%	92,39%	7,61%
28	600		6,58	5,84%	98,23%	1,77%
48	300		1,76	1,56%	99,80%	0,20%
100	150		0,22	0,20%	99,99%	0,01%
-100	-150		0,01	0,01%	100,00%	0,00%
Total	-		112,60	100,00%	100,00%	-

Fonte: Autor (2023).

Tabela 15 - Rejeito T1 - Teste em Mesa Wilfley - 260 RPM.

(#) Mesh	Malhas		Massa (g)	Descrição		
	Abertura (mm   $\mu\text{m}$ )			%Simples	%RA	%PA
4	4.75		0,00	0,00%	0,00%	100,00%
8	2.36		18,54	38,57%	38,57%	61,43%
14	1.18		22,57	46,95%	85,52%	14,48%
28	600		4,01	8,34%	93,86%	6,14%
48	300		1,74	3,62%	97,48%	2,52%
100	150		0,82	1,71%	99,19%	0,81%
-100	-150		0,39	0,81%	100,00%	0,00%
Total	-		48,07	100,00%	100,00%	-

Fonte: Autor (2023).

Tabela 16 - Rejeito do Rejeito T1 - Teste em Mesa Wilfley - 260 RPM.

(#) Mesh	Malhas		Massa (g)	Descrição		
	Abertura (mm   $\mu\text{m}$ )			%Simples	%RA	%PA
4	4.75		0,32	1,28%	1,28%	98,72%
8	2.36		8,23	33,01%	34,30%	65,70%
14	1.18		4,55	18,25%	52,55%	47,45%
28	600		2,84	11,39%	63,94%	36,06%
48	300		4,53	18,17%	82,11%	17,89%
100	150		3,59	14,40%	96,51%	3,49%
-100	-150		0,87	3,49%	100,00%	0,00%
Total	-		24,93	100,00%	100,00%	-

Fonte: Autor (2023).

Diante da considerável recuperação observada, a configuração com rotação de 260 RPM foi descartada devido à elevada perda de material, registrando 27,82%. Em uma aplicação em

escala industrial, esse índice é considerado prejudicial, apresentando impactos adversos no desempenho do processo devido à ineficiência identificada. Esta decisão está alinhada com as considerações sobre a mesa *Wilfley*, onde a otimização dos parâmetros operacionais é crucial para garantir eficiência na concentração de minerais e recuperação de partículas desejadas. O descarte dessa configuração específica destaca a importância de uma abordagem criteriosa na escolha dos parâmetros, visando a maximização dos resultados.

### 6.3 Dados operacionais com mesa *Wilfley* em 280 RPM

Tabela 17 - Dados de Amostragem T2 e variáveis operacionais dos testes em Mesa Wilfley.

Inclinação	5 graus
Vazão da Água	30% a 35%
Amplitude	1,2 cm
Rotação	280 RPM
Massa Inicial (g)	477,11
Massa Final (g)	476,99
Total de Perda (g)	0,12

Fonte: Autor (2023)

Tabela 18 - Concentrado T2 - Teste em Mesa Wilfley - 280 RPM.

(#) Mesh	Malhas		Descrição		
	Abertura (mm   $\mu$ m)	Massa (g)	%Simples	%RA	%PA
4	4.75	1,20	0,65%	0,65%	99,35%
8	2.36	108,33	58,74%	59,39%	40,61%
14	1.18	18,77	10,18%	69,57%	30,43%
28	600	17,12	9,28%	78,85%	21,15%
48	300	27,72	15,03%	93,88%	6,12%
100	150	10,71	5,81%	99,69%	0,31%
-100	-150	0,58	0,31%	100,00%	0,00%
Total	-	184,43	100,00%	100,00%	-

Fonte: Autor (2023).

