



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA-CT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

LINUS PAULO ALVES DA CUNHA – 20190178973

ESTUDO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO PRODUZIDO COM AGREGADO
RECICLADO DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

JOÃO PESSOA – PB

2025

LINUS PAULO ALVES DA CUNHA

ESTUDO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO PRODUZIDO COM AGREGADO
RECICLADO DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para obtenção do título do grau pretendido.

JOÃO PESSOA – PB

2025

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

C972e Cunha, Linus Paulo Alves da.

Estudo da resistência à compressão do concreto produzido com agregado reciclado da construção e demolição / Linus Paulo Alves da Cunha. - João Pessoa, 2025.

69 f. : il.

Orientação: Givanildo Alves de Azeredo.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Agregados reciclados. 2. Concreto reciclado. 3. Dosagem. 4. Resíduos da construção e demolição. 5. Sustentável. I. Azeredo, Givanildo Alves de. II. Título.

UFPB/CT/BSCT

CDU 624(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

LINUS PAULO ALVES DA CUNHA

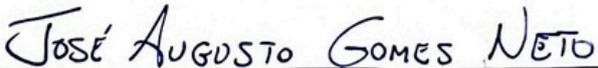
**ESTUDO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO PRODUZIDO
COM AGREGADO RECICLADO DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso em 28/04/2025 perante a seguinte Comissão Julgadora:



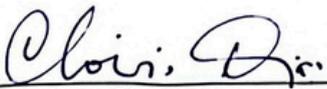
Prof. Dr. Givanildo Alves de Azeredo
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Prof. Dr. José Augusto Gomes Neto
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Prof. Dr. Clovis Dias
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, que sempre me guiou e fortaleceu nos momentos de dificuldade, sua presença foi minha fonte de perseverança e esperança.

Ao meu orientador, Givanildo Alves de Azeredo, expresse minha profunda gratidão pelo apoio, paciência e dedicação ao longo desta jornada; suas orientações foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, lhe agradeço bastante por acreditar no meu esforço e me guiar com sabedoria.

Agradeço incondicionalmente aos meus pais, José Leondas Marques da Cunha e Diana Alves da Cunha, por todo amor, apoio e ensinamentos; eles são meu alicerce, minha inspiração e meu maior exemplo de força e dedicação! Obrigado por cada palavra de incentivo, por cada sacrifício feito em prol do meu crescimento, principalmente, por sempre acreditarem que eu ia conseguir alcançar esse objetivo de vida.

E também a todos os meus familiares que me incentivaram de alguma forma!

À minha companheira, Adrielle Ferreira de França, que esteve ao meu lado em todos os momentos, oferecendo amor, paciência e incentivo incondicional!

E agora que temos uma filha linda, chamada Ana Liz França Alves da Cunha, esta que é a razão do meu viver e minha maior motivação, cada esforço feito nesta caminhada teve, em grande parte, ela como inspiração. Que esta conquista seja um exemplo de que com esforço e dedicação podemos alcançar nossos sonhos, meu amor por ela é infinito!

Por fim, uma imensa gratidão aos meus colegas do laboratório, por todo o apoio e companheirismo ao longo desta jornada, cada troca de conhecimento, cada ajuda e cada momento compartilhado tornaram essa caminhada mais leve e enriquecedora, sem eles, este percurso teria sido mais difícil.

RESUMO

Esta pesquisa avaliou a viabilidade do uso de agregados reciclados, provenientes de resíduos da construção e demolição (RCD), na produção de concreto, com foco na resistência à compressão. Foram realizados traços experimentais comparando materiais reciclados e naturais, observando-se que, mesmo com variações nas características físicas e mecânicas dos agregados, o desempenho do concreto reciclado foi satisfatório nesta pesquisa, apresentando resistências próximas às do concreto convencional deste estudo. A principal influência nos resultados foi a proporção dos materiais na dosagem, mais do que a origem dos agregados, evidenciando a importância de um controle rigoroso na produção. O estudo reforça a necessidade de padronização, critérios técnicos mais rigorosos e pesquisas contínuas para ampliar o uso seguro e sustentável do concreto reciclado na construção civil.

Palavras-chave: agregados reciclados; concreto reciclado; dosagem; resíduos da construção e demolição; sustentável.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama simplificado das etapas de manejo de resíduos.	17
Figura 2: Origem dos resíduos de construção civil.	19
Figura 3: Materiais produzidos pelas unidades de reciclagem de resíduos no Brasil, em 2015.	20
Figura 4: Classificação do formato dos grãos de acordo com suas dimensões.	23
Figura 5: Agregados utilizado para os ensaios e produção do concreto.....	34
Figura 6: Secagem de materiais.....	37
Figura 7: Quarteamento do agregado e amostragem.	38
Figura 8: Material para determinação da massa unitária.	39
Figura 9: Ensaio de granulometria.....	40
Figura 10: Medida dos Grãos.	41
Figura 11: Ensaio massa específica.	42
Figura 12: Absorção de água.	43
Figura 13: Processos da produção dos corpos de prova e teste de abatimento.	46
Figura 14: Cura submersa e corpos de prova a intempéries.	47
Figura 15: Ensaio de resistência à compressão.	48

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Caracterização física dos agregados.	21
Tabela 2: Caracterização física dos agregados.	22
Tabela 3: Granulometria dos agregados naturais e reciclados.	22
Tabela 4: Diferenças nas propriedades do concreto reciclado comparadas ao concreto com agregado natural utilizando a mesma relação água/cimento e 100% de substituição de agregado.	26
Tabela 5: Consumo dos materiais para dosagem de 40 L de concretos convencional e reciclado.	30
Tabela 6: Composição dos concretos (kg/m ³).	32
Tabela 7: Traços unitário em massa.	44
Tabela 8: Propriedades dos agregados.....	49
Tabela 9: Abatimento do concreto preliminar.	55
Tabela 10: Abatimento concreto definitivos.	55
Tabela 11: Carga suportada pelos corpos de prova preliminares.	56
Tabela 12: Capacidade de carga definitivos.	60

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Resistência a compressão.	27
Gráfico 2: Resistência à compressão pela relação a/c por incorporação de agregados miúdo (AMR) e graúdo (AGR) reciclados aos 28 dias.	28
Gráfico 3: Resultados de resistências mecânicas em concretos dosados com agregados reciclados aos 7 e 28 dias (intervalo de confiança de 68%).	29
Gráfico 4: Comparação da resistência à compressão dos concretos convencional e reciclado.	30
Gráfico 5: Resultados de resistência à compressão média.	31
Gráfico 6: Resistência à compressão dos concretos com substituição do AGRC.	33
Gráfico 7: Resistência à compressão dos concretos com substituição do AMRC.	33
Gráfico 8: Massa unitária dos agregados.	50
Gráfico 9: Curva granulométrica agregado miúdo.	51
Gráfico 10: Curva granulométrica agregado graúdo.	52
Gráfico 11: Massa específica dos agregados.	53
Gráfico 12: Absorção de água dos agregados.	54
Gráfico 13: Resistência à compressão preliminares.	59
Gráfico 14: Resistência à compressão definitivos.	61
Gráfico 15: Resistência à compressão máxima alcançada para as diferentes composições.	63

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Objetivo geral.....	14
1.1.2	Objetivo específico.....	14
2	JUSTIFICATIVA	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1	CONSTRUÇÃO CIVIL: DESAFIOS E PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS	16
3.2	RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	18
3.3	CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS	20
3.4	O CONCRETO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	23
3.4.1	Aplicações e propriedades	23
3.4.2	Reutilização dos resíduos da construção no concreto	25
4	METODOLOGIA.....	34
4.1	TIPO EXPERIMENTAL	34
4.2	SECAGEM DOS MATERIAIS.....	36
4.3	CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS	37
4.3.1	Amostragem e quartemento	37
4.3.2	Massa unitária	38
4.3.3	Granulometria	39
4.3.4	Massa específica.....	41
4.3.5	Absorção de água.....	42
4.4	DEFINIÇÕES DOS TRAÇOS	43
4.4.1	Traço preliminar	44
4.4.2	Traço definitivo.....	44
4.4.3	Traço binário	44
4.4.4	Consumo de cimento da mistura.....	45

4.5	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE CONCRETO	46
4.6	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO	47
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	49
5.1	CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS	49
5.1.1	Massa unitária	50
5.1.2	Granulometria	50
5.1.3	Massa específica.....	53
5.1.4	Absorção de água:	53
5.1.5	Abatimento do concreto.....	54
5.2	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO	56
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	65
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

Os egípcios se destacaram como grandes construtores da antiguidade, dominando a técnica de erguer edificações com blocos de rocha e sendo precursores no uso desse material na construção. No entanto, uma das mais notáveis inovações da humanidade ocorreu no final do século XIX com a descoberta do concreto. Seu amplo uso no século XX o tornou o segundo material mais utilizado pelo ser humano, ficando atrás apenas da água. Além disso graças ao concreto, foi possível erguer estruturas que impulsionaram o progresso da civilização, conforme Vieira (2013).

O concreto, conforme Pedroso (2009), é um dos materiais mais utilizados globalmente devido à sua versatilidade e elevada resistência à compressão após o processo de cura, sendo essencial na construção de edifícios, infraestrutura e grandes obras. No entanto, o setor comercial do concreto é um dos principais consumidores de matérias-primas naturais, como areia, granito e calcário, o que contribui significativamente para a degradação ambiental.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e regulamentada pelo Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010, é o principal marco legal relacionado à gestão de resíduos sólidos no Brasil. No caso específico dos Resíduos da Construção Civil (RCC), a Resolução CONAMA nº 307 define critérios, diretrizes e responsabilidades para seu gerenciamento, atribuindo aos municípios a tarefa de regulamentar e fiscalizar essas ações. Dessa forma, o Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil se apresenta como uma ferramenta essencial para reduzir os impactos ambientais causados pelo setor da construção.

Os resíduos da Classe A, conforme a ABNT NBR 15116:2021, abrangem componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento e outros), argamassa e concreto, que podem ser processados e transformados em agregados reciclados.

Quando descartados de forma inadequada, os resíduos da construção civil podem causar sérios impactos ambientais e à saúde pública. Eles alteram a paisagem urbana, degradam o ambiente, contaminam o solo e os recursos hídricos, além de atrair vetores de doenças. Resíduos provenientes de construções, reformas e demolições exigem soluções específicas, já que cada tipo de material demanda um tratamento adequado — não sendo suficiente apenas enviá-los a aterros sanitários. Nesse contexto, a reciclagem e, sempre que possível, a reutilização dos materiais se tornam estratégias fundamentais para uma gestão eficiente e sustentável desses resíduos, define Silva (2018).

Segundo Ribeiro (2022), a reciclagem e a reutilização do concreto contribuem significativamente para a redução do consumo de recursos naturais, a diminuição do volume de resíduos descartados e o melhor aproveitamento dos insumos utilizados na sua produção — inclusive a água gerada durante o processo de reciclagem, que pode ser reaproveitada em outras etapas. Além disso, o uso de resíduos como o concreto reciclado pode ser uma estratégia eficaz de marketing socioambiental, fortalecendo a imagem da construtora como uma empresa comprometida com a sustentabilidade e a preservação do meio ambiente.

No Brasil, o concreto reciclado é uma alternativa viável para o reaproveitamento de resíduos, mas ainda enfrenta obstáculos. A principal barreira é a percepção de que materiais recicláveis têm qualidade inferior, o que dificulta sua aceitação no mercado. Além disso, poucas empresas investem em reciclagem nos canteiros de obras ou utilizam materiais reciclados em suas construções. É necessário ampliar a conscientização de que produtos feitos a partir de resíduos podem ter qualidade equivalente aos convencionais, valorizando a sustentabilidade sem abrir mão do desempenho, (RIBEIRO, 2022).

Desde o período pós-Segunda Guerra Mundial, países europeus utilizam agregados reciclados na construção civil, prática que foi essencial para a reconstrução de cidades devastadas pelo conflito, (LEITE, 2001).

Segundo Ferreira (2007), o uso de Resíduos da Construção e Demolição (RCD) como agregados pode trazer benefícios econômicos significativos, especialmente em regiões onde a extração de matérias-primas naturais está se tornando cada vez mais limitada. Entretanto, antes de utilizar os RCD's como agregados, é essencial realizar estudos que avaliem sua influência nas propriedades do concreto e das argamassas, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, conforme Ângulo (2005).

Diante desse cenário, este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo realizar a pesquisa sobre a utilização dos resíduos de construção e demolição (RCD) na produção de concreto, onde a reutilização desse material pode surgir como uma alternativa promissora para reduzir impactos ambientais causados pela construção civil associados ao descarte inadequado dos resíduos. Por tanto, a pesquisa contínua sobre esses insumos é essencial, justamente pela ausência de normas regulamentadoras mais objetivas acerca do uso desse material.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição (RCD), como substitutos parciais ou totais na produção de concreto.

1.1.2 Objetivo específico

- a) Avaliar o impacto do agregado de RCD na resistência à compressão do concreto em comparação ao concreto fabricado com material natural;
- b) Comparar as propriedades físicas e mecânicas dos agregados reciclados com as dos agregados naturais;
- c) Definir dosagens eficientes de concreto com RCD, otimizando a substituição de agregados naturais por reciclados.

2 JUSTIFICATIVA

Reduzir os impactos ambientais por meio de práticas sustentáveis, com a utilização de material reciclado na produção de concreto.

Mostrar a viabilidade técnica do uso de resíduos da construção e demolição na fabricação de concreto.

Influenciar os setores público e privado para aderir às práticas sustentáveis com a imersão de RCD na produção do concreto.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CONSTRUÇÃO CIVIL: DESAFIOS E PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS

Segundo Mello e Amorim (2009), o setor da construção civil no Brasil tem passado, na última década, por uma grande transformação, superando um período de estagnação e baixos investimentos e entrando em uma fase marcada por grandes obras em andamento e forte crescimento do mercado imobiliário. Esse novo cenário tem impulsionado a adoção de modelos organizacionais mais eficientes e inovações tecnológicas por diversas empresas, formando um núcleo moderno e dinâmico dentro do setor, com desempenho comparável ao de empresas europeias e norte-americanas do mesmo segmento.

A construção civil é a segunda maior fonte de renda da economia brasileira, atrás apenas do agronegócio. Devido à sua relevância, é frequentemente considerada um dos "motores" da economia, impulsionando a geração de empregos, movimentando o mercado e contribuindo para a criação de riquezas. No entanto, esse setor também se destaca como um dos maiores geradores de resíduos, além de consumir grandes volumes de recursos naturais e impactar significativamente a paisagem. Por isso, a construção civil apresenta um alto potencial de degradação ambiental, exigindo atenção especial quanto à sustentabilidade de suas práticas (SILVA, 2018).

Conforme Martins (2017), as construções devem obedecer às normas técnicas e garantir a qualidade e o desempenho adequados às necessidades dos usuários. As empresas do setor têm responsabilidade legal sobre o que entregam, assim como ocorre em outros ramos da indústria. Além disso, precisam adotar uma postura comprometida com a sustentabilidade e com a preservação do meio ambiente em suas atividades.

De acordo com Nagalli (2022), a construção civil é uma das principais geradoras de resíduos e seu gerenciamento adequado tem como objetivo garantir sua gestão correta ao longo das atividades de obra e dos serviços de engenharia, com foco na sustentabilidade. Esse gerenciamento se apoia em estratégias como a não geração, a minimização, a reutilização, a reciclagem e o descarte apropriado, priorizando a redução de resíduos já na fonte, por meio de práticas planejadas e conscientes desde o início da construção.

Para Francisco (2017), na Holanda e no Japão, são aplicadas normas voltadas à sustentabilidade na produção de materiais reciclados, especialmente aqueles originados de resíduos de obras de pequeno, médio e grande porte. Além disso, a escassez de matéria-prima e a superlotação de aterros e áreas de deposição têm incentivado ainda mais a reciclagem desses

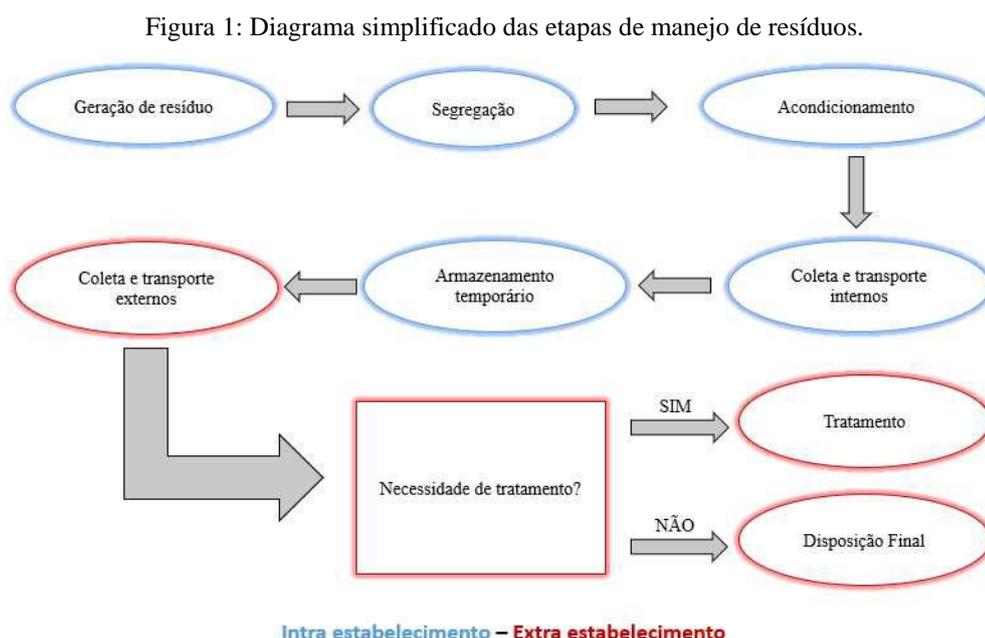
materiais, tornando essa prática uma prioridade nesses países.

