

**ANÁLISE DA ADIÇÃO DO PÓ DE MADEIRA COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO
AGREGADO MIUDO NO CONCRETO SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL:
COMPARATIVO ENTRE OS CONCRETOS (CONVENCIONAL E PROPOSTO)**

***ANALYSIS OF THE ADDITION OF WOOD DUST WITH PARTIAL REPLACEMENT
OF FINE AGGREGATE IN CONCRETE WITHOUT STRUCTURAL FUNCTION:
COMPARISON BETWEEN CONCRETES (CONVENTIONAL AND PROPOSED)***

Mariana Pereira Amancio ¹

Flavio Lucio Santos De Carvalho ²

RESUMO: A necessidade de inovação, eficiência financeira e práticas sustentáveis na indústria da construção civil no Brasil ressaltou o problema do descarte inadequado do pó de madeira. Este estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica e ambiental da utilização do pó de madeira como substituto parcial do agregado miúdo (areia) na produção de concreto sem função estrutural, em comparação ao concreto convencional. A revisão de literatura destacou a relevância do concreto na construção civil e a necessidade de práticas mais sustentáveis, considerando a crescente preocupação com os impactos ambientais e a gestão de resíduos. A metodologia experimental adotada incluiu a preparação e análise de corpos de prova com diferentes proporções de pó de madeira, visando identificar as alterações nas características mecânicas do concreto. Os resultados obtidos demonstraram que a substituição parcial da areia por pó de madeira, especialmente na proporção de até 10%, foi viável do ponto de vista técnico e sustentável. Apesar de uma redução inicial na resistência à compressão, os concretos com pó de madeira apresentaram potencial para maior durabilidade em longo prazo, especialmente em ambientes agressivos. Assim, a inclusão do pó de madeira no concreto pode ter representado uma prática vantajosa para a construção civil, alinhando-se às demandas por sustentabilidade e eficiência.

Palavras-chave: Inovação; Eficiência financeira; Impactos ambientais; Gestão de resíduos; Propriedades físicas.

ABSTRACT: The need for innovation, financial efficiency and sustainable practices in the construction industry in Brazil has highlighted the problem of inadequate disposal of wood dust. This study aimed to evaluate the technical and environmental feasibility of using wood dust as a partial replacement for fine aggregate (sand) in the production of concrete without structural function, compared to conventional concrete. The literature review highlighted the relevance of concrete in the construction industry and the need for more sustainable practices, considering the growing concern with environmental impacts and waste management. The experimental methodology adopted included the preparation and analysis of specimens with different proportions of wood dust, aiming to identify changes in the mechanical characteristics of the concrete. The results obtained demonstrated that the partial replacement of sand by wood dust, especially in proportions of up to 10%, was feasible from a technical and

¹ Centro Universitário Salesiano - Unisales. Vitória/ES, Brasil. mariana.amancio@souunisales.com.br.

² Centro Universitário Salesiano - Unisales. Vitória/ES, Brasil. fcarvalho@souunisales.com.br.

sustainable point of view. Despite an initial reduction in compressive strength, concretes with wood dust showed potential for greater long-term durability, especially in aggressive environments. Thus, the inclusion of wood powder in concrete may have represented an advantageous practice for civil construction, in line with the demands for sustainability and efficiency.

Keywords: Innovation; Financial efficiency; Environmental impacts; Waste management; Physical properties.

1 INTRODUÇÃO

A incessante procura por inovação, eficiência financeira e práticas sustentáveis na indústria da construção civil tem motivado a investigação de materiais alternativos com potencial para superar os tradicionais. No Brasil, a exploração excessiva e o manejo inadequado da madeira representam um desafio sério, acarretando impactos econômicos e ambientais significativos, bem como a produção desmedida de resíduos frequentemente descartados de forma inadequada.

Atualmente, muitas empresas estão investindo cada vez mais em equipamentos e treinamento técnico para reduzir ou eliminar o desperdício e incentivar a reutilização de resíduos. Isso acontece não apenas devido aos impactos ambientais negativos gerados pelos resíduos, mas também devido à redução e aproveitamento destes podem contribuir visando reduzir a utilização de recursos naturais e energéticos.

O pó de madeira, é um subproduto presente em locais onde a madeira é industrializada em larga escala, tais como serrarias, fábricas de móveis e obras civis. Apesar disso, muitas vezes este material acaba sendo descartado na construção sem ser aproveitado adequadamente, mas é crucial adotar medidas sustentáveis como o reaproveitamento e reciclagem para minimizar seu impacto ambiental. Uma alternativa viável seria incorporar o pó de madeira ao concreto, o qual é amplamente empregado na construção por sua durabilidade e resistência, sendo utilizado em vários segmentos como infraestrutura e edificações comerciais e residenciais. Isso pode se mostrar uma solução eficaz e econômica.

A adição de pó de madeira no concreto pode resultar em uma diminuição do peso, devido à menor espessura do pó de madeira em comparação aos agregados do concreto tradicional, como areia e brita. Desse modo, a inclusão de pó de madeira pode reduzir a consistência do concreto final, além de destacar que a resistência mecânica do concreto pode ser afetada em relação ao concreto convencional. Logo, é importante, a realização de ensaios em laboratório para garantir que o concreto produzido com pó de madeira, consiga atender aos requisitos de desempenho e durabilidade, levando em consideração aos parâmetros de peso, consistência e desempenho mecânico.

Segundo Neville & Brooks (2013), o concreto é um material estrutural amplamente utilizado atualmente. Pode ser produzido com variedades de Cimento, aditivos minerais, agregados de concreto reciclado, fibras e polímeros. No entanto, a inclusão de pó de madeira na composição do concreto pode impactar o seu desempenho e qualidade finais, o que demanda pesquisas e testes para garantir a eficácia dos resultados esperados. Assim, a adição de pó de madeira aos materiais cimentícios pode proporcionar benefícios ambientais e técnicos significativos, como a promoção

da sustentabilidade, aprimoramento das propriedades do concreto e redução de custos.

A gestão adequada dos resíduos sólidos, sejam eles de origem pública ou privada, é regida pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos, Lei n.º 12.305/2010. Neste sentido, o armazenamento adequado destes materiais permite proteger a saúde pública e minimizar os efeitos negativos no ambiente. Para indivíduos ou organizações com recursos limitados que buscam construir moradias de um pavimento com tráfego mínimo de pedestres, o pó de madeira torna-se uma alternativa econômica, visto que, o custo pode ser nulo, dependendo da localização. Logo, com o aproveitamento do pó de madeira, os gastos associados a emissão de poluentes atmosféricos resultantes da incineração deste material nos locais de descarte podem ser reduzidos.

Com base nos objetivos necessários para o desenvolvimento da referida pesquisa, é necessário buscar e avaliar a viabilidade técnica da adição do pó de madeira com a substituição parcial do agregado miúdo (areia) na confecção de concreto não estrutural. Sendo os objetivos específicos para o estudo: avaliar como o pó de madeira influencia no desempenho mecânico e na compressão do concreto comparado ao concreto convencional; avaliar a diminuição do peso específico do concreto com pó de madeira em relação ao concreto tradicional; verificar se é tecnicamente viável a adição de pó de madeira fina com a substituição parcial da areia para a confecção de concreto sem função estrutural. Desse modo, também como objetivo é a análise do desempenho do concreto utilizado no compósito por meio de ensaios de resistência mecânica, granulometria, massa específica e taxa de absorção de umidade, além de identificar possíveis melhorias nas características do concreto convencional em comparativo ao concreto feito com o pó de madeira.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONCRETO

Na área da arquitetura, o concreto costumava ser visto como um material inferior. Entre 1903 e 1947, o arquiteto francês Auguste Perret se destacou ao utilizar o concreto como um material plástico-compositivo inovador, tornando-o visualmente aceitável para aqueles que consideravam a arquitetura uma forma de arte. O pioneirismo de Perret influenciou fortemente a próxima geração de arquitetos, que passaram a incorporar o concreto em suas obras, resultando em novas estéticas e avanços tecnológicos na aplicação do material em Estruturas de edifícios (BANHAM, 1979).

De acordo com Telles (1994), no Brasil, o uso de concreto em projetos de infraestrutura e construções se tornou algo comum a partir da metade do século XX, devido ao crescimento urbano originado pelo contínuo êxodo rural e pelo aumento da população em busca de oportunidades nas cidades.

Para Santos (2006), o concreto se difundiu no Brasil mais do que em qualquer outra nação modernizada, transformando-se em um material estrutural predominante na edificação tanto das áreas formais quanto informais das cidades brasileiras.

Segundo Martin (2005), o concreto é considerado um dos fundamentos da nossa civilização. Por meio da seleção criteriosa dos materiais e da análise minuciosa das

quantidades, é viável promover modificações expressivas nas características do concreto, segundo as demandas específicas. É possível modular aspectos como trabalhabilidade, tempo de endurecimento, densidade, resistência, aparência e, sobretudo, a sua longevidade.

Os autores Helene e Andrade (2010), descrevem que o Cimento *Portland* é amplamente reconhecido como o principal material estrutural da construção civil atualmente. Apesar de ser relativamente novo no mundo dos materiais de construção, esse tipo de concreto é visto como uma das descobertas mais fascinantes na história da evolução da humanidade e na busca por melhorias na qualidade de vida.

2.2 CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO CONCRETO

As características mecânicas do concreto são fundamentais, como o módulo de elasticidade, a resistência à compressão e resistência à tração. Procedimentos de teste especializados são empregados na determinação dessas características, desempenhando um papel crucial na garantia da excelência do material e na conformidade com normas predefinidas.

De acordo com a pesquisa de Mehta e Monteiro (1994), a resistência à compressão é um fator vital no planejamento de estruturas de concreto, já que é uma propriedade geralmente requerida. Essa importância se deve à sua medição simplificada em comparação com outras propriedades, o que auxilia na detecção de variações na qualidade do concreto, relacionadas à mistura dos materiais empregados. Além disso, a resistência à compressão é crucial para garantir a segurança e estabilidade das estruturas.