Tabela 19 - Misto T2 - Teste em Mesa Wilfley - 280 RPM

(#) Mesh	Malhas		Descrição		
	Abertura (mm   $\mu$ m)	Massa (g)	%Simples	%RA	%PA
4	4.75	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
8	2.36	87,63	33,43%	33,43%	66,57%
14	1.18	100,65	38,40%	71,82%	28,18%
28	600	35,85	13,68%	85,50%	14,50%
48	300	29,29	11,17%	96,67%	3,33%
100	150	7,64	2,91%	99,59%	0,41%
-100	-150	1,08	0,41%	100,00%	0,00%
Total	-	262,14	100,00%	100,00%	-

Fonte: Autor (2023).

Tabela 20 - Rejeito T2 - Teste em Mesa Wilfley - 280 RPM

Malhas		Descrição			
(#) Mesh	Abertura (mm   $\mu\text{m}$ )	Massa (g)	%Simples	%RA	%PA
4	4.75	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
8	2.36	3,7	21,96%	21,96%	78,04%
14	1.18	7,5	44,51%	66,47%	33,53%
28	600	1,63	9,67%	76,14%	23,86%
48	300	1,34	7,95%	84,09%	15,91%
100	150	1,89	11,22%	95,31%	4,69%
-100	-150	0,79	4,69%	100,00%	0,00%
Total	-	16,85	100,00%	100,00%	-

Fonte: Autor (2023).

Tabela 21 - Rejeito do Rejeito T2 - Teste em Mesa Wilfley - 280 RPM

Malhas		Descrição			
(#) Mesh	Abertura (mm   $\mu\text{m}$ )	Massa (g)	%Simples	%RA	%PA
4	4.75	1,91	2,31%	2,31%	97,69%
8	2.36	27,24	32,99%	35,30%	64,70%
14	1.18	12,54	15,19%	50,49%	49,51%
28	600	8,03	9,73%	60,22%	39,78%
48	300	12,71	15,39%	75,61%	24,39%
100	150	16,83	20,38%	95,99%	4,01%
-100	-150	3,31	4,01%	100,00%	0,00%
Total	-	82,57	100,00%	100,00%	-

Fonte: Autor (2023).

A análise indica que a opção com rotação de 280 RPM foi mais vantajosa, uma vez que representando praticamente nenhuma perda no seu processo para obter os finos, conforme observado no texto original.

#### 6.4 Dados operacionais com mesa *Wilfley* em 300 RPM

Tabela 22 - Dados de Amostragem T3 e variáveis operacionais dos testes em Mesa Wilfley.

Inclinação	5 graus
Vazão da Água	30% a 35%
Amplitude	1,2 cm
Rotação	300 RPM
Massa Inicial (g)	429,65
Massa Final (g)	412,59
Total de Perda (g)	17,06

Fonte: Autor (2023)

Tabela 23 - Concentrado T3 - Teste em Mesa Wilfley – 300 RPM

(#) Mesh	Malhas	Massa (g)	Descrição		
	Abertura (mm   $\mu\text{m}$ )		%Simples	%RA	%PA
4	4.75	0,87	0,62%	0,62%	99,38%
8	2.36	66,47	47,49%	48,11%	51,89%
14	1.18	10,68	7,63%	55,74%	44,26%
28	600	13,02	9,30%	65,04%	34,96%
48	300	33,89	24,21%	89,25%	10,75%
100	150	14,35	10,25%	99,51%	0,49%
-100	-150	0,69	0,49%	100,00%	0,00%
Total	-	139,97	100,00%	100,00%	-

Fonte: Autor (2023).

Tabela 24 - Misto T3 - Teste em Mesa Wilfley – 300 RPM.

(#) Mesh	Malhas	Massa (g)	Descrição		
	Abertura (mm   $\mu\text{m}$ )		%Simples	%RA	%PA
4	4.75	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
8	2.36	63,34	35,31%	35,31%	64,69%
14	1.18	66,68	37,18%	72,49%	27,51%
28	600	28,51	15,90%	88,39%	11,61%
48	300	13,90	7,75%	96,14%	3,86%
100	150	6,20	3,46%	99,59%	0,41%
-100	-150	0,73	0,41%	100,00%	0,00%
Total	-	179,36	100,00%	100,00%	-

Fonte: Autor (2023).

