



**FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**CAROLINA RIBEIRO DA SILVA
JOSÉ BENTO DE SOUSA FILHO**

**ANÁLISE DA CARACTERIZAÇÃO E RESISTÊNCIA DO
CONCRETO COM ADIÇÃO DE AGREGADO GRAÚDO
RECICLADO DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

PUBLICAÇÃO Nº: 07

**GOIANÉSIA / GO
2021**



**CAROLINA RIBEIRO DA SILVA
JOSÉ BENTO DE SOUSA FILHO**

**ANÁLISE DA CARACTERIZAÇÃO E RESISTÊNCIA DO
CONCRETO COM ADIÇÃO DE AGREGADO GRAÚDO
RECICLADO DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

PUBLICAÇÃO N°: 07

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG.**

ORIENTADOR: Me. VILSON DALLA LIBERA JUNIOR

GOIANÉSIA / GO: 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, CAROLINA RIBEIRO; SOUSA FILHO, JOSÉ BENTO

Análise da Caracterização e Resistência do Concreto com Adição de Agregado Graúdo Reciclado da Construção Civil [Goiás] 2021 xviii, 57P, 297 mm (ENC/FACEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2021).

TCC – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

1. Agregado reciclado	2. Análise estatística
3. Resistência mecânica	4. Soluções sustentáveis
I. ENC/FACEG	II. Análise da Caracterização e Resistência do Concreto com Adição de Agregado Graúdo Reciclado da Construção Civil

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, C. R.; SOUSA FILHO, J. B. Análise da Caracterização e Resistência do Concreto com Adição de Agregado Graúdo Reciclado da Construção Civil. TCC, Publicação 07 2021/2, Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, Goianésia, GO, 57p. 2021.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Carolina Ribeiro da Silva

José Bento de Sousa Filho

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Análise da Caracterização e Resistência do Concreto com Adição de Agregado Graúdo Reciclado da Construção Civil.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2021

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Carolina Ribeiro da Silva

Carolina Ribeiro da Silva
E-mail: carolrs.eng@gmail.com
76385-100 – Goianésia/GO – Brasil

José Bento de Sousa Filho

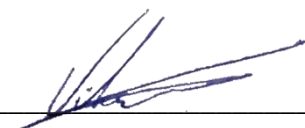
José Bento de Sousa Filho
E-mail: josebentosf@hotmail.com
76390-000 – Barro Alto/GO - Brasil

**CAROLINA RIBEIRO DA SILVA
JOSÉ BENTO DE SOUSA FILHO**

**ANÁLISE DA CARACTERIZAÇÃO E RESISTÊNCIA DO
CONCRETO COM ADIÇÃO DE AGREGADO GRAÚDO
RECICLADO DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA FACEG COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

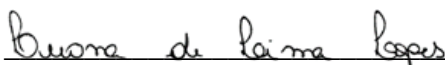
APROVADO POR:



**VILSON DALLA LIBERA JUNIOR, Mestre (Faculdade Evangélica de Goianésia -
FACEG)
(ORIENTADOR)**



**ROBSON DE OLIVEIRA FELIX, Mestre (Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**LUANA DE LIMA LOPES, Mestre (Universidade Federal de Uberlândia - UFU)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

DATA: GOIANÉSIA/GO, 24 de NOVEMBRO de 2021.

*Dedico este trabalho:
aos meus pais, Vanice e Fernando;
aos meus sobrinhos Emanuel e Elisa;
aos meus irmãos Fernando Júnior e Tamires;
e aos meus avós, tios e primos.*

Carolina Ribeiro da Silva

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter permitido que eu tivesse saúde e determinação para ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo de todos esses anos de estudos, pelo dom da vida, por todas as oportunidades, paciência e força mesmo nos momentos em que achei que não iria conseguir. Agradeço aos meus pais, Vanice e Fernando por todo apoio, incentivo nos momentos difíceis e por toda dedicação que tiveram comigo. Agradeço meus irmãos Fernando Júnior e Tamires, minha avó Teresinha, meus tios e primos pelo incentivo e por estarem ao meu lado.

Agradeço nosso orientador Wilson Dalla por toda ajuda e paciência durante a realização desse projeto. Sua dedicação e seus ensinamentos foram muito valiosos para nós. Ao professor Robson Felix por sempre estar disposto a nos ajudar, por todos os ensinamentos não só na realização desse trabalho como também em grande parte das disciplinas do curso, suas contribuições fizeram grande diferença em minha graduação. A professora Luana Lopes pelas orientações, apoio, por todo incentivo e paciência, sou muito grata por tudo que fez por nós. Aos demais professores e funcionários da FACEG que contribuíram tanto para minha formação.

Agradeço em especial a todos aqueles que me ajudaram ao longo da realização desse trabalho, seja nos ensaios ou até mesmo em uma palavra de incentivo. A empresa RNV Resíduos por ter nos fornecido o material que foi essencial para o andamento do nosso trabalho. Ao meu parceiro de TCC e grande amigo José Bento, por ter aceitado esse desafio e ter permanecido ao meu lado me ajudando, incentivando e sendo essa pessoa incrível que eu tenho muito orgulho.

Por fim, agradeço a todos os meus amigos pelos conselhos, incentivos, companheirismo e por todos os momentos que passamos juntos, aprendi muito com cada um deles. Aos demais colegas do curso agradeço por todo aprendizado ao longo deste percurso.

Carolina Ribeiro da Silva

*Dedico este trabalho às minhas sobrinhas
Amanda, Samanta e Maria Clara, para que
possa de alguma forma inspirá-las a almejar
um bom futuro acadêmico.*

José Bento de Sousa Filho

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, expresso aqui meu eterno agradecimento a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados durante todos os anos de estudos, por ter me concebido saúde e determinação para não desanimar, pelo dom da vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da jornada.

Agradeço a minha mãe Rosemeire, pelo apoio incondicional; minha irmã Abnadabe, por todas as palavras de apoio; e meus padrinhos Vanusa e Guilherme, pelo incentivo aos estudos; à minha avó Rosalina, e toda a minha família.

Por toda a contribuição e disposição em ajudar, agradeço os professores Robson Felix, Luana Lopes e Ivandro Freitas, além de todo o corpo docente e funcionários da FACEG, que estiveram ao meu lado nos últimos cinco anos. Ao meu orientador, Vilson Dalla, agradeço pela dedicação, confiança e comprometimento em tornar este um trabalho de qualidade.

Agradeço minhas amigas Amanda, Leia, Alanna, Talyta Martins, Talita Gabriela, Paula, Fátima, Kauanhy, Maria Cecília, Júlia, Lorryne e Elizelia, pelo amor que recebi de cada uma, pelos conselhos, broncas e principalmente por cada sorriso que tiraram de mim, tornando cada viagem de ônibus a melhor hora do meu dia.

Agradeço a todos os amigos que ganhei nesta jornada: Neliana, Déborah, Andrielly, Dyovanna, Rayan, Raquel, Isabella e principalmente o Victor, pelo companheirismo, apoio e momentos de descontração e divertimento. Certamente terei sempre comigo a contribuição de cada um.

Finalizo aqui com meu agradecimento especial a minha amiga e companheira de TCC, Carolina Ribeiro, que esteve ao meu lado durante todo o desafio, me inspirando com sua perseverança, dedicação, inteligência e sábias palavras de conforto.

José Bento de Sousa Filho

*“Portanto, não vos inquieteis com o dia de amanhã, pois o amanhã trará os seus cuidados;
basta ao dia o seu próprio mal.”*
Mateus 6:25-34

RESUMO

A busca por soluções sustentáveis tem tornado o setor da construção civil grande destaque no cenário ambiental visto seu grande consumo de recursos naturais e impactos socioambientais. Entre as propostas de sustentabilidade para o setor, o concreto reciclado tem se destacado como uma das principais opções para busca de métodos que vão proporcionar a redução destes impactos, e compreender sua eficácia é fundamental para sua utilização, garantindo a integridade da estrutura e limitações de aplicação. Neste contexto, o presente trabalho avalia, através de experimentos laboratoriais e análise estatística, a resistência à compressão do concreto com adição de agregado graúdo reciclado da construção civil, em diferentes proporções, colocando-o como uma alternativa viável de utilização na concepção do concreto. Inicialmente foram realizados ensaios para a determinação das propriedades dos agregados miúdo e graúdo, como a análise granulométrica, módulo de finura, massa unitária e massa específica. Após, foi realizado o cálculo das dosagens através do método ABCP, seguido pela fabricação de 6 traços com teores de substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado de 0, 10, 20, 30, 40 e 50%. Por fim, os traços foram submetidos aos ensaios de consistência, absorção de água e resistência à compressão nas idades de 7 e 28 dias. A análise dos resultados indica que quanto maior o teor de substituição do agregado graúdo reciclado, menor foi a consistência do concreto, devido sua capacidade de absorver mais água, o que diminuiu a trabalhabilidade. Em relação a resistência à compressão em 7 e 28 dias, foi observada uma tendência de queda conforme o aumento dos teores de substituição do agregado graúdo, sendo que a substituição com 10% representa o melhor tratamento possível dentro da resistência limite considerada nos cálculos, conforme comprovado na análise estatística por meio do teste de Tukey. Apesar disso a análise da resistência aos 28 dias por regressão quadrática indicou que substituições de até 40% podem ser consideradas válidas e que a porcentagem ideal de substituição foi de 8,1%. A partir dos resultados encontrados foi possível concluir que o concreto com agregados graúdos reciclados é tecnicamente viável, uma vez que o concreto é um material amplamente utilizado em diversos sistemas construtivos, a utilização de recursos renováveis em sua produção é de suma importância se tratando das práticas sustentáveis.