A sustentabilidade é composta por três dimensões interligadas: ambiental, social e econômica. Os resíduos da construção e demolição impactam essas três esferas de forma simultânea, tanto pelos efeitos causados ao meio ambiente quanto pela atuação humana na cadeia da reciclagem, que além de mitigar desigualdades sociais, também contribui para a geração de emprego e renda, movimentando tanto a macro quanto a microeconomia (NAGALLI, 2022).

Para que o setor da construção civil alcance a sustentabilidade, Costa (2003) destaca a importância de reduzir o desperdício e adotar uma gestão eficiente dos resíduos gerados, pois somente com essas práticas é possível caminhar de fato rumo a um modelo sustentável.

Segundo Santos e Leite (2018), a reciclagem se apresenta como uma solução sustentável para a destinação do RCD, pois, além de promover a economia no uso de matéria-prima natural, resulta na diminuição da poluição ambiental causada.

Segundo Silva (2018), o manejo de resíduos deve garantir todas as etapas necessárias para o seu gerenciamento, abrangendo tanto os aspectos internos quanto externos ao local gerador, desde a geração até a destinação final. As fases de segregação, acondicionamento, coleta interna e armazenamento temporário ocorrem dentro do próprio estabelecimento, enquanto a coleta externa (transporte), o tratamento e a destinação final acontecem fora da instituição geradora. A figura 1 apresenta um diagrama simplificado dessas etapas do manejo de resíduos.



Fonte: Silva (2018).

As soluções voltadas à gestão dos Resíduos da Construção Civil (RCC) devem seguir diretrizes fundamentais. Primeiramente, é essencial facilitar a atuação dos agentes, criando instrumentos institucionais, jurídicos e físicos que permitam a cada um, conforme suas condições sociais e econômicas, exercer suas responsabilidades no manejo e destinação adequada dos resíduos gerados. Também é necessário disciplinar essas ações por meio de regras claras e viáveis, definindo responsabilidades e fluxos de materiais com base em processos participativos, assegurando transparência na distribuição dos custos ao longo da cadeia operativa e respeitando o meio ambiente (SINDUSCOM-MG, 2014).

Segundo Gomes (2021), os principais benefícios ambientais decorrentes da reutilização dos resíduos da construção e demolição (RCD) na indústria da construção civil envolvem a redução dos impactos ambientais associados à extração de recursos naturais para a produção de agregados, além do estímulo à prática da reciclagem e do reaproveitamento desses materiais dentro da própria cadeia produtiva do setor.

3.2 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Para Lopes (2017), entulho é o nome dado aos resíduos gerados por obras, reformas, demolições ou até mesmo durante o próprio processo de construção. Esse material é composto por uma variedade de elementos usados na construção civil, como tijolos, brita, areia, cerâmica, concreto, madeira, tintas, plásticos, papéis, entre outros fragmentos e sobras.

De acordo com a Resolução nº 307 do CONAMA, os resíduos da construção civil são aqueles gerados em atividades de construção, reformas, reparos e demolições, bem como na preparação e escavação de terrenos. Esses resíduos incluem materiais como tijolos, blocos cerâmicos, concreto, solo, rochas, madeira, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, entre outros, sendo popularmente conhecidos como entulho, calça ou metralha. Neste estudo, o material analisado com base nessa resolução são os resíduos da construção civil, que, conforme a própria norma, estão classificados da seguinte forma:

Classe A – resíduos retornáveis como agregados, tais como:

- a) da construção, reformas, demolição, reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, incluindo material de solos oriundos de terraplanagem;
- b) da demolição, reformas e pequenos reparos de construção: partes cerâmicas, argamassa de cimento e areia e concreto;

c) de peças pré-moldadas de concreto fabricadas nas obras.

Essa resolução estabelece a responsabilidade tanto do poder público quanto da iniciativa privada, no setor da construção civil. As grandes empresas, que são os principais geradores de resíduos da classe “A”, precisaram implementar sistemas de qualidade nos canteiros de obras para garantir a triagem, reciclagem e destinação adequada desses materiais, entre as medidas adotadas, destacam-se a separação e seleção dos resíduos no local, o uso de transporte devidamente cadastrado e a destinação em áreas licenciadas para o manuseio adequado. Já o setor público, especialmente as prefeituras, deve oferecer uma rede de coleta e destinação para pequenos geradores, como responsáveis por pequenas edificações, que não possuem estrutura para gerenciar seus próprios resíduos (ÂNGULO, 2005).

Os Resíduos de Construção e Demolição (RCD), também chamados de Resíduos da Construção Civil (RCC) e popularmente conhecidos como entulhos, são considerados Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), sendo gerados durante atividades como construção, reforma, escavação ou demolição (ABRECON, 2025). Além disso, a Sinduscon-MG (2014), ressalta que pequenas reformas representam a maior fonte de geração de resíduos da construção para o Estado de Minas Gerais, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2: Origem dos resíduos de construção civil.



Fonte: SINDUSCON-MG (2014).

Os resíduos da construção civil são compostos, em sua maioria, por materiais de difícil degradação ou não degradáveis, o que os diferencia dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no que diz respeito à disposição no solo, já que tendem a manter seu volume ao longo do tempo, ocupando rapidamente os espaços destinados ao descarte e dificultando sua reutilização para outros fins após o encerramento das atividades (BRASIL, 2022).

O processo de reciclagem do concreto apresenta grande potencial, podendo o mesmo ser reutilizado em diversas áreas da construção civil, sem que interfira na qualidade das obras, porém ainda caminha a passos curtos no Brasil, são necessários mais investimentos, tanto na parte tecnológica de reaproveitamento e separação, quanto

na difusão da informação e treinamento dos profissionais (GONÇALVES, 2021, p. 26).

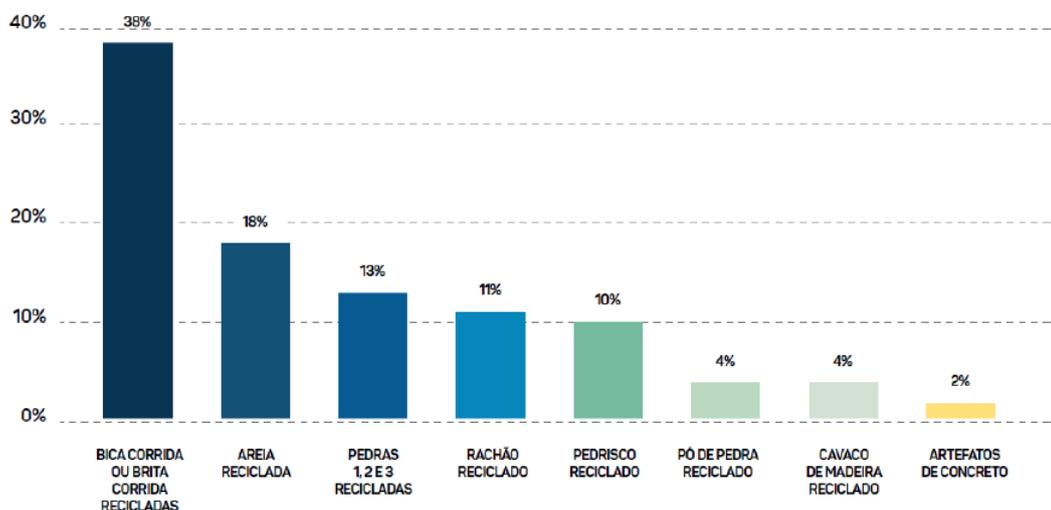
Como ressalta Rosado e Penteado (2020), experiências internacionais e ações nacionais mostram que instrumentos econômicos têm grande potencial para melhorar a gestão dos Resíduos da Construção Civil, principalmente ao reduzir a destinação em aterros e incentivar a reciclagem, permitindo a substituição de agregados naturais por reciclados. Para que esses instrumentos sejam eficazes, é essencial realizar estudos prévios que incluam a visão de todos os envolvidos, como geradores, transportadores e operadores de destino final, além de integrar medidas de comando e controle com programas de comunicação e educação ambiental que engajem toda a sociedade.

Gonçalves (2021) completa afirmando que a reciclagem do concreto possui um alto potencial de aproveitamento, sendo viável sua aplicação em diferentes segmentos da construção civil sem prejuízo à qualidade das estruturas. Apesar disso, no contexto brasileiro, essa prática ainda se desenvolve de forma gradual, exigindo maiores investimentos em tecnologias voltadas ao processamento e à separação dos resíduos, assim como em ações de capacitação e disseminação de conhecimento entre os profissionais da área.

3.3 CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS

No que se refere às granulometrias dos agregados reciclados gerados pelas usinas de reciclagem no Brasil, a Figura 3 traz dados quantitativos referentes ao ano de 2015, conforme publicado no Planares (BRASIL, 2022).

Figura 3: Materiais produzidos pelas unidades de reciclagem de resíduos no Brasil, em 2015.



Fonte: BRASIL (2022).

Nesse contexto, os dados apresentados por Rodrigues e Fucale (2014) reforçam as diferenças significativas entre os agregados naturais e os reciclados. Os autores identificaram que o agregado miúdo natural possui absorção de água de 1%, enquanto o reciclado apresenta um valor bastante superior, de 10%. No que se refere ao teor de material pulverulento, o agregado natural registrou 1%, contrastando com os 8,7% do reciclado. Já em relação à massa específica, o agregado miúdo reciclado obteve 2,54 kg/dm³, frente aos 2,62 kg/dm³ do natural, o que representa uma redução de 3,1% em comparação ao parâmetro do agregado convencional.

De acordo com Lintz *et al.*, (2012), alguns ensaios de caracterização física dos agregados foram feitos, tais como: determinação da massa específica segundo as especificações da NBR NM 52:2009 para os agregados miúdos e da NBR NM 53:2009 para os agregados graúdos, determinação da massa unitária dos agregados conforme as especificações da ABNT NM 45:2006, e classificação dos agregados de acordo com a composição granulométrica conforme NBR 7211:2009. Os resultados dos ensaios de caracterização dos agregados obtidos estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Caracterização física dos agregados.

Material	Massa Específica (Kg/l)	Massa Unitária (Kg/l)	Dimensão máxima Característica (mm)	Módulo de Finura	Classificação Granulométrica
Agregado miúdo natural	2,62	1,47	2,4	1,93	zona 2 areia fina
Agregado miúdo natural	2,90	1,63	4,8	2,74	zona 3 areia média
Agregado graúdo natural	2,86	1,64	9,5	6,67	brita 0
Agregado miúdo reciclado	2,34	1,33	4,8	2,38	zona 3 areia reciclada média
Agregado graúdo reciclado	2,55	1,46	9,5	3,36	brita 0 reciclada

Fonte: Lintz *et al.* (2012).

A absorção de água do agregado reciclado miúdo foi de 12,35%, valor dentro do limite máximo de 17% estabelecido pela NBR 15116:2021 para agregados reciclados mistos destinados ao uso em concreto (FROTTE *et al.*, 2017).

Os resultados dos ensaios de caracterização dos agregados estão sumarizados na Tabela 2, conforme Gomes (2021).

De acordo com Vieira, Dal Molins e Lima (2004), a composição granulométrica dos agregados está disposta na Tabela 3.

Tabela 2: Caracterização física dos agregados.

Parâmetros	Norma	Areia natural	Areia reciclada	Brita convencional	Brita reciclada
Massa específica	ABNT NBR 52:2009; ABNT NBR 53:2009	2,59 g/cm ³	2,69 g/cm ³	2,89 g/cm ³	2,31 g/cm ³
Massa unitária	ABNT NBR 45:2006	1,44 g/cm ³	1,46 g/cm ³	1,57 g/cm ³	1,20 g/cm ³
Dimensão máxima característica	ABNT NBR NM 248:2003	2,36 mm	4,75 mm	19 mm	19 mm
Módulo de finura	ABNT NBR NM 248:2003	2,06	2,03	6,94	6,79
Teor de material pulverulento	ABNT NBR NM 46:2003	0,9 %	11,1 %	0,2 %	1,2%

Fonte: Gomes (2021).

Tabela 3: Granulometria dos agregados naturais e reciclados.

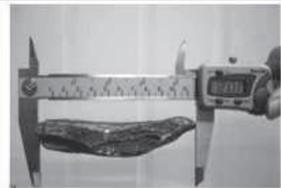
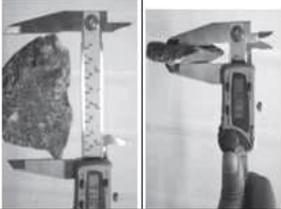
Agregado Miúdo Natural		Agregado Miúdo Reciclado	
Dimensão máxima característica (mm)	4,8	Dimensão máxima característica (mm)	4,8
Módulo de finura	2,46	Módulo de finura	2,73
Agregado Graúdo Natural		Agregado Graúdo Reciclado	
Dimensão máxima característica (mm)	19	Dimensão máxima característica (mm)	19
Módulo de finura	7,00	Módulo de finura	6,62

Fonte: VIEIRA; DAL MOLIN; LIMA (2004).

Além disso, um aspecto relevante é que os agregados provenientes de RCD apresentam massa específica inferior à dos agregados convencionais. Isso se deve à composição heterogênea desses materiais, que inclui partículas finas e elevada porosidade, resultando em maiores índices de absorção de água e maior presença de material pulverulento quando comparados aos agregados tradicionais (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

De acordo com Lopes (2017), os grãos podem ser classificados segundo seu formato em: normal, alongado, lamelar, semi-arredondado e arredondado (ilustrado na Figura 5). Para esta classificação é necessário conhecer as seguintes características físicas do grão: comprimento (C), largura (L) e espessura (e).

Figura 4: Classificação do formato dos grãos de acordo com suas dimensões.

NORMAL	$\frac{C}{L} < 2$	E	$\frac{L}{e} < 2$	
ALONGADO	$\frac{C}{L} \geq 2$	E	$\frac{L}{e} \geq 2$	
LAMELAR	$\frac{C}{e} \geq 2$	E	$\frac{L}{e} \geq 2$	

Fonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ – DCC (2025).

3.4 O CONCRETO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

3.4.1 Aplicações e propriedades

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil em todo o mundo, presente em praticamente todos os tipos de edificações, desde grandes estruturas até moradias populares. Apesar de sua ampla aplicação, ele não é encontrado na natureza em sua forma pronta para uso, sendo produzido a partir da mistura de cimento, areia, brita e água. Além desses componentes básicos, outros insumos como cinza volante, pozolanas, sílica ativa e aditivos químicos podem ser adicionados para melhorar ou modificar suas propriedades (COUTO *et al.*, 2013).

“O concreto, quando de sua produção, é uma massa sem forma (quase fluida), e deverá ocupar o espaço interno nas formas, competindo, assim, em termos de ocupação do espaço, com a armadura interna às formas” (BOTELHO, 2019, p. 33).

Mehta e Monteiro (2014) destacam que as propriedades do concreto são influenciadas por diversos fatores, tornando essencial a compreensão de sua composição para garantir eficiência, e essas propriedades podem ser analisadas tanto no estado fresco quanto no endurecido.

De maneira sucinta, pode-se afirmar que o concreto é uma pedra artificial que se molda à inventividade construtiva do homem. Este foi capaz de desenvolver um material que, depois de endurecido, tem resistência similar às das rochas naturais e,

quando no estado fresco, é composto plástico: possibilita sua modelagem em formas e tamanhos os mais variados, (PEDROSO, 2009, p. 14).

De acordo com Helene e Andrade (2010), o estado fresco corresponde a um período curto, geralmente entre 1 e 5 horas, que abrange todo o processo de produção do concreto, incluindo mistura, transporte, lançamento e adensamento.