Tabela 25 - Rejeito T3 - Teste em Mesa Wilfley – 300 RPM.

(#) Mesh	Malhas	Massa (g)	Descrição		
	Abertura (mm   $\mu\text{m}$ )		%Simples	%RA	%PA
4	4.75	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
8	2.36	10,08	25,30%	25,30%	74,70%
14	1.18	18,08	45,38%	70,68%	29,32%
28	600	4,31	10,82%	81,50%	18,50%
48	300	3,03	7,61%	89,11%	10,89%
100	150	3,24	8,13%	97,24%	2,76%
-100	-150	1,1	2,76%	100,00%	0,00%
Total	-	39,84	100,00%	100,00%	-

Fonte: Autor (2023).

Tabela 26 - Rejeito do Rejeito T3 - Teste em Mesa Wilfley – 300 RPM.

(#) Mesh	Malhas	Massa (g)	Descrição		
	Abertura (mm   $\mu\text{m}$ )		%Simples	%RA	%PA
4	4.75	0,23	0,43%	0,43%	99,57%
8	2.36	11,55	21,62%	22,05%	77,95%
14	1.18	8,06	15,09%	37,14%	62,86%
28	600	5,62	10,52%	47,66%	52,34%
48	300	7,10	13,29%	60,95%	39,05%
100	150	17,37	32,52%	93,47%	6,53%
-100	-150	3,49	6,53%	100,00%	0,00%
Total	-	53,42	100,00%	100,00%	-

Fonte: Autor (2023).

## 6.5 Dados operacionais com mesa Wilfley em 320 RPM

Tabela 27 - Dados de Amostragem T4 e variáveis operacionais dos testes em Mesa Wilfley.

Inclinação	5 graus
Vazão da Água	30% a 35%
Amplitude	1,2 cm
Rotação	320
Massa Inicial (g)	399,9
Massa Final (g)	385,61
Total de Perda (g)	14,29

Fonte: Autor (2023).

Tabela 28 - Concentrado T4 - Teste em Mesa Wilfley – 320 RPM.

(#) Mesh	Malhas		Descrição		
	Abertura (mm   $\mu\text{m}$ )	Massa (g)	%Simples	%RA	%PA
4	4.75	1,47	1,31%	1,31%	98,69%
8	2.36	67,26	59,84%	61,15%	38,85%
14	1.18	7,24	6,44%	67,59%	32,41%
28	600	8,35	7,43%	75,02%	24,98%
48	300	20,41	18,16%	93,18%	6,82%
100	150	7,39	6,57%	99,75%	0,25%
-100	-150	0,28	0,25%	100,00%	0,00%
Total	-	112,40	100,00%	100,00%	-

Fonte: Autor (2023).

Tabela 29 - Mistro T4 - Teste em Mesa Wilfley – 320 RPM.

(#) Mesh	Malhas		Descrição		
	Abertura (mm   $\mu\text{m}$ )	Massa (g)	%Simples	%RA	%PA
4	4.75	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
8	2.36	73,25	39,65%	39,65%	60,35%
14	1.18	58,29	31,55%	71,20%	28,80%
28	600	30,59	16,56%	87,76%	12,24%
48	300	15,14	8,20%	95,96%	4,04%
100	150	6,91	3,74%	99,70%	0,30%
-100	-150	0,56	0,30%	100,00%	0,00%
Total	-	184,74	100,00%	100,00%	-

Fonte: Autor (2023).

Tabela 30 - Rejeito T4 - Teste em Mesa Wilfley – 320 RPM.

(#) Mesh	Malhas		Descrição		
	Abertura (mm   $\mu\text{m}$ )	Massa (g)	%Simples	%RA	%PA
4	4.75	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
8	2.36	12,89	26,63%	26,63%	73,37%
14	1.18	21,31	44,03%	70,66%	29,34%
28	600	5,64	11,65%	82,31%	17,69%
48	300	3,73	7,71%	90,02%	9,98%
100	150	3,71	7,67%	97,69%	2,31%
-100	-150	1,12	2,31%	100,00%	0,00%
Total	-	48,40	100,00%	100,00%	-

Fonte: Autor (2023).