Segundo Farias, Lopes e Stival (2003), entender a resistência à tração auxilia no cálculo da carga em que ocorre a fissuração do concreto, possibilitando prever sua durabilidade. Outras propriedades como aderência entre concreto e armadura, capacidade de resistir ao cisalhamento, torção, retração e às mudanças térmicas estão diretamente ligadas à resistência à tração do material.

2.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CONCRETO

Segundo Fonseca (2005), o Cimento *Portland* desempenha um papel essencial como aglutinante na construção civil em escala global. Ele é um material cerâmico hidráulico feito a partir do clínquer, cuja principal composição é Silicato de Cálcio Hidráulico.

De acordo com Moreira (2008), o Cimento é fabricado moendo clínquer, obtido pela queima de Calcário e Argila. Em outras palavras, o principal componente do Cimento é o Calcário (CaCO_3), com o clínquer resultando da queima de quatro substâncias principais: Calcário (CaCO_3), Sílica (SiO_2), Alumina (Al_2O_3) e Hematita (Fe_2O_3). Depois da queima, adiciona-se Sulfato de Cálcio (CaSO_4), também conhecido como Gesso, para retardar a reação de hidratação.

Para Neville & Brooks (2013), o Cimento é todo e qualquer material ou substância resultante da combinação de um agente aglutinante. Normalmente, esse agente é fruto da interação entre um Cimento Hidráulico e Água. Contudo, atualmente, essa descrição abrange uma variedade extensa de matérias. O Cimento pode ser formado por diversos tipos de Sílica ativa, complementos minerais, agregados provenientes de

concreto reciclado, aditivos, polímeros e fibras. Ademais, esses concretos podem passar por processos de aquecimento, cura a vapor, autoclavagem, tratamento a vácuo, prensagem, vibração por impactos (*Shock-vibrated*), extrusão e projeção.

O concreto é o material mais empregado na construção civil, constituído por cimento, agregados com diferentes tamanhos de partículas e Água. O Cimento atua como aglomerante, formando uma pasta resistente à compressão que adere aos demais fragmentos. Isso permite moldagens complexas (LIMA *et al.*, 2014).

Conforme a NBR 12655 (2022), o concreto é composto pela mistura homogênea de Cimento *Portland*, agregados miúdos, agregados graúdos, Água e, se desejado, a inclusão de substâncias adicionais (como produtos químicos, colorantes, metacaulim, Sílica ativa e outras propriedades pozolânicas), cujas propriedades são formadas durante o processo de solidificação da pasta de Cimento.

2.4 UTILIZAÇÃO PÓ DE MADEIRA NO CONCRETO

Segundo Stancato; Burke e Paulon (2001), o pó de madeira, um material composto por resíduos vegetais de fontes renováveis, pode ser usado como substituto parcial da areia. Essa prática contribui para programas de reciclagem, reduzindo a necessidade de agregados finos em concretos e argamassas e melhorando sua eficiência térmica devido à baixa condutividade térmica da madeira.

Considerando que o concreto é o material de construção amplamente empregado no mundo e a areia corresponde a aproximadamente 30% de seu volume, é previsível que a extração natural desse agregado se torne insustentável com o tempo. Por conseguinte, torna-se imprescindível a realização de pesquisas em busca de alternativas viáveis a tal componente. A prática de reciclagem dos próprios materiais da construção civil tem surgido como uma solução promissora a este desafio (LODI, 2006).

Nesse cenário, as investigações conduzidas por estudiosos como Dantas (2004) acerca do aproveitamento do pó de madeira na confecção de concreto, em substituição parcial ou total à areia, têm-se revelado extremamente exitosas.

Ainda segundo Dantas (2004), trocar o agregado miúdo por pó de madeira pode levar a uma redução significativa na quantidade de areia usada na produção de concreto. Com isso, o material se torna mais leve e adquire propriedades de isolamento térmico devido à sua baixa condutividade térmica, tornando-se assim uma ótima opção para a fabricação de blocos. Estudos indicam que esse material é 3,5 vezes mais eficaz em termos de isolamento térmico em comparação com o concreto convencional.

Bertoli e Brito (2003), afirma que há mais uma vantagem interessante ao adicionar materiais reciclados, como o pó de madeira, à mistura do concreto: a considerável ampliação da capacidade de absorver som por parte desse material.

Conforme Bohn, Santos e Garcez (2013), o agregado miúdo largamente utilizado na produção de concretos trata-se de um recurso mineral cuja exploração gera enormes impactos ambientais. Isso sugere que em algum momento o seu uso se tornará insustentável. Diante disso, os resíduos provenientes das indústrias madeireiras surgem como uma possível solução para essa questão. Para além de serem uma fonte renovável e com potencial variado de utilização, esses resíduos demandam

baixo consumo energético e possuem uma densidade reduzida, sendo assim um material adequado para substituir parcialmente o agregado miúdo presente no concreto.

A inclusão do pó de madeira em materiais com propriedades pozolânicas é fundamental devido às suas características naturais e fibrosas, originárias da madeira. Isso se deve à sua capacidade de assegurar resistência em ambientes altamente alcalinos, como aqueles encontrados nas composições cimentícias. Por exemplo, ao substituir parcialmente o Cimento pelo pó de madeira na fabricação de blocos para função estrutural ou lajes pré-fabricadas, é possível diminuir a quantidade de areia, resultando em um material mais leve e com melhor isolamento térmico, graças à sua baixa condutividade térmica. Além disso, ao incluir esse material na formulação de revestimentos, também se observa uma melhoria na absorção sonora. (MASSAROTTO; NEVES JÚNIOR; DALOSTO, 2019).

2.5 ENSAIOS TECNOLÓGICOS

2.5.1 Ensaio de granulometria

Segundo Dias (2004), a granulometria de um solo é o processo de categorização dos diferentes componentes em classes de dimensões, que podem ser provenientes de substâncias minerais ou orgânicas. Esse procedimento inclui a medição das partículas e suas respectivas quantidades.

Conforme citado por Nascimento, Neto e Caiana (2020), a granulometria de um solo envolve a subdivisão em diferentes classes e tamanhos, com a determinação de suas dimensões e percentagens, estabelecendo assim as grandezas das partículas. Esse método é utilizado na análise do solo, podendo contribuir para diversas aplicações como no manejo da irrigação e na recuperação de áreas degradadas.

2.5.2 Ensaio de massa específica

A massa específica comumente utilizada para o concreto é a massa volumétrica, levando em consideração os espaços vazios. Os valores dessas massas variam de 2.000 kg/m³ a 2.800 kg/m³. Nos casos em que a massa real é desconhecida, pode-se utilizar o valor de 2.400 kg/m³ para concreto convencional e 2.500 kg/m³ para concreto armado segundo a NBR 6118 (ABNT, 2023).

Segundo Helene e Terzian (1992), a qualidade do concreto no estado suportado é afetada pela qualidade de seus componentes e suas proporções na mistura. O tamanho, a forma e a textura das partículas também impactam, pois ajudam a se distribuir de maneira mais uniforme no concreto, preenchendo ao máximo o espaço interno, reduzindo a porosidade e aumentando a densidade.

2.5.3 Ensaio de resistência a compressão

A resistência à compressão simples, usualmente chamada de FC, é essencial do ponto de vista mecânico. Para calcular essa resistência em amostras de concreto, são produzidos corpos de prova seguindo a norma NBR 5738 (2015) - Procedimento para moldagem e cura, que envolve a formação de até 24 provas em formato cilíndrico ou

prismático para realização dos testes. Em seguida, esses corpos de prova são submetidos aos ensaios conforme especificado na norma NBR 5739 (2018) - Concreto - Ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos.

Ao projetar projetos estruturais e selecionar materiais para construção, a resistência à especificação do concreto é reconhecida como um parâmetro significativo. Esse conhecimento do aspecto facilita a aquisição de informações adicionais sobre o material (PEREIRA, 1999).

Para Branco e Pieretti (2012), a resistência à compressão é essencial no concreto devido à sua natureza predominantemente sujeita a esse tipo de força. Além disso, esse parâmetro possibilita, por meio de relações empíricas, a obtenção de outras propriedades físicas relevantes.

De acordo com Neville & Brooks (2013), diversos fatores secundários exercem influência na resistência de um corpo de prova de concreto, tais como a velocidade de aplicação da carga, a umidade presente, as dimensões do corpo de prova e o processo de cura. Adicionalmente, os resultados dos testes são afetados pelo tipo de equipamento utilizado. Assim sendo, a padronização dos métodos de produção dos corpos de prova e da realização dos testes é essencial para uma avaliação precisa da qualidade do concreto.

2.5.4 Ensaio de umidade

Segundo Caputo (2022), a umidade do solo é definida como a relação entre a quantidade de Água contida em um volume específico de solo e o peso da parte sólida presente nesse volume.

Para Ricardo e Catalani (2007), a umidade e a porosidade de um solo têm um impacto significativo na fricção interna do material, afetando diretamente a resistência ao cisalhamento. Os autores defendem ainda que quanto menor for o espaço vazio entre as partículas, maior será a superfície de contato entre elas, o que resulta em um aumento da fricção.

Na indústria da construção civil, o teor de umidade dos agregados finos desempenha um papel crucial na confecção de argamassas, sendo fundamental que a relação Água/Cimento não exceda a proporção estabelecida pela mistura. De acordo com Bauer (2019), a presença de umidade provoca afastamento entre os grãos, resultando em expansão; esta questão pode levar a uma redução na massa de areia utilizada, impactando significativamente na resistência final do material.

2.6 APROVEITAMENTO DO PÓ DE MADEIRA

Na extração e transformação de recursos naturais, assim como na fabricação e uso de produtos, surgem diversos tipos de resíduos, que podem ser sólidos, líquidos ou gasosos. De acordo com a definição, resíduo é aquilo que não é aproveitado após um processo produtivo em indústrias, comércios e residências conforme a norma NBR-10004 (ABNT, 2004).

