

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA CIVIL
JOVANA MOSCARDINI COSTA

ANÁLISE DO USO DE CONCRETO PRODUZIDO COM MATERIAIS RECICLÁVEIS
NA OBRA RESERVA DAS FLORES EM BOA ESPERANÇA-MG

Varginha
2024

JOVANA MOSCARDINI COSTA

**ANÁLISE DO USO DE CONCRETO PRODUZIDO COM MATERIAIS RECICLÁVEIS
NA OBRA RESERVA DAS FLORES, EM BOA ESPERANÇA–MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. Esp. Leopoldo Freire Bueno.

Varginha

2024

JOVANA MOSCARDINI COSTA

**ANÁLISE DO USO DE CONCRETO PRODUZIDO COM MATERIAIS RECICLÁVEIS
NA OBRA RESERVA DAS FLORES, EM BOA ESPERANÇA-MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em: ___/___/___

Prof. Esp. Leopoldo Freire Bueno. (Orientador)

Componente da banca examinadora I

Componente da banca examinadora II

OBS:

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente, por me conceder saúde e determinação para chegar até aqui, por não me abandonar e fazer com que enfrentasse todos os obstáculos e passasse por eles, por não ter deixado eu desistir do curso de Engenharia Civil, pois vários momentos enfrentados pensei que não teria capacidade ou forças para seguir em frente e concluir a graduação.

Aos meu país, Roselena e Job Acir, pois eles são minhas grandes inspirações, sem eles não teria chegado até aqui, me ajudou a enfrentar muitos obstáculos que sozinha jamais conseguiria, sou muito grata por tudo.

Agradeço ao meu tio Jefferson, que sempre foi uma grande inspiração e um importante suporte ao longo de todo o meu curso. Sua influência foi fundamental na minha trajetória.

Agradeço ao meu primo Matheus pelos conselhos e pelo apoio constante durante todo o curso. Ele sempre esteve ao meu lado, me ajudando em cada etapa.

O meu namorado Gabriel por diversos momentos ter me apoiado, ter me compreendido, por estar ao meu lado nos melhores e piores momentos.

Ao meu orientador Leopoldo, pelos conselhos, ensinamentos que adquiri ao longo do curso, pela sua atenção, pelo tempo gasto em me orientar.

Agradeço também a todos os professores do grupo Unis pelos ensinamentos, conselhos, elogios e até pelos sermões que, a princípio, não compreendíamos, mas que contribuem para nosso aprimoramento diário e nos incentivam a buscar sempre o melhor.

RESUMO

O concreto é um dos elementos mais utilizados na construção civil, desde pequenas até grandes obras, sendo uma combinação de diferentes materiais, dentre os quais se incluem: cimento, água, pedra e areia, juntamente com aditivos químicos adicionais. O concreto sustentável é produzido a partir da substituição do agregado natural pelo agregado reciclado junto ao concreto, e tem se mostrado eficiente devido suas propriedades físicas e mecânicas, sendo utilizado para fins estruturais ou não, como em aterros de inertes, pavimentação, confecção de argamassas e preenchimento de vazios e valas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a possibilidade de utilizar concreto produzido a partir de materiais recicláveis e investigar sua viabilidade para aplicação na obra Reserva das Flores, localizada em Boa Esperança - MG. A presente pesquisa teve por objetivo principal a reutilização de materiais que são descartados na construção civil, com foco voltado para o descarte dos fragmentos de blocos de concreto estrutural e vedação como agregado miúdo. Foi realizado um estudo em laboratório dos elementos que são descartados dos blocos de concreto, material substituído do agregado miúdo (areia). Os blocos foram recolhidos em estado bruto, posteriormente reduzidos a pó e em seguida, realizado o peneiramento para a retirada dos grãos maiores. Foi realizado o ensaio de análise granulométrica, teor de umidade e massa específica do material. Foram produzidos o concreto convencional e concreto reciclável para efeitos de comparações, ensaios de compressão, tração e slump para verificação e a viabilidade do concreto alternativo. Com os resultados obtidos no ensaio de compressão, conclui-se que o estudo foi satisfatório, pois os objetivos foram alcançados. O agregado miúdo reciclado atendeu aos padrões normativos, sendo apto para uso na produção de concreto para fins não estruturais. Valores de 30 MPa foram alcançados em todos os três tipos de concreto produzidos, revelando que a produção estava correta. Os resultados obtidos indicam uma variação de 173 reais no valor de 1 metro cúbico de concreto convencional e 163 reais para o concreto reciclável, resultando em uma diferença total de 10 reais entre eles.

Palavras-chave: Concreto Sustentável; Concreto Reciclável; Viabilidade Econômica.

ABSTRACT

Concrete is one of the most used elements in civil construction, from small to large projects, being a combination of different materials, including: cement, water, stone and sand, together with additional chemical additives. Sustainable concrete is produced by replacing natural aggregate with recycled aggregate together with concrete, and has proven to be efficient due to its physical and mechanical properties, being used for structural purposes or not, such as in inert landfills, paving, making mortars and filling voids and ditches. The objective of this work was to evaluate the possibility of using concrete produced from recyclable materials and investigate its feasibility for application in the Reserva das Flores project, located in Boa Esperança - MG. The main objective of this research was the reuse of materials that are discarded in civil construction, with a focus on the disposal of fragments of structural concrete blocks and sealing as fine aggregate. A laboratory study was carried out on the elements that are discarded from concrete blocks, material replaced by fine aggregate (sand). The blocks were collected in their raw state, subsequently reduced to powder and then sieving to remove the larger grains. The granulometric analysis test, moisture content and specific mass of the material was carried out. Conventional concrete and recyclable concrete were produced for comparison purposes, compression, tension and slump tests to verify the viability of the alternative concrete. With the results obtained in the compression test, it is concluded that the study was satisfactory, as the objectives were achieved. The recycled fine aggregate met regulatory standards, being suitable for use in the production of concrete for non-structural purposes. Values of 30 MPa were achieved in all three types of concrete produced, revealing that the production was correct. The results obtained indicate a variation of 173 reais in the value of 1 cubic meter of conventional concrete and 163 reais for recyclable concrete, resulting in a total difference of 10 reais between them.

Keywords: *Sustainable Concrete; Recyclable Concrete; Economic Viability.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Bloco Estrutural.....	22
Figura 2: Descarte dos fragmentos de blocos de concreto estrutural.....	23
Figura 3: Materiais descartados.....	24
Figura 4: Corpos de prova.....	24
Figura 5: Peneiras para ensaio de análise granulométrica.....	25
Figura 6: Equipamento utilizado para realizar os ensaios de teste de compressão.....	26
Figura 7: Massa específica cimento Portland	27
Figura 8: Massa específica dos agregados miúdos	28
Figura 9: Agregado miúdo reciclado reduzido a pó pronto para uso em concreto.....	29
Figura 10: Slump Test do concreto convencional.....	31
Figura 11: Corpos de provas aguardando os desmoldes.....	32
Figura 12: Corpos de prova em estado endurecido.....	32
Figura 13: Corpos de prova em processo de cura.....	33
Figura 14: Ensaio de Compressão.....	34
Figura 15: Ensaio de Tração.....	35
Figura 16: Corpos de prova após os ensaios.....	43
Figura 17: Características individuais do concreto com 100% de agregado miúdo reciclado.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Perda de materiais em processos construtivos convencionais, conforme pesquisa nacional em 12 estados e pesquisas anteriores.....	15
Tabela 02 - Composição dos resíduos de construção e/ou demolição em diversas localidades (%).	16
Tabela 03 - Distribuição da ocorrência de vetores em áreas com descarte de RCD em São José do Rio Preto/SP.....	18
Tabela 04 – Custos de gerenciamento de resíduos.....	19
Tabela 05 – Custos relacionados aos resíduos	19
Tabela 06 – Custo da reciclagem	20

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Equação Para Quantidade De Bloco.....	21
Equação 2 – Teor de Umidade	25
Equação 3 – Equação da Granulometrica	26
Equação 4 – Equação Massa Específica.....	27
Equação 5 – Resistência a Compressão	34
Equação 6 – Equação de Conversão (Tf) para (N)	34
Equação 7 - Equação do ensaio de resistência a tração.....	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Traço para produção de concreto	30
Quadro 02: Quantitativo de material utilizado	30
Quadro 03: Primeira amostra agregado miúdo convencional.....	36
Quadro 04: Segunda amostra agregado miúdo convencional.....	36
Quadro 05: Primeira amostra agregado miúdo reciclado.....	37
Quadro 06: Segunda amostra agregado miúdo reciclado.....	37
Quadro 07: Limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo.....	38
Quadro 08: Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária (abertura nominal)	39
Quadro 09: Teor de umidade do agregado miúdo convencional.....	40
Quadro 10: Teor de umidade do agregado miúdo reciclável	40
Quadro 11: Massa específica dos materiais.....	41
Quadro 12: Slump Test.....	41
Quadro 13: Resultados resistência a compressão.....	42
Quadro 14: Resultados resistência a tração.....	42
Quadro 15: Quantitativo de material utilizado.....	44
Quadro 16: Planilha de orçamento do valor total do concreto convencional.....	45
Quadro 17: Planilha de orçamento do valor total do concreto reciclável.....	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo geral	12
2.2 Objetivos específicos	12
3 REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1 O concreto convencional	13
3.2 O concreto sustentável e sua relevância na construção civil	13
3.3 Normas para uso correto do concreto RCD	14
3.4 Perda e desperdício de materiais na construção civil	15
3.5 Os impactos ambientais	17
3.6 Custos	18
3.7 Blocos Convencionais	20
3.7.1 Cerâmico	20
3.7.2 Concreto	20
3.8 Equação para quantitativo de bloco por metro quadrado	21
4 MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1 A obra Reserva das Flores	23
4.2 Caracterização físicas dos materiais	25
4.2.1 Teor de umidade	25
4.2.2 Análise granulométrica	26
4.2.3 Massa específica	27
4.2.4 Massa específica do Cimento Portland	27
4.2.5 Ensaio de Resistência a compressão	28
4.2.6 Teste de Resistência à Tração	28
4.2.7 Cimento Portland CP V ARI	29
4.2.8 Agregado miúdo natural e agregado miúdo reciclado	29
4.3 Definição dos traços	30
4.4 Propriedades do concreto em estado fresco	31
4.5 Propriedades do concreto em estado endurecido	32
4.5.1 Ensaio de Resistência a compressão	33
4.5.2 Teste de Resistência à Tração	35
5 RESULTADOS	36
5.1 Análise granulométrica do agregado miúdo	36
5.2 Teor de umidade do agregado miúdo	40
5.3 Massa específica do agregado miúdo	40
5.4. Avaliação física do concreto em estado fresco	41
5.5. Avaliação física do concreto em estado endurecido	41
5.5.1. Resistência a compressão dos corpos de prova	41
5.5.2. Resistência a tração dos corpos de prova	42
5.5.3. Análises pós-ensaios de resistência à compressão e tração	43
5.6. Planilha de orçamento para comparar custos entre concreto convencional e reciclável	44
6 CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos elementos mais utilizados na construção civil, desde pequenas até grandes obras, sendo uma combinação de diferentes materiais, dentre os quais se incluem: cimento, água, pedra e areia, juntamente com aditivos químicos adicionais. Quando o cimento se mistura com a água, forma uma pasta que se junta aos materiais agregados graúdos e miúdos, resultando em uma mistura resistente e facilmente moldável. Essa mistura possui uma alta resistência à compressão e, após endurecer, se transforma em um bloco sólido que atende a diversos requisitos de resistência, durabilidade e impermeabilidade, dentre outros.