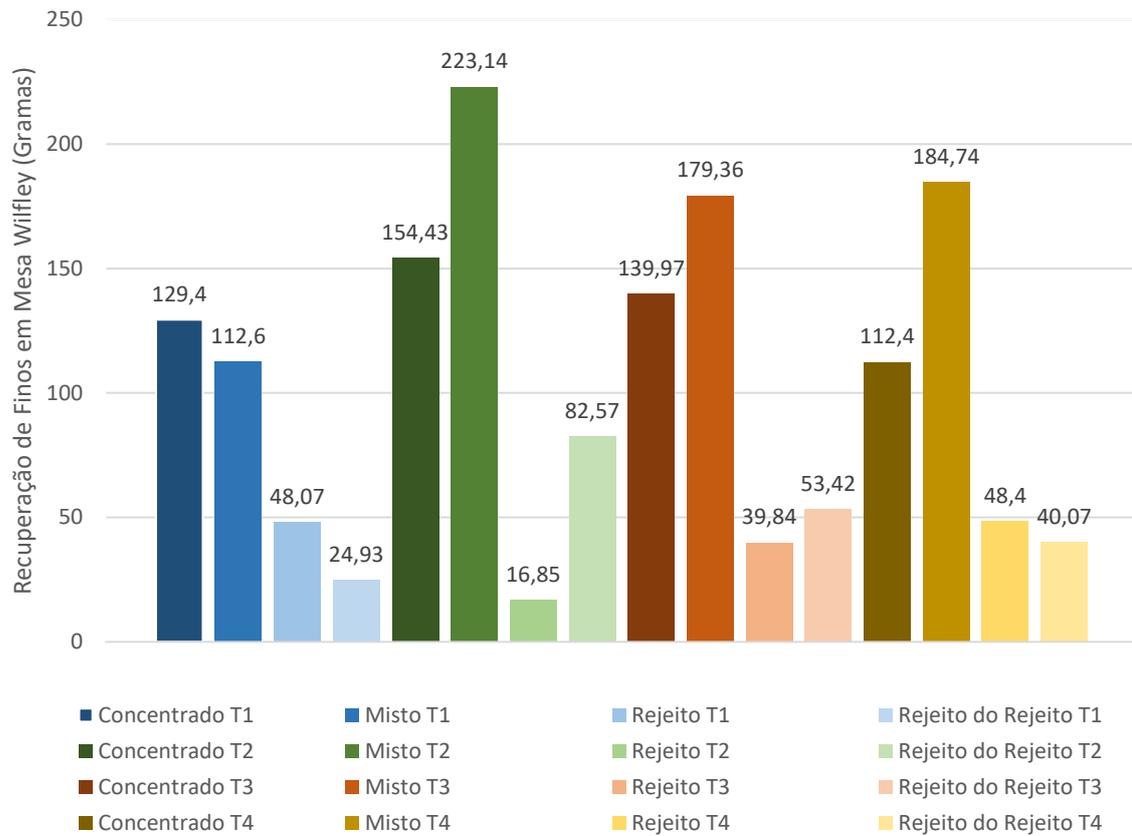
Tabela 31– Rejeito do Rejeito T4 - Teste em Mesa Wilfley – 320 RPM.

(#) Mesh	Malhas		Descrição			
	Abertura (mm   μm)	Massa (g)	%Simples	%RA	%PA	
4	4.75	0,00	0,00%	0,00%	100,00%	
8	2.36	8,86	22,11%	22,11%	77,89%	
14	1.18	5,25	13,10%	35,21%	64,79%	
28	600	4,89	12,20%	47,42%	52,58%	
48	300	6,28	15,67%	63,09%	36,91%	
100	150	11,5	28,70%	91,79%	8,21%	
-100	-150	3,29	8,21%	100,00%	0,00%	
Total	-	40,07	100,00%	100,00%	-	

Fonte: Autor (2023).