Palavras-chave: Agregado reciclado; Análise estatística; Resistência mecânica; Soluções sustentáveis.

ABSTRACT

The sustainable solutions search has made the civil construction a prominent sector in the environmental scenario due to its large consumption of natural resources and social and environmental impacts. Among the sustainability proposals for this sector, recycled concrete has raised out as one of the main options for new methods that will reduce these impacts, and understanding its effectiveness is essential for its use, ensuring the integrity of the structure and application limitations. In this context, the present work evaluates, through laboratory experiments and statistical analysis, the compressive strength of concrete with the use of recycled coarse aggregate from civil construction, in different proportions, introducing it as a viable alternative for use in concrete structures. Initially, experimental tests carried out to determine the properties of fine and coarse aggregates, such as particle size analysis, fineness modulus, unit mass and specific mass. Subsequently, the dosage calculation was performed using the ABCP method, followed by the manufacture of 6 mixes with replacement contents of natural coarse aggregate by recycled coarse aggregate of 0, 10, 20, 30, 40 and 50%. Finally, the mixtures were submitted to consistency, water absorption and compressive strength tests at the ages of 7 and 28 days. The analysis of the results indicates that the higher the replacement content of the recycled coarse aggregate, the lower the consistency of the concrete, due to its capacity to absorb more water, which reduced its workability. Regarding the compressive strength in 7 and 28 days, a downward trend was observed as the replacement contents of coarse aggregate increased, and the replacement with 10% represents the best possible treatment within the limit strength considered in the calculations, as proven in the statistical analysis using the Tukey test. Despite this, the resistance analysis at 28 days by quadratic regression indicated that substitutions up to 40% can be considered as valid and that the ideal replacement percentage was 8,1%. From the results found, it was possible to conclude that concrete with recycled coarse aggregates is technically viable, since concrete is a material widely used in various construction systems, the use of renewable resources in its production is of higher importance regarding sustainable practices.

Keywords: Recycled aggregate; Statistical analysis; Mechanical resistance; Sustainable solutions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Coleta de RCD nos municípios do Brasil.....	11
Figura 2 - Porcentagem de contribuição de cada região do Brasil na geração de RCD.....	12
Figura 3 - Usina de reciclagem de resíduos da construção civil (Aparecida de Goiânia-GO).	16
Figura 4 - Jogo de peneiras usadas no ensaio de granulometria.....	17
Figura 5 - Curva granulométrica dos agregados.....	20
Figura 6 - Amostras no recipiente de 1 dm ³ sendo agregado miúdo (a), brita 1 (b) e brita reciclada (c).	21
Figura 7 - Amostra de agregado miúdo no frasco Chapman.....	23
Figura 8 - Curva de Abrams.	27
Figura 9 - Separação dos materiais sendo água (a), areia (b), cimento (c), brita reciclada (d) e brita natural (e).	32
Figura 10 - Corpos de prova moldados.	34
Figura 11 - Corpos de prova desmoldados (a) e processo de cura dos corpos de prova (b). ..	34
Figura 12 - Prensa hidráulica utilizada para realização do ensaio de compressão.	37
Figura 13 - Abatimento do concreto.....	39
Figura 14 - Corpos de prova após o rompimento, sendo idade de 7 dias (a) e idade de 28 dias (b).	41
Figura 15 - Resistência à compressão dos traços de concreto estudados aos 7 e 28 dias.	42
Figura 16 - Regressão linear para FV Brita Reciclada.	46
Figura 17 - Regressão quadrática para resistência, no desdobramento aos 28 dias.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do agregado graúdo de acordo com as dimensões nominais.....	8
Tabela 2 – Geração de RCD no Brasil (t/ano).....	11
Tabela 3 - Unidade de processamento de RCD segundo macrorregião geográfica.	13
Tabela 4 - Unidades de processamento de RCD por tipo de operador.....	14
Tabela 5 - Massas recebidas nas unidades de processamento por tipo região.....	14
Tabela 6 - Determinação da granulometria da areia.....	18
Tabela 7 - Determinação da granulometria da brita 1.	19
Tabela 8 - Determinação da granulometria da brita reciclada.....	19
Tabela 9 - Massa unitária das amostras soltas e compactadas.....	22
Tabela 10 - Massa específica dos agregados graúdos natural e reciclado.....	24
Tabela 11 - Parâmetros obtidos para o cálculo do traço.....	25
Tabela 12 - Volume compactado do agregado.....	28
Tabela 13 - Porcentagens de agregado graúdo natural e reciclado na fabricação do concreto.	29
Tabela 14 - Consumo do agregado graúdo para cada traço.....	30
Tabela 15 - Volume e consumo de areia para cada traço.....	31
Tabela 16 - Consumo unitário para cada traço.....	32
Tabela 17 - Descrição dos tratamentos.....	37
Tabela 18 - Resultado do índice de absorção de água.....	40
Tabela 19 - Resultados do ensaio de compressão nos traços estudados.....	41
Tabela 20 - Análise de Variância.....	44
Tabela 21 - Teste de Tukey para FV Brita Reciclada.....	45
Tabela 22 - Análise de regressão para FV Brita Reciclada.....	46
Tabela 23 - Análise do desdobramento por nível de tempo.....	47
Tabela 24 - Teste de Tukey do desdobramento por nível de tempo.....	47
Tabela 25 - Teste de Tukey no desdobramento aos 28 dias.....	48
Tabela 26 - Regressão no desdobramento aos 28 dias.....	49
Tabela 27 - Médias estimadas através da regressão quadrática para resistência à compressão.	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de cimentos fabricados no Brasil.....	6
Quadro 2 - Desvio padrão Sd.	26
Quadro 3 - Determinação do consumo de água aproximado.	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABRECON – Associação Brasileira Para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

FACEG – Faculdade Evangélica de Goianésia

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

RCD – Resíduos de Construção e Demolição

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

LISTA DE SÍMBOLOS

- a/c – Fator água/cimento (adimensional)
- CC – Consumo de cimento (kg/m^3)
- Ca – Consumo de água (l/m^3)
- Cb – Consumo de agregado graúdo (kg/m^3)
- CA – Consumo de areia (kg/m^3)
- d – Massa unitária (kg/dm^3)
- Fcj – Resistência à compressão prevista para j dias (MPa)
- Fck – Resistência característica do concreto (MPa)
- fc – Resistência a compressão (MPa)
- H0 – Hipótese nula – média igual (adimensional)
- H1 – Média diferente (adimensional)
- m – Massa do agregado (kg)
- MU – Massa unitária compactada (kg/m^3)
- Mf – Módulo de finura (mm)
- μ - Massa específica (g/cm^3)
- γ – Peso específico (kg/m^3)
- Sd – Desvio-padrão (MPa)
- VA – Volume de areia (m^3)
- Vb – Volume compactado do agregado graúdo (m^3)
- Va – Volume aparente (dm^3)
- Vr – Volume real (m^3)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	3
1.2 OBJETIVOS	4
1.2.1 Objetivo Geral	4
1.2.2 Objetivos Específicos	4
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 CONCRETO.....	5
2.1.1 Cimento	5
2.1.2 Agregados.....	6
2.1.2.1 Agregado Miúdo.....	7
2.1.2.2 Agregado Graúdo	7
2.1.2.3 Agregado Reciclado	8
2.1.3 Água	9
2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	9
2.3 MANEJO E RECICLAGEM DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO ..	12
3 MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.1 MATERIAIS	15
3.1.1 Cimento e Água.....	15
3.1.2 Agregados.....	15
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS	16
3.2.1 Determinação da composição granulométrica.....	16
3.2.2 Determinação da massa unitária dos agregados solto e compactado	20
3.2.2.1 Agregado solto.....	20
3.2.2.2 Agregado compactado	21
3.2.3 Determinação das massas específicas dos agregados miúdo e graúdo.....	22
3.2.3.1 Massa específica do agregado miúdo	22
3.2.3.2 Massa específica do agregado graúdo	23
3.3 CÁLCULO DE DOSAGENS PELO MÉTODO ABCP	24
3.4 FABRICAÇÃO DO CONCRETO	32
3.5 ENSAIO DE CONSISTÊNCIA	35
3.6 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA	35
3.7 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS	36

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
4.1 AVALIAÇÃO DO ENSAIO DE CONSISTÊNCIA.....	39
4.2 AVALIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA	40
4.3 AVALIAÇÃO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	41
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	44
4.4.1 Análise de variância para 6 doses de brita reciclada e 2 tempos (esquema fatorial 6x2).....	44
4.4.1.1 Comparativo de média para FV – Brita Reciclada.....	45
4.4.1.2 Regressão para FV – Brita Reciclada.....	45
4.4.2 Análise do desdobramento da brita reciclada dentro de cada nível de tempo	46
4.4.3 Teste de Tukey para desdobramento da brita reciclada dentro da idade de 28 dias	47
4.4.4 Regressão para desdobramento da brita reciclada dentro da idade de 28 dias	48
5 CONCLUSÕES.....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável implica a utilização de métodos para suprir as necessidades humanas atuais sem que haja esgotamento dos recursos naturais das gerações futuras. A análise desta linha de raciocínio nos remete a pensar no setor econômico com maior impacto ambiental: a construção civil (JACQUES, 2014).