O processo de produção do concreto demanda de grandes quantidades de materiais componentes e devido ao seu alto índice de consumo, pode ser um agravante prejudicial ao meio ambiente, visto que os agregados (areia e britas) tem sua fonte de extração da natureza, que quando utilizadas ações puramente extrativistas e sem reparos aos danos causados, o prejuízo é ainda maior. Ao se aplicar procedimentos modernizados e industriais na produção destes agregados percebe-se ações menos deterioradoras do ambiente, mas por outro lado podem elevar o custo destes elementos e por conseguinte elevar o custo final do concreto. Assim, o estudo do uso dos agregados em concreto tem grande importância em aspectos ambientais e também financeiros.

Conforme informações do Ministério do Meio Ambiente - MMA (2012), os detritos provenientes da atividade de construção são em grande parte similares aos materiais naturais e têm capacidade de corresponder a uma parcela significativa, entre 50% e 70%, do volume total de resíduos sólidos gerados nas áreas urbanas. Diante desse desafio, os resíduos da construção civil passaram a ser regulamentados por leis relacionadas ao manejo de resíduos sólidos, assim como por normas específicas em esfera nacional, estadual e municipal.

Segundo levantamento do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), o setor da construção civil é um dos principais responsáveis pelos impactos que ocorrem no ecossistema, consumindo aproximadamente 20% da água urbana, 75% de insumos e recursos naturais, além de produzir anualmente 80 milhões de toneladas de resíduos da construção. Por isso a sustentabilidade tem sido tratada com proeminência no setor público e privado, pois o uso consciente dos materiais e suas tecnologias proporciona melhores índices econômicos, técnicos e ambientais (CBCS, 2020).

O concreto sustentável é produzido a partir da substituição do agregado natural pelo agregado reciclado junto ao concreto, e tem se mostrado eficiente devido suas propriedades físicas e mecânicas, sendo utilizado para fins estruturais ou não, como em aterros de inertes, pavimentação, confecção de argamassas e preenchimento de vazios e valas (BEHERA et al., 2014).

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é avaliar a possibilidade de utilizar concreto produzido a partir de materiais recicláveis e investigar sua viabilidade para aplicação na obra Reserva das Flores, localizada em Boa Esperança - MG.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Realizar um estudo de dosagem de concreto com uso de materiais recicláveis encontrados na obra Reserva das Flores para a substituição do agregado miúdo (areia) por resíduos dos blocos de concreto, e avaliar suas propriedades técnicas e viabilidade econômica para utilização na obra Reserva das Flores em Boa Esperança – MG.

2.2 Objetivos específicos

Para realizar um estudo de caso mais aprofundado visando demonstrar a viabilidade do uso do concreto sustentável no desenvolvimento da obra, os seguintes objetivos específicos serão abordados:

- Realizar pesquisa teórica sobre o uso de materiais recicláveis na produção de concreto abordando os métodos de dosagem específicos para essa finalidade.
- Identificar as normas para uso correto do concreto sustentável e a possibilidade de aplicação na obra.
- Analisar a durabilidade e resistência do concreto sustentável em comparação com o concreto convencional através de ensaios em laboratório.
- Avaliar a viabilidade econômica da utilização do concreto sustentável para obras de construção civil.
- Realizar a coleta de dados em campo referente às perdas dos materiais analisados, especificamente os descartes dos blocos de concreto estrutural para produzir corpos de prova.
- Realizar as amostragens de acordo com as normas estabelecidas.
- Apresentar uma planilha orçamentária que compara os custos da obra entre o concreto convencional e o concreto produzido com materiais recicláveis da construção civil (RCD).
- Designar três tipos diferentes de corpos de prova para realização de ensaios de compressão e tração (concreto convencional, 50% de agregado miúdo reciclado, 100% de agregado miúdo reciclado).
- Obter uma resistência de aproximadamente 30 MPa.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 O concreto convencional

A história do concreto convencional é uma narrativa rica e fascinante de inovação e desenvolvimento ao longo dos séculos. Desde as primeiras formulações rudimentares de argamassa até as modernas técnicas de dosagem e mistura, o concreto convencional passou por diversas transformações. Destacam-se marcos importantes, como a introdução de agregados naturais e artificiais, o uso de aditivos para melhorar suas propriedades e a implementação de técnicas avançadas de cura e controle de qualidade.

A importância do concreto na construção civil contemporânea é inegável. Sua versatilidade, durabilidade e resistência o tornam um material indispensável para uma ampla gama de aplicações. Desde fundações profundas até estruturas de arranha-céus, o concreto convencional desempenha um papel crucial na sustentação e estabilidade das edificações modernas. Além disso, sua capacidade de se adaptar a diferentes formas e tamanhos permite uma expressão arquitetônica diversificada, tornando-o uma escolha popular para projetos de design inovadores. (Dutra, 2015)

Segundo a ASTM (American Society for Testing and Materials), o concreto é um material composto que consiste de um aglomerante no qual estão aglutinadas partículas de diferentes naturezas: o aglomerante é o cimento em presença de água; o agregado é qualquer material granular, como areia, pedregulho, seixos, rocha britada, escória de alto forno e resíduos de construção e de demolição. Se as partículas do agregado são maiores que 4,75 mm, o agregado é considerado graúdo; caso contrário, o agregado será considerado miúdo. Podendo em sua composição conter aditivos e adições de substâncias químicas que alteram algumas propriedades adequando-as às necessidades construtivas citado por (Mehta; Monteiro, p. 10, 2008).

Apesar do avanço já alcançado na construção civil, é evidente a crescente industrialização do setor, obtida por meio da introdução gradual e consistente de concreto cada vez mais resistente. Nesse contexto, a produção de concretos auto-adensáveis ecoeficientes, que utilizam baixos teores de cimento em sua formulação, torna-se um importante aliado para a sustentabilidade das construções. Estes concretos contribuem para a redução do uso de cimento Portland, o aproveitamento de resíduos industriais e agroindustriais, a diminuição de ruídos, além da minimização do uso de energia para colocação e compactação.

3.2 O concreto sustentável e sua relevância na construção civil

Os primeiros registros do reaproveitamento de resíduos de construção civil surgiram durante a construção do Império Romano, devido ao fato de que era produzida uma grande quantidade de entulho mineral, chamando a atenção dos construtores daquela época. No entanto, foi só depois de 1928 que a pesquisa começou de uma forma mais sistemática para avaliar o impacto do consumo de cimento, volume de água e tamanho de partícula agregada de pedra britada e concreto. (Silva, 2021).

A origem do concreto sustentável remonta aos tempos antigos em que se buscava minimizar o impacto ambiental da produção de concreto. Desde o surgimento da sustentabilidade, tem sido procurada alternativas mais amigáveis ao meio ambiente em substituição aos materiais convencionais. Progressos significativos foram alcançados ao incorporar materiais reciclados, como escória de alto forno e cinzas volantes, na composição do concreto. Além disso, a melhoria

dos processos de fabricação e o desenvolvimento de técnicas de reciclagem contribuíram para tornar o concreto ecológico uma opção viável. (Moraes, 2006).

O uso desse concreto desempenha um papel fundamental na transformação da indústria da construção para práticas mais sustentáveis. Seu uso não só reduz o consumo de recursos naturais e as emissões de carbono, mas também promove a economia de energia e água ao longo de toda a vida útil da construção. Além disso, o concreto ecológico atende às demandas dos consumidores por edifícios e infraestruturas ambientalmente responsáveis.

Dentre todos os resíduos que são gerados na construção civil, o entulho é o que apresenta um maior percentual de contribuição, representado 50% dos materiais residuais da obra (Abrecon, 2019), enquanto que em países da Europa este índice de perdas associado a este tipo de material varia entre 10 a 15% (Porto e Silva, 2008). O resíduo da construção e demolição (RCD), popularmente conhecido como entulho engloba uma mistura de pedaços ou sobras de materiais cerâmicos, concreto, argamassa, materiais metálicos, madeiras, blocos, gesso, telhas, entre outros, oriundos da perda nas fases de construção, reforma ou demolição de edificações. (Santos, 2020).

Independentemente do tipo de resíduo, esta passa por uma classificação do ponto de vista de risco ambiental, sendo assim direcionado ao seu correto destino e manuseio. Os testes de lixiviação e solubilização nos resíduos de construção e demolição são importantes para garantir que estes não sejam prejudiciais ao meio ambiente. (Troian, 2010).

Os resíduos de construção e demolição, devem ser selecionados de forma rigorosa, pela sua qualidade e facilidade de tratamento. Depois, devem ser quebrados até estarem com dimensão suficiente para entrar nos britadores. (Silva, 2021).

Após a seleção dos materiais que podem ser reutilizados provenientes do entulho, é necessário realizar a etapa de britagem, que gera um material com frações granulométricas diferenciado (areia, brita 0, brita 1 e rachão), permitindo com que parte deste material seja reintroduzido ao mercado, através das usinas de reciclagens desse tipo de material, que auxiliam na redução dos impactos ambientais e no de materiais necessários para produção de concreto, e ainda, possibilita movimentar um setor expressivo da economia. (Santos, 2020).

Segundo Almeida (2019), a reciclagem dos RCD independente da destinação do uso, proporciona vantagens econômicas, sociais e ambientais, tais como: economia na aquisição de matéria-prima, devido à substituição de materiais convencionais, pelo resíduo; diminuição da poluição gerada pelo resíduo; minimiza as consequências negativas como enchentes e assoreamento de rios e córregos, decorrente da disposição irregular; preservação das reservas naturais de matéria-prima; diminuição do resíduo depositado em aterros; abertura de novos negócios e geração de empregos diretos e indiretos.

3.3 Normas para uso correto do concreto RCD

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) desenvolveu normas técnicas para a gestão adequada dos resíduos sólidos da construção civil, são eles:

a) ABNT 2004^a, 2004b – Classifica os resíduos sólidos em:

- Classe I (Perigosos): apresentam periculosidade e características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

- Classe II (Não Perigosos): Estão divididos em Classe II A (Não Inertes) - Podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Classe II

B (Inertes) - São quaisquer resíduos que submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada, à temperatura ambiente não tem nenhum de seus constituintes solubilizados.

b) NBR 15112:2004 - Relacionada a resíduos da construção civil e resíduos volumosos, estabelecendo diretrizes para o projeto de implantação e operação para áreas de transbordo e triagem.

c) NBR 15113:2004 - Estabelece requisitos mínimos para projeto, implantação e operação de aterros para RCC, solução está adequada aos resíduos de classe A de resíduos inertes.

d) NBR 15114:2004 - Norma que constitui diretrizes para projeto, implantação e operação de centrais de reciclagem de RCC, onde possibilita a transformação dos resíduos 30 da classe A em agregados reciclados destinados a um novo uso na atividade da construção.

e) NBR 15115:2004 - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camada de pavimentação.

f) NBR 15116:2004 - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural.