De maneira geral, todos os grupos apresentam recuperação de finos, sendo que o Grupo T2, operando com uma rotação de 280 RPM, destaca-se pelo melhor desempenho. Essa distinção deve-se ao fato de que o material concentrado e recuperado neste grupo demonstra um índice de recuperação significativamente elevado, conforme ilustrado de maneira conclusiva no Gráfico 2.

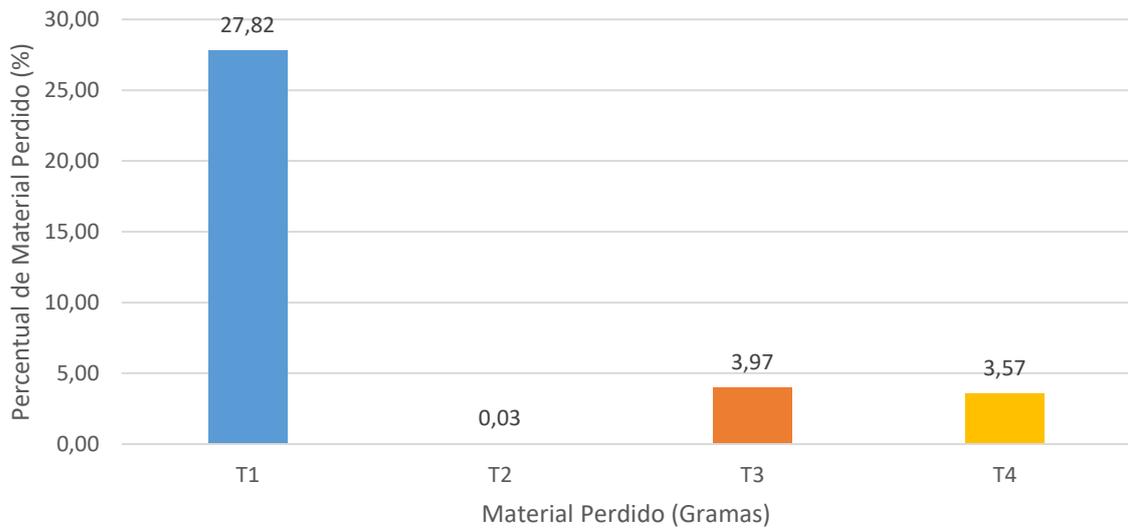
Gráfico 2 - Comparativos de recuperação.



Fonte: Autor (2023).

O Grupo T2, identificado Gráfico 3, destaca-se como o mais eficiente, evidenciando uma notável eficácia ao minimizar as perdas de materiais, praticamente atingindo 0% de perda. Em contrapartida, o Grupo T1, representado em azul, foi excluído de consideração devido à significativa perda de material, registrando aproximadamente 30%, conforme demonstrado no mesmo gráfico. Este descarte é justificado pela necessidade de priorizar configurações que ofereçam maior eficiência na minimização de perdas durante o processo em análise.

Gráfico 3 - Comparativos de perda.



Fonte: Autor (2023).