O concreto fresco é obtido pela combinação de seus componentes, podendo essa mistura ser realizada de forma manual ou mecanizada, sendo que a forma manual é empregada apenas em obras de pequeno porte devido às limitações de volume e controle de qualidade, enquanto nas demais situações a mistura é feita em equipamentos específicos, como as betoneiras, máquinas de tambor rotativo amplamente utilizadas na construção civil. Nesse contexto, destaca-se também a consistência do concreto fresco, que representa o seu grau de fluidez e é uma característica essencial para garantir a trabalhabilidade da mistura, permitindo que o concreto seja lançado e moldado com facilidade nas fôrmas, sem causar a segregação dos materiais, o que comprometeria sua homogeneidade e, conseqüentemente, a resistência final da estrutura, (ANDOLFATO, 2002).

Segundo as especificações da ABNT NBR 12655:2015, as diretrizes indicam que o concreto está endurecido quando se encontra no estado sólido, sendo que nesse período é possível quantificar a sua resistência mecânica.

Segundo Gonçalves (2015), o concreto é composto por cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água, sendo que uma interação adequada entre esses materiais deve proporcionar uma boa trabalhabilidade, ou seja, uma consistência que permita fácil manuseio e aplicação, e essa característica é essencial para garantir que o concreto possa ser moldado conforme as necessidades, adaptando-se a diferentes formatos e estruturas. Além disso, a trabalhabilidade influencia diretamente na qualidade do acabamento e na durabilidade do material após a cura.

“Para se obter as características essenciais do concreto, como a facilidade de manuseio quando fresco, boa resistência mecânica, durabilidade e impermeabilidade quando endurecido, é preciso conhecer os fatores que influem na sua qualidade”, como definido a seguir (ALMEIDA, 2002):

- Qualidade dos materiais: materiais de boa qualidade produzem concreto de boa qualidade;
- Proporcionalmente adequado: deve-se considerar a relação entre as quantidades: de cimento e de agregados, de agregados graúdo e miúdo, água e o cimento;
- Manipulação adequada: após a mistura, o concreto deve ser transportado, lançado nas

formas e adensado corretamente;

- Cura cuidadosa: a hidratação do cimento continua por um tempo bastante longo e é preciso que as condições ambientes favoreçam as reações que se processam. Desse modo, deve-se evitar a evaporação prematura da água necessária à hidratação do cimento. É o que se denomina cura do concreto.

De acordo com as indicações da ABNT NBR 12655:2015, os agregados que compõem a mistura do concreto, devem necessariamente satisfazer as qualidades mínimas exigidas para minimizar os possíveis problemas com corrosão nas armaduras, e também não prejudicar o tempo de vida útil do concreto.

A consistência reflete a mobilidade e coesão da mistura fresca, garantindo a uniformidade e compacidade do concreto, outro aspecto importante, é relacionado a segregação que ocorre quando os componentes se separam, comprometendo a homogeneidade, podendo ser causada por métodos inadequados de execução ou vibração excessiva, resultando em um concreto de menor qualidade. Já a exudação é o fenômeno em que a água de amassamento sobe à superfície, tornando a parte superior mais frágil, porosa e menos resistente, define Almeida (2002).

A cura do concreto refere-se aos métodos aplicados para manter a hidratação do cimento, controlando tempo, temperatura e umidade logo após o concreto ser moldado, define Mehta e Monteiro (2014).

3.4.2 Reutilização dos resíduos da construção no concreto

Mesmo com os avanços e a diversificação de materiais na construção civil, o concreto continua sendo o mais utilizado atualmente, onde diversos estudos e publicações tentam determinar o momento exato em que o homem começou a trabalhar com esse material, e um bom exemplo é o livro Propriedades do Concreto, que apresenta a seguinte contextualização:

A utilização de materiais cimentícios é bastante antiga. Os antigos Egípcios utilizavam gesso impuro. Os Gregos e Romanos utilizavam calcário calcinado e, mais tarde, aprenderam a adicionar areia e pedra fragmentada ou fragmentos de tijolos ou telhas ao calcário e a água. Esse foi o primeiro concreto da história, (NEVILLE, 2016).

Angulo e Figueiredo (2011) estabelecem os principais critérios para a utilização de agregados provenientes de resíduos da construção e demolição (RCD) em concretos com finalidade estrutural, destacando os seguintes parâmetros:

- Separar os resíduos na fonte e durante a triagem nas usinas para evitar a contaminação dos agregados por materiais indesejados;

- Utilizar em substituição aos agregados convencionais sem aumentar excessivamente a porosidade média nem elevar o consumo de cimento;
- Produzir agregados de RCD com a menor porosidade possível para concretos estruturais, atendendo às exigências da ABNT NBR 7211:2019, conforme os requisitos da ABNT NBR 12655:2015.

A elevação da quantidade de RCD incorporada à mistura contribui para o aumento da porosidade do concreto, o que, por sua vez, está associado a uma maior absorção de água. Esse comportamento ocorre em função da maior concentração de materiais finos, favorecendo o aprisionamento de ar na mistura ainda no estado fresco (Frotte *et al.*, 2017).

De acordo com Leite (2001), concretos produzidos com agregados reciclados podem alcançar, no mínimo, 67% da resistência apresentada por concretos com agregados convencionais, sendo que essa diferença está associada, entre outros aspectos, à maior porosidade dos agregados reciclados e às características da zona de transição interfacial. Outras propriedades comparativas entre concretos com agregados reciclados e os formulados com materiais convencionais estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 4: Diferenças nas propriedades do concreto reciclado comparadas ao concreto com agregado natural utilizando a mesma relação água/cimento e 100% de substituição de agregado.

Propriedade	Relação
Resistencia à compressão	Redução em até 25%
Resistencia à tração direta e na flexão	Redução em até 10%
Módulo de elasticidade	Redução em até 45%
Retração por secagem	Aumento em até 70%
Fluência	Aumento em até 50%
Absorção de água	Aumento em até 50%
Profundidade de carbonatação	Similar
Resistencia ao congelamento e degelo	Reduzida
Penetração de cloretos	A mesma ou ligeiramente aumentada
Abatimento	O mesmo ou ligeiramente reduzido

Fonte: MEHTA; MONTEIRO (2014).

Para Lintz *et al.* (2012), o traço unitário em massa, do concreto selecionado para este estudo foi: 1:3,5:3,0:2,5:0,80 (cimento:areia fina:areia média:brita:água). A partir do traço considerado “de referência” foram produzidos concretos com incorporações crescentes de RCD em substituição aos agregados nas seguintes proporções, com resultados apresentados no Gráfico 1:

E0 - mistura de concreto de referência;

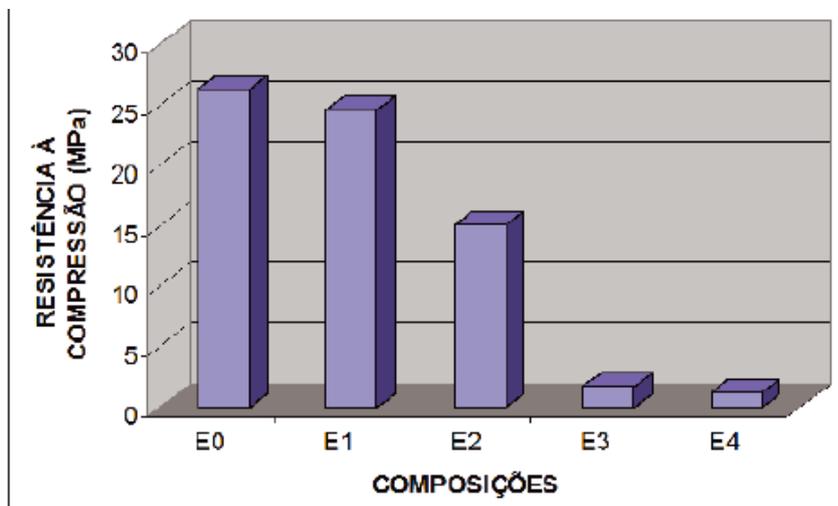
E1 - mistura de concreto com substituição de 20% dos agregados naturais pelo RCD;

E2 - mistura de concreto com substituição de 50% dos agregados naturais pelo RCD;

E3 - mistura de concreto com substituição de 80% dos agregados naturais pelo RCD;

E4 - mistura de concreto com substituição de 100% dos agregados naturais pelo RCD.

Gráfico 1: Resistência a compressão.



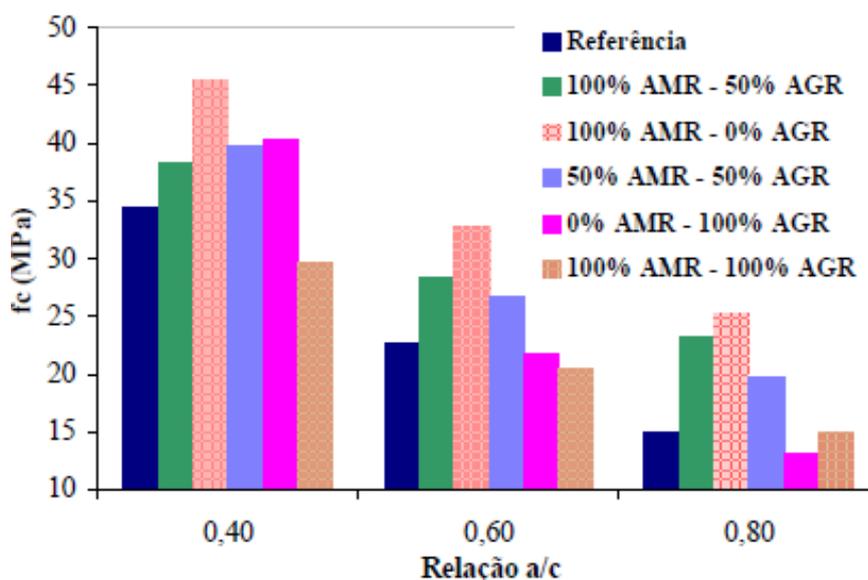
Fonte: Lintz *et al.* (2012).

Em relação à resistência à compressão dos corpos de prova de concreto, as misturas E1 e E2 apresentaram desempenhos equivalentes a uma fração considerável da resistência obtida pela mistura de referência (E0), embora com reduções perceptíveis. As demais formulações, por outro lado, demonstraram perdas significativas nessa propriedade, indicando uma redução acentuada na capacidade de resistir aos esforços de compressão, (LINTZ *et al.*, 2012).

Quanto ao desempenho mecânico, os concretos reciclados obtêm valores distintos de resistências em relação aos concretos convencionais. Seu comportamento pode ser explicado pelos fatores abordados anteriormente: agregados reciclados serem provenientes de diferentes origens, cujas principais fontes são materiais cimentícios e cerâmicos; percentual dos agregados convencionais substituídos pelos reciclados, na proporção parcial ou total, associados a uma determinada relação água/cimento, (GOMES, 2021).

O estudo conduzido por Vieira, Dal Molin e Lima (2004), representado no Gráfico 2, envolveu a realização de ensaios de resistência à compressão em concretos preparados com diferentes relações água/cimento (a/c) e com substituições parciais e totais dos agregados convencionais por reciclados. Esses agregados reciclados apresentavam, em sua composição, predominância de materiais cerâmicos (48%), seguidos por resíduos de argamassa (28%) e fragmentos de concreto (19%).

Gráfico 2: Resistência à compressão pela relação a/c por incorporação de agregados miúdo (AMR) e graúdo (AGR) reciclados aos 28 dias.



Fonte: VIEIRA; DAL MOLIN; LIMA (2004).

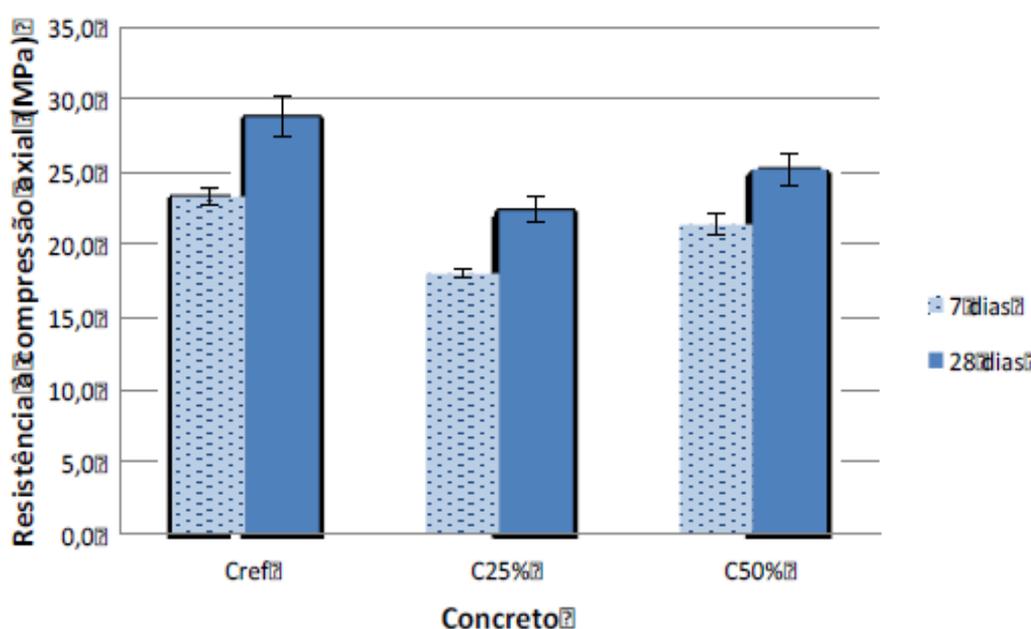
Foi observado na pesquisa realizada por (VIEIRA; DAL MOLIN; LIMA, 2004), que os concretos que alcançaram os melhores desempenhos foram aqueles em que os agregados miúdos naturais foram substituídos, total ou parcialmente, por agregados miúdos reciclados (AMR). Esse resultado pode estar associado ao fenômeno de hidratação prolongada, favorecido pela liberação gradual da água previamente absorvida pelo material fino presente nos AMR, o que contribui para um ganho de resistência ao longo do tempo. Em contrapartida, os concretos com menor resistência foram os que utilizaram substituição total dos agregados graúdos convencionais por agregados graúdos reciclados (AGR), cuja menor resistência mecânica, em comparação com a brita natural, comprometeu o desempenho final do concreto.

Além disso, O aumento na relação entre água e cimento (a/c) resultou em uma redução nos valores de resistência à compressão, evidenciando que a adição de água exerce influência direta nas propriedades mecânicas tanto dos concretos convencionais quanto dos que utilizam materiais reciclados (VIEIRA; DAL MOLIN; LIMA, 2004), conforme mostrado no Gráfico 2.

Com base nos ensaios realizados, Frotte *et al.* (2017) verificaram que o agregado reciclado miúdo apresentou características adequadas segundo a NBR 7211:2019, situando-se na zona ótima quanto à finura e na zona utilizável em relação à distribuição granulométrica, além de apresentar grande semelhança com o agregado natural. Em contrapartida, o agregado

reciclado graúdo não atendeu aos critérios granulométricos da norma, revelando inadequação para uso em concreto. Diante disso, a fração miúda foi selecionada para substituir o agregado natural, considerando sua maior representatividade no agregado reciclado e sua compatibilidade granulométrica. As substituições foram feitas nas proporções de 25% (C25%) e 50% (C50%), sendo os concretos produzidos comparados a um concreto de referência sem substituição (Cref). Os traços correspondentes estão apresentados na Gráfico 3.

Gráfico 3: Resultados de resistências mecânicas em concretos dosados com agregados reciclados aos 7 e 28 dias (intervalo de confiança de 68%).



Fonte: Frotte *et al.* (2017).

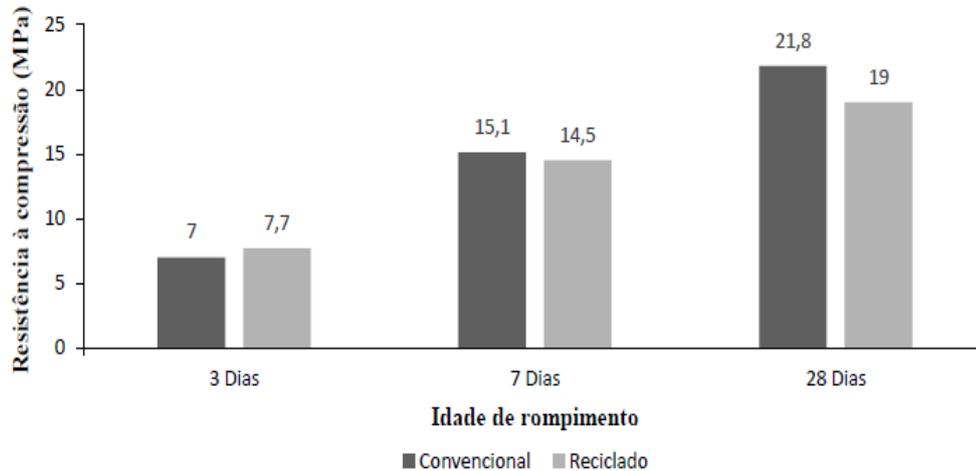
Após 28 dias de cura, os resultados mostraram que a resistência à compressão do concreto C25% foi, em média, aproximadamente 22% inferior à do concreto de referência (CRef). Já o concreto C50% apresentou uma redução média de cerca de 13% na resistência à compressão axial em comparação ao C_{ref} (Frotte *et al.*, 2017).