As normas são fundamentais para entender como lidar com tecnicidade com os resíduos de construção civil. Além das normas, outros conceitos se fazem importantes e necessários para um entendimento mais amplo sobre tudo o que engloba e aborda a gestão e tratamento dos resíduos de construção civil, dentro os mais diversos conceitos o de sustentabilidade é fundamental por englobar requisitos de responsabilidade social. (Almeida, 2019).

3.4 Perda e desperdício de materiais na construção civil

No Brasil, com o avanço contínuo da pesquisa, o desafio da perda durante o processo construtivo tem sido enfrentado de maneira mais abrangente. Foi reconhecido que, para a realização de empreendimentos, é necessário lidar com uma perda de massa que varia entre 20% e 30% do total de materiais, dependendo da qualidade dos materiais e da expertise do executor (Pinto, 1989). Uma pesquisa nacional, intitulada "Alternativas para a Redução do Desperdício de Materiais nos Canteiros de Obra", conduzida pelo Instituto Brasileiro de Tecnologia e Qualidade na Construção Civil (ITQC) e financiada pela FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos, destaca a importância de identificar diferentes níveis de perdas. Este estudo envolveu a colaboração de 16 universidades brasileiras e analisou o fluxo de materiais em 99 canteiros de obras distintos (Souza et al., 1998).

A Tabela 01 ilustra as mudanças significativas nos valores de perda para materiais comuns em atividades de construção de empresas, apresentando também os resultados de duas pesquisas anteriores sobre o mesmo tema (Pinto, 1999).

Tabela 01 - Perda de materiais em processos construtivos convencionais, conforme pesquisa nacional em 12 estados e pesquisas anteriores.

Materiais	Pinto (1)	Soibelman (2)	FINEP/ITQC (3)
Concreto usinado	1,50%	13%	9%
Aço	26%	19%	11%
Blocos e tijolos	13%	52%	13%
Cimento	33%	83%	56%
Cal	102%	--	36%
Areia	39%	44%	44%

Fonte: Pinto (1999).

De acordo com as conclusões de Souza (1998), as investigações indicam que aproximadamente 27% da massa é perdida nas obras analisadas, situando-se dentro da faixa de 20 a 30%. É destacado que, frente às alterações identificadas na situação, os agentes da indústria da construção devem direcionar seus esforços para entender seus próprios índices específicos e níveis técnicos, buscando realizar investimentos e implementar melhorias para alcançar uma utilização mais racional dos recursos não renováveis (Pinto, 1999).

Os dados da tabela 02 revelam a diversidade na composição dos resíduos em diferentes locais, influenciada pela tradição construtiva e pelas características dos locais de coleta de amostras. Isso sugere também que a maior parte dos resíduos gerados em qualquer local pode ser composta por materiais passíveis de reciclagem (Pinto, 1999).

Essa observação encontra respaldo em dados da Comunidade Europeia, que indica uma média de 45% de componentes de alvenaria e vedação, 40% de concreto, 8% de madeira, 4% de metal, e 3% de papel, plástico e outros materiais, com predominância de resíduos de origem mineral em muitos países (Pera, 1996). Por exemplo, na Holanda, cerca de 80% dos resíduos são provenientes de serviços relacionados ao concreto ou à alvenaria, o que sugere uma vantagem para o concreto nesse contexto. Dados da Espanha também são relevantes, indicando que resíduos minerais (concreto, artefatos e outros) representam 95% do peso dos edifícios com 60 anos e 98% do peso total dos edifícios residenciais contemporâneos (Pinto, 1999).

Por outro lado, a primeira coluna da tabela mostra que nos canteiros de obras brasileiros há um processo de aproveitamento de resíduos como papel, metal, plástico e parte da madeira. Esses resíduos possuem valor comercial direto e são identificados nos resíduos de construção, embora em quantidade inferior àquela produzida efetivamente (Pinto, 1999).

Observa-se não apenas nos países mais desenvolvidos, mas também no Brasil, uma tendência crescente no aumento da presença de resíduos de embalagens de materiais e componentes, em detrimento dos resíduos minerais. Por exemplo, dados da Catalunha mostram que esses resíduos compreendem, em peso, aproximadamente 75% de madeira, 16% de plástico, 8% de papel e papelão, e 1% de metal (Pinto, 1999).

A análise dos dados da Tabela 02 revela a diversidade na composição dos resíduos em diferentes localidades, influenciada pela tradição arquitetônica e pelas características dos locais de coleta das amostras. Além disso, essa análise permite inferir que a maioria expressiva dos resíduos gerados, independentemente do local, consiste em embalagens passíveis de reciclagem.

Tabela 02 - Composição dos resíduos de construção e/ou demolição em diversas localidades (%).

Composição Percentual (discriminação conforme as fontes)	Composição dos RCD em obras brasileiras típicas (1)	Composição Típica RCD em Hong Kong (2)	Composição Típica dos RCD na Bélgica (3)	Composição Típica dos RCD em Toronto (4)
Argamassas	64	--	--	--
Asfalto	--	2,2	--	--
Materiais asfálticos	--	--	10,2	--
Concreto	4,2	31,2	38,2	--
Alvenaria	--	--	45,2	--
Madeira	0,1	7,9	2,1	34,8
Entulho, agreg. e cerâmicos	--	--	--	24,1
Entulho	--	7,7	--	--
Componentes cerâmicos	11,1	--	2,9	--
Blocos de concreto	0,1	0,8	--	--
Tijolos	18	5,2	--	--

(Continua).

Composição Percentual (discriminação conforme as fontes)	Composição dos RCD em obras brasileiras típicas (1)	Composição Típica RCD em Hong Kong (2)	Composição Típica dos RCD na Bélgica (3)	Composição Típica dos RCD em Toronto (4)
Pedra	1,4	11,5	--	--
Areia	--	3,2	--	--
Cimento amianto	0,4	--	--	--
Gesso	--	--	0,2	--
Metais	--	3,3	0,2	7,7
Vidro	--	0,3	--	2,8
Papel cartão	--	--	--	4,3
Papel	--	--	--	3,5
Papel e orgânicos	0,2	--	--	--
Outros orgânicos	--	1,7	--	0,6
Plástico	--	--	0,4	2,5
Tubos plásticos	--	0,6	--	--
Acessórios	--	0,1	--	--
Têxteis	--	--	--	0,7
Borracha e couro	--	--	--	0,5
Finos	--	--	--	1,9
Outros mat. de construção	--	--	--	16,6
Solo	0,1	--	--	--
Lixo, solo e barro	--	23,8	--	--
Bambu e árvores	--	0,4	--	--
Sucata	--	0,1	--	--
Outros	--	--	0,6	--
TOTAL	100	100	100	100

Fonte: Pinto (1999).

Na área da construção civil, um dos desafios mais persistentes e que afeta diretamente a produtividade e a eficiência das obras é o desperdício de materiais (Santos, 2019). Essas perdas ocorrem tanto no aspecto físico quanto no tempo, resultando em prejuízos para os projetos e, conseqüentemente, reduzindo a competitividade das empresas (Azevedo, 2023).

Ao considerar o gerenciamento de materiais na construção civil, observa-se que um dos principais fatores responsáveis pelos elevados índices de desperdício no setor é a administração do canteiro de obras. O tipo de canteiro adotado e o layout escolhido têm uma grande influência na gestão dos desperdícios em um empreendimento (Freitas, 2021).

3.5 Os impactos ambientais

A indústria da construção tem sido reconhecida como uma das principais causadoras de problemas ambientais, tais como mudanças climáticas, deterioração da camada de ozônio, chuvas ácidas e desmatamento. Para mitigar esses impactos, há um crescente interesse na adoção de novos materiais reciclados.

A falta de atenção aos resíduos provenientes da construção resulta em uma variedade de impactos, não apenas econômicos e ambientais. A negligência quanto ao destino final desses materiais contribui para a criação de depósitos irregulares, conhecidos como "bota-fora", e aterros

clandestinos, além de causar o assoreamento de rios, obstrução de bueiros e deterioração de áreas urbanas (Angulo, 2000).

De acordo com Pinto (1999), a má disposição dos Resíduos da Construção e Demolição (RCD) contribui para a disseminação de agentes patogênicos prejudiciais à saúde humana, aumentando o risco de doenças como dengue e febre amarela. É bastante frequente encontrar nesses locais a presença de insetos peçonhentos, como escorpiões e aranhas, além de roedores, como ratos, e insetos transmissores de doenças endêmicas graves, como a dengue. Para ilustrar esse impacto, o autor conduziu, em colaboração com a Coordenadoria de Vigilância Epidemiológica da Secretaria de Saúde da Prefeitura Municipal de São José do Rio Preto/SP, um levantamento dos atendimentos realizados em 1996 em áreas onde ocorre o descarte inadequado de RCD, conforme evidenciado na Tabela 03.

Tabela 03 - Distribuição da ocorrência de vetores em áreas com descarte de RCD em São José do Rio Preto/SP.

Vetores	Participação
Pulgas, Carrapatos, Piolhos e Percevejos	51,3 %
Escorpiões	25,7%
Ratos	9,5 %
Baratas	8,1 %
Moscas	5,4 %

Fonte: Pinto (1999).

Além dos aspectos abordados pelos especialistas, a prática de reciclar os Resíduos da Construção e Demolição (RCD) apresenta benefícios ambientais significativos. Ela contribui para a preservação do meio ambiente ao reduzir a necessidade de extração de matérias-primas para a fabricação de novos materiais, além de ajudar a proteger os recursos hídricos, impedindo o descarte de entulhos em rios, represas, córregos e oceanos. Além disso, a reciclagem dos RCDs pode gerar várias oportunidades de emprego e renda.

3.6 Custos

Na avaliação econômica da introdução do programa de reciclagem de resíduos de construção e demolição, é fundamental considerar diversos custos, incluindo a implantação de unidades de processamento, a criação de pontos intermediários para tratamento de resíduos e a gestão geral dos resíduos.

O investimento inicial na instalação de uma estação de tratamento de resíduos de construção pode ser substancial. É importante entender que esse é um investimento de longo prazo, pois durante o período inicial de adaptação do sistema, pode haver uma diminuição temporária na produtividade, e os mercados para produtos reciclados podem ainda estar em desenvolvimento. No contexto do setor público, o processo de investimento pode ser mais rápido, visto que a gestão eficiente dos resíduos pode resultar na redução dos custos associados à limpeza urbana e à compra de agregados convencionais. Normalmente, o custo de instalação de uma usina de reciclagem é amortizado em um período de 1 a 2 anos (Leite, 2001).

De acordo com as pesquisas de Lima (1999), realizadas em diversas cidades brasileiras, como Belo Horizonte/MG, São José dos Campos/SP, Ribeirão Preto/SP, São José do Rio Preto/SP, Jundiaí/SP e Santo André/SP, a escassez de locais para disposição de resíduos e o aumento das distâncias a serem percorridas contribuem para o aumento dos custos associados à remoção e ao enterramento dos resíduos.