Conforme Fontes (1994), os restos de madeira incluem todos os materiais que sobram dos processos industriais ou da exploração florestal. O autor divide esses resíduos

em três categorias: pó de madeira, cavacos e lenha. O pó de madeira é o material resultante do corte da madeira com serras, formado por fragmentos pequenos e poeira de madeira, encontrado em várias indústrias, com exceção das laminadoras. Por outro lado, os cavacos são produzidos pelas plainas em serrarias e empresas de beneficiamento de madeira, enquanto a lenha consiste nos resíduos maiores gerados em diversos ramos industriais. O pó de madeira se destaca por sua composição heterogênea, caracterizada pela ampla variedade de formas e tamanhos, além de ter baixa densidade e alto teor de umidade.

A madeira é comumente usada para gerar energia por meio da queima. No entanto, o pó de madeira, também conhecida como pó de madeira, é considerada um subproduto menos valorizado devido às impurezas e partículas finas presentes no material. Isso gera certo receio nas empresas quanto ao seu uso. Mesmo sendo um resíduo orgânico, o pó de madeira requer tratamento adequado antes de ser aproveitada, pois o descarte incorreto no solo pode causar problemas tanto para a agricultura quanto para a vegetação local (FAGUNDES, 2003).

2.7 OS ASPECTOS AMBIENTAIS E A GERAÇÃO DE RESÍDUOS DO PÓ DE MADEIRA

No Brasil, a gestão de resíduos apresenta uma situação preocupante no cenário atual, com 52,8% sendo manejados de forma inadequada, segundo Borges (1993). Esse percentual inclui resíduos provenientes de várias fontes, como indústrias madeireiras. Muitas empresas optam por não os aproveitar eficientemente alegando falta de viabilidade econômica. Essa má administração causa desconforto e uma série de repercussões negativas. Com impactos tanto sociais - como danos à saúde pública - quanto ambientais, com acúmulo prejudicial ao meio ambiente. Isso coloca as empresas no papel de fontes poluentes, conforme a legislação em vigor. Os prejuízos causados ao meio ambiente pelos resíduos das serrarias estão diretamente ligados à atividade madeireira e à gestão ineficiente das sobras, incluindo o desperdício e a queima inadequada.

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 1986), emite resoluções e recomendações para ajudar na categorização dos resíduos. Segundo a hierarquia estabelecida, a madeira é classificada como resíduo de classe B, ou seja, aqueles que possuem potencial de reutilização para fins diversos dos originalmente previstos. Além disso, o órgão fornece instruções sobre o descarte apropriado da madeira, sugerindo sua reutilização ou armazenamento temporário para futuras utilizações ou reciclagem. Lamentavelmente, na maioria dos casos, o descarte correto não é devidamente realizado.

Miranda *et al.* (2009), afirmam que o pó de madeira corresponde a aproximadamente 31% do total de resíduos de construção gerados em uma obra de um edifício residencial. Durante a fase de execução da estrutura, esse percentual pode chegar a 42% dos resíduos produzidos nesse procedimento (LOPES *et al.*, 2013).

Para Santos (2013), a preocupação em minimizar os impactos ao meio ambiente tem despertado a atenção da sociedade mundial, levando-a a buscar métodos mais sustentáveis. O conceito de sustentabilidade está relacionado a um modelo de desenvolvimento que atende às demandas atuais sem comprometer a capacidade das

futuras gerações de suprir suas próprias necessidades. No âmbito da indústria da construção civil, especialmente no setor de produção de concreto, nota-se que ainda há um longo caminho a percorrer rumo à prática sustentável.

3 METODOLOGIA

A pesquisa foi classificada como experimental, exploratória e mista. O estudo analisou as propriedades do concreto convencional com adição de pó de madeira e redução parcial do agregado miúdo. O objetivo principal foi testar hipóteses e identificar relações de causa e efeito por meio de ensaios com corpos de prova, avaliando aspectos como resistência, durabilidade e comportamento sob diferentes condições.

Por meio da pesquisa experimental, foi possível obter um controle rigoroso sobre as variáveis, o que viabilizou a obtenção de dados quantitativos precisos e passíveis de reaplicação. Realizaram-se ensaios em corpos de prova para avaliar a compressão, umidade, granulometria e massa específica. Esses ensaios foram conduzidos no laboratório de materiais do Centro Universitário Salesiano - UNISALES.

O estudo também teve caráter exploratório, fundamentado em revisões bibliográficas essenciais para identificar estudos anteriores, teorias e conceitos principais, métodos utilizados e lacunas no conhecimento. A revisão da literatura contribuiu para estabelecer uma base teórica sólida e orientar os experimentos com embasamento.

Além disso, a análise mista contemplou a coleta e análise de dados quantitativos e qualitativos. Enquanto os dados quantitativos provieram dos ensaios laboratoriais, os dados qualitativos incluíram descrições de falhas, variações na trabalhabilidade e observações acerca do desempenho do material sob diferentes condições.

3.1 DADOS INICIAIS

- O cimento *Portland* adotado foi o CP III de 25 MPA, cuja massa específica real é 3100kg / m³;
- Para o agregado miúdo foi adotada a areia média, sendo a massa específica real 2650kg / m³;
- O agregado graúdo foi adotada a brita número um, cuja massa específica real 2700kg / m³;
- A relação água-cimento adotada foi 0,55.

O traço definido para os ensaios de corpos de provas cilíndrico 10x20:
1:2,4:3,10:0,55

Obtém-se a área da base para os corpos de provas cilíndrico:
 $A = \pi D^2 / 4$ $A = \pi (0,10)^2 / 4 = 7,85 \times 10^{-3} \text{ m}^2$;

Calcula-se o volume:

$$V = A \times h = 7,85 \times 10^{-3} \times 0,20 \text{ m} = 1,57 \times 10^{-3} \text{ m}^3.$$

3.2 ENSAIO DE GRANULOMETRIA

Os equipamentos utilizados para o ensaio foram: Balança de precisão e jogos de peneiras (19mm, 9,5mm, 4,75mm, 2,36mm, 1,18mm, 600 μ , 300 μ e 150 μ).

As peneiras são organizadas uma sobre a outra, seguindo a ordem decrescente da abertura das malhas, com um recipiente denominado fundo das peneiras posicionado abaixo da última peneira para captar as partículas mais finas que não são retidas. Em seguida, pesam-se 500 gramas de agregado graúdo e 500 gramas de agregado miúdo. A sequência é então coberta por uma tampa e vibrada manualmente por aproximadamente 2 minutos para realizar o processo de peneiramento. Ao término do ensaio, é medido o peso da amostra retida em cada peneira, inclusive no fundo. Esses pesos individuais são somados para calcular o peso total da amostra. Com essas informações, é possível determinar os percentuais da amostra que permanecem em cada peneira.

3.3 ENSAIO DE MASSA ESPECÍFICA

Os equipamentos empregados no experimento foram: Balança de precisão, Frasco de Chapman e Funil.

Para conduzir o ensaio, inicialmente foram adicionados 200 ml de água utilizando um funil. Em seguida, foram introduzidos 500 g de areia seca, previamente pesados, com o auxílio de outro funil. Realizaram-se alguns movimentos para dissipar possíveis bolhas de ar, permitindo que, ao medir o nível da água, se obtivesse 390 ml.

Para calcular o volume do agregado miúdo presente na amostra, é preciso subtrair o volume inicial do volume final obtido no experimento. A Massa Específica refere-se à proporção entre a massa e o volume de uma substância. Para determinar a Massa Específica, é necessário primeiro calcular o volume final da amostra, utilizando a fórmula adequada.

3.4 ENSAIO DE UMIDADE

Para o procedimento do ensaio, foram pesadas quatro amostras em um recipiente de cerâmica, das quais duas eram do material pó de madeira e as outras duas de areia, conforme indicado na tabela 9. Em seguida, essas amostras foram colocadas em uma estufa, onde permaneceram por 24 horas a uma temperatura de 100°C.

3.5 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova foram preparados conforme as especificações técnicas normativas para ensaios de concreto. O processo iniciou-se com a separação e pesagem dos materiais, incluindo cimento, agregado graúdo, agregado miúdo, pó de madeira e água, conforme a dosagem definida para os ensaios. Em seguida, os materiais foram adicionados gradualmente à betoneira, começando pela brita, seguida pela metade da areia e metade da água, conforme as orientações técnicas. A betoneira foi acionada para garantir a mistura homogênea dos materiais, após o que foi adicionada a parte restante da areia e da água, repetindo-se o processo de mistura.

Para a moldagem dos corpos de prova cilíndricos, com dimensões de 10x20 cm, os moldes foram previamente lubrificados com óleo mineral para facilitar a desmoldagem posterior. O concreto foi colocado nos moldes em três camadas de igual altura, sendo cada camada compactada com 12 golpes de haste. Após o preenchimento completo, o excesso de concreto foi removido da superfície, e os corpos de prova foram deixados em cura inicial ao ar livre por 24 horas. Após este período, foram desenformados e transferidos para a câmara úmida, onde permaneceram até o momento do ensaio final, conforme os padrões estabelecidos pelas normas NBR 5738 e NBR 12655.

3.6 AMOSTRA DE DADOS

As análises dos resultados foram conduzidas quantitativamente, utilizando ferramentas estatísticas para identificar possíveis padrões e tendências. Além disso, observações qualitativas foram registradas e analisadas para complementar as informações quantitativas, oferecendo percepções acerca do desempenho do concreto com adição de pó de madeira. Os dados obtidos foram apresentados por meio de gráficos resultantes, tabelas comparativas e resumo técnico em tabela agrupando dados técnicos e valores de custos, integrando assim as análises qualitativas e quantitativas realizadas. Portanto, a interpretação dos resultados considerou os objetivos iniciais e as hipóteses levantadas na pesquisa, enfatizando as implicações práticas e teóricas das descobertas realizadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS

A granulometria dos agregados, tanto grãos quanto miúdos, desempenha um papel crucial na composição do concreto, influenciando diretamente suas propriedades mecânicas e de durabilidade. Nos ensaios realizados, buscou-se verificar a distribuição dos tamanhos das partículas presentes nos agregados utilizados, cujos resultados foram detalhados nas tabelas 1 e 2. A análise granulométrica não apenas assegura que os agregados atendam aos requisitos normativos, mas também permite uma melhor compreensão do comportamento do concreto diante de diferentes condições de aplicação.