Ao longo dos anos o setor da construção civil vem apresentando um aumento significativo de suas atividades e com isso a geração de resíduos sólidos tem-se intensificado cada vez mais. Torna-se necessário então, aplicar um desenvolvimento sustentável já que as práticas construtivas vêm gerando um intenso impacto ambiental. Desse modo, o uso exagerado de recursos naturais, que se mostram cada vez mais escassos, necessita de práticas que visam a realização de uma construção mais sustentável (CORDEIRO et al., 2017).

A produção de resíduos durante o processo de fabricação é realmente inevitável, principalmente quando não é feito o reaproveitamento ou reciclagem dos mesmos, o que acaba desencadeando uma série de fatores negativos para o meio ambiente. Faltam ainda o uso adequado das tecnologias voltadas para o reaproveitamento dos materiais, além da necessidade da conscientização da população, uma vez que a solução independe de ações unilaterais (ZITTO, 2014).

Segundo Silva et al. (2015), quando se trata do excessivo consumo de recursos naturais e elevada geração de resíduos, a construção civil configura-se como um setor com imensurável potencial de degradação ambiental. O obstáculo está no descarte irregular dos resíduos gerados, o que aumenta consideravelmente os locais inadequados de despejo, ponderando o desafio de propor práticas construtivas sustentáveis que não comprometam parâmetros de qualidade.

Na reflexão de Gantois e Lima (2018), num breve contexto histórico, nota-se que uma construção só seria considerada competitiva se atendesse a três aspectos básicos: qualidade, no que diz respeito a integridade do edifício; tempo, referindo-se a otimização do canteiro de obras para diminuição do prazo de entrega; e custo, valorizando o retorno rápido do investimento. Preocupações ambientais passaram a ser objetivo primordial uma vez que carece de projetos ‘verdes’ ou eco-eficientes que priorizam o uso de materiais reciclados, como no concreto.

O concreto de cimento Portland é um material de suma importância na construção civil e bastante difundido por todo o mundo, tornando então um material cuja sua descoberta foi considerada uma das mais interessantes da história. Para alcançar a trabalhabilidade do concreto

é necessário a dosagem correta, que vise alcançar a mistura ideal e mais econômica (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Concreto – IBRACON (2009), estima-se que o consumo médio mundial de concreto seja da ordem de 1,9 toneladas por habitante ao ano. Este excesso justifica-se no fato de que o material é amplamente utilizado em vários segmentos construtivos. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015), por meio da NBR 12655, considera o concreto como um material obtido pela composição de cimento, agregados miúdo e gráudo e água, que pode ou não ser composto por elementos minoritários, como aditivos, sílica ativa, entre outros. Tutikian e Helene (2011), consideram também, como materiais passíveis de uso nos concretos, uma distinção entre agregados reciclados, artificiais ou industrializados e naturais.

Na busca por atender as crescentes demandas dos canteiros de obras, a indústria da construção pode contribuir reciclando seus Resíduos de Construção e Demolição (RCD), objetivando a utilização de agregados reciclados, que além de contribuir para a sustentabilidade da construção civil, reduziria consideravelmente os rejeitos depositados em aterros (SOUZA et al., 2020).

De acordo com Krüger et al. (2017), a utilização de agregado gráudo reciclado tem grande impacto na resistência à compressão, visto que, o agregado reciclado apresenta maior rugosidade, o que pode auxiliar na aderência. A utilização de agregados reciclados, além de trazer novos produtos ao mercado, são capazes de gerar benefícios extras, que viabilizam projetos de níveis sociais, devido ao menor custo empregado ao comparado com os concretos convencionais.

Neste contexto, diante da necessidade de utilização de recursos inovadores que diminuam os impactos ambientais da construção civil, o presente estudo busca analisar a resistência do concreto com adição de agregado gráudo reciclado, de forma a estabelecer através de experimentos laboratoriais e análises estatísticas a sua possível potencialidade. Tal processo estimulará a busca por outros procedimentos que procurem apresentar soluções alternativas para construção sustentável. Este método não tem por intenção a total substituição do concreto convencional, mas complementá-lo de modo que seu resultado reflita da natureza dos impactos provocados pela construção civil.

1.1 JUSTIFICATIVA

Conforme apontado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2020), o Brasil gerou 79,9 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos no ano de 2020, sendo que a carência de áreas de transbordo, triagem e usinas de reciclagem - somada a negligência por parte da população que faz o descarte inadequado - faz com que os resíduos oriundos da construção civil representem de 40 a 70% do volume total (CARVALHO, 2017).

De acordo com o Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (2019), expresso no Diagnóstico de Manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos, em uma amostra com 3.712 municípios, existem atualmente no Brasil 36 unidades de processamento de resíduos de construção civil (RCC), administradas pelo poder público ou autarquias, que juntos somam um contingente com 845.933,7 toneladas de resíduos. Observa-se que estes números vêm representando um grave problema de desperdício econômico, onde este setor se caracteriza por ter grande consumo dos recursos naturais e impactos socioambientais.

A reciclagem de RCD pode gerar uma série de possibilidades que poderão ser aplicadas, tais como: fabricação de concretos, camadas de base e sub-base para pavimentação, fabricação de argamassas de assentamento e revestimento, dentre outros, apresentando a importância de estudos que informem como a reciclagem de diferentes materiais gerados pela construção civil podem trazer viabilidade técnica e econômica (BRASILEIRO; MATTOS, 2015).

Diante o exposto, a pesquisa justifica-se na importância da reutilização de materiais sustentáveis reciclados que diminuirão o desperdício e descarte inadequado. O presente estudo fará a análise da resistência à compressão do concreto com adição de agregado graúdo reciclado, sendo este um dos mais relevantes fatores para utilização do material na prática.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar, por meio de experimentos laboratoriais e análise estatística, a caracterização e resistência à compressão do concreto com adição de agregado graúdo reciclado da construção civil, em diferentes proporções, colocando-o como uma alternativa viável no uso de métodos sustentáveis.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar os agregados graúdos naturais e reciclados visando a dosagem adequada de cada traço;
- Fazer a confecção dos traços de concretos com agregados naturais e com agregados graúdos reciclados, em diferentes proporções, em substituição ao agregado natural;
- Realizar nas idades de 7 e 28 dias a análise de absorção de água, além do rompimento dos corpos de provas para determinação da resistência à compressão em diferentes idades;
- Analisar estatisticamente, por meio de regressão e teste de Tukey, os valores de resistência entre os traços;
- Verificar a viabilidade da utilização do agregado graúdo reciclado na concepção do concreto.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está organizado em cinco capítulos. No capítulo 1 foi apresentado uma introdução ao tema estudado, incluindo a justificativa da escolha do tema, e os objetivos que se procura alcançar com este estudo. No capítulo 2, foi apresentada a revisão bibliográfica abrangendo o assunto em questão. No capítulo 3, estão descritos as etapas e os procedimentos metodológicos utilizados para a realização do estudo. No capítulo 4, são apresentados e discutidos os resultados obtidos nos ensaios realizados. No capítulo 5, foi apresentado as conclusões e perspectivas para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCRETO

Atualmente o concreto é um material bastante utilizado pela engenharia para uma série de áreas, mas seu surgimento foi em Roma, por volta de 300 a 476 A.C, onde sua utilização era difundida apenas para construção simples de moradias, muros e até mesmo fundações. Os anos foram passando e o concreto atingiu uma grande credibilidade, sendo que até os dias atuais ainda é pesquisado e estudado nas inúmeras formas que o concreto pode tomar (SALOMÃO et al., 2019).

Pode-se definir o concreto como um produto que é produzido a partir da mistura de cimento e água, sendo acrescentado por agregados. Denomina-se a mistura desses elementos como dosagem, que juntos formam uma liga que poderá ser moldada, assumindo diversas formas e aplicações variadas (COUTO et al., 2013).

2.1.1 Cimento

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2002), o cimento surgiu há cerca de 4500 anos, tendo sua utilização nos monumentos do Egito antigo, esteve presente também em grandes obras como Panteão e Coliseu. Historicamente, recebeu o nome de cimento Portland graças ao construtor inglês Joseph Aspdin, quando, através de um experimento, obteve-se uma mistura com um comportamento que chamou atenção, já que após a mistura estar seca sua consistência se tornou tão resistente quanto as pedras utilizadas nas construções.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018), por meio da NBR 16697 – Cimento Portland – Requisitos, define o cimento Portland com um aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer, sendo que, se for necessário, durante sua fabricação pode ser adicionado uma porção de sulfato de cálcio e adições minerais, nos teores indicados pela norma.

Pode-se ressaltar que os estudos relacionados com a aplicação do cimento no Brasil ocorreram por volta de 1888, de lá pra cá obteve-se uma considerável evolução, visto que com os conhecimentos teóricos adquiridos ao longo dos anos, foi possível realizar a fabricação de vários tipos de cimentos. A maioria deles tem sua aplicação de modo geral, mas alguns possuem propriedades específicas, permitindo uma obtenção de uma mistura com resistência consideravelmente melhor (ABCP, 2002).

Em relação aos tipos de cimentos fabricados no Brasil, o Quadro 1 apresenta os principais tipos, ou seja, os mais variados cimentos empregados na construção civil. Conforme cada tipo de cimento, a sigla corresponde ao prefixo CP, adicionado a ela algarismos romanos que os diferem entre si, sua classe que varia de 25, 32 e 40 apontam os valores mínimos de resistência à compressão (MPa) após 28 dias de cura e são através de suas composições que é possível definir as propriedades de cada tipo variado de cimento (ABCP, 2002).

Quadro 1 - Tipos de cimentos fabricados no Brasil.