De acordo com Tomaz e Moraes (2017), foram empregados dois traços distintos de concreto: um utilizando materiais convencionais e outro com a incorporação de agregado miúdo reciclado em sua composição. As proporções desses traços são apresentadas a seguir:

- 1: 1,974: 2,172: 0,52 (cimento: areia: brita: água);
- 1: 0,962: 1,006: 2,172: 0,526 (cimento: areia reciclada: areia: brita: água).

O Gráfico 4 apresenta um comparativo entre as resistências à compressão dos concretos convencional e reciclado, rompidos em cada idade, conforme estabelece a ABNT NBR 12655:2015.

Gráfico 4: Comparação da resistência à compressão dos concretos convencional e reciclado.



Fonte: Tomaz e Moraes (2017).

Conforme os dados do Gráfico 4, a resistência à compressão do concreto reciclado aos 28 dias correspondeu a aproximadamente 87% daquela obtida pelo concreto convencional, indicando uma redução de desempenho em torno de 13%.

Segundo Gomes (2021), o traço em massa adotado na pesquisa, para ambas as dosagens de concretos convencional e reciclado, foi igual a 1: 1,55: 2,78, a/c: 0,50 L/kg, ou seja:

- 1: Proporção em massa de cimento Portland (kg/m³ de concreto);
- 1,55: Proporção em massa de agregado miúdo (kg/m³ de concreto);
- 2,78: Proporção em massa de agregado graúdo (kg/m³ de concreto);
- a/c: Fator água/cimento.

A Tabela 3 apresenta o consumo de materiais para a dosagem de 40 L de concreto, conforme o traço em massa obtido. No caso dos agregados reciclados, a simples substituição em massa pelos agregados convencionais resulta em um maior volume utilizado, devido à menor massa específica desses materiais em comparação aos agregados naturais.

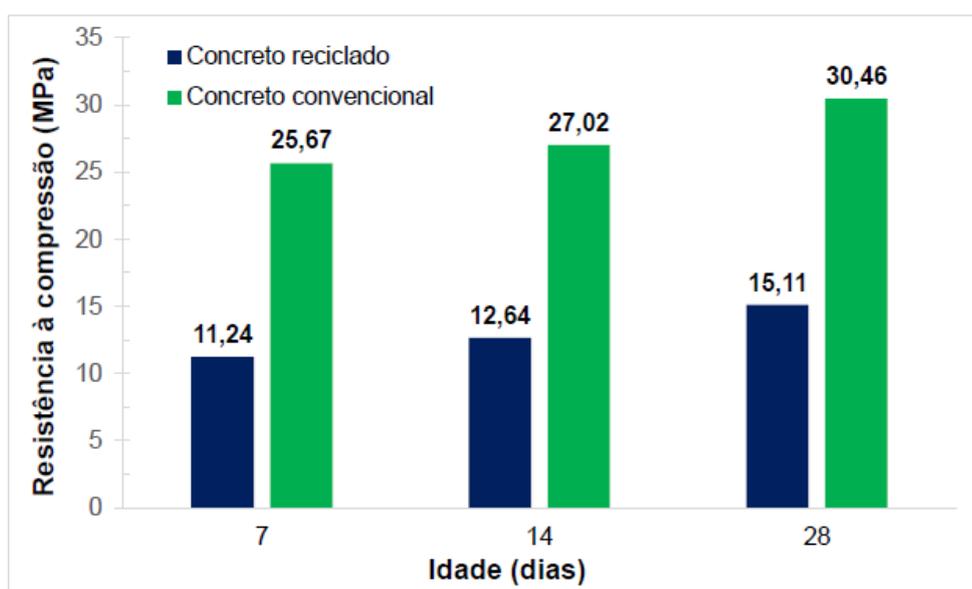
Tabela 5: Consumo dos materiais para dosagem de 40 L de concretos convencional e reciclado.

Traço em massa		
1: 1,55: 2,78, a/c: 0,50 L/kg		
Materiais	Concreto convencional	Concreto reciclado RCD
Cimento	16,71 kg	16,71 kg
Areia	25,90 kg	26,90 kg
Brita	46,45 kg	37,13 kg
Água	8,36 kg	8,36 kg

Fonte: Gomes (2021).

A resistência à compressão do concreto reciclado aos 7 dias correspondeu a 74% da resistência obtida aos 28 dias, enquanto no concreto convencional esse percentual foi de 84%, que estão. Além disso, embora a resistência à compressão do concreto reciclado tenha alcançado, em média, cerca de 50% dos valores obtidos para o concreto convencional nas idades de 7, 14 e 28 dias, ainda assim foi possível atingir 15,11 MPa, como apresentadas no Gráfico 5. Em relação aos agregados graúdos convencional e reciclado, ambos se encontram na zona de identificação de brita 1 (GOMES, 2021).

Gráfico 5: Resultados de resistência à compressão média.



Fonte: Gomes (2021).

Gomes (2021) ainda completa que esse valor se enquadra na classe C15, conforme estabelecido por norma, sendo adequado para aplicações não estruturais. Portanto, a utilização de agregados reciclados mistos, tanto miúdos quanto graúdos, em substituição total aos agregados naturais, mostra-se viável para a produção de concretos destinados a aplicações não estruturais, uma vez que os valores de resistência à compressão atendem aos requisitos mínimos para esse fim. Considerando esse desempenho, observa-se que concretos dosados com substituições parciais por agregados provenientes de resíduos da construção e demolição (RCD) tendem a atingir níveis de resistência à compressão compatíveis com as exigências para aplicações estruturais.

Silva (2023) fez as proporções em massa dos traços desenvolvidos e utilizados, bem como as principais características das dosagens correspondentes a cada variação de agregado. Para a produção dos concretos, foi adotado um volume de mistura de 0,03 m³, com mostrado na Tabela 6.

Tabela 6: Composição dos concretos (kg/m³).

Legenda	Cimento	AMN	AGN	AMR	AGR	Água	Água de absorção	Teor de Argamassa
CCV	444	745,6	798,62	-	-	222	-	60%
CR25AG	444	745,6	598,97	-	199,66	222	23,15	60%
CR25AM	444	559,2	798,62	186,4	-	222	26,66	60%
CR25AMG	444	559,2	598,97	186,4	199,66	222	33,55	60%
CR50 AG	444	745,6	399,31	-	399,31	222	30,04	60%
CR50AM	444	372,8	798,62	372,8	-	222	37,06	60%
CR50AMG	444	372,8	399,31	372,8	399,31	222	50,84	60%
CR75AG	444	745,6	199,66	-	598,97	222	36,93	60%
CR75AM	444	186,4	798,62	559,2	-	222	47,47	60%
CR75AMG	444	186,4	199,66	559,2	598,97	222	68,13	60%
CR100AG	444	745,6	-	-	798,62	222	43,82	60%
CR100AM	444	-	798,62	745,6	-	222	57,87	60%
CR100AMG	444	-	-	745,6	798,62	222	85,42	60%

Traço: 1:1,68:1,80:0,5

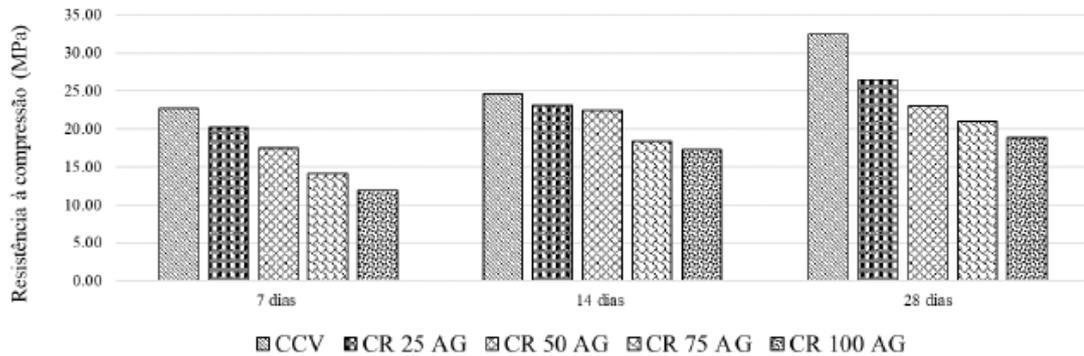
Legenda: AMN (agregado miúdo natural), AGN (agregado graúdo natural), AMR (agregado miúdo reciclado) e AGR (agregado graúdo reciclado).

Fonte: Silva (2023).

No trabalho de Silva (2023) foram produzidas e moldadas 13 misturas, sendo que os concretos receberam as seguintes substituições do agregado natural por agregado reciclado se deram nos teores de 25%, 50%, 75% e 100%. E as misturas receberam as seguintes nomenclaturas:

- O primeiro termo refere-se ao material utilizado: CR - concreto reciclado, CCV - concreto convencional;
- O segundo termo refere-se ao percentual de substituição do agregado reciclado: 25%, 50%, 75% e 100%;
- O terceiro termo refere-se ao tipo de agregado reciclado que foi substituído: AG - agregado graúdo, AM - agregado miúdo, e AMG - agregados miúdo e graúdo.

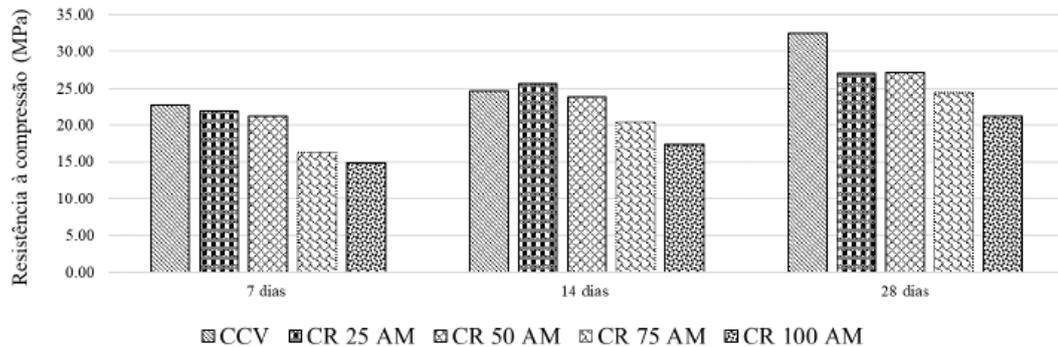
Gráfico 6: Resistência à compressão dos concretos com substituição do AGRC.



Fonte: Silva (2023).

A substituição do agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado (AGRC) resultou em redução da resistência à compressão em todas as idades avaliadas, comportamento já esperado devido às características do material reciclado, como maior porosidade e absorção. Ainda assim, os concretos com até 75% de substituição apresentaram resistências superiores a 20 MPa aos 28 dias, sendo considerados satisfatórios para aplicações não estruturais.

Gráfico 7: Resistência à compressão dos concretos com substituição do AMRC.



Fonte: Silva (2023).

O Gráfico 7 mostra que a substituição do agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado (AMRC) também resultou em redução da resistência à compressão, semelhante ao observado com o agregado graúdo. Aos 7 dias, os traços com 25% e 50% de substituição apresentaram valores próximos ao concreto de referência. Com 100% de substituição, a resistência média foi de 21,21 MPa aos 28 dias, indicando a viabilidade de uso estrutural, atribuída à boa qualidade do agregado reciclado e à menor influência da porosidade em partículas menores. Aos 28 dias, as misturas com 25% e 50% de substituição mantiveram resistência constante, enquanto reduções significativas foram observadas nos traços com 75% e 100%, o que corrobora a análise granulométrica do Capítulo 3, que indicou 50% como a proporção ideal para melhor empacotamento de partículas.

4 METODOLOGIA

4.1 TIPO EXPERIMENTAL

Buscando compreender como os resíduos da construção e demolição podem ser reaproveitados na produção de concreto, foram realizados ensaios laboratoriais com esses materiais e com agregados convencionais extraídos de jazidas (estes últimos para servir de referência para o estudo). Os insumos utilizados nos testes foram fornecidos por um cliente do setor da construção, e estão ilustrados na Figura 6.

Figura 5: Agregados utilizado para os ensaios e produção do concreto.



(a) Brita 2 convencional;



(b) Areia de RCD;



(c) Brita 2 de RCD;



(d) Brita cascalhinho RCD;



(e) Cimento CP II F;



(f) Areia convencional;

Fonte: Autor (2025).

Os materiais convencionais e reciclados utilizados na pesquisa foram caracterizados conforme as normas técnicas vigentes, por meio da análise de suas propriedades físicas e mecânicas. Entre

os parâmetros avaliados, destacam-se a granulometria, massa específica, absorção de água, massa unitária e o inchamento dos agregados miúdos. Essa etapa foi fundamental para compreender de que forma as características dos agregados reciclados influenciam diretamente o desempenho do concreto, com ênfase especial na resistência à compressão. Para a avaliação prática, foram moldados corpos de prova, os quais foram submetidos a ensaios de compressão simples, considerando diferentes traços de mistura, bem como distintas condições de exposição e tempos de cura.

Traço preliminar:

- i. Cura submersa em água por 7 dias;
- ii. Cura submersa em água por 28 dias.

Traço definitivo:

- i. Cura submersa em água por 28 dias;
- ii. Cura exposta a intempéries por 28 dias.

Traço binário:

- i. Cura submersa em água por 28 dias;
- ii. Cura exposta a intempéries por 28 dias.

4.2 SECAGEM DOS MATERIAIS

Inicialmente, antes da realização dos ensaios de caracterização e da execução dos traços, os materiais foram colocados em estufa para secagem a uma temperatura entre 105 °C e 110 °C. Esse processo garantiu a remoção da umidade presente nos agregados, proporcionando maior precisão nos resultados dos ensaios e na dosagem dos materiais, sendo essencial para evitar variações nos experimentos.

Os materiais foram mantidos em condição seca desde os ensaios de caracterização até a etapa de preparo do concreto, a fim de garantir maior precisão na determinação da relação água/cimento, uma vez que a umidade presente nos agregados poderia comprometer a dosagem dos traços. A Figura 7 apresenta a ilustração do procedimento adotado para a secagem dos materiais.

Figura 6: Secagem de materiais.



Fonte: Autor (2025).

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

4.3.1 Amostragem e quartemento

A amostragem seguiu a NBR NM 26:2001 (Amostragem de agregados), as amostras parciais foram armazenados próximos ao laboratório, ao ar livre. O quartemento foi realizado conforme a NBR NM 27:2001 (Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório), garantindo que a amostra reduzida representasse fielmente o lote original, evitando segregação e assegurando a confiabilidade dos ensaios.

Figura 7: Quarteamento do agregado e amostragem.



(a) Método B para quarteamento manual;

(b) Armazenamento ao ar livre.

Fonte: Autor (2025).

4.3.2 Massa unitária

O ensaio de massa unitária do agregado é um procedimento essencial para determinar a densidade aparente do material, fundamental no controle tecnológico do concreto. A massa unitária refere-se à massa do agregado em um determinado volume, incluindo os vazios entre as partículas, esse valor é utilizado no traço do concreto para calcular as proporções corretas dos materiais. Neste presente trabalho, o ensaio foi realizado de acordo com NBR NM 45:2006 (Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios) – pelo método (A) estado compactado com diâmetro máximo de 37,5 mm e também pelo método (C) empregado para determinar a massa unitária de material no estado solto.

A realização do ensaio foi conduzida por dois métodos distintos, adotando o estado solto para o agregado miúdo e o estado compactado para os materiais de granulometria mais elevada, permitindo uma avaliação mais precisa da massa unitária dos diferentes insumos, considerando suas condições reais de aplicação; as figuras 8 (a) e (b) demonstram os materiais e equipamentos utilizados durante a execução do ensaio.

Figura 8: Material para determinação da massa unitária.



(a) Massa unitária estado compactado;



(b) Massa unitária estado solto.

Fonte: Autor (2025).

4.3.3 Granulometria

Com o intuito de compreender as dimensões máximas dos agregados, foi realizado este ensaio de acordo com as diretrizes da NBR NM 248:2003 (Agregados – Determinação da composição granulométrica) e NBR ABNT 7211:2019 (Agregados para concreto – Especificação), que trata da análise granulométrica e especificações de agregados para concreto.

- I. **Módulo de finura:** É determinado a partir do somatório das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras de serie normal utilizada para granulometria, como mostra a equação a seguir:

$$MF = \frac{\sum M.R.A}{100}$$

Onde

M.R.A é a massa Retida Acumulada nas peneiras da série normal;

MF é o módulo de finura.

- II. **Índice de forma:** foi determinado pelo método do paquímetro com 20 unidades de grão

brita 2 RCD, brita cascalhinho RCD e brita 2 convencional, medindo o maior comprimento do agregado e sua respectiva espessura. A partir dessa relação, é possível calcular o valor desejado:

$$IF = \frac{C_{méd}}{e_{méd}}$$

Onde

IF é o módulo de finura;
 $C_{méd}$ é o comprimento médio;
 $e_{méd}$ é a espessura média.