A distribuição granulométrica adequada é fundamental para a obtenção de uma mistura homogênea e consistente, fatores que impactam diretamente na trabalhabilidade e na resistência final do concreto. Quando se incorpora materiais reciclados ou alternativos, como o pó de madeira, essa análise torna-se ainda mais relevante. O uso de materiais não convencionais pode alterar a distribuição das partículas e, conseqüentemente, a forma como os agregados se acomodam na matriz cimentícia. Portanto, garantir uma granulometria adequada é um passo essencial na otimização das misturas de concreto que utilizam esses materiais.

Além disso, o controle rigoroso da granulometria contribui para minimizar o espaço entre as partículas dos agregados, reduzindo a quantidade de cimento necessária para preencher esses vazios. Esse fator é de grande importância na produção de concretos mais sustentáveis, uma vez que a redução no consumo de cimento está

diretamente relacionada à diminuição das emissões de Dióxido de Carbono (CO₂), um dos principais desafios da construção civil na atualidade.

A granulometria é um aspecto crucial na produção de concreto, pois influencia diretamente suas propriedades mecânicas e sua durabilidade. Os ensaios realizados neste estudo buscaram avaliar a distribuição dos tamanhos das partículas nos agregados graúdos e miúdos, assegurando que sua conformidade com as normas técnicas seja mantida, mesmo com a inclusão de materiais alternativos, como o pó de madeira.

A Tabela 1 apresenta os resultados do ensaio de granulometria para o agregado graúdo. Observou-se que a maior porcentagem de massa retida se encontra na peneira de 9,5 mm, com 70,7%. Essa distribuição é adequada para garantir a integridade do concreto, conforme os limites estabelecidos pelas normas.

Tabela 1 - Resultados da Granulometria do Agregado Graúdo

Peneira (mm)	Massa Retida (g)	% Retida	% Acumulada	% Passante
37,5	0,0	0,0	0,0	100,0
19	109,9	22,0	22,0	78,0
9,5	353,15	70,7	92,7	7,3
4,75	20,51	4,1	97,0	3,2
2,36	13,54	2,7	100,0	0,0

Fonte: Acervo pessoal (2024).

Como pode ser visto, o material graúdo retido nas peneiras menores é reduzido, o que garante uma boa distribuição das partículas para promover uma compactação eficiente na mistura do concreto. Esse fator é essencial para garantir a resistência e a estabilidade da estrutura.

A retenção elevada na peneira de 9,5 mm (70,7%) indica que o agregado graúdo utilizado possui partículas de tamanho médio, o que favorece a coesão da mistura e, portanto, contribui para a durabilidade do concreto. O fato de 100% das partículas passarem pela peneira de 2,36 mm indica que não há partículas finas, o que evita a formação de vazios excessivos e melhora a resistência à compressão.

A Tabela 2 apresenta os resultados da análise granulométrica para o agregado miúdo, evidenciando que a maior retenção ocorre nas peneiras de 0,6 mm (31,8%) e 0,3 mm (30,2%). Esse padrão de distribuição é importante para a produção de concreto com boa trabalhabilidade e adequada coesão entre as partículas.

Tabela 2 - Resultados da Granulometria do Agregado Miúdo

Peneira (mm)	Massa Retida (g)	% Retida	% Acumulada	% Passante
4,75	0,98	0,2	0,0	100
2,36	9,03	1,8	2,0	98,0
1,18	59,37	11,9	13,9	86,1
0,6	158,89	31,8	45,7	54,3
0,3	150,86	30,2	75,9	24,1
0,15	104,3	20,9	96,7	3,3

Fonte: Acervo pessoal (2024).

Os resultados apresentados na Tabela 2 indicam que o agregado miúdo possui uma distribuição satisfatória, especialmente nas peneiras intermediárias (0,6 mm e 0,3 mm), que acumulam mais de 60% das partículas. Essa distribuição granulométrica é ideal para preencher os espaços entre as partículas do agregado graúdo, resultando em um concreto mais denso e coeso. A quantidade reduzida de partículas muito finas, como mostrado pela baixa porcentagem acumulada na peneira de 0,15 mm, garante que o concreto manterá suas propriedades mecânicas, sem prejudicar a trabalhabilidade.

A granulometria dos agregados influencia diretamente as propriedades mecânicas e a durabilidade do concreto. No agregado graúdo, a massa retida na peneira de 9,5 mm foi de 70,7%, com uma acumulação de 92,7% até essa peneira, indicando que a maioria das partículas está dentro da faixa de tamanho esperada para concretos de qualidade. Apenas 7,3% das partículas passaram pela peneira de 9,5 mm, o que sugere uma baixa presença de partículas finas que poderiam comprometer a resistência mecânica do concreto ao reduzir a compactação dos agregados. De acordo com Alberte e Handro (2021, p. 310), uma granulometria adequada é fundamental para pôr partículas finas, o que pode afetar a trabalhabilidade do concreto e sua coesão interna. No entanto, como discutido por Cartuxo *et al.* (2015, p. 40), a presença de uma quantidade adequada de partículas finas no agregado miúdo pode ajudar a preencher os vazios entre as partículas maiores, aumentando a densidade e a resistência do concreto.

Os resultados mostram que a combinação dos agregados graúdo e miúdo neste estudo fornece uma distribuição granulométrica que favorece a compactação dos materiais, o que é crucial para a resistência mecânica e a durabilidade do concreto. Silva *et al.* (2019, p. 117) destacam que uma distribuição granulométrica adequada reduz a quantidade de pasta de cimento necessária para envolver os agregados, o que não apenas melhora a coesão da mistura, mas também reduz o consumo de cimento, contribuindo para a sustentabilidade da construção.

Além disso, a distribuição granulométrica observada suporta a incorporação de materiais reciclados ou alternativos, como o pó de madeira, sem comprometer significativamente as propriedades do concreto. Segundo Contreras *et al.* (2016, p. 596), a substituição parcial de agregados miúdos por materiais como o pó de madeira pode ser feita sem prejuízo à qualidade do concreto, desde que a granulometria dos agregados seja cuidadosamente controlada.

Portanto, os resultados granulométricos deste estudo não apenas confirmam a adequação dos materiais utilizados, mas também sublinham a viabilidade da substituição parcial do agregado miúdo por pó de madeira, reforçando a importância de práticas sustentáveis na construção civil. Essa abordagem, quando combinada com um controle rigoroso da granulometria, pode resultar em concretos que mantêm suas propriedades mecânicas enquanto promovem a sustentabilidade ambiental e a eficiência dos recursos.

4.2 MASSA ESPECÍFICA DOS AGREGADOS

A massa específica dos agregados graúdo e miúdo foi medida em 2,63 g/cm³ e 2,65 g/cm³, respectivamente, conforme mostrado na Tabela 3. Esses valores estão em

conformidade com os padrões esperados para agregados de boa qualidade, sendo fundamentais no cálculo do traço do concreto e na previsão da resistência mecânica da mistura. A conformidade desses valores com as normas técnicas é essencial para garantir que o concreto produzido atenda às exigências de durabilidade e desempenho estrutural.

Calculo do volume da amostra:

$$V_a = V_F - V_i$$

Informações:

V_a = Volume da amostra

V_i = Volume Inicial da Amostra (200ml = 200cm³)

V_F = Volume final da amostra

Portanto:

$$V_a = V_F - V_i$$

$$V_a = 390 - 200$$

$$V_a = 190 \text{ cm}^3$$

Para determinar a massa específica:

μ = Massa específica (kg/m³, g/cm³, kg/L)

m = Massa da amostra (g)

V = Volume ocupado pela substância (cm³)

Dessa forma, temos:

$$\mu = \frac{500}{190}$$

$$\mu = 2,63 \text{ g/cm}^3$$

Tabela 3 - Massa Específica dos Agregados Utilizados

Agregado	Massa Específica (g/cm ³)
Agregado Graúdo	2,63
Agregado Miúdo	2,65

Fonte: Acervo pessoal (2024).

Segundo Silva *et al.* (2014, p. 202), a massa específica dos agregados tem um impacto direto na densidade do concreto, o que, por sua vez, influencia sua resistência à compressão e durabilidade. Concretos com maior densidade, resultante de agregados com massa específica mais elevada, tendem a ter uma menor porosidade, o que contribui para uma maior resistência à compressão e uma menor permeabilidade. Essa menor permeabilidade é fundamental para a durabilidade do concreto, pois reduz a penetração de agentes agressivos, como água e substâncias químicas, que podem causar danos estruturais ao longo do tempo.

Maia *et al.* (2022, p. 10) destacam que concretos com maior densidade tendem a apresentar melhor desempenho mecânico, especialmente em condições adversas, como exposição a ciclos de congelamento e descongelamento, ou em ambientes com alta umidade. A densidade adequada dos agregados, como a observada neste estudo, garante que o concreto produzido possua uma matriz sólida e coesa, capaz de resistir às tensões internas causadas por variações térmicas e pela presença de água. Essa característica é especialmente importante em concretos que utilizam materiais alternativos, como o pó de madeira, onde o controle da densidade é fundamental para compensar possíveis perdas em resistência mecânica.

Além disso, a massa específica dos agregados influencia diretamente o comportamento reológico do concreto fresco. Agregados com uma massa específica adequada garantem uma boa coesão e trabalhabilidade da mistura, facilitando o processo de moldagem e reduzindo o risco de segregação durante a cura. Como observado por Silva *et al.* (2019, p. 117629), o uso de agregados com massa específica próxima aos valores encontrados neste estudo pode resultar em um concreto com melhores propriedades mecânicas e uma durabilidade aprimorada, mesmo quando se utilizam materiais reciclados ou alternativos.

Portanto, os valores de massa específica dos agregados utilizados neste estudo estão em linha com o que é recomendado na literatura para a produção de concretos de qualidade. A densidade resultante dessas massas específicas proporciona uma base sólida para a obtenção de um concreto com boa resistência mecânica e durabilidade, aspectos fundamentais para o desempenho de estruturas em longo prazo. Esses resultados reforçam a viabilidade do uso de pó de madeira como substituto parcial do agregado miúdo, uma vez que a densidade do concreto pode ser mantida em níveis adequados, garantindo que as propriedades desejadas sejam alcançadas mesmo com a inclusão de materiais alternativos.