Nos Estados Unidos, as taxas de deposição em aterros variam significativamente de estado para estado. Por exemplo, no Novo México, a taxa é de US\$ 8 por tonelada, enquanto em Nova Jersey, chega a US\$ 75 por tonelada. Essas taxas tendem a aumentar rapidamente em todo o país, destacando a necessidade e a eficácia crescente do processo de reciclagem.

A Tabela 04 apresenta uma comparação dos custos de gerenciamento de resíduos de construção em diferentes municípios brasileiros.

Tabela 04 – Custos de gerenciamento de resíduos.

Município	Fonte	Custo
Belo Horizonte/SP	SLU – 1993	US\$ 7,92/t
São José dos Campos/SP	I&T – 1995	US\$ 10,66/t
Ribeirão Preto/SP	I&T – 1995	R\$ 5,37/t
São José do Rio Preto/SP	I&T – 1997	R\$ 11,38/t

Fonte: Lima (1999).

A implementação da reciclagem de resíduos oferece não apenas materiais ideais para diversas aplicações na construção, mas também vantagens econômicas significativas. Reciclar resíduos é mais econômico do que lidar com sua remoção de locais inadequados para descarte, evitando os problemas associados a essa prática. Segundo Lima (1999), o custo do agregado reciclado pode ser inferior a R\$4,00 por tonelada, uma economia considerável em comparação com os valores convencionais apresentados na Tabela 04.

De acordo com dados da Secretaria de Infraestrutura Urbana da Prefeitura de São Paulo (PMSP, 2012), para obras de pavimento de concreto o custo associado ao agregado reciclado, considerando agregados de classe A conforme a resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), é de R\$47,40/m³ para a base de pavimento de material granular reciclado. O custo total de execução da base de pavimento com material reciclado é de R\$ 63,04/m³, enquanto o custo de uma base de brita graduada simples, segundo o mesmo referencial de custos unitários, é de R\$ 107,25/m³. No entanto, é importante ressaltar que essa economia de 40% no custo não pode ser avaliada apenas numericamente, sendo necessário realizar uma análise comparativa da durabilidade dos materiais.

A reciclagem de resíduos não apenas contribui para um ambiente de trabalho mais organizado e limpo, mas também proporciona benefícios econômicos significativos. Esta vantagem econômica pode ser comprovada pelos dados apresentados na Tabela 05 e na Tabela 06. (Leite, 2001).

Tabela 05 – Custos relacionados aos resíduos.

Custos (R\$/m ³)	Cidades brasileiras			
	São Paulo	Belo Horizonte	Salvador	Goiânia
Custo da fração mineral perdida do resíduo de construção e demolição	66,87	63,4	72,33	71,4
Custo da remoção de resíduos em containers	16	12	12	9
Custo total	82,87	75,4	84,33	80,4

Fonte: Adaptado, Leite (2001).

Na Tabela 06, além de incluir o valor do resíduo reciclado, o custo associado à remoção foi substituído pelo custo da reciclagem, evidenciando claramente os benefícios econômicos proporcionados por essa prática.

Tabela 06 – Custo da reciclagem.

Custo (R\$/m ³)	Cidades brasileiras			
	São Paulo	Belo Horizonte	Salvador	Goiânia
Custo da fração mineral perdida do resíduo de construção e demolição	66,87	63,4	72,33	71,4
Limites dos custos da reciclagem interna	1,64 a 6,69	1,45 a 6,06	1,33 a 5,65	1,42 a 5,94
Valor médio do resíduo reciclado	- 25,47	-18,1	-26,48	-25,5
Custo Total	43,04 a 48,09	46,75 a 51,36	47,18 a 51,50	47,32 a 51,48
Redução de custos	48 a 42%	38 a 30%	44 a 39%	41 a 35%

Fonte: Adaptado, Leite (2001).

Além da vantagem econômica do agregado reciclado, é importante notar que as jazidas de agregados naturais estão se tornando escassas, resultando em uma busca por esses materiais em distâncias cada vez maiores. Isso eleva os custos da construção, afetando inclusive os projetos destinados a comunidades de baixa renda (LATTERZA, 1998).

3.7 Blocos Convencionais

3.7.1 Cerâmico

Os blocos cerâmicos são fabricados a partir de cerâmica vermelha, alcançando suas propriedades após a queima da argila, seguindo as diretrizes estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Com peças de alta qualidade e resistência, esses tijolos estão cada vez mais presentes no mercado da construção civil brasileira. Comparados aos blocos de concreto, os blocos cerâmicos oferecem maior produtividade devido à sua leveza, sendo cerca de 40% mais leves. Além disso, requerem menor consumo de argamassa para assentamento e revestimento. Apresentam também menor absorção de água e uma boa impermeabilização, proporcionando excelente conforto térmico e acústico. Geralmente utilizados em alvenaria de vedação, esses blocos são uma escolha comum para diversos tipos de construção.

3.7.2 Concreto

Os blocos são fabricados com um tipo específico de concreto desenvolvido para essa finalidade. Na fábrica, a água, o cimento, os agregados e os aditivos são cuidadosamente dosados e misturados de maneira controlada para assegurar sua resistência. Após a mistura, a massa resultante é vibrada e prensada em moldes para adquirir a forma de bloco. Em seguida, ocorre o desmolde, seguido pelo processo de cura. Esses blocos são empregados tanto em alvenaria de vedação quanto na construção de muros.

3.8 Equação para quantitativo de bloco por metro quadrado

Para cálculo da quantidade de bloco necessário para a construção da alvenaria de vedação, é utilizada a equação 01, onde divide-se a área da parede pela área do bloco.

$$Q = \frac{M^2}{A \times C} \quad (01)$$

Onde:

M^2 = Metro Quadrado

A = Altura do bloco

C = Comprimento do bloco

4 MATERIAIS E METÓDOS

A presente pesquisa teve por objetivo principal a reutilização de materiais que são descartados na construção civil, com foco voltado para o descarte dos fragmentos de blocos de concreto estrutural e vedação como agregado miúdo. Para combater a diminuição dos recursos naturais e a degradação ambiental, é fundamental que empresas e órgãos competentes estejam plenamente conscientes da gravidade do problema e atuem de maneira proativa para sua solução.

Diante disso, foi realizado um estudo em laboratório dos elementos que são descartados dos blocos de concreto, material que será substituído do agregado miúdo (areia). Os blocos foram recolhidos em estado bruto, posteriormente reduzidos a pó, em seguida, o peneiramento para a retirada dos seus grãos maiores. Foi possível realizar os ensaios de análise granulométrica, teor de umidade e massa específica do material.

A figura 1 retrata o bloco estrutural para utilização na obra e a figura 2 retrata o seu estado bruto, rejeitados e recolhidos na cidade de Boa Esperança em obra de pequeno e médio porte, onde serão reduzidos a pó, posteriormente serão encaminhados ao laboratório do Centro Universitário do Sul de Minas para realização dos ensaios necessários para qualificação técnica do material, laboratório localizado na cidade de Varginha-MG. Serão produzidos o concreto convencional e concreto reciclável para efeitos de comparações, ensaios de compressão, tração e slump para verificação e a viabilidade do concreto alternativo.

Figura 1: Bloco Estrutural.



Fonte: O autor, 2024.

Figura 2: Descarte dos fragmentos de blocos de concreto estrutural.



Fonte: O autor, 2024.

4.1 A Obra Reserva das Flores

O empreendimento Reserva das Flores, situado na cidade de Boa Esperança - MG, teve seu início em 04/04/2023, como um condomínio de edifícios, composto por 224 apartamentos de 50m² cada, além de 12,5 m² de garagem. Este é o primeiro empreendimento de alto padrão desenvolvido pela construtora e incorporadora DM2, caracterizado por oferecer conforto em todos os aspectos, desde o design até a infraestrutura e serviços.

Os apartamentos são projetados com acabamentos e materiais de alta qualidade, em uma localização privilegiada e valorizada da cidade. A infraestrutura moderna e avançada inclui diversas comodidades, como piscinas, academias, salas de jogos, espaços gourmet, entre outros. Além disso, são oferecidos serviços de segurança e manutenção para garantir o bem-estar dos moradores.

Em relação à gestão de resíduos da construção civil, a empresa se depara com uma variedade de materiais descartados como por exemplo, plásticos, madeira, concreto, metais e blocos cerâmicos e de concreto, além de outros materiais encontrados no local da obra. Além disso, são produzidos in loco os corpos de prova dos caminhões e betoneiras presentes na obra. Esses testes têm como objetivo avaliar a resistência e qualidade do concreto, garantindo que estejam em conformidade com os padrões de segurança e qualidade estabelecidos. Esse processo visa assegurar a integridade estrutural e a excelência na qualidade dos projetos em andamento.

Na Figura 3, é possível visualizar os materiais descartados, enquanto na Figura 4, estão representados os corpos de prova que são fabricados no próprio local da obra e posteriormente enviados para análise no laboratório.

Figura 3: Materiais descartados.



Fonte: O autor, 2024.

Figura 4: Corpos de prova.



Fonte: O autor, 2024.

Os resíduos mostrados na imagem 3 são separados com base nos diferentes tipos de materiais a que correspondem, como madeira, cerâmica vermelha, concreto, plástico, entre outros. Após esse processo de separação, são encaminhados para locais apropriados para descarte de resíduos da construção civil.

Os descartes dos blocos de concreto estrutural serão separados para permitir a criação de corpos de prova, em seguida são encaminhados ao laboratório para a realização do procedimento adequado de teste de compressão. Esses testes visam verificar a possibilidade de reutilização dos

blocos em alguma fase da construção na obra, seguindo rigorosamente as normas de segurança para assegurar sua qualidade.

4.2 Caracterização físicas dos materiais

Foram desenvolvidos ensaios em laboratórios para análise granulométrica, teor de umidade e massa específica. Este processo visa obter informações sobre as propriedades físicas dos materiais empregados, tanto no concreto convencional quanto no concreto RCD. Esses ensaios visam estabelecer parâmetros comparativos de durabilidade e eficiência entre eles.

4.2.1 Teor de umidade

Na produção de concreto, são empregados agregados graúdos e miúdos, sendo o teor de umidade desses agregados de suma importância. A quantidade de água presente durante a produção do concreto influencia diretamente em sua resistência: um aumento na quantidade de água resulta em uma diminuição da resistência, enquanto uma escassez ou redução da água pode causar problemas de qualidade e trabalhabilidade do concreto.

O teor de umidade do agregado é definido como a relação, expressa em porcentagem, entre a massa total de água presente na superfície das partículas (grãos) dos agregados, que preenche os poros permeáveis do agregado, e sua massa seca. O objetivo deste ensaio é ajustar o consumo de água para a mistura do concreto e expressar com maior precisão a relação água/cimento.

$$T = \frac{Pa}{Ps} \times 100 \quad (02)$$

Onde:

T = Teor de umidade (%).

Pa = Peso da água (kg).

Ps = Peso do material seco (kg).

Figura 5: Amostras de agregado miúdo convencional e reciclado totalmente seco.