Figura 9: Ensaio de granulometria.



(a) Peneiramento mecânico.



(b) Conjunto de peneiras.

Fonte: Autor (2025).

Para poder compreender melhor o comportamento dos agregados, foi determinado o módulo de finura dos materiais miúdos conforme as diretrizes da ABNT NBR 7211:2019 (Agregados para concreto – Especificação) e o índice de forma do agregado gráudo conforme a ABNT NBR 7809:2019 (Agregado gráudo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio), como mostrado a seguir.

Figura 10: Medida dos Grãos.



(a) Brita 2 convencional

(b) Brita 2 RCD

Fonte: Autor (2025).

4.3.4 Massa específica

No Brasil, a determinação da massa específica dos agregados segue as diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 16916:2021 e ABNT NBR 16917:2021 (Determinação da densidade dos grãos e absorção de água), para agregados miúdo e agregado graúdo respectivamente. Essa propriedade é definida como a relação entre a massa do agregado e o volume que ele ocupa, incluindo os poros permeáveis e impermeáveis, desconsiderando os vazios entre os agregados, essa propriedade influencia diretamente a dosagem dos concretos. Nesta pesquisa foram utilizados 3 procedimentos para a determinação dessa característica: método do cesto hidrostático, método de tubo de chapman e método da proveta graduada.

Os métodos utilizados demonstraram ser bastante eficientes e de fácil execução, destacando-se o uso da proveta graduada, que se mostrou mais simples sem perda de precisão em relação ao método do cesto hidrostático, sendo especialmente vantajosa em pesquisas que exigem a realização de diversos ensaios, onde a otimização dos procedimentos contribui diretamente para o avanço do estudo, como é o caso deste trabalho, no qual as figuras a seguir apresentam a execução dos ensaios e os materiais empregados no ensaio:

Figura 11: Ensaios massa específica.



(a) Cesto hidrostático;



(b) Tubo de Chapman;



(c) Proveta Graduada;



(d) Pesagem do material seco.

Fonte: Autor (2025).

4.3.5 Absorção de água

A absorção de água pelos agregados é um parâmetro fundamental na dosagem e desempenho do concreto, pois influencia diretamente a trabalhabilidade da mistura, a relação água/cimento efetiva e, conseqüentemente, a resistência mecânica do material. Esse fenômeno está diretamente relacionado à porosidade dos agregados, que têm a capacidade de reter parte

da água em sua estrutura interna. A correta determinação desse índice é essencial para ajustar a quantidade de água adicionada à mistura, evitando prejuízos à qualidade do concreto. Para a realização dos ensaios de absorção, foram adotadas as normas técnicas da ABNT como referência: a NBR 16916:2021 para agregados miúdos e a NBR 16917:2021 para agregados graúdos, as quais também orientam a determinação da massa específica dos materiais.

A partir dos resultados de absorção de água, é possível identificar quais materiais exigirão uma relação água/cimento mais elevada, o que pode influenciar diretamente nas dosagens dos traços que serão abordados nesta pesquisa, considerando que a absorção afeta a trabalhabilidade e a hidratação do cimento, sendo, portanto, um parâmetro essencial para o ajuste das proporções; as figuras a seguir ilustram o método empregado para a determinação dessa característica nos materiais analisados:

Figura 12: Absorção de água.



(a) Agregado graúdo saturado superfície seca.



(b) Agregado miúdo saturado superfície seca.

Fonte: Autor (2025).

4.4 DEFINIÇÕES DOS TRAÇOS

Os traços foram definidos com base em experimentação empírica, por meio de observações práticas. As composições estabelecidas foram posteriormente submetidas a ensaios laboratoriais, com o objetivo de avaliar seu desempenho com as diferentes composições, como estão apresentadas na Tabela 7 (traços unitários em massa).

4.4.1 Traço preliminar

O traço preliminar foi definido empiricamente como base para todo o estudo, visando analisar o impacto do (RCD) na resistência à compressão do concreto.

Esses traços foram aplicados tanto aos agregados convencionais quanto aos reciclados. Para cada tipo de agregado, foram moldadas duas variações: uma contendo apenas água e outra com a adição de aditivo, permitindo a comparação direta do efeito do aditivo sobre a resistência. Além disso, foi testado um traço com aumento de 10% na proporção de agregado graúdo em relação ao miúdo, sem adição de aditivo, como está mostrado na Tabela 7.

4.4.2 Traço definitivo

Seguindo o mesmo conceito aplicado na definição dos traços preliminares, os traços definitivos foram estabelecidos com base empírica, por meio da realização de testes com aumento da quantidade de cimento na mistura, de acordo com as características de cada material. Ademais, para cada tipo de agregado foi definido um traço específico, mantendo-se sempre a proporção de 10% a mais de brita em relação à areia na composição. Posteriormente, os traços foram testados em laboratório para avaliação de sua resistência.

4.4.3 Traço binário

Esse traço foi uma adaptação do traço definitivo determinado para brita 2 de RCD, sendo que as proporções de agregados foram divididas em partes iguais entre agregados convencionais e agregados de RCD.

Tabela 7: Traços unitário em massa.

Traço Unitário Em Massa							
Descrição	Volume (dm ³)	Nomenclatura	c	a	b	a/c	Aditivo (%)
Preliminar	20	T01-Casc RCD	1	2,10	2,10	0,97	0,00
Preliminar	6,5	T02-Casc RCD	1	2,10	2,10	0,87	1,18
Preliminar	6,5	T03-Casc RCD	1	2,00	2,20	0,87	0,00
Preliminar	6,5	T01-Brita 2 RCD	1	2,10	2,10	0,94	0,00
Preliminar	6,5	T02-Brita 2 RCD	1	2,10	2,10	0,72	1,30
Preliminar	6,5	T03-Brita 2 RCD	1	2,00	2,20	0,81	0,00
Preliminar	6,5	T01-Brita 2 Conv.	1	2,10	2,10	0,54	0,00

Preliminar	6,5	T02-Brita 2 Conv.	1	2,10	2,10	0,50	0,67
Preliminar	6,5	T03-Brita 2 Conv.	1	2,00	2,20	0,65	0,00
Definitivo	6,5	T1-Casc RCD	1	1,50	1,60	0,84	0,00
Definitivo	6,5	T2-Casc RCD	1	1,20	1,30	0,60	0,80
Definitivo	6,5	T1-Brita 2 RCD	1	1,70	1,60	0,81	0,00
Definitivo	6,5	T2-Brita 2 RCD	1	1,30	1,28	0,66	0,90
Definitivo	6,5	T1-Brita 2 Conv.	1	1,60	1,50	0,54	0,00
Definitivo	6,5	T2-Brita 2 Conv.	1	1,30	1,20	0,50	0,21
Binário	6,9	T1-Brita 2 Bina.	1	1,70	1,60	0,57	0,00
Binário	6,9	T2-Brita 2 Bina.	1	1,30	1,28	0,51	0,28

Fonte: Autor (2025).

4.4.4 Consumo de cimento da mistura

O consumo de cimento na mistura de concreto influencia diretamente suas propriedades mecânicas. Uma maior quantidade de cimento, teoricamente, tende a melhorar a resistência, mas pode resultar em maior retração e aumento dos custos. Por outro lado, um consumo reduzido pode comprometer a resistência do concreto. Portanto, o equilíbrio adequado depende da relação água/cimento, do tipo de agregados utilizados e da aplicação desejada. Neste estudo, o consumo de cimento foi determinado utilizando a Equação 01.

$$C = \frac{V_{concreto}}{\frac{1}{\gamma_{cimento}} + \frac{a}{\gamma_{areia}} + \frac{b}{\gamma_{brita}} + X} \quad (\text{Equação 01}).$$

Onde

C: é o consumo de cimento;

$\gamma_{cimento}$: é a massa específica do cimento (kg/dm³);

γ_{areia} : é a massa específica da areia (kg/dm³);;

γ_{brita} : é a massa específica da brita (kg/dm³);;

a: é a quantidade de areia em quilos;

b: é quantidade de brita em quilos;

x: é a relação água/cimento (a/c), considerada no calcula 0,5 para todos os traços.

4.5 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE CONCRETO

Diferentes traços de concreto prescritos serão preparados variando-se os tipos e proporções dos agregados de acordo a ABNT NBR 12655:2015 (Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento), para analisar a influência na resistência do concreto. Atrelado a isso, o volume de concreto produzido também variou, sendo produzido inicialmente doze corpos de prova que resulta em um volume de 20 dm³, e para os demais traços foram fabricados quatro corpos de prova que precisou de um volume de 6,5 dm³ para os demais traços e 6,9 dm³ apenas para os traços binários, sempre buscando desperdiçar o mínimo possível de material. Esses volumes foram determinado a partir do volume de cada molde sendo 1,57 dm³.

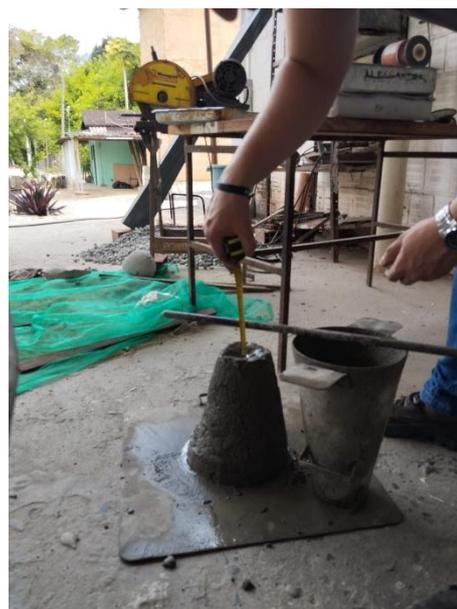
Procedimentos:

1. O concreto foi produzido pelo método manual;
2. Colocando a proporção determinada de cada agregado dentro do recipiente onde era realizado a mistura;
3. Mistura esses agregados de forma que todo os agregados fossem envolvidos com o cimento;
4. Fazia o ensaio de abatimento de tronco de cone de acordo com a ABNT NBR NM 67:1998 (Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone).

Figura 13: Processos da produção dos corpos de prova e teste de abatimento.



(a) Estado fresco sendo colocado no molde;



(b) Abatimento do tronco de cone;

Fonte: Autor (2025).

Figura 14: Cura submersa e corpos de prova a intempéries.



(a) Cura submersa;



(b) Exposição a intempéries.

Fonte: Autor (2025).

4.6 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

O ensaio de resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos é um dos testes mais importantes para avaliar a capacidade de um concreto suportar cargas sem falhar. Esse ensaio é normatizado pela ABNT NBR 5739:1994 (Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos) no Brasil e tem grande relevância na construção civil para garantir a confiabilidade do concreto empregado em estruturas.

De acordo com as especificações da ABNT NBR 12655:2015 (Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação: Procedimento), para calcular a resistência característica do concreto, considerando a condição A (aplicável a todas as classes de concreto): o cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados. Além disso, sabendo que o resultado obtido na prensa hidráulica é em tonelada (t), é necessário transformar em Megapascal (MPa).

Figura 15: Ensaio de resistência à compressão.



(a) Capeamento com pasta de cimento;



(b) Rompendo CP capeado com pasta cimento;



(c) Rompendo CP Capeado com gesso;



(d) Corpo de prova rompido.

Fonte: Autor (2025).

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O presente trabalho de conclusão de curso teve como objetivo demonstrar resultados das propriedades dos agregados de RCD e comparar com as dos materiais convencionais e definir dosagens eficientes. Além disso, mostrar o comportamento quanto à resistência à compressão do concreto produzido com resíduos de construção e demolição em comparação ao fabricado com materiais naturais.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Os resultados da caracterização dos agregados estão apresentados na Tabela 9, enquanto as curvas granulométricas, o módulo de finura dos materiais miúdo e índice de forma do agregado graúdo são ilustrados, respectivamente, nos Gráficos 9 e 10, comparando-os aos limites normativos.

Tabela 8: Propriedades dos agregados.

Propriedades	Referência	Areia Convencional	Brita 2 Convencional	Areia RCD	Cascalhinho RCD	Brita 2 RCD
Massa Unitária (g/cm ³)	NBR 16916/2021 NBR 16917/2021	1,49	1,39	1,36	1,13	1,23
Diâmetro Máximo (mm)	NBR NM 248	2,38	25	4,75	9,5	25
Massa Específica (g/cm ³)	NBR 16916/2021 NBR 16917/2021	2,62	2,45	2,63	2,71	2,18
Absorção de Água (%)	NBR 16916/2021 NBR 16917/2021	13,51	0,71	11,81	15,87	8,62
Módulo de Finura	NBR 7211:2019	2,55	-	3,27	-	-
Índice de Forma	NBR 7809:2019	-	1,49	-	1,67	2,69

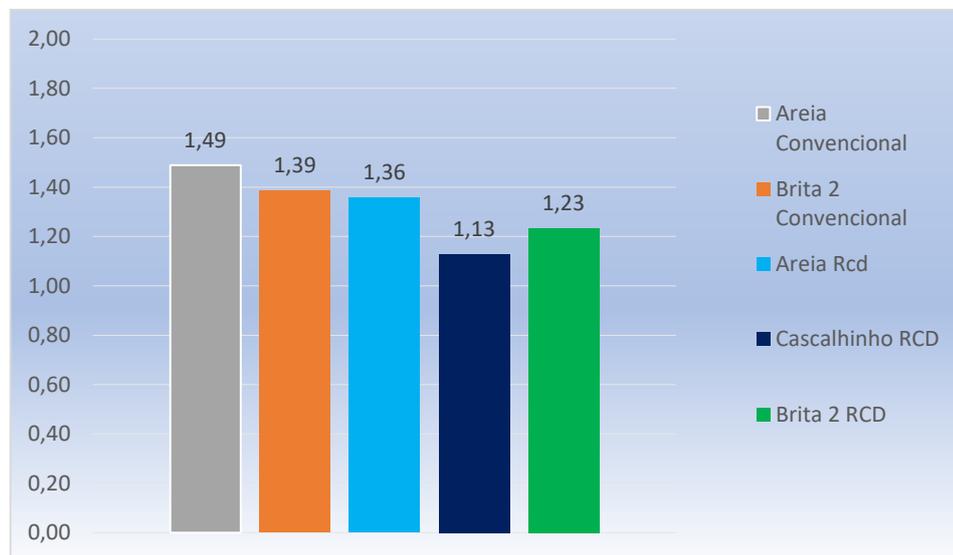
Fonte: Autor (2025).

Os resultados obtidos demonstram que os agregados reciclados apresentam características físicas e mecânicas distintas dos agregados naturais, como foi descrito por (LINTZ *et al.*, 2012; FROTTE *et al.*, 2017; TOMAZ e MATOS, 2017; GOMES, 2021; SILVA, 2023; GOMES, 2021).

5.1.1 Massa unitária

A massa unitária dos materiais naturais apresentou valores superiores em relação aos insumos reciclados, o que pode ser atribuído à maior uniformidade e compacidade dos agregados convencionais. Isto pode ser explicado, justamente porque os resíduos da construção e demolição (RCD) apresentam uma distribuição granulométrica mais irregular, com formas angulosas e maior presença de partículas porosas e fragmentadas, o que resulta em um maior volume de vazios entre os grãos. Essa característica reduz a densidade do material no estado solto, influenciando diretamente na massa unitária e, conseqüentemente, acaba interferindo diretamente nos resultados obtidos para o concreto fabricado com material reciclado.

Gráfico 8: Massa unitária dos agregados.



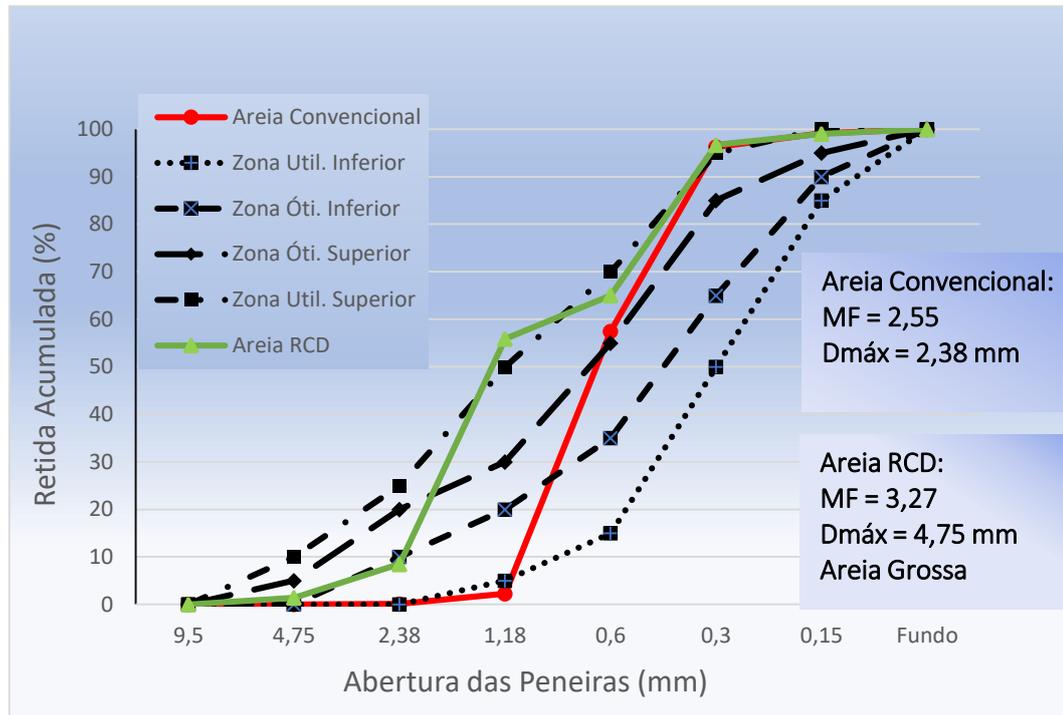
Fonte: Autor (2025).