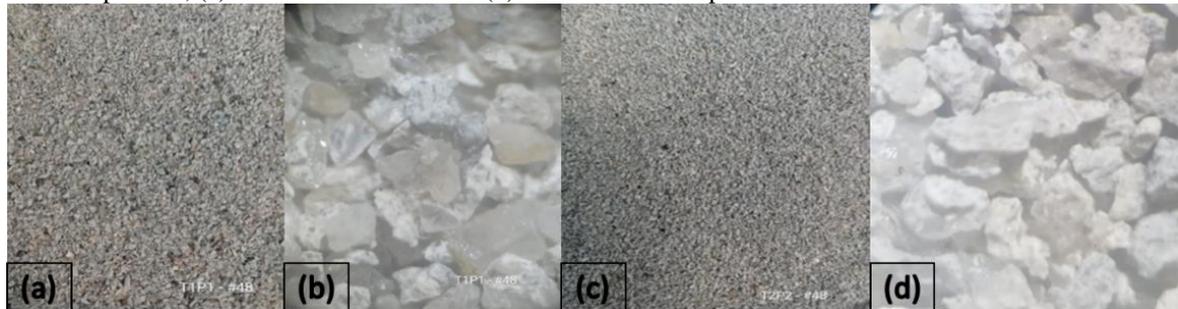
## 7 ANÁLISE VISUAL – MICROSCOPIA

Para a verificação de separação foram escolhidas duas faixas de finos (#48 e #100) para a verificação da separação. A análise microscópica foi conduzida para investigar minuciosamente a segregação do material após o processo de separação gravimétrica realizado na Mesa *Wilfley*. Por meio da utilização de um microscópio, essa avaliação proporcionou uma análise detalhada, permitindo uma observação precisa das características e da distribuição dos componentes individuais no material recuperado.

Essa abordagem microscópica, já concluída, foi essencial para obter uma compreensão mais profunda da eficácia da Mesa *Wilfley* na segregação de diversas frações do material. Os resultados obtidos durante essa análise proporcionaram uma base sólida para uma avaliação abrangente e refinada do desempenho do processo de separação gravimétrica. Essas percepções valiosas são cruciais não apenas para a compreensão do comportamento do material após a separação visualizados nas Figuras 12, 13, 14 e 15 mas também para a identificação de possíveis ajustes estratégicos.

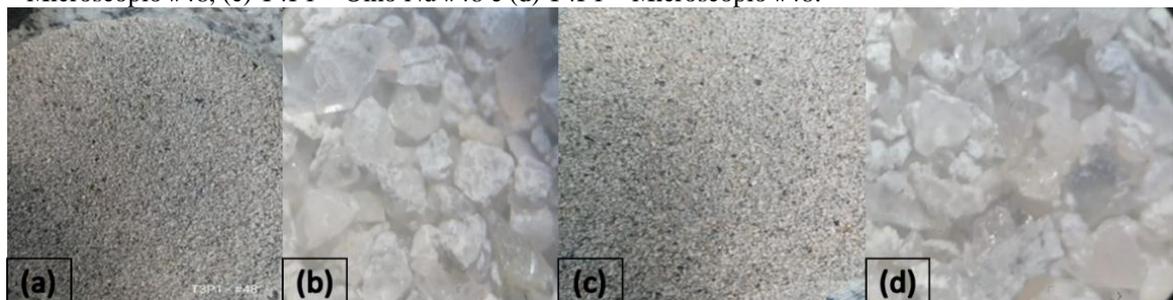
Com base nos resultados microscópicos, ajustes específicos podem ser implementados para otimizar ainda mais a eficiência do processo de separação gravimétrica, visando atender aos requisitos específicos de recuperação de materiais desejados.

Figura 12 - Microscopia, segregação do material e obtenção de areia onde (a) T1P1 – Olho Nu #48, (b) T1P1 – Microscópio #48, (c) T2P1 – Olho Nu #48 e (d) T2P1 – Microscópio #48.



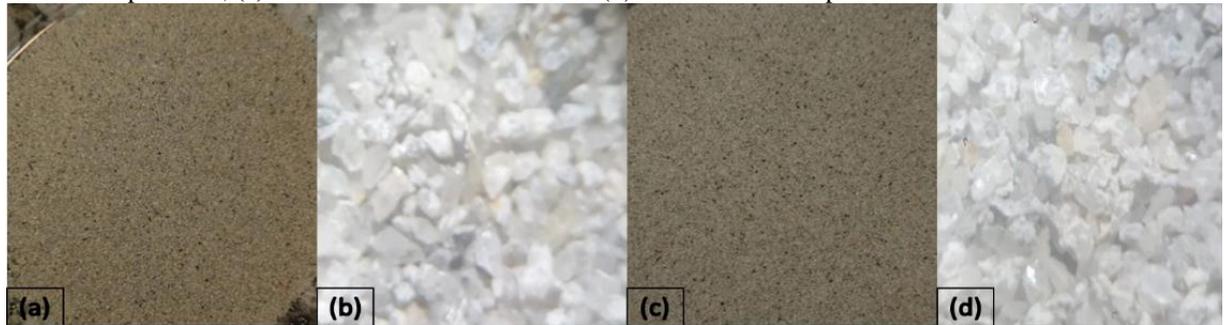
Fonte: Autor (2023).