Fonte: O autor, 2024.

4.2.2 Análise granulométrica

Os ensaios de granulometria são prescritos pela norma ABNT NBR NM 248:2003 e sua realização é de extrema importância. Isso se deve ao fato de que as propriedades mecânicas e físicas do concreto, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, são influenciadas pela granulometria dos grãos, pela dimensão máxima característica, pelo módulo de finura e pela superfície específica dos agregados. Para os agregados miúdos, os ensaios granulométricos seguem os parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR NM 248:2003. Isso inclui o uso de peneiras limpas organizadas em ordem decrescente, que são subsequentemente submetidas a um processo de vibração.

A análise granulométrica dos agregados é conduzida através do método de peneiramento, no qual as massas retidas em cada peneira são pesadas. Esse processo possibilita a identificação e, se necessário, a correção de grãos que estejam em escassez no material.

Figura 6: Peneiras para ensaio de análise granulométrica.



Fonte: O autor, 2024.

O módulo de finura é determinado através do ensaio granulométrico, conforme estabelecido pela ABNT NBR NM 248:2003. Este parâmetro é crucial para compreender as dimensões dos grãos. Ele é calculado somando as percentagens acumuladas retidas nas peneiras e dividindo essa soma por 100.

$$MF = \frac{\sum \% R.A \text{ das peneiras de série normal}}{100} \quad (03)$$

4.2.3 Massa específica

Seguindo as diretrizes da NBR NM 52 (ABNT, 2009), a massa específica é definida como a relação entre o volume e a massa do agregado seco, levando em consideração também os poros permeáveis.

4.2.4 Massa específica do Cimento Portland

O ensaio de massa específica do cimento tem como objetivo determinar o volume ocupado pela massa do cimento, excluindo completamente os vazios entre os grãos. Isso visa conhecer a proporção adequada de cimento a ser utilizada nas misturas de concreto. Este ensaio é regulamentado pela norma ABNT NBR NM 23:2000 e envolve o uso do frasco volumétrico de Le Chatelier, querosene e cimento Portland. Para realizar o ensaio, 0,5cm³ de querosene são inseridos no frasco, seguido pela adição de 60g de cimento de forma que não haja perdas. Posteriormente, é feita a leitura do frasco para determinar o valor da massa específica pela equação 04.

$$\rho = \frac{m}{VF - VI} \quad (04)$$

Onde:

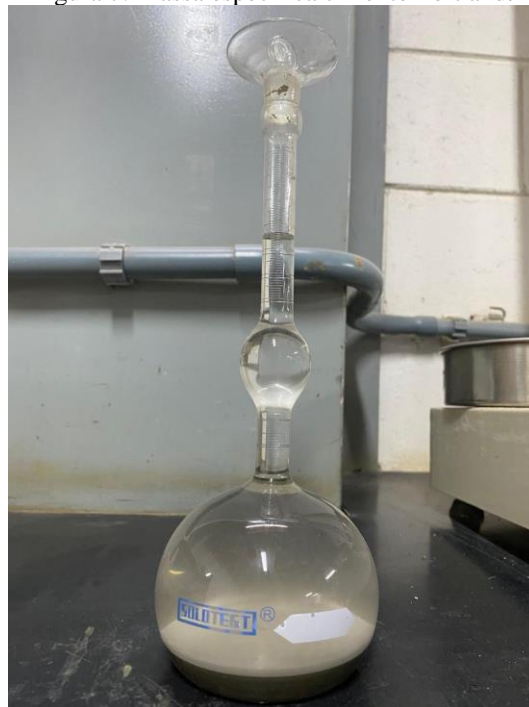
ρ = Massa específica (g/cm³).

M = Massa (g).

VF = Volume final (cm³).

VI = Volume inicial (cm³).

Figura 7: Massa específica cimento Portland.



Fonte: O autor, 2024.

4.2.5 Massa específica do agregado miúdo

Da mesma forma que no cimento, a massa específica do agregado miúdo é utilizada para avaliar o volume ocupado pela massa do agregado, ignorando os vazios entre os grãos e os poros. Para esse ensaio usa-se preferencialmente o frasco de Chapman ou o picnômetro.

De acordo com Petrucci (1970), o valor obtido ao calcular a massa específica real do agregado miúdo é de aproximadamente $2,65 \text{ kg/dm}^3$.

O ensaio é recomendado pela ABNT NBR 9776:1987 sendo necessário um frasco de Chapman, água destilada e 500g do agregado totalmente seco em estufa, são colocados 200 cm³ de água destilada dentro do frasco e por fim com auxílio de um funil para que não haja perdas é colocado aos poucos o agregado, posteriormente é feita a leitura do frasco assim obtendo o valor de massa específica pela equação 4.

Foi realizado o ensaio para agregado miúdo convencional e agregado miúdo reciclado. Conforme demonstrado na figura 8.

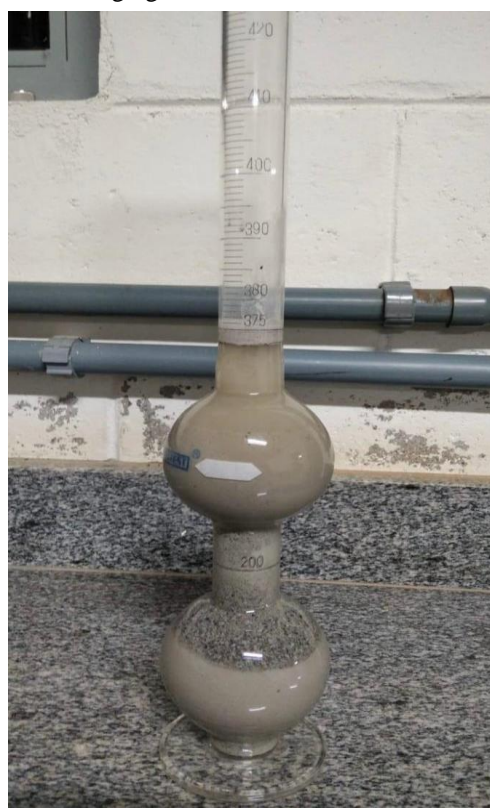
Figura 8: Massa específica dos agregados miúdos.

Agregado miúdo convencional.



Fonte: O autor, 2024.

Agregado miúdo reciclado.



Fonte: O autor, 2024.

4.2.6 Materiais utilizados para produção de concretos

Para a produção do concreto e dos corpos de prova, foram necessários a utilização dos seguintes materiais:

- Cimento Portland CP V ARI.
- Brita Gnaisse 0.
- Areia fina.
- Agregado miúdo reciclado.
- Água.

4.2.7 Cimento Portland CP V ARI

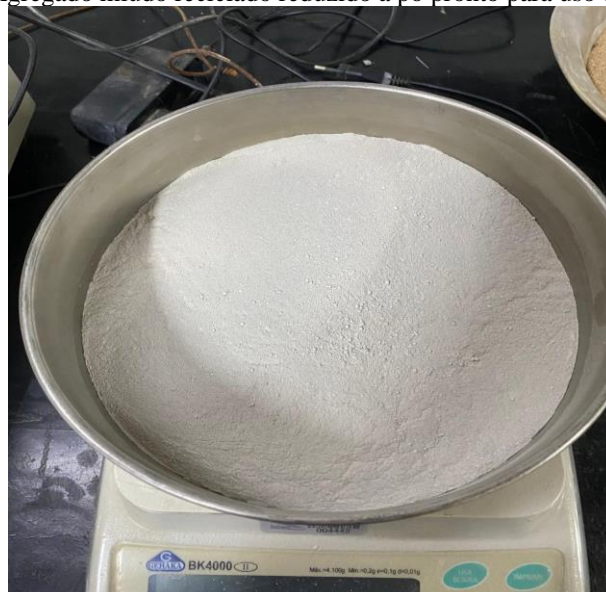
Conforme a NBR 5733 (1991), o CP V ARI apresenta resistência à compressão de aproximadamente 26 MPa com um dia de cura e 53 MPa aos 28 dias, superando significativamente os valores normativos de 14 MPa, 24 MPa e 34 MPa para um, três e sete dias, respectivamente. Esse tipo de cimento é recomendado para a produção de concreto e argamassa em indústrias de médio e pequeno porte, como fábricas de blocos de alvenaria, pavimentação, tubos, lajes, meios-fios, mourões, postes e elementos arquitetônicos pré-moldados. Pode ser utilizado em obras de diversas escalas, desde pequenas construções até edificações maiores, especialmente em aplicações que exigem alta resistência inicial e desforma rápida. Essa propriedade é alcançada por meio de uma dosagem diferenciada de calcário e argila na produção do clínquer, além de uma moagem mais fina do cimento. Ao reagir com água, o CP V ARI desenvolve rapidamente elevadas resistências.

4.2.8 Agregado miúdo natural e agregado miúdo reciclado

O agregado miúdo natural utilizado foi a areia fina, material comum muito utilizado em obras e reformas de qualquer porte. Sua aplicação abrange diversas fases da construção, desde elementos estruturais até acabamentos de reboco.

Agregado miúdo reciclado utilizado foram os descartes dos blocos de concretos estruturais provenientes da obra Reserva das Flores, o material foi recolhido em estado bruto, posteriormente reduzido a pó e peneirado para utilização em concretos para fins não estruturais.

Figura 9: Agregado miúdo reciclado reduzido a pó pronto para uso em concreto.



Fonte: O autor, 2024.

4.3 Definição dos traços

O traço referência foi determinado com objetivo de realizar um comparativo entre os resultados obtidos pelo concreto convencional em relação aos concretos produzidos com agregado miúdo reciclado. Para isso, foi utilizado o método da ACI/ABCP, que tem como objetivo determinar o consumo mínimo ideal de argamassa, com base no princípio do menor índice de vazios do agregado graúdo e na análise da área superficial específica do agregado fino, visando reduzir a relação água-cimento na mistura.

Com o objetivo de analisar a comparação entre os materiais e suas propriedades na produção de concreto, foi utilizado um único traço para os três tipos de concreto investigados na pesquisa. O abatimento foi estabelecido em 60 mm, com uma variação permitida de até 10 mm. A resistência característica à compressão tinha como meta atingir cerca de 30 MPa aos 28 dias de idade, sem a adição de aditivos plastificantes. O quadro 01 a seguir apresenta o traço definido para todos os concretos produzidos.

Quadro 01: Traço para produção de concreto.

Materiais	Cimento	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	Água
Traço (Kg)	1	1,33	2,05	0,475

Fonte: O autor, 2024.

Os corpos de prova são moldes de formato cilíndrico, com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, resultando em um volume de aproximadamente 15,708 dm³. Com o traço definido, é possível determinar a quantidade de material a ser utilizada no concreto. Para a pesquisa, foram produzidos 6 corpos de prova para cada tipo de concreto: convencional, 50% de agregado miúdo reciclado e 100% de agregado miúdo reciclado.

Quadro 02: Quantitativo de material utilizado.

Concreto	Quantitativo de materiais (Kg)				
	Cimento	Agregado Miúdo Convencional	Agregado Miúdo Reciclado	Agregado Graúdo	Água
Referência	6	7,98	0	12,3	2,85
50% Agregado miúdo	6	3,99	3,99	12,3	2,85
100% Agregado miúdo	6	0	7,98	12,3	2,85

Fonte: O autor, 2024.