Tipos de cimento Portland	Sigla	Composição (% em massa)				Classe	Norma Brasileira
		Clínquer + Gesso	Escória de Alto forno	Material Pozolânico	Material Carbonático		
Comum	CP I	100	-	-	-	25;32;40	NBR 5732
	CP I-S	99-95	-	1-5	-		
Composto	CP II-E	94-56	6-34	-	0-10		NBR 11578
	CP II-Z	94-76	-	6-14	0-10		
	CP II-F	94-90	-	-	6-10		
Alto Forno	CP III	65-25	35-70	-	0-5	NBR 5735	
Pozolânico	CP IV	85-45	-	15-50	0-5	32;40	NBR 5736

Fonte: ABCP, 2002.

2.1.2 Agregados

Segundo Bauer (2019), os agregados são materiais granulares, provenientes de matérias-primas minerais e que apresenta uma faixa de tamanhos estabelecidos, tendo sua utilização para confecção de concretos bem como em diversas áreas da construção. Lisboa, Alves e Melo (2017), consideram as aplicações dos agregados de suma importância em diversos âmbitos, ressaltando ainda que os agregados representam três quartos em volume na composição do concreto.

Em relação a sua origem, os agregados podem ser encontrados na natureza, caracterizando-o como de origem natural e também podem ser constituídos por processo industrial, também chamados de agregados artificiais. Já se tratando de suas dimensões podem ser definidos como agregado miúdo ou agregado graúdo (BAUER, 2019).

2.1.2.1 Agregado Miúdo

Um dos principais exemplos de agregado miúdo é a areia, que de forma geral, é obtida de fontes naturais, sendo elas principalmente por meio de rios, é considerado um material de suma importância e que está presente em vários âmbitos da construção, como na fabricação de concreto, argamassas, utilização em aterros, entre outros (HAGEMANN, 2011).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009), por meio da NBR 7211 define agregado miúdo como “agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μ m, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.”

Outro ponto relevante é a distribuição granulométrica, que relaciona o tamanho dos grãos. Conforme NBR 7211 (ABNT, 2009), a areia pode ser classificada em:

- Areia fina: apresenta o módulo de finura entre 1,55 a 2,20;
- Areia Média: apresenta o módulo de finura entre 2,20 a 2,90;
- Areia Grossa: apresenta o módulo de finura entre 2,90 a 3,50.

Sendo que o objetivo dessa classificação é uma melhor distribuição quanto a característica de cada elemento (ABNT, 2009).

2.1.2.2 Agregado Graúdo

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009), por meio da NBR 7211 define agregado graúdo como “agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.”

Segundo Hagemann (2011), a brita é um material originado da britagem, podendo ser uma parte de uma rocha do tipo granito, gnaisse, basalto. Com esse processo se origina diversos tamanhos para inúmeras aplicações, como para confecção de concreto, correção de solos, pavimentação, entre outras.

Quanto a sua classificação e dimensões, na Tabela 1 observa-se essas características proveniente dos agregados graúdos. A importância dessa classificação é que através da distribuição granulométrica é possível verificar a proporção em diferentes faixas granulométricas, por isso é necessário o uso de uma série de peneiras de malhas quadradas que

permitem a determinação do tamanho dos grãos que irão definir o tipo de agregado (LISBOA, ALVES e MELO, 2017).

Tabela 1 - Classificação do agregado graúdo de acordo com as dimensões nominais.

Brita Número	Tamanho Nominal	
	Aberturas de peneiras de malhas quadradas (mm)	
	Mínima	Máxima
0	4,8	9,5
1	9,5	19
2	19	38
3	38	50
4	50	76

Fonte: Bastos, 2011.

2.1.2.3 Agregado Reciclado

Define-se agregado reciclado de resíduo da construção civil o material de característica granular que pode ser obtido por meio de reciclagem de resíduos tanto da construção, quanto aqueles provenientes de demolição, são passados por uma triagem e pertencentes à classe A – descrita na Resolução Conama nº 307 (ABNT, 2002).

De acordo com Silva e Maciel (2014), concretos com a utilização de agregados reciclados vem apresentando bons desempenhos no que se refere a durabilidade e as propriedades mecânicas. Cordeiro et al. (2017) ressalta ainda que o agregado reciclado apresenta características peculiares, como seu formato irregular, menor massa específica comparado ao agregado natural e maior porosidade que influenciam diretamente no desempenho dos concretos.

Com o objetivo de controlar os danos ambientais causados pela indústria da construção, a utilização de agregados reciclados provenientes da construção e demolição da construção civil tem sido bastante estudado, visando diminuir o impacto ambiental bem como introduzir práticas sustentáveis em um setor responsável por uma quantidade significativa de geração de resíduos (SOUZA, PAES e BARBOZA, 2020).

Segundo Souza, Assis e Souto (2014), a utilização do agregado graúdo reciclado pode tornar o concreto mais denso, isso devido a relação água/cimento apresentada quando usado esse agregado, sendo considerado um resultado satisfatório. A Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON) define brita reciclada

como um material que apresenta dimensão máxima característica inferior a 39 mm, no qual não apresenta nenhum tipo de impurezas (ABRECON, 2014).

2.1.3 Água

A água está envolvida em toda vida útil do concreto, ela contribui na trabalhabilidade e na resistência, além de ter um papel muito importante na hidratação. Apresenta influência em vários aspectos, como a pega do concreto, fluência, corrosão de armaduras, entre outros (NEVILLE, 2016).

Pode-se dizer que a água está presente em todo o processo do concreto, por isso deve ser utilizada de forma correta e não deve conter impurezas, justamente pelo fato de que a qualidade da água é diretamente proporcional ao fator água/cimento, já que quanto menor for a relação água/cimento maior será a resistência do concreto (LISBOA, ALVES e MELO, 2017).

2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O maciço processo de migração para os grandes centros urbanos após a primeira metade do século XIX, a urbanização acelerada e o adensamento do setor construtivo provocaram índices alarmantes no que diz respeito a geração de resíduos de construção e demolição (RCD) (BRASILEIRO, MATOS, 2015). De acordo com a Resolução nº 307 de 5 de julho de 2002 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para gestão de resíduos da construção civil, os resíduos são definidos como:

Art. 2º, I - Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha;
(CONAMA, 2002, p. 1).

Considerando a necessidade de implementação de diretrizes para a efetiva redução dos impactos ambientais gerados pelos resíduos oriundos da construção civil, o CONAMA classifica os resíduos da seguinte forma:

Art. 3º (...)

I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:
a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso; (Redação dada pela Resolução nº 469/2015).

III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (Redação dada pela Resolução nº 431/11).

IV - Classe D - são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (Redação dada pela Resolução nº 348/04) (CONAMA, 2002, p. 3).

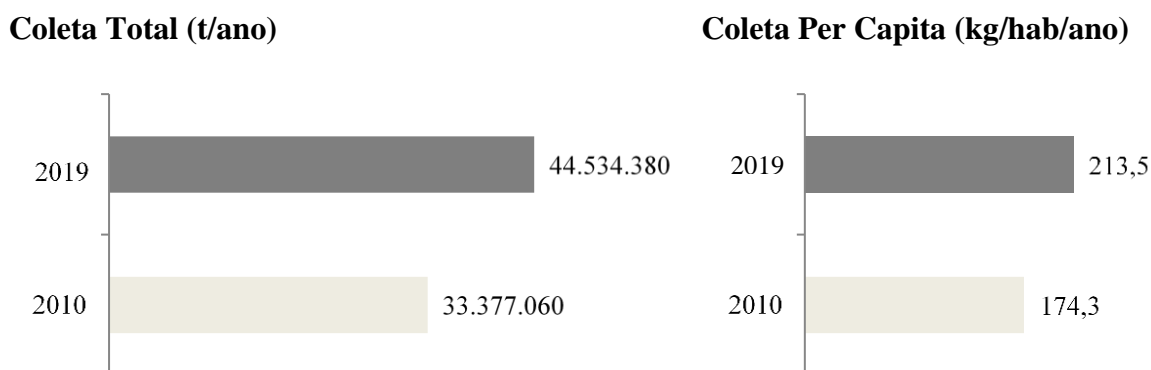
Os RCD podem surgir a partir de obras viárias, escavações, demolições, reformas, limpezas de terrenos, catástrofes naturais (tsunamis, tornados, terremotos) e catástrofes artificiais (incêndios, desmatamento, bombardeios). Boa parte deste contingente é representada por geradores informais, cujos dados estatísticos estão indisponíveis tornando seu processo de quantificação mais difícil (BRASILEIRO; MATOS, 2015). De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), só no ano de 2019, o RCD produzido nas cidades brasileiras representa cerca de 56% da massa total de resíduos sólidos urbanos (RSU). Segundo Cabral et al. (2009) o RCD constitui uma importante parcela dos RSU, correspondendo em torno de 50%. Para Silva e Fernandes (2012), em alguns municípios este valor pode representar 60% do montante de lixo que é gerado nos centros urbanos.

Anualmente a ABRELPE realiza o Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil, uma estimativa feita para atuar na disseminação de informações sobre a geração, coleta, processamento e gestão dos resíduos sólidos no Brasil e suas cinco regiões. Conforme explica Brasileiro e Matos (2015), os dados referem-se apenas à coleta executada pelo serviço público, o qual usualmente limita-se a recolher os resíduos lançados em logradouros públicos, pois a responsabilidade da coleta e destino final destes resíduos é de seu gerador. Portanto, de maneira geral, as projeções sobre tais resíduos não incluem os RCD oriundos de demolições e construções coletados por serviços privados, os quais constituem a grande maioria do total de RCD gerado.