Figura 13 - Microscopia, segregação do material e obtenção de areia onde (a) T3P1 – Olho Nu #48, (b) T3P1 – Microscópio #48, (c) T4P1 – Olho Nu #48 e (d) T4P1 – Microscópio #48.



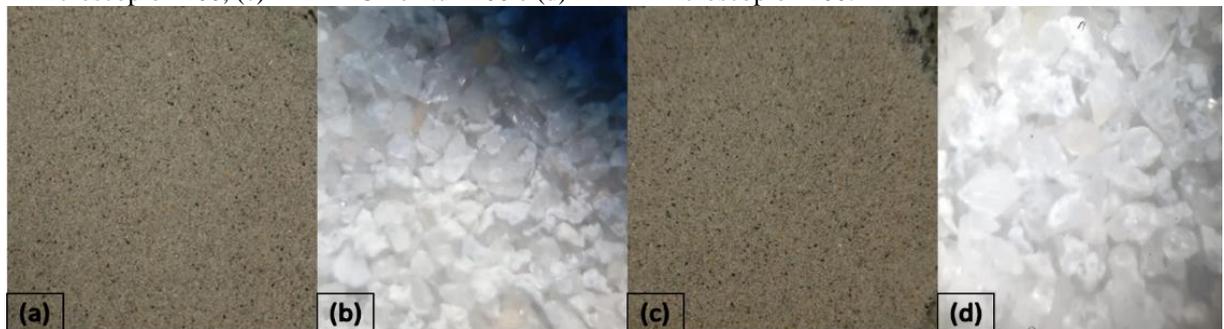
Fonte: Autor (2023).

Figura 14 - Microscopia, segregação do material e obtenção de areia onde (a) T1P1 – Olho Nu #100, (b) T1P1 – Microscópio #100, (c) T2P1 – Olho Nu #100 e (d) T2P1 – Microscópio #100.



Fonte: Autor (2023).

Figura 15 - Microscopia, segregação do material e obtenção de areia onde (a) T3P1 – Olho Nu #100, (b) T3P1 – Microscópio #100, (c) T4P1 – Olho Nu #100 e (d) T4P1 – Microscópio #100.



Fonte: Autor (2023).

A análise visual das imagens evidencia a execução do processo de segregação e recuperação das granulometrias específicas destinadas ao tipo de agregado miúdo. Este destaque reforça a ênfase na etapa de segregação por processo gravimétrico, que desempenha um papel fundamental no procedimento experimental

## 8 CONCLUSÃO

Existe eficácia incontestável através do processo de separação pela Mesa *Wilfley*, evidenciada pela obtenção de finos, a análise e conclusão foi validada por meio das análises microscópicas. Os resultados promissores do teste preliminar de separação representam um avanço significativo. Agora, é imperativo avaliar a viabilidade da reutilização dos finos recuperados como agregado.

A Mesa *Wilfley*, embora demonstre potencial na recuperação de agregados finos, carece de uma investigação mais aprofundada devido à sua subutilização. Embora os testes qualitativos sejam encorajadores, a validação efetiva da eficácia da recuperação requer a submissão dos materiais a testes em concretos. Isso não apenas confere autenticidade ao processo, mas também consolida o novo método de recuperação como uma alternativa robusta e viável. Este estudo amplia o conhecimento sobre a Mesa *Wilfley* e destaca seu potencial transformador na gestão sustentável de resíduos e na produção de agregados finos.