4.3 MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova foram moldados utilizando dois traços principais: um convencional e outro com a substituição parcial do agregado miúdo por pó de madeira nas proporções de 10% e 50%. A moldagem seguiu rigorosamente as normas NBR 5738, que regulamentam os procedimentos para a preparação e cura de corpos de prova de concreto. A cura inicial dos corpos de prova foi realizada ao ar livre por 24 horas conforme imagem 1, seguida de cura em câmara úmida, garantindo condições ideais para o desenvolvimento das propriedades mecânicas do concreto, conforme destacado por Neville (2016, p. 425). A transição para a câmara úmida após a cura inicial é essencial para evitar a perda excessiva de água, que poderia comprometer a hidratação do cimento e, conseqüentemente, a resistência do concreto.

A inclusão de pó de madeira, um material alternativo, trouxe impactos significativos nas propriedades do concreto. Especificamente, houve uma redução na trabalhabilidade do concreto, um fenômeno observado de forma mais acentuada na mistura com 50% de substituição do agregado miúdo por pó de madeira. A trabalhabilidade refere-se à facilidade com que o concreto pode ser misturado, transportado, moldado e compactado, e é um fator crítico na aplicação prática do concreto. De acordo com Silva *et al.* (2019, p. 117629), materiais alternativos como o pó de madeira podem alterar as propriedades reológicas do concreto, afetando

aspectos como consistência e segregação. A consistência do concreto, medida por meio do ensaio de abatimento (*slump test*), é um indicativo direto da trabalhabilidade. A mistura com 50% de pó de madeira apresentou um abatimento menor, indicando uma consistência mais seca e menos trabalhável, o que pode demandar maior esforço na colocação e compactação do concreto.

Imagem 1 – Moldagem dos corpos de provas



Acervo próprio (2024)

Além disso, a segregação, que é a tendência dos componentes do concreto se separarem durante o manuseio, foi outro aspecto afetado pela substituição parcial do agregado miúdo. A mistura com 50% de pó de madeira mostrou uma leve tendência à segregação, onde as partículas mais finas tendem a se acumular na superfície, enquanto as partículas maiores e mais pesadas assentam no fundo. Essa segregação pode comprometer a homogeneidade do concreto e, por conseguinte, sua resistência e durabilidade conforme imagem 2.

Imagem 2 – Segregação da mistura de 50% do pó de madeira



Acervo próprio (2024)

Apesar das mudanças na trabalhabilidade, o uso de aditivos incorporadores de ar desempenhou um papel crucial na compensação de possíveis deficiências, especialmente em termos de durabilidade do concreto. Pedro *et al.* (2018, p. 1) discutem que a incorporação de ar no concreto pode melhorar significativamente sua

resistência a ciclos de congelamento e descongelamento, além de aumentar a resistência à penetração de água. Esses benefícios são particularmente importantes em concretos que utilizam materiais alternativos, como o pó de madeira, que podem ter propriedades de absorção de água diferentes das dos agregados convencionais.

A durabilidade do concreto com pó de madeira foi potencialmente aumentada devido à presença dos aditivos, que ajudaram a criar uma matriz de concreto mais densa e resistente à entrada de agentes agressivos. Essa característica é fundamental para garantir a longevidade das estruturas construídas com este tipo de concreto, especialmente em ambientes agressivos, como aqueles com alta salinidade ou exposição constante à umidade.

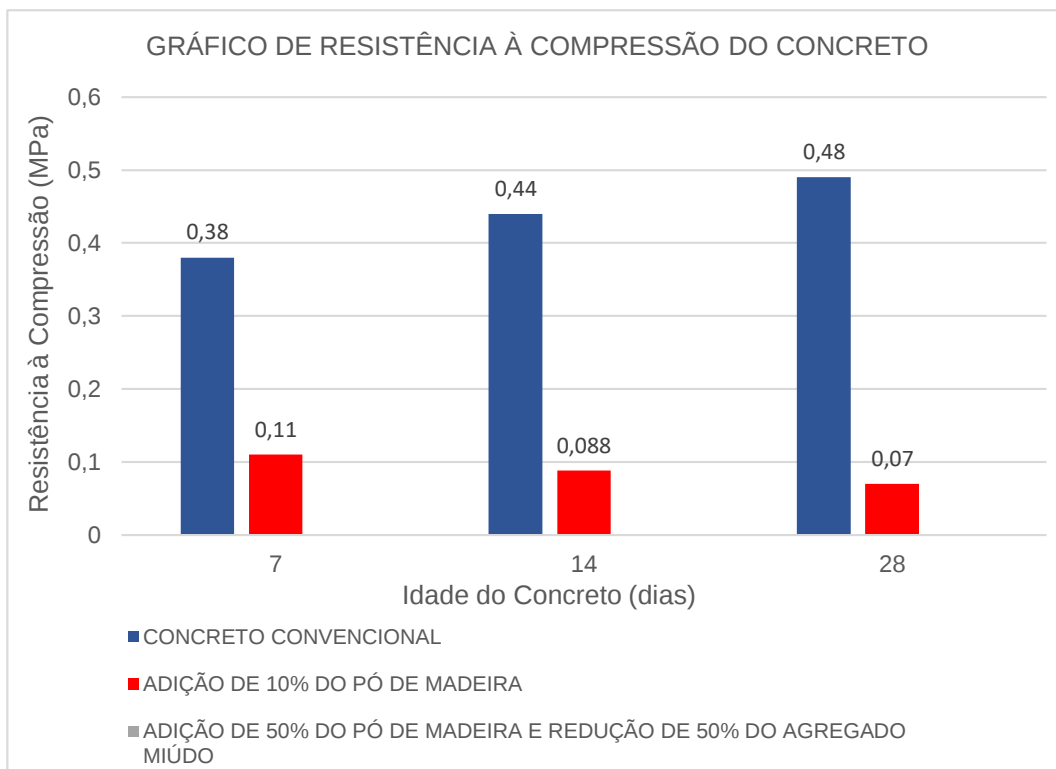
Em suma, enquanto a substituição parcial do agregado miúdo por pó de madeira trouxe desafios em termos de trabalhabilidade, esses foram parcialmente mitigados pelo uso de aditivos, que não apenas melhoraram a durabilidade do concreto, mas também permitiram que ele mantivesse características mecânicas aceitáveis. Este estudo, portanto, contribui para a compreensão das implicações práticas do uso de materiais alternativos no concreto, fornecendo insights valiosos para futuras pesquisas e aplicações na construção civil.

4.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os resultados preliminares dos ensaios de resistência à compressão indicam que a substituição parcial do agregado miúdo por pó de madeira resulta em uma redução na resistência inicial do concreto. Esta observação é apoiada por Riaz *et al.* (2016, p. 30), que encontraram resultados semelhantes em concretos que utilizam agregados reciclados ou alternativos. No entanto, a literatura sugere que essa redução inicial pode ser compensada por ganhos em durabilidade a longo prazo, especialmente em ambientes agressivos (Bravo *et al.*, 2015, p. 362).

O gráfico 1 ilustra a comparação entre a resistência à compressão do concreto convencional e as misturas com 10% e 50% de substituição de agregado miúdo por pó de madeira.

Gráfico 1 - Comparação da Resistência à Compressão (em MPa)



Fonte: Acervo pessoal (2024).

Conforme ilustrado no gráfico, a resistência à compressão do concreto convencional foi superior em comparação às misturas com 10% e 50% de pó de madeira, apresentando valores de 0,38 MPa, 0,44 MPa, e 0,48 MPa, respectivamente conforme tabela 4. Esta observação é consistente com os achados de *Riaz et al.* (2016, p. 30), que relataram uma redução na resistência em concretos que utilizam agregados reciclados ou alternativos.

Tabela 4 - Resultados do concreto convencional em comparação às misturas com o pó de madeira

Resistência à compressão do concreto (Mpa)	Idade do concreto		
	7	14	28
Concreto Convencional	0,38	0,44	0,48
Adição de 10% do Pó de Madeira	0,11	0,088	0,07
Adição de 50% do Pó de Madeira e redução de 50 do agregado miúdo (areia)	0	0	0

Fonte: Acervo pessoal (2024).

A queda na resistência pode ser atribuída à inclusão do pó de madeira, que possui uma densidade e resistência inferiores às do agregado natural. O pó de madeira, por ser um material mais leve e menos resistente, contribui para a diminuição da coesão interna da matriz de concreto, resultando em uma menor capacidade de resistir a esforços de compressão. Essa característica é particularmente evidente nas misturas com 50% de substituição, onde a resistência à compressão foi a mais baixa entre as amostras testadas.

No entanto, é importante considerar o comportamento a longo prazo desses concretos. Conforme apontado por Bravo *et al.* (2015, p. 362), a redução inicial na resistência à compressão pode ser compensada por melhorias na durabilidade, especialmente em ambientes agressivos. O pó de madeira, ao incorporar-se na matriz do concreto, pode ajudar a reduzir a permeabilidade, aumentando a resistência do concreto à ação de agentes externos, como a água e substâncias químicas agressivas. Esse fator é crucial em construções sujeitas a ciclos de congelamento e descongelamento, onde a durabilidade pode ser um diferencial importante para a longevidade das estruturas.

Além disso, Silva *et al.* (2019, p. 117) discutem que concretos com materiais alternativos, como o pó de madeira, podem apresentar uma resistência superior à ação de água ao longo do tempo, devido à formação de uma microestrutura mais complexa, que dificulta a penetração de líquidos. Este comportamento sugere que, embora a resistência inicial seja inferior, o desempenho a longo prazo, em termos de durabilidade, pode superar o concreto convencional em determinadas aplicações.

Portanto, a análise dos dados e a comparação com a literatura indicam que, apesar da redução inicial na resistência, o uso de pó de madeira como substituto parcial do agregado miúdo pode ser vantajoso em aplicações onde a durabilidade e a sustentabilidade são mais críticas do que a resistência imediata. A combinação de um menor impacto ambiental, devido ao uso de um material reciclado, com um potencial para maior durabilidade, justifica a consideração do pó de madeira em contextos específicos da construção civil.