De acordo com ABRELPE (2020), observa-se que os RCD coletados pelos municípios registraram aumento significativo, passando de 33 milhões de toneladas, em 2010, para 44,5

milhões, em 2019. Conseqüentemente, a quantidade coletada per capita também cresceu de 174,3 kg para 213,5 kg por habitante, por ano, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Coleta de RCD nos municípios do Brasil.



Fonte: Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2020 (ABRELPE), 2020 – Adaptado.

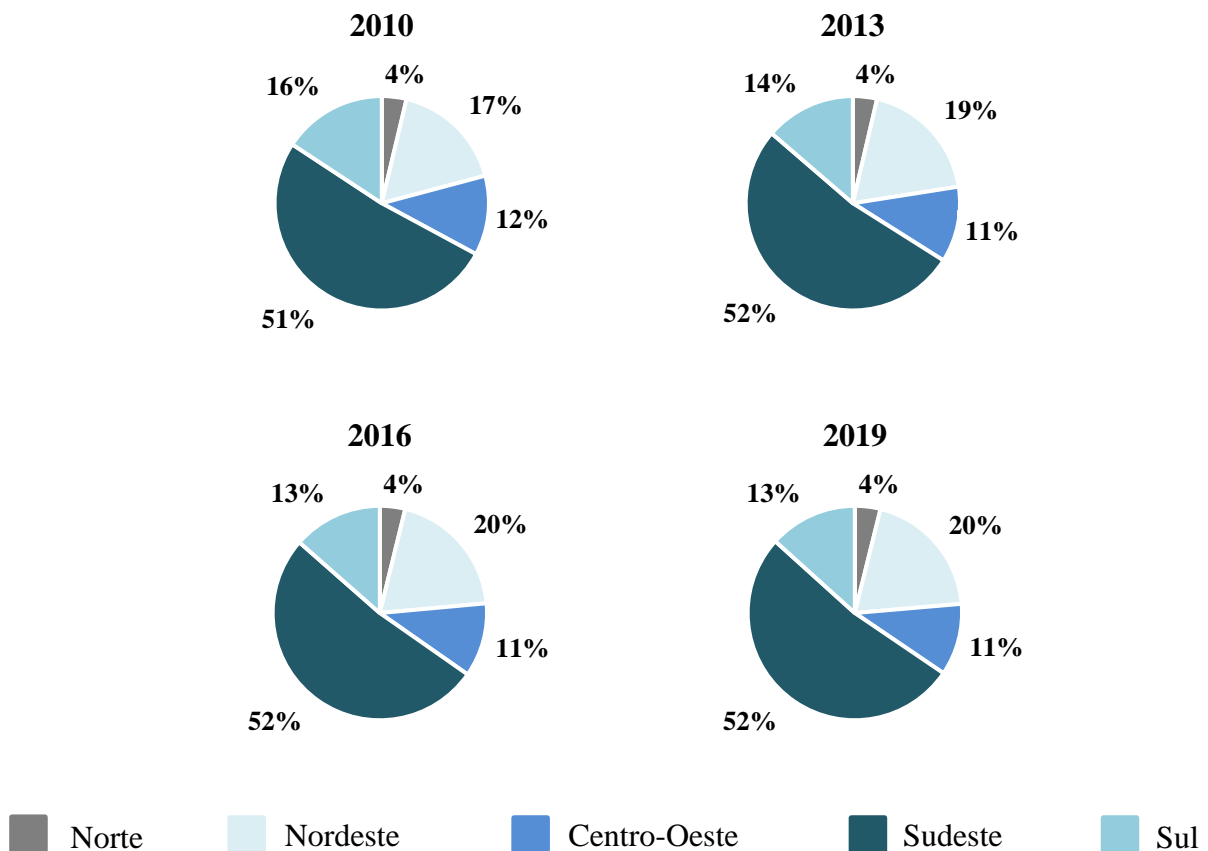
Observa-se na Tabela 2 que ao decorrer dos últimos 10 anos houve uma significativa mudança no setor de RCD, principalmente devido a implantação de Lei 12.305 de 2 de agosto de 2010 que estabelece as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Durante esse intervalo de tempo, a geração total de RCD aumentou cerca de 74% entre 2010 e 2019. Ao fazer a análise regional, verifica-se na Figura 2 que a região sudeste possui a maior contribuição para geração de resíduos no âmbito nacional, cerca de 52% de todo o montante de 2019, o que está de acordo com a realidade considerando a concentração de metrópoles e alto grau de urbanização desta área (ABRELPE, 2020).

Tabela 2 – Geração de RCD no Brasil (t/ano).

ANO	NORTE	NORDESTE	CENTRO-OESTE	SUDESTE	SUL	BRASIL
2010	1.242.825	5.716.995	4.013.905	17.151.350	5.251.985	33.377.060
2013	1.562.200	8.089.130	4.905.235	22.442.755	5.864.455	42.863.775
2016	1.722.800	8.901.255	5.041.745	23.353.065	6.102.070	45.120.935
2019	1.718.785	8.804.895	4.838.075	23.242.835	5.929.790	44.534.380

Fonte: Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE), 2020 – Adaptado.

Figura 2 - Porcentagem de contribuição de cada região do Brasil na geração de RCD.



Fonte: Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE), 2020 – Adaptado.

Brasileiro e Matos (2015) destacam a preocupação com os impactos ambientais causados com o descarte inadequado dos RCD, devido ao aumento rápido das áreas de aterro sanitário público em municípios que o mesmo não possui aplicabilidade. Esta questão tem sido debatida e o estímulo do interesse por soluções ambientalmente sustentáveis fez a legislação ambiental tornar-se mais rigorosa, responsabilizando os geradores de resíduos pela sua destinação, acarretando na adoção de técnicas de gestão e minimização do desperdício através de políticas de reciclagem.

2.3 MANEJO E RECICLAGEM DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

De acordo com Borges et al. (2015), quando a reutilização dos resíduos sólidos de construção e demolição são insuficientes dentro do próprio canteiro de obras, as cidades e regiões que contam com usinas para processamento e reciclagem sofrem menos impactos

ambientais pois retornam os RCD ao ciclo produtivo, ao invés de serem indevidamente descartados, muitas vezes em áreas irregulares.

As unidades de processamento de RSU podem ser dotadas ou não de equipamentos eletromecânicos, onde são submetidos a alguma forma de processamento, podendo ser: lixão, aterro controlado, aterro sanitário, vala específica para resíduos de saúde, aterro industrial, unidade de triagem, unidade de compostagem, incinerador, unidade de tratamento por micro-ondas ou autoclave, unidade de manejo de podas, unidade de transbordo, área de reciclagem de RCC, aterro de RCD, área de transbordo e triagem de RCD (CONAMA, 2002).

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2019), em uma amostra de 3.712 municípios espalhados por todas as regiões do Brasil (representação de 66,6% do total de municípios brasileiros), foram identificadas 168 unidades de processamento de RCD, embora algumas possam não ser exclusivas para esse tipo de resíduo. Enquadram-se as áreas de transbordo e triagem, com 53 unidades; as estações de reciclagem de RCD, com 36 unidades; e os aterros de construção civil, com 79 unidades, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Unidade de processamento de RCD segundo macrorregião geográfica.

Unidade de Processamento	Macrorregião Geográfica					Total
	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste	
Área de transbordo e triagem de RCD	0	5	23	25	0	53
Área de reciclagem de RCD	0	2	27	6	1	36
Aterro de RCD	1	5	54	13	6	79
Total de Unidades na Amostra						168

Fonte: SNIS, (2019) – Adaptado.

Observa-se na Tabela 4 abaixo, que o operador mais atuante no manejo dos RCD é o poder público – prefeituras municipais – responsável por administrar 90 das unidades de manejo (54%). Seguida por 59 unidades que estão com as empresas privadas, atuantes em 35%, e bem abaixo desse valor estão os consórcios intermunicipais, com 2% do total ou 3 unidades. Há ainda as associações de catadores, com 5% do total de 8 unidades e, por último, atuam os outros operadores sem uma identificação característica, também com 8 unidades (5%) (SNIS, 2019).

Tabela 4 - Unidades de processamento de RCD por tipo de operador.

Unidade de Processamento	Macrorregião Geográfica				
	Prefeitura Municipal	Empresa Privada	Consórcio Intermunicipal	Associação de Catadores	Outro Operador
Área de transbordo e triagem de RCD	25	16	2	5	5
Área de reciclagem de RCD	14	16	1	3	2
Aterro de RCD	51	27	0	0	1
Total Absoluto por Operador	90	59	3	8	8
Total Relativo por Operador (%)	54	35	2	5	5

Fonte: SNIS, (2019) – Adaptado.

Apesar de ainda haver grande fluxo de exportação entre os municípios, observa-se que, assim como em 2018, os consórcios públicos ainda se encontram em estágio primário como operador, o que indica que grande parte deste fluxo seja realizado pela rede privada, além do fato de que muitas vezes a exportação ocorre sem a existência de um meio institucional legal que o formalize, havendo simples acordo verbais ou outros instrumentos, tal como convênios (SNIS, 2019).

No que se refere as massas de resíduos, o SNIS apurou em 2019 um montante de 4.386.993,1 milhões de toneladas, recebidas nas 168 unidades de processamento de RCD em operação no ano de referência. A região sudeste possui a maior representatividade no âmbito nacional, com 48,92% do montante total; seguida pelo centro-oeste, com 34,74%; sul com 9,60%; nordeste com 6,44%; e norte com apenas 0,3%, conforme detalhado na Tabela 5.

Tabela 5 - Massas recebidas nas unidades de processamento por tipo região.