As pesquisas inovadoras relacionadas à segregação de materiais sugerem a possibilidade de reconfiguração ou abordagens atualizadas com os avanços tecnológicos. Conclui-se que uma abordagem sistemática, guiada por uma rota bem definida e conduzida qualitativamente, viabilizam a eficaz recuperação e segregação de materiais finos originários de concreto, mais precisamente resíduos de construção classificados como concreto.

## REFERÊNCIAS

- ANGULO, Sérgio. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico dos concretos**. São Paulo, 2005. 236f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004** : Resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.114** : Resíduos sólidos da construção civil – áreas de reciclagem – diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211**: Agregados para concreto - especificação. Rio de Janeiro, 2005.
- CABRAL, A.E.B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. 2007. 280f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2007.
- DHIR, R; PAINE, K; DYER, T. Recycling construction and demolition wastes in concrete. **Concrete**. London, v38, n.3, p. 25-28, 2004.
- FRANÇA, Silvia Cristina Alves; LUZ, Adão Benvido da; SAMPAIO, João Alves. **Tratamento de Minérios**. 5.ed. Rio de Janeiro. Centro de Tecnologia Mineral-CETEM, 2010.
- EUROSTAT. **Statistics Explained**: Waste statistics. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 2017. Disponível em: [https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=Waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=Waste_statistics). Acesso em: 18 dez. 2023.
- EUROSTAT. **Statistics Explained**: Waste statistics. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 2022. Disponível em: [https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=Waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=Waste_statistics). Acesso em: 18 dez. 2023.
- GALVÃO, Raulim de Oliveira. **Aplicação de um planejamento fatorial na recuperação da liga metálica (FeSiMn) de escória empregando-se a mesa oscilatória Wilfley**. 2017. 99f. Dissertação (Programa de Pós- Graduação em Engenharia Mineral para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mineral) - Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, PE, 2017.
- MIRANDA, L. F. R. et al. Reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 57-71, 2009.
- MULDER, E. et al. Closed cycle construction: an integrated process for the separation and reuse of C&D waste. **Waste Management**, v. 27, n. 10, p. 1408-1415, 2007.

- OLIVEIRA, Maria Elane; SALES, Raquel Jucá; OLIVEIRA, Lúcia Andréa; CABRAL, Antônio Eduardo. Diagnóstico da geração e da composição dos RCD de Fortaleza/CE. Notas Técnicas. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.16, n.3, p. 219-224, 2011.
- PAULINO, R. S.; LAZARI, C. H.; MIRANDA, L. F. R.; VOGT, V. Atualização do cenário da reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 2008-2020. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 23, n. 3, p. 83-97, 2023.
- RAHAL, K. Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate. **Building and Environmental**, v.42, n. 1, p. 407-415, 2007.
- RESÍDUO. **A meu Resíduo apresenta: Dados Relevantes Sobre o Resíduo (Lixo) No Brasil – Amapá.** 2021. Disponível em: <https://www.meuresiduo.com/news/a-meuresiduo-apresenta-dados-relevantes-sobre-o-residuo-lixo-no-brasil-amapa/>. Acesso em: 18 nov. 2022.
- ROBLES, D.R.; GONZÁLEZ, J.G.; VALDÉS, A.J.; DEL POZO, J.M.M.; ROMERO, M.I.G. Overview regarding construction and demolition waste in Spain. **Environmental Technology**. v. 36, n. 23, p. 3060–3070, 2015.
- SZIGETHY, Leonardo; ANTENOR, Samuel. **Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos.** IPEA, Centro de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Sociedade. 2021. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>. Acesso em: 22 dez. 2023.
- TAM, V.W.Y.; TAM, C.M. A review on the viable technology for construction waste recycling. Resources. **Conservation and Recycling** v.47, p. 209-221, 2006.
- TERRY, M. **Waste minimization in the construction and demolition industry.** 2004. 78f. Thesis (Thesis of Bachelor of Civil & Environmental Engineering) - Faculty of Engineering University of Technology, Sydney. Sydney, AU. 2004.