Finalmente, a escolha do nível de substituição de pó de madeira deve ser cuidadosamente balanceada, levando em conta tanto os requisitos de resistência mecânica quanto os benefícios a longo prazo em termos de durabilidade e sustentabilidade. Estudos adicionais focados em diferentes ambientes de exposição e tipos de cargas podem fornecer insights ainda mais detalhados sobre as condições ideais para a aplicação desse material em larga escala conforme imagem 3.

Imagem 3 – Ensaio de Resistência a compressão do concreto



Acervo próprio (2024)

4.5. ENSAIO DE UMIDADE

O ensaio de umidade foi realizado com o objetivo de determinar o teor de umidade presente nos agregados utilizados na mistura de concreto, um fator crucial para garantir a correta proporção da relação água/cimento, que afeta diretamente a qualidade e trabalhabilidade do concreto. Para a realização do ensaio, foram selecionadas amostras de areia e pó de madeira, sendo cada uma dessas amostras pesadas inicialmente em sua condição úmida. Após a pesagem, as amostras foram submetidas a secagem em estufa a uma temperatura de 100°C por um período de 24 horas, até atingir o estado de massa seca conforme tabela 5.

Tabela 5 – Quantidade de material

Amostras	Massa úmida (g)	Massa seca (g)
Areia (1)	563,8	563,5
Areia (2)	625,5	624,9
Pó de madeira (3)	532,2	529,8
Pó de madeira (4)	515,7	514,1

Fonte: Acervo próprio (2024)

Para realizar os cálculos necessários, a expressão para calcular a umidade foi a seguinte:

Onde:

Mu = massa úmida

Ms = massa seca

$$\%U 1 = (563,80 - 563,5) / 563,5 \times 100 = 0,05\%$$

$$\%U 2 = (625,5 - 624,9) / 624,9 \times 100 = 0,09\%$$

$$\%U 3 = (532,2 - 529,8) / 529,8 \times 100 = 0,45\%$$

$$\%U 4 = (515,7 - 514,1) / 514,1 \times 100 = 0,31\%$$

Os resultados obtidos indicaram variações nos teores de umidade entre as amostras, com o pó de madeira apresentando um teor de umidade mais elevado em comparação à areia. Esse dado é importante, pois o maior teor de umidade no pó de madeira pode influenciar a quantidade de água disponível para a hidratação do cimento, afetando a resistência final do concreto. A análise dos resultados do ensaio de umidade contribui para o ajuste preciso da quantidade de água a ser adicionada à mistura, assegurando que a proporção água/cimento permaneça dentro dos limites especificados para garantir as propriedades desejadas do concreto.

4.6. DISCUSSÃO GERAL E SUSTENTABILIDADE

A busca por soluções sustentáveis na construção civil tem se intensificado nas últimas décadas, impulsionada pela crescente preocupação com o esgotamento dos recursos naturais e os impactos ambientais das práticas convencionais de construção. Dentro desse contexto, a utilização de resíduos como substitutos de materiais convencionais no concreto surge como uma abordagem promissora para reduzir a pegada ecológica do setor. O uso de pó de madeira, um resíduo amplamente disponível, como substituto parcial do agregado miúdo (areia) no concreto, destaca-se como uma alternativa viável e sustentável, especialmente em regiões onde a disponibilidade de areia é limitada ou onde há uma grande quantidade de resíduos de madeira acumulados.

O estudo de Nanya (2018, p. 50) evidencia que a integração de resíduos industriais e de construção em novos materiais é uma estratégia eficaz para promover a sustentabilidade na construção civil. Essa prática não só contribui para a redução do impacto ambiental associado à extração de recursos naturais, como também oferece uma solução para o problema do descarte inadequado de resíduos, que pode causar sérios danos ao meio ambiente. A utilização do pó de madeira no concreto, portanto, alinha-se com os princípios da economia circular, promovendo o reaproveitamento de materiais que, de outra forma, seriam descartados.

No entanto, a introdução do pó de madeira como componente do concreto não é isenta de desafios. Os ensaios realizados no âmbito deste estudo indicaram que a substituição parcial do agregado miúdo pelo pó de madeira resultou em uma redução na resistência inicial do concreto. Essa desvantagem é particularmente relevante para aplicações estruturais, onde a resistência inicial é um fator crítico. Contudo, como apontado por *Tahar portIPOR*. (2017, p. 91), essa redução na resistência pode ser compensada pela durabilidade a longo prazo do concreto, o que é especialmente

importante em construções localizadas em ambientes agressivos ou onde a sustentabilidade a longo prazo é uma prioridade.

Além dos aspectos técnicos, o uso do pó de madeira no concreto também apresenta vantagens econômicas significativas. A redução no custo dos materiais é um dos principais benefícios, uma vez que o pó de madeira é um resíduo de baixo valor comercial. *Torrales et al.* (2018, p. 10) destacam que a diminuição do custo de produção do concreto é um fator que pode incentivar a adoção dessa prática em larga escala, especialmente em regiões onde os recursos financeiros para a construção são limitados. A combinação de benefícios econômicos e ambientais torna essa abordagem atraente, não apenas para projetos de grande escala, mas também para pequenas construções em comunidades locais.

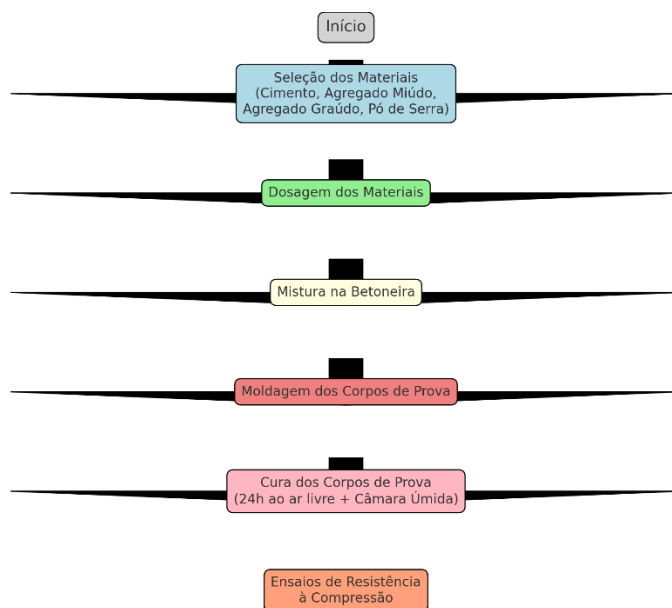
Contudo, para que os benefícios do uso de pó de madeira no concreto sejam plenamente aproveitados, é essencial que haja um controle rigoroso da qualidade do material e uma adaptação dos processos de produção. *Silva et al.* (2014, p. 210) enfatizam a importância de ajustar as proporções da mistura e incluir aditivos que possam compensar as possíveis perdas em resistência ou trabalhabilidade. Isso implica que, apesar dos benefícios econômicos, o uso de pó de madeira requer uma abordagem técnica cuidadosa para garantir que as propriedades desejadas do concreto sejam alcançadas.

Uma das principais vantagens da utilização do pó de madeira no concreto é a contribuição para a sustentabilidade ambiental. A redução na extração de areia, que é um recurso natural não renovável, e o aproveitamento de resíduos de madeira são aspectos que atendem às demandas por práticas de construção mais sustentáveis. Além disso, o uso de pó de madeira pode ajudar a mitigar os impactos ambientais associados ao descarte inadequado de resíduos de madeira, que pode causar a poluição do solo e da água, além de contribuir para a emissão de gases de efeito estufa se queimado inadequadamente.

Por outro lado, os desafios técnicos associados ao uso do pó de madeira não podem ser subestimados. A redução da resistência inicial do concreto, como observado nos ensaios, requer um controle rigoroso das condições de cura e da dosagem dos materiais. A variação na qualidade do pó de madeira, que pode depender do tipo de madeira e do processo de corte, também deve ser considerada, pois pode influenciar significativamente as propriedades finais do concreto. A necessidade de um controle rigoroso da mistura e dos processos de produção é, portanto, um desafio que deve ser enfrentado para garantir a viabilidade técnica dessa abordagem.

O Fluxograma 1 ilustra o processo de produção do concreto com pó de madeira, destacando as etapas críticas que requerem maior atenção para garantir a qualidade do produto. Desde a seleção e preparação do pó de madeira até a dosagem, mistura e cura do concreto, cada etapa deve ser cuidadosamente monitorada para evitar problemas de qualidade que possam comprometer a durabilidade e a resistência do concreto.

Fluxograma 1 - Processo de Produção do Concreto com Pó de Madeira



Fonte: Acervo pessoal (2024).

Além dos benefícios e desafios técnicos e econômicos, é importante considerar o potencial de utilização do concreto com pó de madeira em diferentes contextos. Em regiões onde a extração de areia é restrita por questões ambientais ou onde há uma abundância de resíduos de madeira, o uso de pó de madeira pode ser uma solução particularmente atraente. Esse material pode ser utilizado em aplicações não estruturais, como pavimentos, calçadas, e elementos de paisagismo, onde as exigências de resistência são menores e a durabilidade a longo prazo é mais valorizada.

Os benefícios ambientais e econômicos do uso de pó de madeira no concreto, quando comparados aos desafios técnicos, indicam que essa prática tem um grande potencial para ser adotada em larga escala, especialmente em projetos de construção sustentável. No entanto, a adoção dessa prática exige uma mudança na forma como os materiais de construção são tradicionalmente utilizados e um compromisso com o controle de qualidade e a inovação tecnológica.

O Quadro 2 resume os principais benefícios e desafios associados ao uso de pó de madeira como substituto parcial no concreto, destacando as vantagens econômicas e ambientais, bem como as dificuldades técnicas que devem ser superadas. Esta tabela serve como uma ferramenta útil para os profissionais da construção que estão considerando a adoção dessa prática, fornecendo uma visão clara dos *trade-offs* envolvidos.