Unidade de Processamento	Macrorregião Geográfica				
	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste
Área de transbordo e triagem de RCD	0,0	61.139,0	30.3148,1	177.632,9	0,0
Área de reciclagem de RCD	0,0	30.598,6	661.852,9	153.482,2	0,0
Aterro de RCD	13.330,0	190.738,6	1.181.100,8	90.142,0	1.523.828,0
Total Absoluto por Região	13.330,0	282.476,2	2.146.101,8	421.257,1	1.523.828,0
Total Relativo por Região (%)	0,30	6,44	48,92	9,60	34,74

Fonte: SNIS, (2019) – Adaptado.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada na realização deste trabalho é experimental e comparativa, que se objetivou na realização de traços para produção de concretos convencionais usando a substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado provenientes da construção civil.

Foi dividida em três etapas, sendo que a primeira consistiu em estudos bibliográficos acerca do assunto e que foi de grande valia para análise. A segunda etapa foi constituída pela caracterização dos materiais e preparação de todos os equipamentos que foram necessários para a realização dos ensaios. E por fim foi feito ensaio de dosagens e de resistência a compressão axial.

O processo de definição dos materiais utilizados no experimento, procedimentos de fabricação dos corpos de prova, e definição dos parâmetros de análise para determinação dos tratamentos analisados são descritas a seguir.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Cimento e Água

O cimento utilizado no ensaio foi o CP-II F 32, sendo disponibilizado em sacos de 50 quilos, com adição de fíler calcário, em teor entre 6 e 10%.

A água utilizada foi da rede pública de abastecimento (SANEAGO). Sendo considerada potável, conforme especificações da Portaria nº 518 do Ministério da Saúde, e dentro dos padrões exigidos pela norma ABNT/CB-18.

3.1.2 Agregados

Como agregado miúdo foi utilizado areia fina, natural, disponível no laboratório de materiais da Faculdade Evangélica de Goianésia (FACEG). A areia passou por ensaio granulométrico afim de verificar sua compatibilidade com o traço, conforme procedimento estabelecido na NBR NM 248 (ABNT, 2003).

No que se refere aos agregados graúdos naturais, foi utilizado a Brita 1, sendo obtida através de fornecedores do mercado local da cidade de Goianésia/GO, composto por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, sem a presença de substâncias que

possam afetar a hidratação e o endurecimento do concreto, durabilidade ou aspecto visual, conforme especificações constantes na NBR 7211 (ABNT, 2009).

Já o agregado graúdo reciclado, é enquadrado na Classe A conforme Resolução nº 307 do CONAMA (2002), e foi fornecido por uma usina especializada na reciclagem de RCD, que se localiza em Aparecida de Goiânia-GO, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 - Usina de reciclagem de resíduos da construção civil (Aparecida de Goiânia-GO).



Fonte: Próprio autor, 2021.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Foram realizados ensaios para a determinação de algumas propriedades relacionadas aos agregados miúdo e graúdo, como a curva granulométrica, módulo de finura, massa unitária e massa específica.

3.2.1 Determinação da composição granulométrica

Uma das características de suma importância que foi analisada é a granulometria, conhecida como parâmetro físico dos agregados, usada para sua classificação e caracterização, possuindo grande influência nas propriedades do concreto. Para avaliar a granulometria, foi utilizada a análise das dimensões máximas características e módulo de finura, que é um parâmetro adimensional que expressa o diâmetro dos grãos. Este ensaio foi realizado conforme especificado na NBR NM 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003).

Foram formadas duas amostras de cada agregado para o ensaio, com massas de 1000g cada (agregado miúdo, agregado graúdo natural e agregado graúdo reciclado), obedecendo as quantidades mínimas para o ensaio de determinação das composições granulométricas de agregados. Para realização desse ensaio foi usado um jogo de peneiras, como mostra a Figura 4.

Figura 4 - Jogo de peneiras usadas no ensaio de granulometria.



Fonte: Próprio autor, 2021.

O primeiro passo para realização do ensaio consistiu em realizar a tara da balança com um recipiente sendo o peso de referência, logo após as amostras (Amostra A e Amostra B) foram pesadas e colocadas na estufa por 24 horas para secar completamente. Após remover as amostras da estufa iniciou-se o processo de peneiramento pela amostra A, já que todas as peneiras já estavam dispostas e prontas para o início do processo. Após o procedimento de agitação, foi pesado separadamente a quantidade de agregado que ficou retido em cada peneira. Depois disso todo esse procedimento foi repetido para a amostra B. Esse processo foi realizado para todos os agregados.

As tabelas abaixo apresentam os parâmetros obtidos nos ensaios granulométricos dos agregados.

Tabela 6 - Determinação da granulometria da areia.

Abertura da malha (mm)	Massa retida (g)		Massa retida (%)		Massa retida Média (%)	Massa retida acumulada (%)	Massa passante acumulada (%)
	Ensaio A	Ensaio B	Ensaio A	Ensaio B			
9,5	29,7	17,2	2,97	1,72	2,35	2,35	100
6,3	20,3	36,6	2,03	3,66	2,85	5,19	94,81
4,75	22,6	34,7	2,26	3,47	2,87	8,06	91,94
2,36	133,8	102,4	13,39	10,25	11,82	19,88	80,12
1,18	328,4	298,9	32,86	29,91	31,39	51,26	48,74
0,6	272,6	235,8	27,28	23,60	25,44	76,70	23,30
0,3	115,9	146,3	11,60	14,64	13,12	89,82	10,18
0,15	56,8	94,9	5,68	9,50	7,59	97,41	2,59
Fundo	19,3	32,43	1,93	3,25	2,59	100,00	0,00
Total	999,4	999,2	100,00	100,00	100,00	-	-

Fonte: Próprio autor, 2021.

É possível observar na Tabela 6 o resultado do ensaio granulométrico da areia (agregado miúdo). A primeira coluna consiste na abertura das peneiras, intercaladas da maior para a menor. Já na segunda e terceira coluna têm-se as massas retidas das duas amostras ensaiadas. A quarta e quinta coluna apresentam a porcentagem retida de cada amostra, que consistiu basicamente em dividir a massa retida pela massa total de cada amostra e multiplicar por 100 para obter a porcentagem. Posteriormente, as colunas mostram a massa retida média das duas amostras, massa retida acumulada e massa passante acumulada, já que é através da massa passante acumulada que é possível construir o gráfico com a curva granulométrica. Com esses parâmetros foi possível determinar então o diâmetro máximo característico, que foi determinado considerando a porcentagem retida acumulada imediatamente inferior a 5%, sendo ele 9,5 mm e também o módulo de finura, sendo determinado através da soma das porcentagens retidas acumuladas, desconsiderando o fundo, apresentando um valor de 3,45.

A Tabela 7 demonstra o resultado do ensaio granulométrico da brita 1 (agregado graúdo natural), sendo constituída da mesma forma que a Tabela 6, mudando apenas o tipo de agregado. O diâmetro máximo característico encontrado foi de 19 mm.

Tabela 7 - Determinação da granulometria da brita 1.

Abertura da malha (mm)	Massa retida (g)		Massa retida (%)		Massa retida Média (%)	Massa retida acumulada (%)	Massa passante acumulada (%)
	Ensaio A	Ensaio B	Ensaio A	Ensaio B			
25	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
19	67,6	29,9	6,76	2,99	4,88	4,88	95,12
12,5	396,8	417,6	39,68	41,78	40,73	45,61	54,39
9,5	406,6	395,3	40,66	39,55	40,10	85,71	14,29
6,3	122,9	146,3	12,29	14,64	13,46	99,17	0,83
4,75	4,2	7,8	0,42	0,78	0,60	99,77	0,23
2,36	0,5	0,8	0,05	0,08	0,07	99,84	0,16
Fundo	1,3	1,9	0,13	0,19	0,16	100,00	0,00
Total	999,9	999,6	100	100	100	-	-

Fonte: Próprio autor, 2021.

E por fim, na Tabela 8 é possível observar o resultado do ensaio granulométrico da brita reciclada (agregado gráudo reciclado), o valor do diâmetro máximo característico foi de 19 mm.

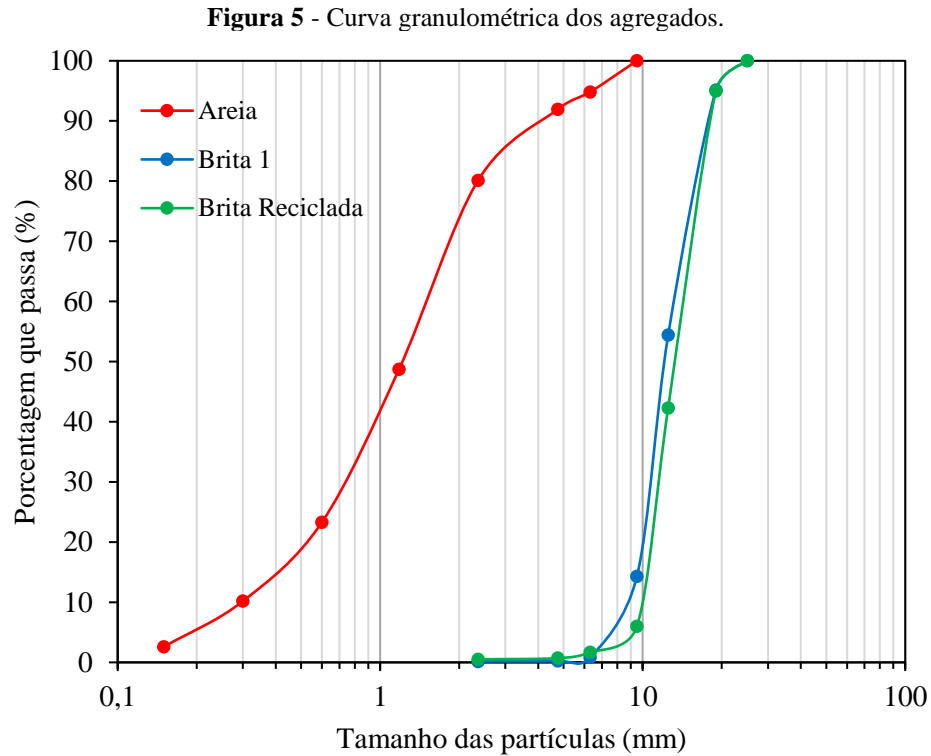
Tabela 8 - Determinação da granulometria da brita reciclada.