Com todos os materiais preparados, é realizado a limpeza de equipamentos para evitar interferências externas. Em seguida, os materiais secos (areia, brita e cimento) são colocados na betoneira, e a água é adicionada gradualmente, monitorando a trabalhabilidade do concreto. O tempo de mistura foi de aproximadamente 5 minutos para cada traço.

Após a produção do concreto, foram moldados os corpos de prova conforme a ABNT NBR 5738:2015. Passadas 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados e colocados em um tanque, onde permaneceram totalmente submersos durante 28 dias para a cura do concreto.

4.4 Propriedades do concreto em estado fresco

As análises preliminares do concreto em estado fresco são realizadas por meio do Slump Test, que avalia a consistência pelo abatimento do tronco do cone, conforme recomendado pela ABNT NBR NM 67:1996. O teste consiste em preencher o cone em três camadas, cada uma contendo aproximadamente 1/3 do volume total de concreto que ele suporta. Para cada camada, são aplicados 25 golpes com uma haste de socamento. Após o preenchimento das três camadas, o cone é removido cuidadosamente na direção vertical, e é medido o abatimento do concreto. A distância entre o cone e o início das camadas deve ser em torno de 60 mm, podendo variar até 10 mm.

O Slump Test do concreto convencional apresentou um valor de aproximadamente 17 cm, conforme mostrado na figura 10, enquanto o concreto composto por 100% de agregado miúdo reciclado registrou cerca de 10 cm conforme medido pela trena.

A figura 11 apresenta os 18 corpos de prova que estão em fase de cura, aguardando 24 horas para serem desmoldados.

Figura 10: Slump Test do concreto convencional.



Fonte: O autor, 2024.

Figura 11: Corpos de provas aguardando os desmoldes.



Fonte: O autor, 2024.

4.5 Propriedades do concreto em estado endurecido

As características do concreto no estado endurecido estão diretamente relacionadas às propriedades do estado fresco. Por isso, é fundamental manter um controle de qualidade rigoroso do concreto e de seus componentes para garantir uma maior produtividade.

Na pesquisa, foram produzidos um total de 18 corpos de prova cilíndricos, sendo 6 para cada traço correspondente. Foram realizadas análises de resistência à compressão e de resistência à tração por compressão diametral.

Figura 12: Corpos de prova em estado endurecido.



Fonte: O autor, 2024.

Após 24 horas da produção dos corpos de prova, inicia-se a desforma. Em seguida, é rigorosamente respeitado o tempo de cura do concreto, mantendo os corpos totalmente submersos em água por 28 dias, conforme demonstrado na figura 13.

Figura 13: Corpos de prova em processo de cura.



Fonte: O autor, 2024.

4.5.1 Ensaio de Resistência a compressão

A determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos será realizada no laboratório da instituição, utilizando uma prensa hidráulica e dois suportes metálicos revestidos com Neoprene em suas superfícies, conforme especificado na norma ABNT NBR 5739:2018. Esses suportes são essenciais para regularizar as imperfeições e garantir uma distribuição uniforme da carga aplicada pela prensa. Após o período de cura de 28 dias, os corpos de prova serão submetidos à ruptura para análise da resistência.

Figura 14: Ensaio de Compressão.



Fonte: O autor, 2024.

Para determinar a resistência à compressão de cada corpo de prova, será medido as suas dimensões (diâmetro e altura) utilizando um paquímetro digital de alta precisão. Em seguida, os cálculos necessários foram realizados para obter o resultado final da resistência à compressão.

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad (05)$$

Onde:

A = Área de Base (mm^2).

D = Diâmetro (m).

Os resultados de resistência à compressão obtidos pela prensa nos ensaios são expressos em toneladas-força (Tf), sendo necessário converter esses valores para newtons (N).

$$R = \frac{F}{A} \quad (06)$$

Onde:

R = Resistência a compressão (MPa).

F = Força (N).

A = Área da Base (mm^2).

4.5.2 Teste de Resistência à Tração

Os ensaios de resistência à tração são regulamentados pela ABNT NBR 7222:2011, nos quais os resultados de tração são obtidos por meio de compressão diametral de corpos de prova de concreto com formato cilíndrico.

A prensa utilizada para realizar o ensaio de tração é a mesma empregada no ensaio de compressão. No entanto, para o ensaio de tração, são utilizadas duas placas metálicas e duas folhas de Neoprene para regularizar as imperfeições do corpo de prova cilíndrico.

As placas metálicas, juntamente com as folhas de neoprene e o corpo de prova, devem ser posicionadas com precisão no centro do cilindro da prensa, garantindo uma distribuição uniforme da carga gerada por ela.

Para determinar a resistência à tração de cada corpo de prova, suas dimensões (diâmetro e altura) são medidas com um paquímetro digital de alta precisão. Em seguida, os cálculos necessários são realizados, incluindo a conversão dos valores de toneladas-força (Tf) para newtons (N).

$$f_{ct,sp} = \frac{2 \times F}{\pi \times D \times L} \quad (07)$$

Onde:

$f_{ct, sp}$ = Resistência à Tração por Compressão Diametral (MPa).

F = Força (N).

D = Diâmetro (m).

L = Comprimento (m).

Figura 15: Ensaio de Tração.



Fonte: O autor, 2024

5. RESULTADOS

Após a realização de todos os ensaios, temos as informações necessárias para a análise dos resultados obtidos. Para aprofundar a compreensão da pesquisa, foram feitos testes e comparações entre os concretos convencionais e os produzidos com a reutilização de blocos de concreto estrutural.

5.1 Análise granulométrica do agregado miúdo

Foram realizados ensaios de peneiramento para cada tipo de agregado miúdo, com dois ensaios para o agregado miúdo convencional (areia) e dois para o agregado miúdo reciclado (blocos de concreto). Para cada ensaio, utilizou-se 1 kg de cada agregado, que foi peneirado e a massa retida em cada peneira foi medida. Com esses dados, é possível calcular as porcentagens.

Quadro 03: Primeira amostra agregado miúdo convencional.

Análise Granulométrica Agregado Miúdo Convencional 1ª Amostra			
Malhas das Peneiras	Massa Retida (g)	% Retida	% Retida Acumulada
6.3	0,00	0,00	0,0
4.75	0,00	0,00	0,0
2.36	0,87	0,08	1,7
1.18	3,67	0,36	9,4
0.6	273,22	27,32	42,8
0,3	284,55	28,45	68,3
0,15	324,16	32,41	92,5
Fundo	112,52	11,45	100,0
Total	998,99		

Fonte: O autor, 2024.

Quadro 04: Segunda amostra agregado miúdo convencional.

Análise Granulométrica Agregado Miúdo Convencional 2ª Amostra			
Malhas das Peneiras	Massa Retida (g)	% Retida	% Retida Acumulada
6.3	0,04	0,00	0,0
4.75	0,08	0,01	0,1
2.36	17,68	1,76	1,9
1.18	69,40	6,94	8,9
0.6	322,45	32,24	41,1
0,3	245,60	24,56	65,6
0,15	251,50	25,15	90,7
Fundo	93,20	9,32	100,0
Total	999,95		

Fonte: O autor, 2024.

Os quadros 05 e 06 se referem ao agregado miúdo reciclado (Blocos de concreto), utilizando as mesmas peneiras do ensaio feito com o agregado miúdo convencional.

Quadro 05: Primeira amostra agregado miúdo reciclado.

Análise Granulométrica Agregado Miúdo Reciclado 1ª Amostra			
Malhas das Peneiras	Massa Retida (g)	% Retida	% Retida Acumulada
6.3	0,00	0,00	0,0
4.75	0,00	0,00	0,0
2.36	0,87	0,08	0,1
1.18	3,67	0,36	0,4
0.6	273,22	27,32	25,9
0,3	284,55	28,45	52,9
0,15	324,16	32,41	89,4
Fundo	112,52	11,25	100,0
Total	998,99		

Fonte: O autor, 2024.

Quadro 06: Segunda amostra agregado miúdo reciclado.

Análise Granulométrica Agregado Miúdo Reciclado 2ª Amostra			
Malhas das Peneiras	Massa Retida (g)	% Retida	% Retida Acumulada
6.3	0,00	0,00	0,0
4.75	0,00	0,00	0,0
2.36	0,87	0,08	0,1
1.18	3,67	0,36	0,5
0.6	273,22	27,32	27,9
0,3	284,55	28,45	56,4
0,15	324,16	32,41	88,9
Fundo	112,52	11,25	100,0
Total	998,99		

Fonte: O autor, 2024.

Na análise das amostras apresentadas, constatou-se uma variação mínima entre elas. Por isso, para a elaboração dos gráficos, foram selecionadas a primeira amostra do agregado miúdo convencional e a primeira amostra do agregado miúdo reciclado.

Para a execução da granulometria dos agregados convencionais e reciclados, foram seguidos os critérios definidos pela ABNT NBR 7211:2009, permitindo avaliar a previsão dos agregados para uso em concreto, além de determinar seus módulos de finura, diâmetro máximo, assim como sua classificação.