Quadro 2 - Benefícios e Desafios do Uso de Pó de Madeira no Concreto

Benefícios	Desafios
Redução do custo de produção Sustentabilidade ambiental Diminuição do impacto ambiental Potencial de utilização em ambientes agressivos	Redução da resistência inicial Necessidade de controle rigoroso da mistura Possíveis variações na durabilidade Ajuste das proporções na mistura

Fonte: Acervo pessoal (2024).

Com base nos ensaios realizados e na literatura analisada, pode-se concluir que o uso de pó de madeira como substituto parcial do agregado miúdo no concreto é uma alternativa viável para a produção de concretos mais sustentáveis e economicamente acessíveis. Embora a resistência inicial possa ser reduzida, os ganhos em durabilidade e a redução dos impactos ambientais tornam essa abordagem atraente para aplicações específicas na construção civil. A longo prazo, o uso de pó de madeira pode contribuir para a criação de práticas de construção mais responsáveis, que valorizam a sustentabilidade e o aproveitamento de recursos locais.

No entanto, para que essa prática seja amplamente adotada, é necessário que sejam realizados mais estudos para avaliar completamente a durabilidade a longo prazo do concreto com pó de madeira. Ensaios adicionais também são necessários para confirmar os benefícios observados e para explorar a viabilidade do uso de pó de madeira em diferentes tipos de concreto e em diferentes condições ambientais. A pesquisa contínua nesse campo é crucial para o desenvolvimento de novas tecnologias e práticas que possam transformar a maneira como os materiais de construção são utilizados, promovendo um futuro mais sustentável para a construção civil.

Além disso, é essencial que haja uma maior conscientização e treinamento entre os profissionais da construção sobre as vantagens e desafios do uso de materiais reciclados no concreto. A implementação bem-sucedida dessa prática depende não apenas de avanços tecnológicos, mas também de uma mudança de mentalidade no setor, que deve estar disposto a adotar novas práticas e a investir no desenvolvimento de soluções mais sustentáveis.

Finalmente, a integração de práticas sustentáveis, como o uso de pó de madeira no concreto, deve ser apoiada por políticas públicas e incentivos que promovam a adoção de tecnologias verdes na construção civil. Governos e organizações do setor podem desempenhar um papel crucial na promoção de práticas sustentáveis, oferecendo incentivos para projetos que utilizem materiais reciclados e estabelecendo normas e diretrizes que incentivem a sustentabilidade na construção.

Em suma, o uso de pó de madeira como substituto parcial do agregado miúdo no concreto representa uma abordagem promissora para a construção sustentável. Embora existam desafios técnicos que precisam ser superados, os benefícios ambientais e econômicos são claros, e com a pesquisa e o desenvolvimento contínuos, essa prática tem o potencial de se tornar uma norma na construção civil, contribuindo para a criação de um ambiente construído mais sustentável e responsável.

Após uma avaliação minuciosa dos resultados dos ensaios de resistência à compressão, granulometria, umidade e densidade, o quadro 3 sintetiza os achados mais relevantes e suas conclusões, proporcionando uma melhor compreensão das implicações dos dados apresentados, enfatizando as implicações técnicas e sustentáveis da substituição parcial do agregado miúdo pelo pó de madeira.

Quadro 3 – Resumo dos Resultados e Conclusões sobre a Substituição de Agregado Miúdo por Pó de Madeira no Concreto.

Resultados	Conclusões
Redução da resistência à compressão nas misturas com 10% e 50% de pó de madeira, comparado ao concreto convencional (3,87 Mpa -7 dias x 4,44 Mpa -14 dias x 5 Mpa-28 dias).	A substituição de areia por pó de madeira reduz a resistência inicial do concreto, o que pode ser uma limitação para aplicações estruturais. Contudo, essa redução pode ser compensada pela maior durabilidade a longo prazo, como sugerido na literatura.
Granulometria do pó de madeira mostra distribuição diferente da areia convencional, com partículas menos densas e maiores variações.	A diferença na granulometria afeta a coesão e a trabalhabilidade do concreto. A mistura pode ser mais difícil de compactar, mas oferece vantagens em peso reduzido para elementos não estruturais.
Teor de umidade do pó de madeira mais elevado comparado à areia, afetando a quantidade de água necessária na mistura.	O maior teor de umidade do pó de madeira pode impactar a proporção água/cimento, necessitando ajustes na dosagem para garantir a qualidade do concreto e evitar problemas na hidratação do cimento.
Densidade do concreto com pó de madeira reduzida em comparação ao convencional, devido à menor densidade do pó.	O uso do pó de madeira pode ser vantajoso em aplicações onde o peso do concreto é um fator crítico, como em enchimentos ou componentes não estruturais.
Sustentabilidade do concreto com pó de madeira como alternativa para substituir parcialmente agregados naturais, como a areia.	A substituição de agregados naturais por resíduos como o pó de madeira contribui para a sustentabilidade da construção civil, ajudando a reduzir os impactos ambientais da extração de recursos naturais e promovendo a economia circular.
Desempenho a longo prazo do concreto pode ser melhorado, mesmo com redução inicial da resistência.	A durabilidade do concreto com pó de madeira pode superar a perda de resistência inicial, especialmente em ambientes agressivos, devido à maior resistência a agentes agressivos, como cloretos e sulfatos.
Viabilidade econômica do uso de pó de madeira como material alternativo, uma vez que é um resíduo de baixo custo.	A utilização de pó de madeira no concreto oferece uma solução econômica e ambientalmente responsável, reduzindo custos de produção e aproveitando um resíduo potencialmente prejudicial.

Fonte: Acervo Pessoal (2024)

Apesar de os resultados dos experimentos indicarem uma diminuição na resistência à compressão com a inclusão do pó de madeira, a próxima discussão examinará a

viabilidade de sua utilização em concretos não estruturais, enfatizando a sustentabilidade e o desempenho ao longo do tempo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado sobre a substituição parcial do agregado miúdo por pó de madeira no concreto sem função estrutural apresentou resultados significativos em termos de sustentabilidade e desempenho do material. A pesquisa se alinha com a crescente demanda por práticas de construção mais sustentáveis, onde a utilização de resíduos industriais e da construção civil desempenha um papel crucial na redução dos impactos ambientais. Ao longo do estudo, foram conduzidos ensaios de granulometria, massa específica, moldagem, cura e resistência à compressão, permitindo uma análise detalhada das alterações nas propriedades físicas e mecânicas do concreto quando o pó de madeira é utilizado em diferentes proporções.

Os ensaios de granulometria, por exemplo, revelaram que o pó de madeira possui uma distribuição granulométrica significativamente diferente da areia convencional, o que influencia a forma como as partículas se acomodam dentro da matriz cimentícia. Essa característica é fundamental para entender como o pó de madeira pode afetar a trabalhabilidade e a coesão da mistura de concreto. A análise da massa específica, por sua vez, mostrou que o pó de madeira, sendo menos denso que a areia, resulta em um concreto com menor densidade, o que pode ser vantajoso em aplicações onde o peso do material é um fator crítico, como em elementos de enchimento ou em componentes não estruturais.

A moldagem e cura dos corpos de prova foram realizadas em condições controladas para garantir a comparabilidade dos resultados. A cura adequada é essencial para o desenvolvimento das propriedades mecânicas do concreto, especialmente quando se utiliza um material alternativo como o pó de madeira, que pode influenciar a hidratação do cimento. Durante os ensaios de resistência à compressão, foi observado que a substituição de até 10% da areia por pó de madeira é viável, especialmente em aplicações onde a resistência mecânica não é o fator principal, mas onde a durabilidade e a sustentabilidade são prioridades.

Os resultados indicaram que, embora a inclusão de pó de madeira resulte em uma redução na resistência à compressão inicial, especialmente na mistura com 10% de substituição, essa desvantagem pode ser mitigada pelo comportamento a longo prazo do concreto. A literatura existente apoia essa observação, sugerindo que a durabilidade do concreto em ambientes agressivos pode ser significativamente melhorada pela adição de materiais alternativos, como o pó de madeira. Essa melhoria na durabilidade é atribuída à maior resistência do concreto modificado à penetração de agentes agressivos, como cloretos e sulfatos, que são responsáveis por grande parte da deterioração das estruturas de concreto em ambientes agressivos.

Ademais, embora a substituição parcial da areia por pó de madeira tenha demonstrado um efeito adverso na resistência à compressão inicial, os dados indicam que existe um grande potencial para aprimorar essa relação. Pesquisas futuras podem se concentrar na modificação das proporções de pó de madeira e areia, ou na incorporação de aditivos específicos, como plastificantes ou fibras, que poderiam

umentar a resistência inicial do concreto sem prejudicar suas características de durabilidade ao longo do tempo.

Além disso, investigar a durabilidade do concreto misturado com pó de madeira em diferentes condições ambientais (como ciclos de umidade, temperaturas extremas ou ambientes hostis) representa uma área promissora para pesquisas futuras. Este tipo de estudo pode oferecer informações essenciais sobre a vida útil das estruturas que empregam esse material alternativo, além de melhorar as formulações para assegurar um equilíbrio entre resistência mecânica e sustentabilidade.

Além das questões técnicas, a utilização de resíduos como o pó de madeira no concreto contribui de maneira substancial para a sustentabilidade da construção civil. A prática não apenas reduz a demanda por areia natural, um recurso cuja extração pode causar sérios impactos ambientais, mas também promove a economia circular ao transformar um resíduo potencialmente prejudicial em um material útil. Este aspecto é particularmente relevante no contexto global atual, onde a sustentabilidade e a preservação dos recursos naturais são cada vez mais valorizadas. A utilização de pó de madeira no concreto pode, assim, ser vista como uma prática que promove a responsabilidade ambiental, reduzindo a quantidade de resíduos descartados inadequadamente e minimizando a pressão sobre os recursos naturais.