Abertura da malha (mm)	Massa retida (g)		Massa retida (%)		Massa retida Média (%)	Massa retida acumulada (%)	Massa passante acumulada (%)
	Ensaio A	Ensaio B	Ensaio A	Ensaio B			
25	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
19	69,1	31,4	6,91	3,14	5,03	5,03	94,97
12,5	519,9	533,5	51,99	53,35	52,67	57,70	42,30
9,5	350,5	375,9	35,05	37,59	36,32	94,02	5,98
6,3	37,5	48,2	3,75	4,82	4,29	98,30	1,70
4,75	14,5	5,5	1,45	0,55	1,00	99,30	0,70
2,36	3,0	0,8	0,30	0,08	0,19	99,49	0,51
1,18	1,5	1,1	0,15	0,11	0,13	99,62	0,38
Fundo	4,0	3,5	0,40	0,35	0,38	100,00	0,00
Total	999,97	999,95	100	100	100	-	-

Fonte: Próprio autor, 2021.

Após tabelar todos os parâmetros obtidos nos ensaios de cada agregado foi possível determinar então suas respectivas curvas granulométricas, que demonstra a relação da

porcentagem passante acumulada e a abertura das peneiras. Assim as curvas granulométricas dos agregados foram apresentadas na Figura 5.



Fonte: Próprio autor, 2021.

3.2.2 Determinação da massa unitária dos agregados solto e compactado

A massa unitária é a unidade de massa do "volume aparente" do agregado, ou seja, a medição do volume inclui os vazios entre os grãos e foi determinada conforme descrito na NBR 16972 - Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios (ABNT, 2021).

3.2.2.1 Agregado solto

Primeiramente foi realizado a tara da balança com o peso do cadinho de volume igual a 1 dm^3 . Logo em seguida o recipiente foi enchido com uma das amostras, nivelando com a borda superior, para se obter exatamente 1 dm^3 da amostra, este por sua vez foi considerado como o volume aparente (V_a). Após isso obteve-se a massa do agregado. Com isso foi possível determinar a massa unitária utilizando a Equação 1 a seguir:

$$d = \frac{m}{V_a} \quad (1)$$

Onde:

d: Massa unitária (kg/dm³);

m: Massa do agregado (kg);

V_a: Volume aparente (dm³).

Na Figura 6 é possível observar todos os agregados dispostos no recipiente de volume igual a 1 dm³. E através da Tabela 9 têm-se o resultado dos parâmetros de massa unitária solta de cada amostra.

Figura 6 - Amostras no recipiente de 1 dm³ sendo agregado miúdo (a), brita 1 (b) e brita reciclada (c).



Fonte: Próprio autor, 2021.

3.2.2.2 Agregado compactado

A determinação da massa unitária compactada dos agregados segue basicamente o mesmo passo que o procedimento dos agregados soltos, com exceção ao segundo passo, visto que para o ensaio dos agregados compactados, foi necessário encher um terço do recipiente com agregado, aplicar 25 golpes com uma haste de adensamento, adicionar mais um terço e novamente realizar o adensamento. Para nivelar completamente a borda do recipiente foi necessário adicionar uma quantidade com o intuito apenas de nivelar o recipiente.

Na Tabela 9 é possível observar os valores referentes aos parâmetros de massa unitária das amostras tanto soltas quanto compactadas.

Tabela 9 - Massa unitária das amostras soltas e compactadas.

Amostra	Massa Solta (kg)	Massa Compactada (kg)	Volume Aparente (dm ³)	Massa Unitária Solta (kg/dm ³)	Massa Unitária Compactada (kg/dm ³)
Areia	1,430	1,598	1	1,430	1,598
Brita Natural	1,390	1,510	1	1,390	1,510
Brita Reciclada	1,205	1,362	1	1,205	1,362

Fonte: Próprio autor, 2021.

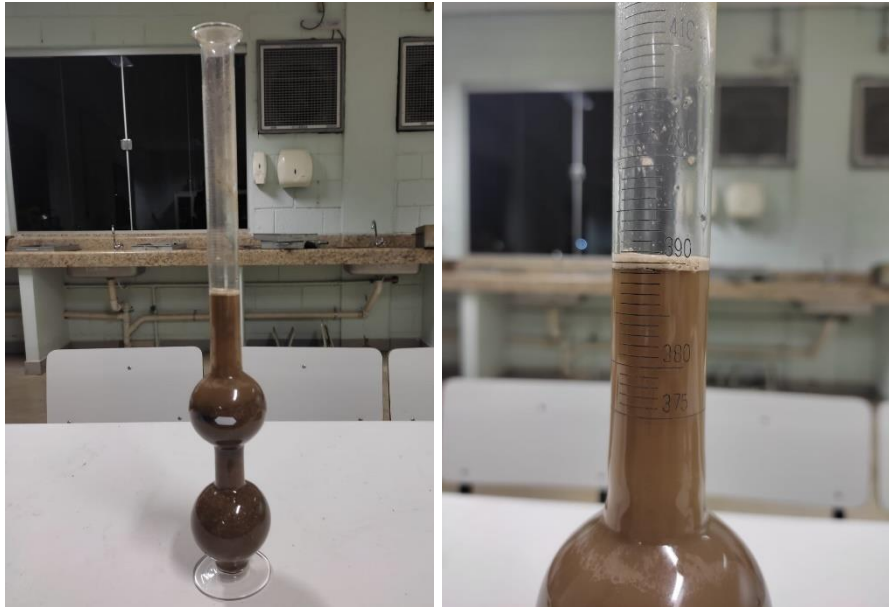
3.2.3 Determinação das massas específicas dos agregados miúdo e graúdo

Sabe-se que a massa específica e a densidade tratam da razão entre a massa e volume, dessa forma, para determinação da densidade será utilizada a NBR 16916 - Agregado miúdo - Determinação da densidade e absorção de água (ABNT, 2021). Através desse ensaio foi determinado a relação entre a massa seca do agregado e seu volume, e por meio destas características estudadas, foi possível dar prosseguimento ao método de dosagem de concreto da ABCP, descrito no item 3.3.

3.2.3.1 Massa específica do agregado miúdo

A determinação da massa específica do agregado miúdo foi feita por meio do frasco Chapman. Primeiramente foi necessário pesar 500 g da amostra, logo em seguida foi colocado água no frasco Chapman, até a marca de 200 cm³. Em seguida foi colocado, com uma ajuda de uma pá, os 500 g da amostra dentro do frasco. O passo seguinte foi agitar o frasco, com movimentos circulares, com o intuito de eliminar as bolhas de ar. Por fim, foi feita a leitura final do nível da água, que representa o volume de água deslocado pelo agregado (L). Através da Figura 7 é possível observar a amostra já dentro do frasco.

Figura 7 - Amostra de agregado miúdo no frasco Chapman.



Fonte: Próprio autor, 2021.

A massa específica foi calculada através da Equação 2:

$$\mu = \frac{500}{L - 200} \quad (2)$$

Onde:

μ : Massa específica (g/cm³);

L: Leitura final do frasco.

A leitura final do frasco foi de 390, substituindo os valores têm-se:

$$\mu = \frac{500}{390 - 200}$$

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

3.2.3.2 Massa específica do agregado graúdo

Para realização do ensaio de massa específica do agregado graúdo natural e reciclado, foi utilizado a NBR 16917 - Agregado graúdo – Determinação de densidade e absorção de água (ABNT, 2021). Para determinar a massa específica foi utilizado o valor real adquirido pela massa unitária solta determinando a variação pelo volume. Dessa forma, foi utilizado 1000 ml

de água e adicionado a mostra solta correspondente a cada agregado, após isso obteve-se o volume de água que subiu, ou seja, o volume real. Com isso foi possível determinar a massa unitária utilizando a Equação 3 a seguir:

$$\mu = \frac{m}{V_r} \quad (3)$$

Onde:

μ : Massa específica (kg/dm³);

m: Massa do agregado (kg);

V_r: Volume real (dm³).

Na Tabela 10 é possível observar os valores referentes aos parâmetros que foram calculados de massa específica dos agregados graúdos natural e reciclado.

Tabela 10 - Massa específica dos agregados graúdos natural e reciclado.

Amostra	Massa Solta (kg)	Volume Real (dm³)	Massa Específica (kg/dm³)
Brita Natural	1,390	0,515	2,700
Brita Reciclada	1,205	0,500	2,410

Fonte: Próprio autor, 2021.

3.3 CÁLCULO DE DOSAGENS PELO MÉTODO ABCP

Para o cálculo das dosagens, a presente pesquisa fundamentou-se através do método ABCP, onde foi utilizado as características eminentemente experimentais, pois considera tabelas e gráficos de experimentos anteriores que utilizaram agregados que se enquadram nos limites propostos pela norma NBR 7211 (ABNT, 2009).