5.1.2 Granulometria

A análise da distribuição granulométrica dos agregados permitiu identificar variações relevantes na composição dos materiais, cujas particularidades estarão apresentadas nos Gráficos 9 e 10 para melhor visualização e compreensão do comportamento de cada tipo de agregado.

Curva Granulométrica

Gráfico 9: Curva granulométrica agregado miúdo.

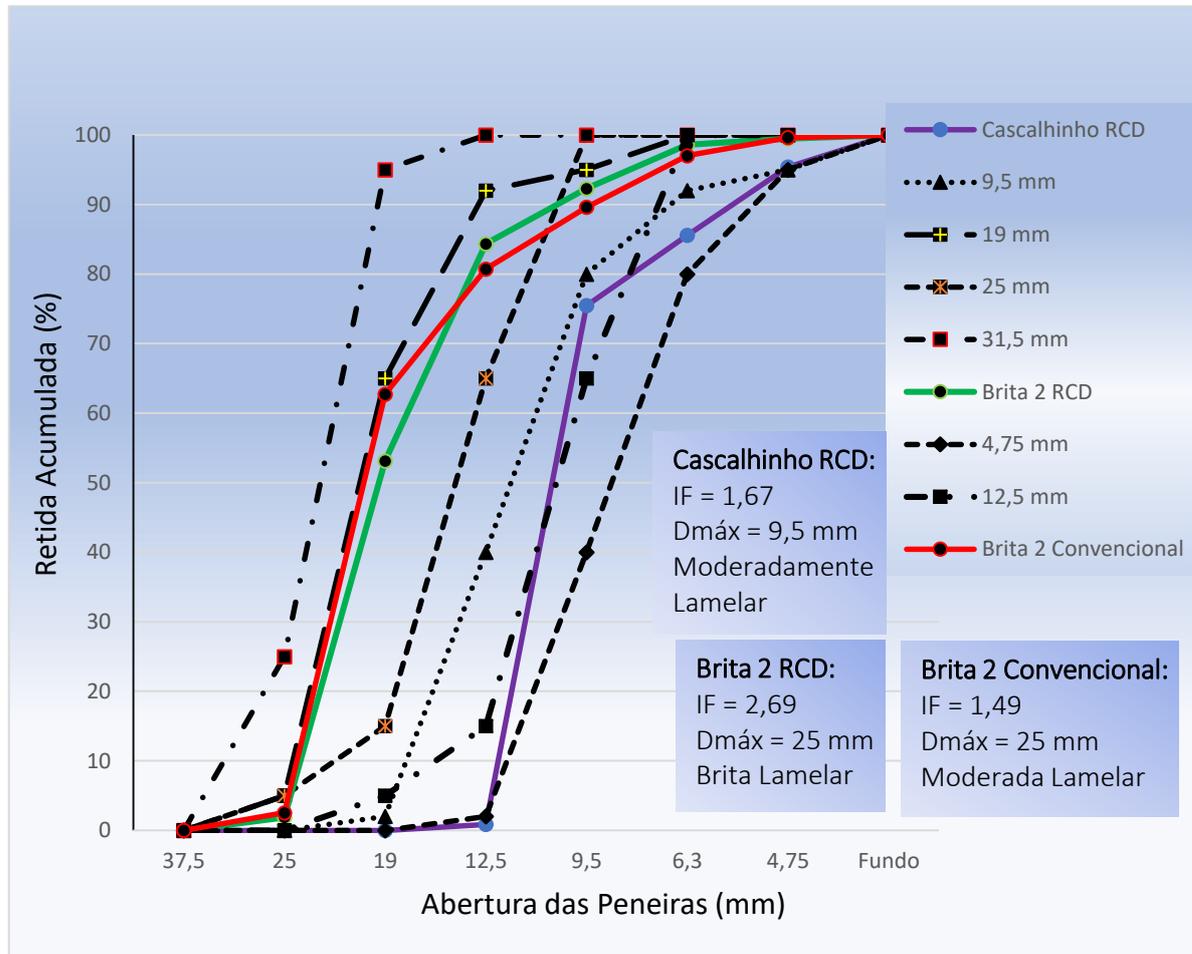


Fonte: Autor (2025).

No que diz respeito aos agregados miúdos, observa-se pelo módulo de finura que a areia convencional se enquadra na zona ótima de distribuição granulométrica, enquanto a areia reciclada está posicionada dentro da zona utilizável superior. Isso indica que os agregados convencionais apresentam uma distribuição de partículas mais equilibrada em termos de tamanho (ver Gráfico 2). Essa característica, se devidamente explorada, pode contribuir para a redução da porosidade do concreto tanto no estado fresco quanto no endurecido, que pode favorecer o aumento da resistência à compressão, além de melhorar a trabalhabilidade da mistura e outros aspectos de desempenho da mistura.

- **Dimensão máxima (DM):** O valor da DM é maior na areia reciclada (4,75 mm), do que na areia natural (2,36 mm).
- **Módulo de finura (MF):** A areia reciclada e a areia natural mostram valores distintos de MF, sendo o MF para areia convencional de (2,55) e para areia RCD de (3,27).
- **Característica do agregado:** A areia convencional foi caracterizada como média grossa, já a areia RCD foi definida como grossa.

Gráfico 10: Curva granulométrica agregado graúdo.



Fonte: Autor (2025).

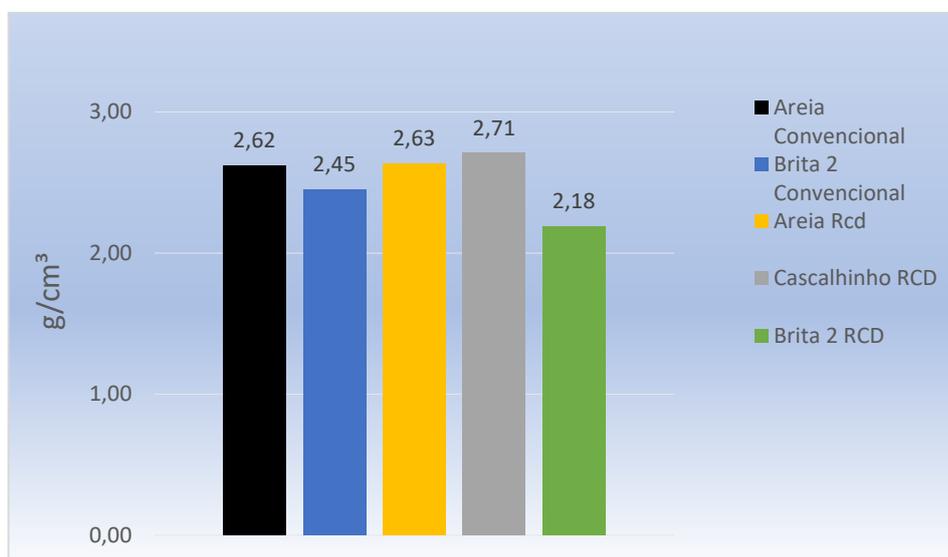
Para os agregados graúdos, foi possível perceber que todos se enquadraram na zona utilizável, com variações menores que cinco unidades percentuais para os limites indicados na norma. Porém, houve uma grande variabilidade nas forma dos materiais, sendo que com base nos índices de forma, o agregado natural mostrou ser mais uniforme quando comparado ao material reciclado.

- **Dimensão máxima (DM):** O valor de DM em ambas as britas 2 foi o mesmo (25 mm), já para DM do cascalhinho de RCD (9,5 mm).
- **Índice de forma (IF):** Para a brita 2 convencional o IF foi de 1,49, mas para a brita 2 RCD o IF descrito é de 2,69, além disso o IF do cascalhinho RCD foi de 1,67.
- **Características do agregado:** A brita 2 convencional mostrou uma forma moderada lamelar, a brita 2 RCD sendo lamelar e o cascalhinho RCD foi caracterizado como moderado lamelar.

5.1.3 Massa específica

A areia de RCD apresentou uma massa específica de 2,63 kg/dm³, enquanto a areia convencional registrou 2,62 kg/dm³. Essa pequena diferença indica que a massa específica é praticamente igual entre os dois insumos, o que sugere que, do ponto de vista dessa característica física, a substituição da areia convencional pela areia de RCD é tecnicamente viável. Isso reforça o potencial do uso de materiais reciclados na construção civil, contribuindo para a sustentabilidade. Contudo, entre os agregados graúdos, observou-se uma discrepância significativa nos valores de massa específica. A brita 2 convencional apresentou 2,45 kg/dm³, enquanto a brita 2 de RCD registrou 2,18 kg/dm³ e o cascalhinho de RCD obteve um valor de 2,71 kg/dm³. Esses resultados indicam que o cascalhinho de RCD possui uma massa específica mais elevada em comparação aos demais agregados graúdos analisados. Essa uniformidade pode estar relacionada à menor irregularidade dos demais materiais graúdos, o que o torna uma alternativa promissora para aplicações específicas na construção civil. Além disso, ressalta-se a importância de caracterizar adequadamente os agregados reciclados, uma vez que sua variabilidade pode impactar diretamente o desempenho do concreto ou de outros compósitos onde são utilizados.

Gráfico 11: Massa específica dos agregados.



Fonte: Autor (2025).

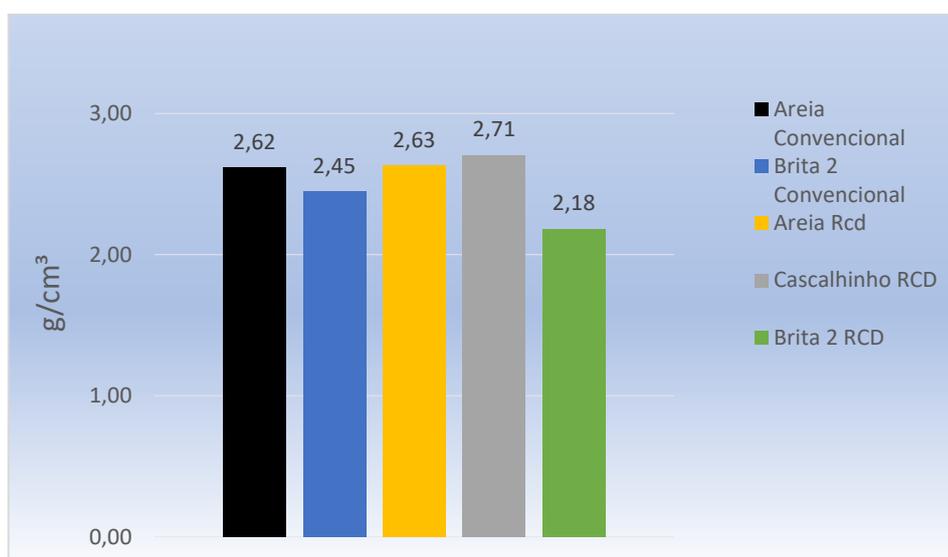
5.1.4 Absorção de água:

Uma disparidade relevante observada é que os agregados reciclados de construção e demolição (RCD) apresentam índices significativamente maiores de absorção de água em

comparação aos agregados convencionais. A brita 2 de RCD apresentou absorção de 8,62%, o cascalhinho de RCD 15,87%, e a areia de RCD 11,81%. Em contraste, a brita 2 convencional apresentou apenas 0,71%, enquanto a areia convencional registrou 13,51%. Esses altos índices nos agregados de RCD podem ser atribuídos à presença de materiais porosos, como fragmentos de argamassa, cerâmica (tijolos) e concreto com alta porosidade, comumente aderidos às partículas recicladas.

Essa característica influencia diretamente no consumo de água de amassamento durante a produção do concreto, podendo exigir ajustes na dosagem para garantir a trabalhabilidade e resistência mecânica desejadas. Portanto, é fundamental considerar a absorção de água dos agregados reciclados no traço do concreto, especialmente quando se busca manter a durabilidade e o desempenho estrutural da mistura.

Gráfico 12: Absorção de água dos agregados.



Fonte: Autor (2025).

5.1.5 Abatimento do concreto

Os resultados do ensaio de abatimento (slump test) do concreto apresentaram grande variabilidade, influenciada principalmente pela quantidade de água na mistura e pela presença de aditivos. Em muitos casos, amostras que tinham maior teor de água apresentaram abatimentos mais baixos, indicando uma consistência mais seca. Esse comportamento foi observado especialmente nas misturas com agregados reciclados, devido à menor homogeneidade dos materiais. Já nas misturas com agregados naturais, o comportamento foi mais previsível: o abatimento aumentou conforme crescia a relação água/cimento, ou quando havia aditivo plastificante na composição.

Curiosamente, algumas misturas com menor teor de água apresentaram abatimentos mais elevados, o que indica maior fluidez e trabalhabilidade, possivelmente influenciadas pela ação dos aditivos.

As Tabela 12 e 13 apresentam os resultados obtidos para os abatimentos do concreto, tanto nas fases preliminares quanto nas definitivas.

Tabela 9: Abatimento do concreto preliminar.

Nomenclatura	a/c	Aditivo (%)	Abatimento (cm)
T01-Casc RCD	0,97	0	8
T02-Casc RCD	0,87	1,18	18
T03-Casc RCD	0,87	0	18
T01-Brita 2 RCD	0,94	0	8
T02-Brita 2 RCD	0,72	1,3	16
T03-Brita 2 RCD	0,81	0	8
T01-Brita 2 Conv.	0,54	0	8
T02-Brita 2 Conv.	0,50	0,67	25
T03-Brita 2 Conv.	0,65	0	15

Fonte: Autor (2025).

Tabela 10: Abatimento concreto definitivos.

Nomenclatura	a/c	Aditivo (%)	Abatimento (cm)
T1-Casc RCD	0,84	0	15
T2-Casc RCD	0,60	0,8	9
T1-Brita 2 RCD	0,81	0	8
T2-Brita 2 RCD	0,66	0,9	23
T1-Brita 2 Conv.	0,54	0	15
T2-Brita 2 Conv.	0,50	0,21	12
T1-Brita 2 Bina.	0,57	0	15
T2-Brita 2 Bina.	0,51	0,28	12

Fonte: Autor (2025).

Esses resultados evidenciam a importância do controle rigoroso da dosagem de água e do uso de aditivos para garantir a uniformidade e a qualidade do concreto.

5.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

Foram analisados diferentes traços de concreto com incorporação de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), os quais apresentaram variações significativas nos resultados de resistência mecânica, em função das proporções dos materiais constituintes, e a partir dos ensaios realizados, foi possível determinar as dosagens mais eficientes quanto ao desempenho na capacidade de carga do concreto com RCD em comparação a fabricado com material convencional. Os resultados obtidos, referentes aos traços preliminares e definitivos, são apresentados nas tabelas 14 e 15, e nos gráficos 13, 14 e 15, com ênfase nos valores de resistência à compressão axial.

Tabela 11: Carga suportada pelos corpos de prova preliminares.

Nomenclatura	Unidade percentual de RCD	Carga (MPa)		a/c	Super Plastificante (%)
		7 dias	28 dias		
T01-Casc RCD	100	12,26	12,13	0,97	0
		9,26	12,61		
		7,25	13,11		
		9,13	9,10		
		12,74	13,15		
		9,52	9,21		
		9,39	12,37		
	Média	9,94	11,67		
T01-Brita 2 RCD	100	12,67	11,84	0,94	0
		9,50	10,53		
	Média	11,08	11,19		
T01-Brita 2 Conv.	100	14,98	27,79	0,54	0
		14,65	27,56		
	Média	14,82	27,68		
T02-Casc RCD	100	12,34	16,03	0,87	1,18
		8,52	17,43		
	Média	10,43	16,73		
T02-Brita 2 RCD	100	16,73	16,54	0,72	1,3
		13,62	19,15		
	Média	15,18	17,84		

T02-Brita 2 Conv.	100	16,26	35,80	0,5	0,67
		11,27	33,89		
	Média	13,77	34,85		
T03-Casc RCD	100	14,64	22,46	0,87	0
		16,62	22,04		
	Média	15,63	22,25		
T03-Brita 2 RCD	100	12,20	23,84	0,81	0
		14,45	22,47		
	Média	13,32	23,15		
T03-Brita 2 Conv.	100	13,26	20,57	0,65	0
		13,29	24,00		
	Média	13,28	22,29		
Observação:					
Os corpos de prova rompidos aos 28 dias dos traços (T02-Brita 2 Conv.; T03-Casc RCD; T03 Brita 2 RCD e T03-Brita 2 Conv.) foram capeados com pasta de cimento. E os demais corpos de prova foram capeados com Gesso.					