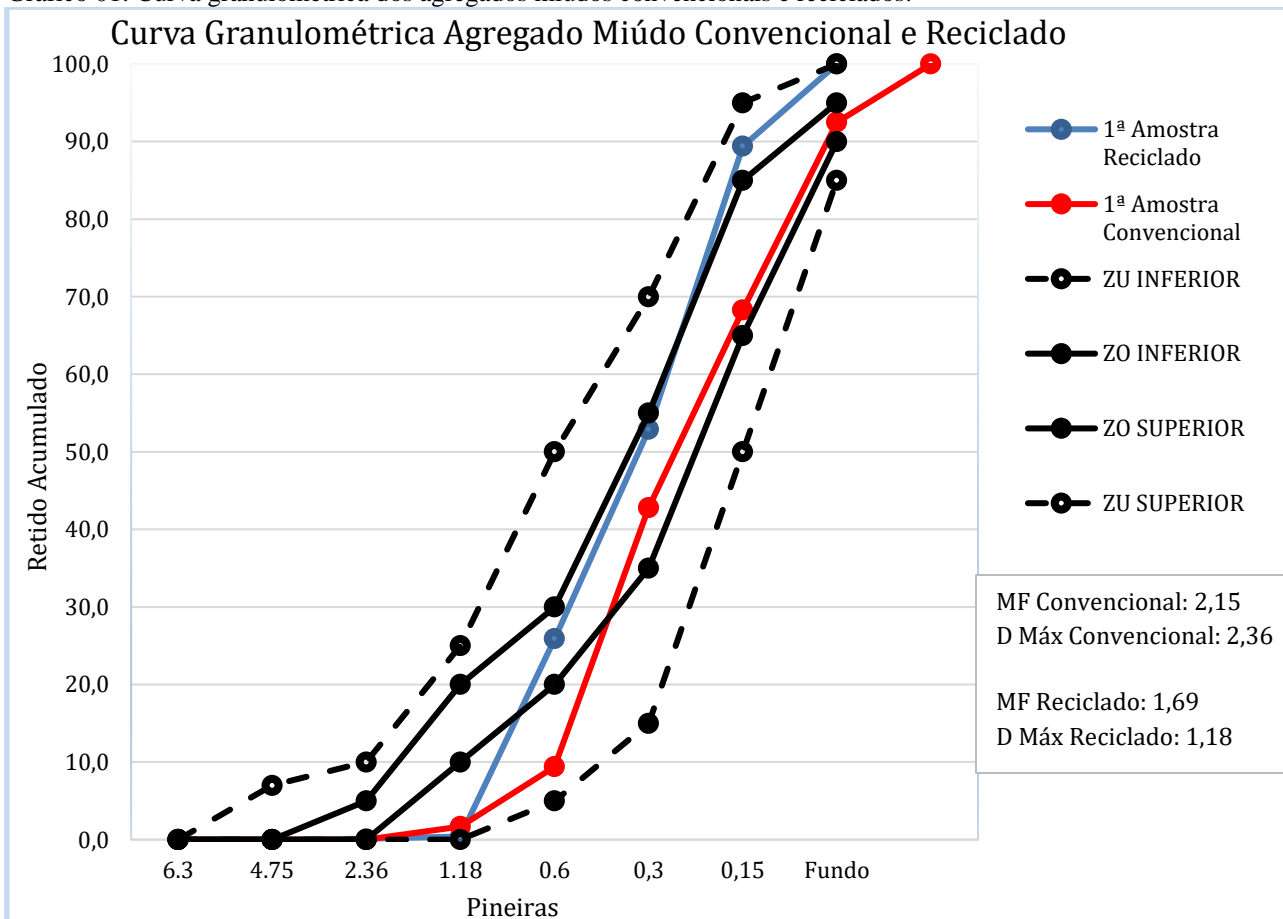
Quadro 07: Limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Tabela da Norma 7211			
	Limites Inferiores		Limites Superiores	
	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Ótima	Zona Utilizável
9,5	0	0	0	0
6.3	0	0	0	7
4.75	0	0	5	10
2.36	0	10	20	25
1.18	5	20	30	50
0.6	15	35	55	70
0,3	50	65	85	95
0,15	85	90	95	100

NOTA 1 - O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.
 NOTA 2 - O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.
 NOTA 3 - O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: NBR 7211, 2009, (adaptado).

Gráfico 01: Curva granulométrica dos agregados miúdos convencionais e reciclados.



Fonte: O autor, 2024.

No gráfico 01, é apresentado a curva granulométrica dos agregados miúdos e reciclados. As curvas pontilhadas indicam as zonas utilizáveis inferiores e superiores, enquanto as linhas pretas contínuas representam as zonas ótimas inferiores e superiores, com todos os valores baseados na ABNT NBR 7211:2009. A linha contínua vermelha representa o percentual de massa retida acumulada do agregado miúdo convencional e a linha em azul representa o percentual de massa retida acumulada do agregado miúdo reciclado.

Quadro 08: Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária (abertura nominal).

Série normal	Série intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
0,6 mm	-
0,3 mm	-
0,15 mm	-

Fonte: NBR 7211, 2009, (adaptado).

Para determinar o módulo de finura dos agregados miúdos, siga a equação 01 e as recomendações da ABNT NBR 7211:2009. A série normal começa na peneira de malha 4,75 mm e vai até a peneira de malha 0,15 mm. O diâmetro máximo é determinado pela percentagem retida acumulada ser menor ou igual a 5%.

Conforme ilustrado no gráfico 01 o módulo de finura do agregado miúdo convencional foi de 2,15 classificado como areia média fina e do agregado miúdo reciclado 1,69 classificado como

areia fina, com seus respectivos diâmetros máximo de 2,36 para o agregado miúdo convencional e 1,18 para o agregado miúdo reciclado.

5.2 Teor de umidade do agregado miúdo

O teor de umidade foi determinado pela relação percentual entre a massa total de água que se acumula na superfície dos grãos, preenchendo os poros permeáveis do agregado em relação a sua massa seca.

Quadro 09: Teor de umidade do agregado miúdo convencional.

Teor de Umidade Agregado Miúdo Convencional				
Materiais	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03	Amostra 04
Recipiente + Material Úmido (g)	143,24	142,27	128,83	122,58
Recipiente + Material Seco (g)	143,16	142,19	128,73	122,51
Recipiente (g)	13,81	13,42	11,67	13,71
Água (g)	0,08	0,08	0,1	0,07
Material Seco (g)	129,35	128,77	117,06	108,8
Umidade (%)	0,06	0,06	0,09	0,06
Determinação Média (%)	0,07			

Fonte: NBR 7211, 2009.

Quadro 10: Teor de umidade do agregado miúdo reciclável.

Teor de Umidade Agregado Miúdo Reciclado				
Materiais	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03	Amostra 04
Recipiente + Material Úmido (g)	103,55	110,31	97,35	104,46
Recipiente + Material Seco (g)	103,43	110,18	97,18	104,26
Recipiente (g)	13,81	13,42	11,67	13,71
Água (g)	0,12	0,13	0,17	0,2
Material Seco (g)	89,62	96,76	85,51	90,55
Umidade (%)	0,13	0,13	0,20	0,22
Determinação Média (%)	0,17			

Fonte: NBR 7211, 2009.

5.3 Massa específica do agregado miúdo

A massa específica é definida como a massa do material por unidade de volume, desconsiderando os vazios, que atendem aos poros internos das partículas. Foram realizados ensaios para os agregados miúdos convencionais e reciclados usados na produção de concreto.

Além dos testes dos agregados miúdos, também foi realizado o ensaio de massa específica do cimento utilizado na fabricação dos concretos.

Quadro 11: Massa específica dos materiais.

Massa Específica				
Materiais	Massa (g)	V inicial (cm³)	V final (cm³)	Massa específica (g/cm³)
Cimento Portland CPV ARI	60	0,5	20,5	3,00
Agregado miúdo convencional	500	200	395	2,56
Agregado miúdo reciclado	500	200	375	2,86

Fonte: O autor, 2024.

5.4. Avaliação física do concreto em estado fresco

O concreto convencional recebeu uma correção no traço base, com a adição de 100g extras de água na mistura. O Slump Test resultou em 50 mm, o que indica que o traço requer mais água para uma melhor trabalhabilidade, uma vez que ficou abaixo do ideal de 60 mm.

O concreto com 50% de substituição do agregado miúdo também precisou de uma correção em sua base de traço, recebendo a adição de 250 g de água, resultando em um Slump Test de 55 mm.

O concreto com 100% de substituição do agregado miúdo apresentou um Slump Test de 70 mm, que está dentro da faixa ideal. No entanto, foi necessária uma correção no traço, com a adição de 300 g de água.

Quadro 12: Slump Test.

Slump Test		
Concreto	Abatimento (mm)	Medida Final na Trena (cm)
Convencional	50	17,3
50% Agregado reciclado	55	12
100% Agregado reciclado	70	10

Fonte: O autor, 2024.

5.5. Avaliação física do concreto em estado endurecido

Nesta pesquisa, os resultados e as avaliações do concreto em estado endurecido, foi realizado a partir dos ensaios de resistência a compressão e resistência a tração, após 28 dias de cura.

5.5.1. Resistência a compressão dos corpos de prova

Os corpos de prova cilíndricos utilizados no ensaio foram produzidos com areia convencional e fragmentos de blocos estruturais como material reciclado. No concreto reciclado, houve substituição de 50% e 100% do agregado miúdo convencional. Os corpos de prova passaram por um tempo de cura de 28 dias, permanecendo totalmente submersos em um tanque com água durante esse período.

Quadro 13: Resultados resistência a compressão.

Resistência à Compressão								
Concretos	Amostras	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Massa (kg)	Resistência (Tf)	Área (mm ²)	Resistência (MPa)	Média (MPa)
Concretos Convencionais	CC 01	100,32	200,13	3,73	32,96	7904,33	40,89	46,30
	CC 02	90,93	200,22	3,68	34,27	6493,88	51,75	
	CC 03	91,98	200,35	3,77	31,35	6644,72	46,27	
Concretos com 50% de agregado reciclado	C50 01	100,50	200,40	3,46	36,22	7932,72	44,78	41,42
	C50 02	99,01	200,20	3,44	32,55	7699,24	41,46	
	C50 03	100,10	200,40	3,40	30,52	7869,70	38,03	
Concretos com 100% de agregado reciclado	C100 01	90,92	190,97	3,56	32,65	6492,45	49,32	45,44
	C100 02	100,25	200,44	3,62	31,51	7893,30	39,15	
	C100 03	90,97	200,21	3,68	31,71	6499,59	47,84	

Nota: 1 tonelada força (Tf) é igual a 9806,65 Newtons (N).

Fonte: O autor, 2024.

5.5.2. Resistência a tração dos corpos de prova

Os corpos de prova cilíndricos utilizados no ensaio foram produzidos com areia convencional e fragmentos de blocos estruturais como material reciclado. O concreto reciclado teve a substituição de 50% e 100% do agregado miúdo convencional. Os corpos de prova passaram por um tempo de cura de 28 dias, permanecendo totalmente submersos em um tanque com água durante esse período.

Quadro 14: Resultados resistência a tração.

Resistência à Tração								
Concretos	Amostras	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Massa (kg)	Resistência (Tf)	Área (mm ²)	Resistência (MPa)	Média (MPa)
Concretos Convencionais	CC 01	100,12	200,43	3,72	10,64	7872,84	13,25	14,93
	CC 02	90,83	200,31	3,80	11,22	6479,60	16,98	
	CC 03	99,02	200,86	3,82	11,42	7700,80	14,54	
Concretos com 50% de agregado reciclado	C50 01	90,84	205,03	3,52	10,09	6481,03	15,27	14,45
	C50 02	90,91	200,41	3,46	10,25	6491,02	15,49	
	C50 03	100,33	200,27	3,47	10,14	7905,90	12,58	
Concretos com 100% de agregado reciclado	C100 01	90,95	195,02	3,56	10,32	6496,74	15,58	14,34
	C100 02	100,12	190,93	3,53	10,05	7872,84	12,52	
	C100 03	90,98	190,91	3,58	9,82	6501,02	14,91	

Nota - 1 tonelada força (Tf) é igual a 9806,65 Newtons (N)

Fonte: O autor, 2024.

5.5.3. Análises pós-ensaios de resistência à compressão e tração

Os corpos de prova, após serem submetidos aos ensaios de compressão, apresentaram suas respectivas características, conforme demonstrado nas figuras 16 e 17.

Figura 16: Corpos de prova após os ensaios.



Fonte: O autor, 2024.

Figura 17: Características individuais do concreto com 100% de agregado miúdo reciclado.



Fonte: O autor, 2024.

Observa-se que os corpos de prova apresentam consistências significativamente diferentes. O concreto convencional possui uma coloração mais escura e uma consistência mais firme e rígida, onde é possível identificar a brita e a areia. Em contrapartida, o concreto reciclável exibe uma coloração mais clara, destacando mais as britas, pois o agregado miúdo reciclável foi completamente absorvido juntamente com a água quando misturado na betoneira.