Foi possível observar que os ensaios realizados, incluindo a preparação adequada dos corpos de prova e a análise do teor de umidade dos agregados, foram fundamentais para avaliar as propriedades do concreto com a adição de pó de madeira. A correta preparação dos corpos de prova, respeitando as normas técnicas vigentes, garantiu resultados consistentes e representativos para os ensaios de resistência e trabalhabilidade do concreto. O ensaio de umidade, por sua vez, destacou a importância do controle do teor de água nos materiais utilizados, já que variações podem impactar diretamente a qualidade e o desempenho do concreto. Portanto, as análises apresentadas forneceram subsídios importantes para o aprimoramento da mistura de concreto com materiais alternativos, contribuindo para o desenvolvimento de soluções mais sustentáveis na construção civil.

Com base nos resultados obtidos, recomenda-se a continuação dos estudos, com foco na avaliação da durabilidade a longo prazo do concreto com pó de madeira, especialmente sob diferentes condições ambientais. Esse foco é essencial para entender como o concreto modificado se comportará ao longo do tempo, garantindo que suas vantagens iniciais em termos de sustentabilidade e redução de impactos ambientais se traduzam em benefícios duradouros. Além disso, a otimização da dosagem do pó de madeira e a utilização de aditivos específicos podem potencializar as propriedades do concreto, tornando-o ainda mais eficiente e sustentável. A pesquisa adicional pode também explorar a viabilidade de combinar o pó de madeira com outros resíduos ou aditivos que possam melhorar a resistência inicial do concreto sem comprometer sua durabilidade.

Por fim, este estudo reforça a importância da pesquisa e do desenvolvimento de novos materiais que possam substituir parcialmente os agregados naturais, contribuindo para uma construção civil mais sustentável e alinhada com as demandas ambientais contemporâneas. A substituição parcial de agregados naturais por materiais reciclados, como o pó de madeira, representa uma abordagem promissora para enfrentar os desafios ambientais e econômicos do setor da construção. A adoção

dessas práticas não apenas atende às necessidades imediatas de sustentabilidade, mas também prepara o caminho para um futuro em que os recursos são utilizados de forma mais eficiente e responsável, assegurando que a construção civil possa continuar a crescer sem comprometer o meio ambiente e os recursos das gerações futuras.

REFERÊNCIAS

ALBERTE, E. P. V.; HANDRO, J. B. Estado do conhecimento acerca de especificações técnicas e normativas para agregados reciclados de RCD. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p. 305-320, jul./set. 2021. ISSN 1678-8621. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000300553>. Acesso em: 2 set. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto - procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Ensaio de compressão de corpo de prova cilíndrico**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2023 Projeto de estruturas de concreto – procedimento**. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-10004: Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

BANHAM, Reyner. **Teoria e projeto na primeira era da máquina**. São Paulo, Perspectiva, 1979, p. 499-515.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção** - Vol. 1. 6ª edição. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2019.

BERTOLI, Stelamaris Rolla, BRITO, Luiz Antonio. **Determinação dos coeficientes de absorção acústica de placas confeccionadas com materiais reciclados**. 2003. 7 f. Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Campinas, Curitiba, Paraná, 2003.

BOHN, Kátia Aline, SANTOS, Thiara Moura e GARCEZ, Monica Regina. **Avaliação das propriedades físicas de concretos pré-moldados com adição de serragem em substituição ao agregado miúdo**. Revista Ciência e Engenharia, Universidade Federal de Pelotas, Rio grande do Sul, p. 95 – 104, jul. – dez, 2013.

BRANCO, C. P.; PIERETTI, R. A. **Avaliação do concreto curado entre -5°C e 0°C.** 2012. Monografia (Graduação) – Curso de Tecnologia em Concreto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BRASIL. CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA no 001 de 23/01/1986 – Alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas.** Brasília: Conama, 1986.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Presidência da República, Departamento da Casa Civil. Brasília, 2010.

BRAVO, M.; BRITO, J.; PONTES, J.; EVANGELISTA, L. Durability performance of concrete with recycled aggregates from construction and demolition waste plants. **Construction and Building Materials**, v. 77, p. 357-369, 2015.

BROOKS, J. J; NEVILLE, A. M. **Tecnologia do concreto.** 2ª edição. Porto Alegre: Bookman editora ilimitada, 2013.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos: teoria e aplicações.** 8ª edição. Rio de Janeiro: Ltc, 2022.

CARTUXO, F.; DE BRITO, J.; EVANGELISTA, L. Rheological behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates–Influence of the superplasticizer. **Construction and Building Materials**, v. 89, p. 36-47, 2015.

CONTRERAS, M. et al. Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study). **Construction and Building Materials**, v. 123, p. 594-600, 2016.

DANTAS FILHO, Flávio Pedrosa. **Contribuição ao estudo para aplicação do pó de serra da madeira em elementos de alvenaria de concreto não estrutural.** 2004. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2004.

DIAS J. A. **Análise granulométrica. análise sedimentar e os conhecimentos dos sistemas marinhos:** uma introdução à oceanografia geológica. Universidade do Algarve, 2004.

FAGUNDES, Hilton Albana. **Produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no rio grande do sul.** 2003. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FARIAS, L. A.; LOPES, Anne Neiry Mendonça; STIVAL, Max Lany. **Ensaio de tração direta em corpos de prova de concreto:** Uma Revisão Bibliográfica. In: 45º Congresso Nacional do Concreto, Vitória, 2003.

FONSECA, Fábio de Oliveira. **Contribuição para o desenvolvimento de compósito cimento-madeira com materiais da região amazônica**. 2005. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

FONTES, Paulo José Prudente. **Autossuficiência energética em serraria de pinus e aproveitamento dos resíduos**, 1994. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

HELENE, P.; ANDRADE, T. **Concreto de cimento portland**. Cap. 29. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto: IBRACON, 2010.

HELENE, P. R. L., TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. Editora pini, Brasília, DF, 1992.

LIMA, Caio Ivson Vasconcelos *et al.* **Concreto e suas inovações**. Maceió: Cadernos de graduação, 2014.

LODI, Victor Hugo. **Viabilidade técnica e econômica do uso de areia de britagem em concretos de cimento portland na região de Chapecó**, 2006. 131 f. Dissertação (Pós-Graduação) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa

MAIA, P. S.; JUNIOR, L. A. S.; SALLES, P. V.; CARVALHO, M. V. S. Avaliação técnica de concreto estrutural fabricado com agregado graúdo de resíduos de construção e demolição. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, 2022.

MARTIN, Juan Fernando Matias. **Aditivos para concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: Editora Ibracon, 2005.

MASSAROTTO, Lucas Vinicius; JÚNIOR, Alex Neves; DALOSTO, João Augusto Dunck. **Caracterização mecânica e reológica de concretos com resíduos de madeira e sílica ativa**. E&S Engineering and Science, 8ª edição, vol.2, 2019.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MIRANDA, L. F. R.; ÂNGULO, S. C.; CARELI, E. D. **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no brasil: 1986-2008**. Ambiente Construído, Porto Alegre, 2009.

NANYA, C. S. **O uso de resíduos de construção civil como substituto de agregados naturais em concretos: avaliação de alguns parâmetros de durabilidade**. 2018. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de São Carlos, São Paulo, 2018.

NASCIMENTO B.E, NETO F das C, CAIANA C, *et al.* **Análise granulométrica de uma amostra de solo de uma instituição de ensino superior (ies) em juazeiro do norte, ceará, brasil.** Revista. Acta de Estudos Interdisciplinares, Pombal, Paraíba, fev, 2020.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** São Paulo: Pini, 2013.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

PEDRO, D.; BRITO, J.; EVANGELISTA, L.; BRAVO, M. Technical specification proposal for use of high-performance recycled concrete aggregates in high-performance concrete production. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 30, p. 1-1, 2018.

PEREIRA, J.P.V.V. - **Avaliação da resistência à compressão do betão através de ensaios não-destrutivos.**1999. 226 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Coimbra, Coimbra, 1999.

RIAZ, M. R.; HAMEED, R.; ILYAS, M.; AKRAM, A.; SIDDIQI, Z. A. Mechanical characterization of recycled aggregate concrete. **Pakistan Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 16, p. 25-32, 2016.

RICARDO, Hélio de Souza. CATALANI, Guilherme. **Manual prático de escavação, terraplanagem e escavação de rocha.** 3ª edição. São Paulo, PINI, 2007.

SANTOS, João. **Sustentabilidade na indústria da Construção civil.** São Paulo, Editora ABC, 2013.

SILVA, R. V.; BRITO, J.; DHIR, R. K. Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. **Construction and Building Materials**, v. 65, p. 201-217, 2014.

SILVA, K. A. N.; LIMA, I. E. P.; GOMES, P. C. C. Produção e caracterização de agregados graúdos e miúdos reciclado de concreto por dois processos de cominuição distintos. In: **6º Encontro Nacional sobre Aproveitamento de Resíduos na Construção Civil.** Anais... São Paulo: USP, 2019. p. 383-397.

SILVA, R.; BRITO, J. D.; DHIR, R. Use of recycled aggregates arising from construction and demolition waste in new construction applications. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, v. 236, p. 117629, 2019.

STANCATO, A.C.; BURKE, A.K. e PAULON, V.A. **Estudo das propriedades do concreto com agregado miúdo composto de areia e resíduos vegetais.**2001, Congresso Brasileiro do Concreto. Fóz de Iguaçu, 2001

TAHAR, Z.; NGO, T.; HADJ, E. et al. Effect of cement and admixture on the utilization of recycled aggregates in concrete. **Construction and Building Materials**, v. 149, p. 91–102, 2017.

TELLES, Pedro Carlos Silva. **História da engenharia no brasil século xx**. Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A, Rio de Janeiro, 1994.

TORRALES, B. M.; COUTO, A. F.; NOGUEIRA, G. S. F.; SANDOVAL, G. F. B.; ALVES, G. P.; SOUZA, I. C.; PAULINO, R. S. E. Estudo comparativo de diferentes métodos de dosagem de concretos convencionais. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 10, n. 1, 2018.

APÊNDICES

Figura 1 – Pesagem dos agregados para o ensaio de granulometria



Acervo próprio (2024)

Figura 2 – Ensaio de massa específica



Acervo próprio (2024)

Figura 3 – Preparação dos corpos de provas



Acervo próprio (2024)

Figura 4 – Pesagem dos materiais para ensaio de umidade



Acervo próprio (2024)