Fonte: Autor (2025).

Os ensaios de compressão realizados em prensa hidráulica demonstraram uma variabilidade significativa nos valores de capacidade de carga dos concretos produzidos com diferentes tipos de agregados. Essa variabilidade reflete diretamente as propriedades mecânicas dos corpos de prova moldados com materiais reciclados provenientes de resíduos da construção e demolição (RCD), bem como com agregado convencional.

Os concretos produzidos com cascalhinho de RCD apresentaram capacidade de suporte variando entre 7 MPa e aproximadamente 22 MPa, no caso dos concretos confeccionados com brita 2 também oriunda de RCD, os valores oscilaram entre 9 MPa e 23 MPa, por sua vez, os concretos com agregado convencional apresentaram desempenho superior, com valores de potencial de carregamento variando de 13 MPa a 35 MPa.

Tais resultados indicam uma forte influência da composição dos traços na qualidade final do concreto, especialmente no que se refere à sua capacidade de suportar esforços mecânicos. Foi observado que o traço 03 destacou-se por apresentar o melhor desempenho quando utilizados agregados reciclados (cascalhinho e brita 2), enquanto o traço 02 obteve os melhores resultados para o concreto com agregado convencional.

Esses dados evidenciam o potencial de utilização dos agregados reciclados na produção de concretos, desde que haja um controle adequado na dosagem dos materiais e uma criteriosa

seleção dos traços, visando garantir desempenho técnico compatível com as exigências estruturais.

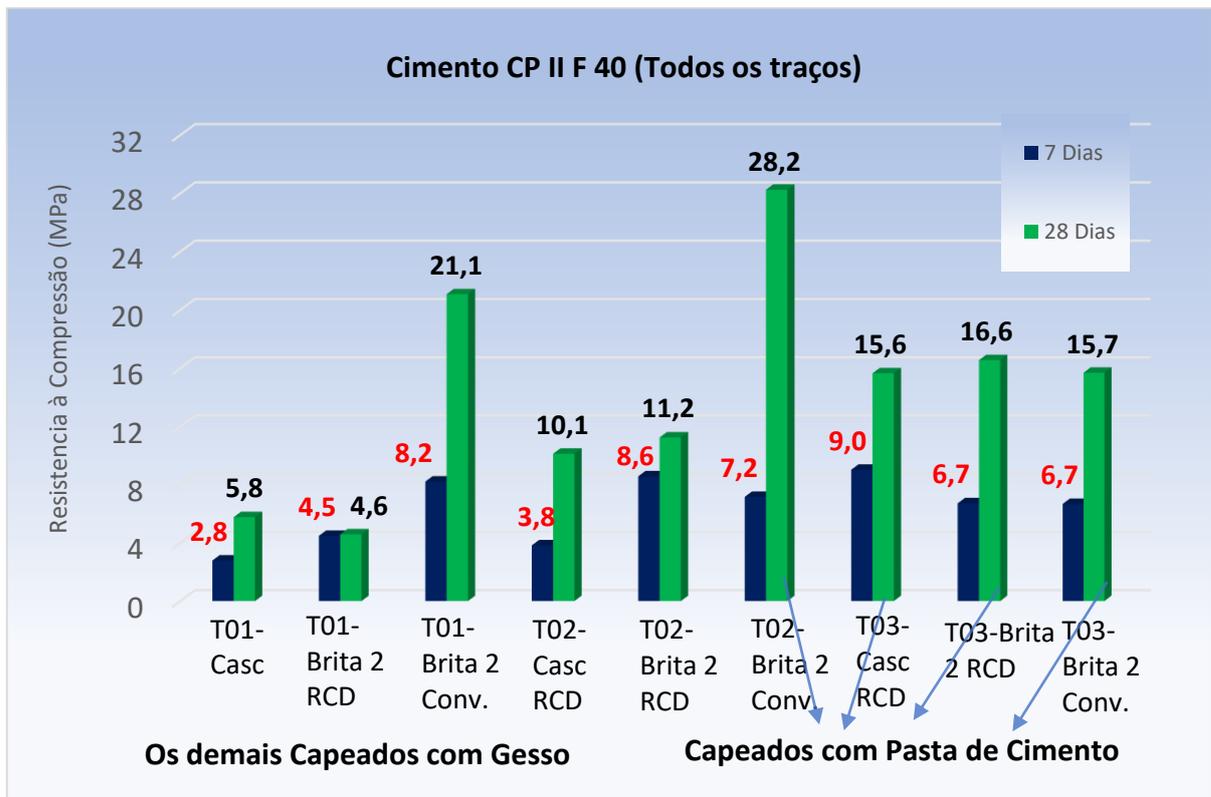
Observa-se que, em relação ao processo de cura do concreto, houve uma variação máxima de 60% na resistência à compressão entre os corpos de prova rompidos aos 7 e aos 28 dias para o traço convencional (traço T02), 42% para o traço com brita 2 proveniente de RCD (traço T03) e 30% para o cascalhinho RCD (traço T03), sendo maior a carga suportada na data superior. Ressalta-se que essa diferença não está relacionada apenas ao tempo de cura, mas também ao tipo de capeamento adotado, sendo que os corpos de prova capeados com pasta de cimento apresentaram os maiores valores de resistência. Dessa forma, o capeamento pode ter influenciado os resultados obtidos, indicando que o método de capeamento prescrito pela norma apresenta maior eficiência em comparação ao capeamento com gesso utilizado no laboratório para os traços iniciais.

Para os corpos de prova capeados exclusivamente com gesso, observou-se uma variação máxima de 46% para o concreto convencional com brita 2 (traço T01), 37% para o concreto com cascalhinho de RCD (traço T02) e 15% para o concreto com brita 2 de RCD (traço T02). Os resultados correspondentes encontram-se no Gráfico 13.

Observou-se que, com a redução da relação água/cimento, a resistência à compressão do concreto aumentou de forma significativa. Esse comportamento está de acordo com a literatura técnica, que aponta que menores teores de água em relação ao cimento resultam em uma matriz mais densa e menos porosa, favorecendo o ganho de resistência mecânica.

A resistência máxima alcançada pelo concreto com RCD (T03-brita 2 RCD) correspondeu a 66% da resistência do concreto convencional (T02-Conv.) ambos com brita 2, para esses traços iniciais.

Gráfico 13: Resistência à compressão preliminares.



Fonte: Autor (2025).

Segundo Levy (2001), a areia, por ser composta por partículas mais finas, possui maior superfície específica do que a brita, exigindo maior quantidade de água para garantir a consistência adequada da mistura. Conseqüentemente, a menor área superficial da brita contribui para uma melhor eficiência hídrica e compactação da matriz. Além disso, a menor presença de vazios na matriz cimentícia favorece a transferência eficiente dos esforços internos e contribui para a integridade estrutural do material, promovendo uma melhor interação entre a pasta e o agregado.

Esses resultados apresentam semelhança com os encontrados por outros estudos como (LINTZ *et al.*, 2012; VIEIRA; DAL MOLIN; LIMA, 2004; FROTTE *et al.*, 2017; TOMAZ e MATOS, 2017; GOMES, 2021; SILVA, 2023), reforçando a influência da granulometria e as demais propriedades dos agregados na performance do concreto.

O aumento no consumo de cimento na mistura não implica necessariamente em um incremento proporcional da resistência do concreto, ou seja, traços com maior teor de pasta cimentícia e menor proporção de agregados tendem a apresentar maiores índices de retração, o que pode resultar em aumento da porosidade, como é mostrado na Tabela 14.

Tabela 12: Capacidade de carga definitivos.

Nomenclatura	Unidade percentual de RCD	Carga (Mpa)		a/c	Aditivo (%)
		Intempérie	Submerso		
T1-Casc RCD	100	12,08	15,56	0,83	0,00
		11,60	15,51		
	Média	11,84	15,53		
T2-Casc RCD	100	14,74	21,16	0,60	0,80
		15,70	20,27		
	Média	15,22	20,72		
T1-Brita 2 RCD	100	11,33	15,38	0,81	0,00
		12,13	16,31		
	Média	11,73	15,85		
T2-Brita 2 RCD	100	17,58	18,77	0,66	0,90
		18,60	23,55		
	Média	18,09	21,16		
T1-Brita 2 Conv.	100	22,27	18,28	0,54	0,00
		18,82	26,51		
	Média	20,54	22,40		
T2-Brita 2 Conv.	100	21,98	23,40	0,50	0,21
		28,00	26,76		
	Média	24,99	25,08		
T1-Brita 2 Bina.	50	24,71	21,49	0,57	0,00
		23,73	20,55		
	Média	24,22	21,02		
T2-Brita 2 Bina.	50	20,17	21,47	0,51	0,28
		18,87	18,21		
	Média	19,52	19,84		
Todos os corpos foram capeados com pasta de cimento.					

Fonte: Autor (2025).

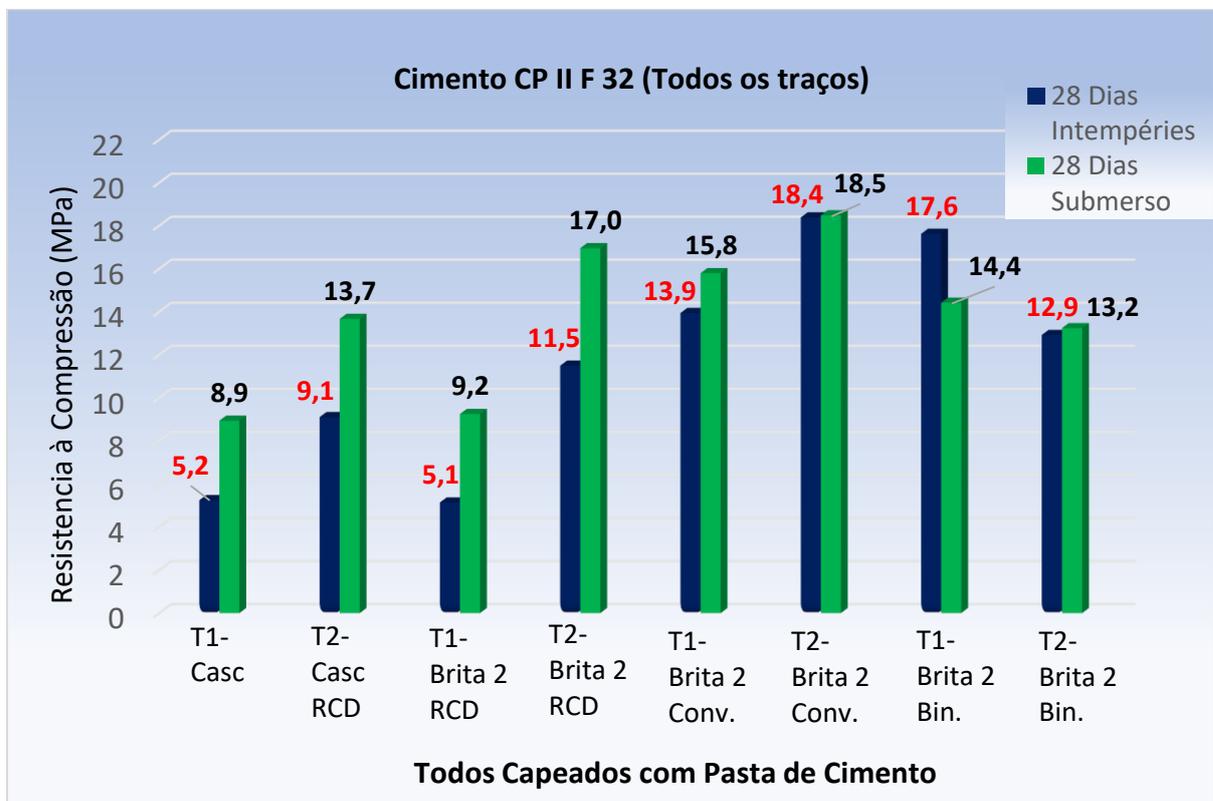
Ao comparar os traços preliminares com os definitivos, observa-se que o aumento na quantidade de cimento na mistura não resultou em um ganho expressivo na resistência à compressão dos concretos produzidos, no caso do concreto com cascalhinho, a resistência variou entre 11 MPa e 20 MPa, mantendo-se em uma faixa semelhante à dos traços iniciais, para os concretos com brita 2 RCD, a variação foi de 11 MPa a 23 MPa, também permanecendo próxima aos valores previamente observados. Já para o concreto com agregado natural, a resistência oscilou entre 22 MPa e 28 MPa, revelando uma piora modesta em comparação às

formulações preliminares.

Adicionalmente, no caso do traço definitivo, teve uma composição binária de agregados mistura de 50% reciclado (brita 2 RCD + areia RCD) e 50% natural (brita 2 convencional + areia convencional), os valores de resistência situaram-se entre 18 MPa e 24 MPa. Esses dados reforçam a constatação de que o simples acréscimo de cimento não é, por si só, um fator determinante para o aumento da resistência do concreto, em vez disso, o desempenho está diretamente relacionado à eficiência do empacotamento dos agregados, à relação água/cimento e à adequada proporção entre os componentes da mistura.

Os Gráficos 13 e 14 apresentam os resultados dos ensaios de resistência à compressão realizados nos traços preliminares e definitivos, cujos valores já estão de acordo com as exigências da ABNT NBR 12655:2015. Observa-se que o aumento da quantidade de cimento nas misturas definitivas, em comparação às iniciais, não implica necessariamente em um ganho significativo na resistência do concreto. Embora exerça certa influência, essa variável isoladamente não é suficiente para determinar a resistência final do material. Assim, a principal fonte de variabilidade na capacidade de carga do concreto foi a quantidade de água incorporada à mistura, além da proporção entre os materiais que compõem sua formulação, neste estudo.

Gráfico 14: Resistência à compressão definitivos.



Fonte: Autor (2025).

A comparação entre os resultados dos traços iniciais e definitivos indicou variações pouco expressivas, o que demonstra certa estabilidade nas formulações testadas, no caso dos traços produzidos com cascalhinho, a resistência à compressão variou entre 4 MPa e 13 MPa, onde para o concreto elaborado com brita 2 RCD apresentou resultados entre 11 MPa e 16 MPa, por outro lado, o concreto convencional, feito com materiais tradicionais, alcançou resistências entre 13 MPa e 18 MPa, o que evidencia a proximidade dos desempenhos obtidos com agregados reciclados em relação ao concreto convencional.

Adicionalmente, uma composição binária testada apresentou resistência à compressão variando de 12 MPa a 17 MPa, reforçando o potencial de misturas alternativas com materiais reciclados ou substituídos parcialmente. Sendo assim, esses resultados indicam a viabilidade técnica quanto a resistência à compressão do concreto na utilização de agregados reciclados e composições alternativas no desenvolvimento de concretos sustentáveis, sem perdas significativas de desempenho mecânico.

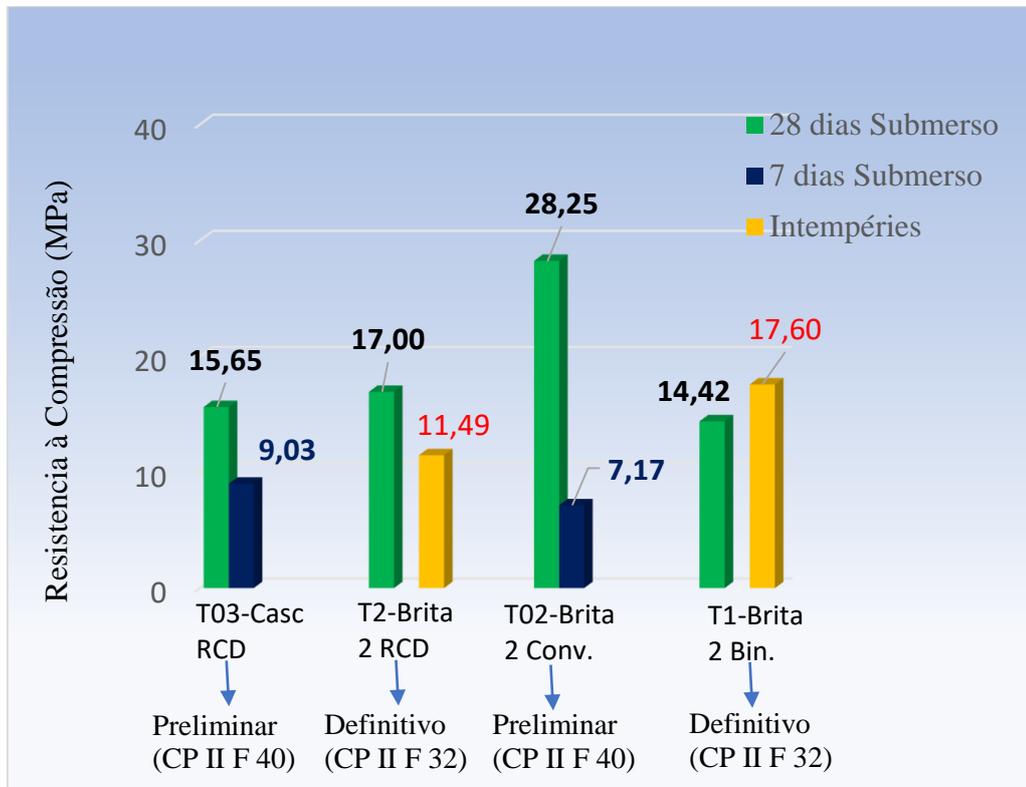
Conforme destacado por Couto *et al.* (2013), a massa de cimento possui influência significativa sobre o coeficiente de expansão térmica; com o aumento de sua percentagem, diminui a percentagem de agregados na mistura, afetando o comportamento do concreto. Ou seja, a eficiência da dosagem dos materiais que é fundamental para o desempenho do concreto, e misturas com uma proporção equilibrada entre a massa cimentícia e os agregados, próximas do ponto ótimo de empacotamento, favorecem uma matriz mais densa e coesa, resultando em melhor desempenho mecânico, sendo que os traços produzidos neste estudo evidenciam ainda mais essa questão e associam a massa cimentícia a uma combinação racional dos agregados.