Outro aspecto observado nos corpos de prova reciclados foi a sua dureza. Isso é evidente pelo formato pontiagudo que o interior da área de ruptura apresenta. Além disso, percebe-se uma perda significativa de massa após o ensaio, indicando uma boa ligação entre os componentes do concreto.

Os corpos de prova reciclados também apresentaram uma diminuição dos espaços vazios em seu interior em comparação com o concreto convencional, no qual se visualiza mais espaços vazios. Além disso, a diminuição dos espaços vazios pode resultar em maior densidade e resistência do concreto reciclado, potencialmente melhorando suas propriedades mecânicas.

Outros aspectos relevantes a serem considerados são a durabilidade e a sustentabilidade do uso de materiais reciclados, que podem reduzir o impacto ambiental ao reutilizar recursos e minimizar resíduos.

5.6. Planilha de orçamento para comparar custos entre concreto convencional e reciclável.

Com base nos traços utilizados como referência para a produção do concreto reciclável e do convencional, foi possível calcular o custo de cada um, permitindo uma comparação de valores entre eles. O quadro 15 refere-se à dosagem utilizada na produção de concretos. Diante disso, foi realizada a conversão de quilogramas para metros cúbicos, pois a comparação foi feita entre o valor de 1 metro cúbico de concreto reciclável e o valor de 1 metro cúbico de concreto convencional

Quadro 15: Quantitativo de material utilizado.

Concreto	Quantitativo de materiais (Kg)				
	Cimento	Agregado Miúdo Convencional	Agregado Miúdo Reciclado	Agregado Graúdo	Água
Referência	6	7,98	0	12,3	2,85
50% Agregado miúdo	6	3,99	3,99	12,3	2,85
100% Agregado miúdo	6	0	7,98	12,3	2,85

Fonte: O autor, 2024.

O quadro 16 refere-se ao valor do concreto convencional, e o quadro 17 é referente ao valor do concreto reciclável. Ao comparar os valores, observa-se que o concreto reciclável é economicamente mais barato que o convencional.

Quadro 16: Planilha de orçamento do valor total do concreto convencional.

PLANILHA DE ORÇAMENTO				
Obra:	Residencial Reserva Das Flores			
Tipo de Obra:	Condomínio Residencial			
Endereço de Obra:	Rua Capitão Fortunato Maia Nº535			
Preços expressos em:	R\$ (Real)			
Descrição	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Valor
Areia	m ³	0,005	60,00	0,30
Brita 0	m ³	0,008	160,00	1,28
Cimento CP II (50kg)	Kg	6	0,6	3,60
Água	m ³	0,003	3,06	0,01
Preço Total:				5,19
Esse traço equivale a 0,03 m³ de concreto.				

Fonte: O autor, 2024.

Quadro 17: Planilha de orçamento do valor total do concreto reciclável.

PLANILHA DE ORÇAMENTO				
Obra:	Residencial Reserva Das Flores			
Tipo de Obra:	Condomínio Residencial			
Endereço de Obra:	Rua Capitão Fortunato Maia Nº535			
Preços expressos em:	R\$ (Real)			
Descrição	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Valor
Brita 0	m ³	0,008	160,00	1,28
Água	m ³	0,003	3,06	0,01
Cimento CP II (50kg)	kg	6	0,6	3,60
Areia	m ³	0	0	0,0
Preço Total:				4,89
Esse traço equivale a 0,03 m³ de concreto.				

Fonte: O autor, 2024.

6. CONCLUSÃO

Conforme abordado na pesquisa, o setor da construção civil é um dos principais responsáveis pela produção de rejeitos e pela degradação ambiental, devido à falta de gerenciamento adequado e à ausência de destinação apropriada para esses rejeitos. A pesquisa demonstrou a viabilidade do uso de resíduos de blocos de concreto estrutural em concretos para fins não estruturais, diminuindo, assim, a utilização do agregado miúdo convencional (areia).

De acordo com os resultados obtidos na pesquisa, pode-se concluir que é viável produzir concreto utilizando resíduos de blocos de concreto estrutural, atendendo aos padrões normativos. A dosagem pelo modelo ACI/ABCP desempenhou um papel crucial nos três tipos de concreto produzidos, permitindo o controle preciso do material durante a produção e assegurando a alta qualidade do concreto produzido.

Os concretos com adição de resíduos recicláveis demonstraram uma absorção de água maior do que o concreto convencional. Esse aumento na absorção de água deve-se à maior porosidade dos fragmentos dos blocos de concreto estrutural em comparação com a areia. Consequentemente, quanto maior a utilização do agregado reciclado, maior será a necessidade de água. Além disso, ao serem misturados na betoneira, foi possível observar que as britas ficaram mais aparentes, enquanto a areia foi totalmente triturada.

Com os resultados obtidos no ensaio de compressão, conclui-se que o estudo foi satisfatório, pois os objetivos foram alcançados. O agregado miúdo reciclado atendeu aos padrões normativos, sendo apto para uso na produção de concreto para fins não estruturais. Valores de 30 MPa foram alcançados em todos os três tipos de concreto produzidos, revelando que a produção estava correta. Vale ressaltar que o tempo de cura e a hidratação do concreto são de extrema importância, pois estão diretamente ligados à sua resistência, assim como o controle da relação água-cimento. O fato de o agregado miúdo reciclado ter diâmetro de grãos menor do que a areia convencional foi benéfico para manter um padrão de resistência à compressão, pois os espaços vazios no interior do concreto foram reduzidos. Além disso, a boa interação com o agregado graúdo contribuiu para a ausência de partículas soltas no concreto, o que também beneficiou a resistência à compressão.

Embora o concreto reciclado apresente uma resistência à compressão superior ao objetivo de 30 MPa, ele ainda possui algumas desvantagens. Uma delas é a maior absorção de água devido à porosidade dos agregados reciclados, o que pode afetar negativamente a durabilidade do concreto. Além disso, a variabilidade na qualidade dos resíduos reciclados pode resultar em inconsistências no desempenho do concreto.

O processo de reciclagem pode ser desafiador devido à necessidade de garantir a quantidade suficiente de material para ser utilizado na construção, podendo ser necessário fazer a coleta de materiais descartados em outras obras. Além disso, requer equipamentos específicos e mão de obra especializada. Outro ponto é o maior desgaste dos equipamentos devido às partículas abrasivas. Por fim, o concreto reciclado pode enfrentar desafios na mistura e compactação, devido às propriedades diferentes dos agregados reciclados em relação aos naturais.

Os resultados obtidos indicam uma variação de 173 reais no valor de 1 metro cúbico de concreto convencional e 163 reais para o concreto reciclável, resultando em uma diferença total de 10 reais entre eles

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Ana Victoria da Costa et al. Diagnóstico de reutilização e reciclagem de resíduos sólidos de construção civil pelas cooperativas de reciclagem no município de Belém-PA. 2019.
- ANGULO, Sérgio Cirelli. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. 2000. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Urbana). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- ANGULO, Sérgio Cirelli. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. 2005. 236 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733: Cimento Portland de Alta Resistência Inicial**, p. 5. (1991).
- 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 - Concreto - 54 Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto –Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação**, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222 – Concreto - Determinação da resistência a tração por compressão diametral em corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776-Agregados- Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman**. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23 -Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52: Agregado miúdo– Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO - **ABRECON**. Disponível em: <<http://www.abrecon.org.br/>>. Acessado em: 20 de outubro de 2024.

AZEVEDO, G. O. D. de; KIPERSTOK, A.; MORAES, L. R. S. Resíduos da construção civil em Salvador: os caminhos para uma gestão sustentável. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, p. 65-72, 2006.

AZEVEDO, Paulo de Tarso de. **Desperdício de materiais na construção civil: análise e proposta de boas práticas para gestão sustentável dos resíduos.** Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6139/tde-24102023-190326/pt-br.php>. Acesso em: 06/11/2024.

BEHERA, M., BHATTACHARYYA, S. K., MINOCHA, A. K. Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete – A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review. *Construction and building materials*, v. 68, pp. 501-516, 2014

Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. Cidades e Comunidades Sustentáveis. ISO TC 268, 2020

Conselho Nacional do Meio Ambiente (2002) Resolução no. 307. Brasília.

COUTO, J. A. S.; CARMINATTI, R. L.; NUNES, R. R. A.; MOURA, R. C.; O concreto como material de construção. **Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas** | Sergipe | v. 1 | n.17 | p. 49-58 | out. 2013

DOS SANTOS, F. S.; DE ARAÚJO AZEREDO, P. H.; VENEU, D. M. Avaliação de concreto sustentável contendo teores de resíduos de agregados reciclados. **Brazilian journal of development**, v. 6, n. 7, p. 45457-45471, 2020.

DUTRA, M. B. Produção de concreto com areia de granulometria ótima – obtida do resíduo da mineração de quartzo. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.

FREITAS, Renato Alexandre C. et al. **Uma proposta para melhoria do planejamento e controle da produção em projetos de construção civil.** Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/ercemapi/article/view/17913>. Acesso em: 07/11/2024.

LATTERZA, Luciano de Mello. **Concreto com agregado graúdo proveniente da reciclagem de resíduos de construção e demolição: um novo material para fabricação de painéis leves de vedação.** 1998. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1998.

LEITE, Mônica Batista. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 270 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LIMA, Antônio Ribeiro de. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. 1999. 222 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

LIMA, Josiane Palma; LIMA, Renato da Silva; MORAIS, Flavia Tuane Ferreira. **Logística reversa de resíduos de construção civil: os oportunidades e desafios em diferentes países**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Joinville, 2017.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3ª ed. São Paulo: **IBRACON**, 2008

MORAIS, G. M. D. de et al. **Diagnóstico da deposição clandestina de Resíduos de Construção e Demolição em bairros periféricos de Uberlândia: Subsídios para uma gestão sustentável**. 2006.

SANTOS, F. S. dos; AZEREDO, P. H. de A.; VENEU, D. M. **Avaliação de concreto sustentável contendo teores de resíduos de agregados reciclados / Evaluation of sustainable concrete containing contents of recycled aggregate residues**. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 7, p. 45457–45471, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n7-244. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/12996>. Acesso em: 28 setembro. 2024.

SANTOS, Anna Carla Ozogovski de Almeida. **Aspectos Socioeconômicos do Desperdício de Material na Construção Civil**. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/40533/1/AspectosSocioeconomicosDesperdicio_Almeida_2021.pdf. Acesso em: 08/11/2024.

SILVA, M. L. M. M.; **Viabilidade econômica do uso de blocos fabricados com RCD na construção de casas unifamiliares**. 2021

SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes de et al., **Perdas de materiais nos canteiros de obras: a quebra do mito. Qualidade na Construção**, v.2, n.13, 1998, p.10 -15.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 190 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

Prefeitura do Município de São Paulo (2012) Tabelas de Custos. **Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras da Prefeitura do Município de São Paulo**. Disponível em: www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/infraestrutura/tabelas_de_custos/index.php?p=47729. Acesso em: 07/10/2024.

TROIAN, A. Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregado reciclado de concreto frente à penetração de íons cloreto. 2010.