Em contrapartida, o agregado graúdo convencional utilizado neste estudo apresentava características físicas desfavoráveis, com partículas de aspecto lamelar, indicando baixa qualidade, o que pode ter contribuído para o desempenho inferior do concreto produzido com esse material. Já o concreto com agregado reciclado apresentou comportamento mais consistente em termos de resistência à compressão, sem variações significativas entre os traços preliminares e definitivos. No caso do concreto convencional, houve uma queda expressiva na resistência, passando de 28 MPa no traço preliminar para 18 MPa no definitivo, em termos de resistências máximas do estudo, evidenciando a influência das propriedades físicas do agregado natural na performance final do concreto.

Em relação ao tipo de cura, observou-se uma variação máxima de 27% para o concreto produzido com cascalhinho de RCD (traço T2), 26% para o concreto com brita 2 de RCD (traço T2) e 8% para o concreto convencional com brita 2 (traço T1). Esses resultados, apresentados no Gráfico 14, referem-se à comparação entre as condições de cura submersa e à exposição às

intempéries.

Gráfico 15: Resistência à compressão máxima alcançada para as diferentes composições.



Fonte: Autor (2025).

Tanto para o cascalhinho proveniente de RCD quanto para a brita 2 convencional, os traços preliminares foram os que apresentaram melhor desempenho em termos de resistência, com proporções de (1:2,00:2,20: a/c) e (1:2,10:2,10: a/c), respectivamente. Já para os traços definitivos, os melhores resultados foram obtidos com a brita 2 reciclada, na proporção de (1:1,30:1,28: a/c), e com a composição binária, na relação de (1:1,70:1,60: a/c). Verificou-se que o concreto produzido com 100% de agregado reciclado atingiu aproximadamente 60% da capacidade de carga do traço convencional, demonstrando potencial de aplicação em elementos com menor exigência estrutural.

Assim como para os traços iniciais a redução da relação água/cimento resultou em maiores resistências à compressão. Os dados experimentais deste estudo, assim como os de Gomes (2021), indicam que o concreto reciclado pode ser classificado como C15, conforme critérios normativos, sendo adequado para aplicações não estruturais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como objetivo analisar a viabilidade do uso de agregados reciclados, oriundos de resíduos da construção e demolição (RCD), na produção de concreto, com foco na resistência à compressão. Os resultados demonstraram que, embora as características dos agregados reciclados apresentem variações em relação aos materiais convencionais, essas diferenças não afetaram significativamente o desempenho mecânico do concreto produzido, independentemente do tipo de agregado utilizado.

Entre os fatores analisados, a dosagem dos materiais mostrou-se como o mais determinante para a resistência à compressão. A proporção adequada entre água, cimento, agregados e aditivos influenciou de forma mais relevante o desempenho do concreto do que a própria natureza dos agregados. Esse aspecto reforça a importância de um estudo minucioso das dosagens, especialmente em composições que envolvem agregados reciclados, para assegurar que o concreto atenda às propriedades mecânicas desejadas.

Complementando essa observação, constatou-se que a redução da relação água/cimento (a/c) teve impacto significativo no desempenho do concreto. As misturas com menor teor de água apresentaram resistências superiores, evidenciando que uma relação a/c mais baixa favorece a formação de uma matriz mais densa e coesa. Essa densificação reduz a porosidade do concreto, promovendo maior ganho de resistência ao longo do tempo. Dessa forma, o controle rigoroso da relação a/c mostrou-se essencial, sobretudo em misturas com agregados reciclados, que exigem maior atenção na dosagem para garantir bons resultados.

Outro aspecto importante observado no estudo refere-se ao tipo e ao tempo de cura, que também desempenham papel fundamental no desenvolvimento da resistência do concreto. Nas amostras produzidas nas fases iniciais, a resistência aos 7 dias representou cerca de 40% da resistência obtida aos 28 dias no concreto convencional com brita 2, 58% no concreto com brita 2 de RCD e 60% no concreto com cascalhinho de RCD. Esses dados reforçam a importância do tempo de cura, especialmente nas idades mais precoces. Já nas composições finais, a influência do tipo de cura foi menos expressiva, com os corpos de prova expostos às intempéries apresentando resistências entre 73% e 92% em relação à cura submersa, dependendo do tipo de agregado. O melhor desempenho do concreto com cascalhinho de RCD nessas condições pode estar relacionado à maior retenção de umidade e à continuidade no processo de hidratação do cimento.

Adicionalmente, a pesquisa evidenciou a relevância do controle de qualidade dos agregados reciclados para garantir o bom desempenho do concreto. A eficiência do processo de

britagem tem impacto direto na qualidade dos agregados produzidos. Equipamentos desgastados ou mal calibrados podem gerar partículas inadequadas, comprometendo a resistência do concreto. Estratégias como a utilização de dosadores automáticos na mistura de agregados reciclados e naturais, a britagem seletiva e o uso de classificadores espirais para remoção de materiais orgânicos são recomendadas para reduzir a variabilidade e melhorar as propriedades físicas e mecânicas da mistura.

Observou-se que o tipo de cimento empregado nas misturas pode ter influenciado de forma significativa os resultados obtidos. O concreto convencional, inclusive, apresentou desempenho inferior nas dosagens finais em comparação às iniciais, apesar do aumento na quantidade de cimento. Essa diferença pode ser atribuída à substituição do cimento CP II-F-40, utilizado nas primeiras composições, pelo CP II-F-32 nas formulações finais. Tal alteração indica que o simples acréscimo de cimento não foi suficiente para melhorar a resistência, uma vez que o tipo de cimento também foi modificado entre as composições.

Dessa forma, a pesquisa reforça a necessidade do desenvolvimento de tecnologias e diretrizes normativas mais criteriosas, que viabilizem o uso eficiente e sustentável dos resíduos da construção civil como alternativa viável na produção de concreto. Além de contribuir para a preservação ambiental, essa abordagem promove avanços na engenharia civil, incentivando práticas inovadoras e sustentáveis, sem comprometer a qualidade e o desempenho estrutural do concreto.

Assim como observado no estudo de Gomes (2021), o concreto utilizado neste trabalho foi classificado como C15, sendo, conforme as normas técnicas vigentes, indicado para aplicações não estruturais.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como continuidade deste estudo, recomenda-se inicialmente a realização de um mapeamento de fornecedores de agregados reciclados, com o objetivo de identificar a disponibilidade, procedência e qualidade do material no mercado regional. Em seguida, sugere-se uma análise mais aprofundada do processo produtivo desses agregados, verificando os equipamentos utilizados na coleta, separação e trituração dos resíduos, bem como as condições de operação e manutenção dos mesmos.

É essencial, por exemplo, avaliar se os britadores utilizados estão operando com eficiência, se as mandíbulas estão em boas condições e se o processo de separação está eliminando adequadamente materiais contaminantes como plásticos, papelão, madeira ou

gesso, que comprometem a qualidade do concreto produzido.

Além disso, a padronização na produção dos agregados reciclados, com base em critérios normativos mais rigorosos, torna-se essencial para a obtenção de resultados mais consistentes e confiáveis em diferentes traços, contribuindo para a aplicação segura, eficiente e sustentável do concreto reciclado na construção civil.

Além disso, propõe-se a elaboração de novos traços experimentais com diferentes proporções de materiais reciclados, com base nos dados desta pesquisa. Recomenda-se manter uma relação mínima de 100 unidades percentuais entre cimento e areia, e uma diferença de pelo menos 10 unidades percentuais a mais de agregado graúdo em relação ao miúdo. Exemplos de traços unitários em massa que podem ser testados incluem:

- 1:2:2,20:0,5
- 1:2,50:2,75:0,5
- 1:2,80:3,08:0,5

Para cada traço, sugere-se realizar dois ensaios: um utilizando apenas água e outro com a adição de aditivo plastificante, a fim de avaliar a influência da aditivação no desempenho mecânico da mistura.

Outro fator interessante é investigar composições binárias de concreto que utilizem agregado graúdo convencional em conjunto com agregado miúdo proveniente de resíduos da construção e demolição (RCD), tomando como referência as proporções previamente estabelecidas.

Por fim, recomenda-se a aplicação prática do concreto reciclado na fabricação de peças pré-moldadas, como anilhas, canaletas, blocos estruturais, entre outros elementos. Com a produção de um concreto reciclado de maior qualidade, será possível avaliar a viabilidade técnica e estrutural dessas peças por meio de ensaios específicos, contribuindo significativamente para a validação do uso de agregados reciclados em componentes estruturais e não estruturais da construção civil.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR 15116:2021. **Agregados reciclados para uso em argamassas e concreto de cimento Portland: Requisitos e métodos de ensaios**. junho de 2021.

ÂNGULO, S. C. **Caracterização de Agregado de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados e a Influência de Suas Características no Comportamento de Concretos**. São Paulo, 2005. 167 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO. **O que é entulho**. ABRECON. Disponível em: <https://abrecon.org.br/entulho>. Acesso em: 04 de abril. 2025.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR NM 52. **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. junho de 2002.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR NM 53. **Agregado graúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. junho de 2002.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR NM 45:2006 **Agregados: Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, abril de 2006.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR 7211:2019. **Agregados para Concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, maio de 2019.

ANGULO, S.C.; FIGUEIREDO, A.D. **Concreto com agregados reciclados**. In: *Concreto: Ciência e tecnologia*. 2. Ed. São Paulo: IBRACON, p. 1731-1767, jan. 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/293811678_concreto_com_agregados_reciclados. Acesso em: 30 abr. 2020.

ANDOLFATO, R. P. **Controle tecnológico básico do concreto**. Ilha Solteira: Universidade Estadual Paulista, 2002, p. 33.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR 12655:2015. **Agregados - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação -**

Procedimento. Rio de Janeiro, fevereiro de 2015.

ALMEIDA, L. C. **Concreto.** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2002, notas de aula. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Concreto.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2025.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR NM 26. **Agregados: Amostragem.** maio de 2001.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR NM 27. **Agregados: Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório.** maio de 2001.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR NM 248:2003. **Análise granulométrica de agregados: Método de ensaio.** Rio de Janeiro, julho de 2003.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR 7809:2019. **Agregado graúdo: Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, janeiro de 2019.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR 16916:2021. **Agregado miúdo: Determinação da densidade e da absorção de água.** Rio de Janeiro, abril de 2021.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR 16917:2021. **Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água.** Rio de Janeiro, abril de 2021.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR NM 67:2015. **Agregados - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** MERCOSUL, março de 1998.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR 5739:1994. **Agregados - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, agosto de 1994.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Brasília: Diário Oficial da União, 2010.

BRASIL. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, Secretaria de Qualidade Ambiental. Brasília, 2022. 206 p.

BOTELHO, M. H. C. **Concreto armado, eu te amo, para arquitetos**. São Paulo: Edgard Blucher, 2019, ed. 10., p. 33.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Brasília: Diário Oficial, 2002.

COSTA, N. A. A. **A reciclagem do resíduo de construção e demolição: uma aplicação da Análise Multivariada**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, 2003.

COUTO, J.A.S. *et al.* **O concreto como material de construção**. Caderno de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas. Sergipe, v.1, n.17, p. 49-58, outubro de 2013.

FERREIRA, L. M. M. **Betões Estruturais Com Incorporação de Agregados Grossos Reciclados de Betão: influência da pré-saturação**. Lisboa, 2007. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

FRANCISCO, M. O. V. **Estudo da utilização de resíduos em concretos para aplicações não estruturais**. Rio de Janeiro, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda 2017, 63 f.

FROTTE, C. *et al.* **Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD**. Revista Matéria, v.22, n.2, 2017.

GOMES, H. C. **Agregados reciclados em concretos para a mitigação de impactos da indústria da construção civil**. 98 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2021.

GONÇALVES, G. **Concreto Reciclado: destinação dos resíduos sólidos reaproveitamento na construção civil e a importância no meio sustentável**. 40 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Norte do Paraná, Araçongas, 2021.

GONÇALVES, E. A. B. **Estudo de Patologias e Suas Causas nas Estruturas de Concreto**

Armado de Obras de Edificações. 174 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

HELENE, P.; ANDRADE, T. **Concreto de Cimento Portland.** São Paulo: IBRACON, 2010. Vol. 2, cap. 29.

LEITE, M. B. **Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição.** 2001. 270 f. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LOPES, L. F. **Materiais de construção civil I.** Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017. 192 p.

LINTZ, R. C. C. *et al.* **Estudo do reaproveitamento de resíduos de construção em concretos empregados na fabricação de blocos.** São Paulo, IBRACOM, 2012.

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria.** Tese. Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil, 2001.

Mello, L. C. B. B.; de Amorim, S. R. L. **O subsetor de edificações da construção civil no Brasil:** uma análise comparativa em relação à União Europeia e aos Estados Unidos. *Produção*, v. 19, n. 2, p. 388-399, 2009.

MARTINS, F. S. **Ferramentas de gerenciamento e gestão da construção:** estudo de caso em obra de edificações. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10019303.pdf>. Acesso em: 05 abril 2025.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e materiais.** 2ª ed., São Paulo: Editora IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto, São Paulo, 2014.

Nagalli, A. **Resíduos de construção civil:** gerenciamento e quantificação. São Paulo: Oficina de Textos, 2. ed. 2022.

NEVILLE, A. M.. *Propriedades do concreto.*/ tradução: Ruy Alberto Cremonini. – 5. Ed. –

Porto Alegre: Bookman, 2016.

PEDROSO, F.L., **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem**, Revista Concreto & Construções, n. 53, p. 14, 2009.

RIBEIRO, L. F. **Reutilização de resíduos de construção civil**: um estudo de revisão de literatura sobre a reciclagem do concreto. Maringá: Unicesumar, artigo, p. 22, 2022.

ROSADO, L. P.; PENTEADO, C. S. G. **Gestão municipal dos resíduos da construção civil**: influência da taxa de disposição em aterros. São Paulo: Revista, Ambiente e Sociedade, 2020. v. 20. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200032r1vu2020L6AO>. Acessado em: 03 abri. 2025.

RODRIGUES, C. R. S.; FUCALE, S. **Dosagem de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo da construção civil**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 99-111, mar. 2014.

SILVA, M. P. R. **Gestão de resíduos sólidos da construção civil**. Natal: UFRN, (Graduação), p. 63, 2018.

SILVA, J. L. O. **Análise de propriedades mecânicas de concretos produzidos com diferentes dosagens de agregados reciclados de concreto**. Maceió: UFAL, (Pós Graduação), 2023.

SANTOS, A. A. M.; LEITE, M. B. **Avaliação de concretos reciclados com agregado graúdo de concreto dosados pelo método da ABCP modificado**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 341-359, out./dez. 2018.

SINDUSCON-MG. **Alternativas para a destinação de resíduos da construção civil**. SINDUSCON-MG. 3º ed. Belo Horizonte, 2014. 116 p.

TOMAZ, K. B. C.; MARAES, R. V. C. F. **Reutilização de resíduos de construção civil na confecção de concreto**. Nova Venécia: FCNV, (Graduação), 2017.

VIEIRA, R. A. G. **Vantagens do concreto autoadensável comparado ao concreto convencional**. Minas Gerais, janeiro de 2013.

VIEIRA, G.L.; DAL MOLIN, D.C.C.; LIMA, F.B. **Resistência e Durabilidade de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados Provenientes de Resíduos de Construção e Demolição.** Engenharia Civil - UM, n. 19, 2004.