Para seu uso o método exige que se tenha conhecimento das seguintes variáveis: tipo, massa específica e resistência que o concreto utilizado terá aos 28 (vinte e oito) dias, massa específica e granulometria dos agregados, dimensões dos agregados graúdos, valor da consistência que se deseja obter com o concreto ainda fresco e por fim a resistência da dose de concreto. Dessa forma, através dos ensaios realizados foi possível obter os parâmetros iniciais para o cálculo da dosagem do concreto, esses valores estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Parâmetros obtidos para o cálculo do traço.

Parâmetros para cálculo da dosagem de concreto	Quantidade	Unidade
fck	25	MPa
Abatimento	40±10	mm
Sd	4,0	MPa
Cimento CP II F - 32	-	-
Massa específica do cimento	3150	kg/m ³
Módulo de finura da areia	3,45	mm
Massa específica da areia	2630	kg/m ³
Massa unitária da areia solta	1430	kg/m ³
Massa específica da brita natural	2700	kg/m ³
Massa unitária compactada da brita natural	1510	kg/m ³
Massa unitária solta da brita natural	1390	kg/m ³
Massa específica da brita reciclada	2410	kg/m ³
Massa unitária compactada da brita reciclada	1362	kg/m ³
Massa unitária solta da brita reciclada	1205	kg/m ³
Diâmetro máximo das britas natural e reciclada	19,0	mm

Fonte: Próprio autor, 2021.

Inicialmente, foi calculado a resistência de dosagem (F_{cj}) através da Equação 4 abaixo, cuja variabilidade é medida pelo desvio padrão (S_d), que precisa estar dentro das condições de resistência de dosagem definidas na NBR 12655 (ABNT, 2015).

$$F_{cj} = F_{ck} + 1,65 \cdot S_d \quad (4)$$

Onde:

F_{cj} = resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de j dias, expressa em megapascals (MPa);

F_{ck} = resistência característica do concreto à compressão, aos j dias, expressa em megapascals (MPa);

S_d = desvio-padrão da dosagem, expresso em megapascals (MPa).

Para definir o desvio-padrão (S_d), foi feita a relação entre a medição dos componentes do concreto e a verificação do teor de umidade, ou seja, em função do rigor da produção do concreto, sua classe e condições de preparo, conforme definidas no Quadro 2 a seguir:

Quadro 2 - Desvio padrão Sd.

Sd	CONDIÇÃO	CLASSE	TIPO DE CONCRETO
4,0	A	C10 a C80	Quando todos os materiais forem medidos em peso e houver medidor e água, corrigindo-se as quantidades de agregado miúdo e água em função de determinações frequentes e precisas do teor de umidade dos agregados, e houver garantia de manutenção, no decorrer da obra, da homogeneidade dos materiais a serem empregados.
5,5	B	C10 a C25	Quando o cimento for medido em peso e os agregados em volume, e houver medidor de água, com correção do volume do agregado miúdo e da quantidade de água em função de determinações frequentes e precisas do teor de umidade dos agregados.
7,0	C	C10 a C15	Quando o cimento for medido em peso e os agregados em volume, e houver medidor de água, corrigindo-se a quantidade de água em função da umidade dos agregados simplesmente estimada.

Fonte: ABNT, 2015 – Adaptado.

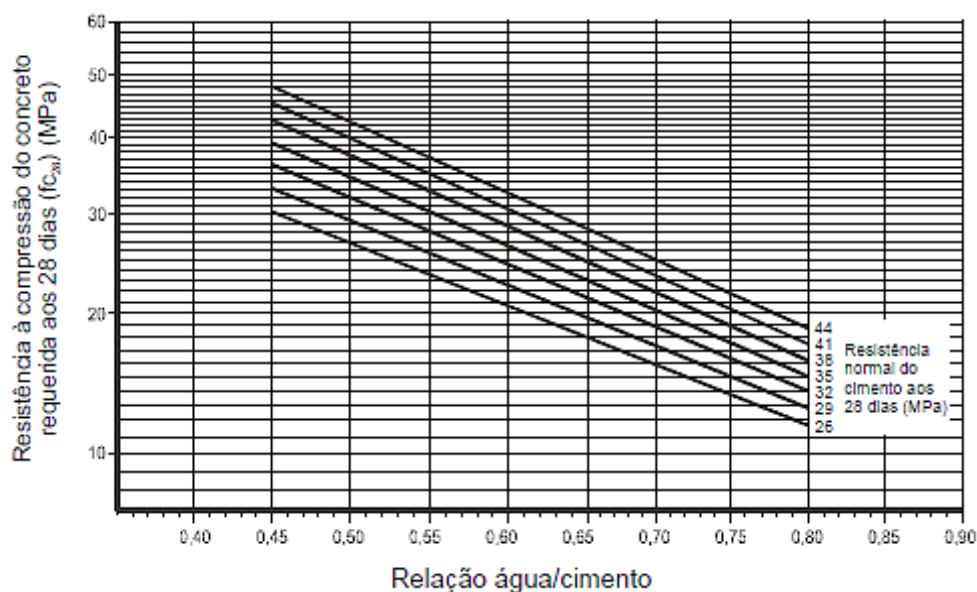
Dessa forma, para determinar a resistência de cálculo do concreto aos 28 dias foi substituído os valores na Equação 4, obtendo:

$$F_{cj_{28}} = 25 + 1,65 \cdot 4,0$$

$$F_{cj_{28}} = 31,6 \text{ MPa}$$

Em seguida, foi calculado o fator água/cimento (a/c), cujo cálculo levou em consideração a durabilidade e resistência do concreto nas idades de interesse. O valor desta relação foi estimado com base na curva de Abrams, mostrada na Figura 8, que por sua vez, foi determinado em função do tipo de cimento. Para determinação desse parâmetro foi feita a interpolação dos valores entre 30 e 40 MPa e 0,40 e 0,55 a/c. Assim através da interpolação obteve-se um valor de a/c de 0,46.

Figura 8 - Curva de Abrams.



Fonte: GUERRA, (2015) – Adaptado.

Outro fator importante é a quantidade de água necessária para que a mistura adquira uma certa resistência enquanto ainda fresca. Esse valor depende do diâmetro do agregado graúdo, foi determinado através do ensaio de granulometria segundo a norma NBR 7211 (ABNT, 2009), da forma e textura dos grãos - especificamente da área do agregado total da mistura - e do abatimento requerido, conforme o Quadro 3 a seguir:

Quadro 3 - Determinação do consumo de água aproximado.

ABATIMENTO DO TRONCO DO CONE	DIMENSÃO MÁX. CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAÚDO				
	9,5mm	19mm	25mm	32mm	38mm
40 a 60mm	220 l/m ³	195 l/m ³	190 l/m ³	185 l/m ³	180 l/m ³
60 a 80mm	225 l/m ³	200 l/m ³	195 l/m ³	190 l/m ³	185 l/m ³
80 a 100mm	230 l/m ³	205 l/m ³	200 l/m ³	195 l/m ³	190 l/m ³

Fonte: GUERRA, (2015) – Adaptado.

Considerando que o parâmetro de abatimento é de 40 a 60 mm e o diâmetro máximo do agregado graúdo é de 19 mm, o consumo de água determinado foi de 195 l/m³.

Após a estimativa do consumo de água, foi calculado o consumo de cimento (CC), feito através da razão entre consumo de água e fator água/cimento, conforme mostra a Equação 5:

$$CC = \frac{Ca}{a/c} \quad (5)$$

Onde:

CC = Consumo de cimento (kg/m³);

Ca = Consumo de água (l/m³);

a/c = Fator água/cimento (kg/kg).

Substituindo os valores na Equação 5 têm-se que o consumo de cimento encontrado foi de:

$$CC = \frac{195}{0,46}$$

$$CC = 423,91 \text{ kg/m}^3$$

Seguidamente, os valores dos módulos de finura da areia e a massa unitária do agregado graúdo compactado que foram definidos através dos ensaios, descrito no item 3.2, são utilizados na Tabela 12 para determinar o volume compactado do agregado graúdo, cujos valores foram experimentalmente determinados pela Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP. Dessa forma foi necessário realizar interpolação entre os valores de módulo de finura 3,4 e 3,6, e os valores 0,610 e 0,590, assim o volume compactado do agregado foi de 0,605.

Tabela 12 - Volume compactado do agregado.

Módulo de finura da areia	Dimensão máxima característica do agregado graúdo				
	9,5 mm	19,0 mm	25,0 mm	32,0 mm	38,0 mm
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: GUERRA, (2015) – Adaptado.

Uma vez obtido o volume compactado seco de agregado, o consumo de agregado graúdo, por metro cúbico de concreto, foi determinado através da Equação 6. Vale lembrar que como foi feita a substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado os valores do consumo da brita serão diferentes conforme as porcentagens de substituições mudam, para melhor entendimento, na Tabela 13 estão as porcentagens de agregado graúdo natural e reciclado usadas na fabricação do concreto.

$$C_b = V_b \times MU \quad (6)$$

Onde:

C_b = Consumo de brita (agregado graúdo) (kg/m^3);

V_b = Volume compactado do agregado graúdo, determinado pela relação entre módulo de finura e dimensão máxima da brita (m^3);

MU = Massa unitária compactada do agregado graúdo (kg/m^3);

Tabela 13 - Porcentagens de agregado graúdo natural e reciclado na fabricação do concreto.

Traço	Agregado Graúdo Natural	Agregado Graúdo Reciclado
CC	100%	0%
CRC D - 1	90%	10%
CRC D - 2	80%	20%
CRC D - 3	70%	30%
CRC D - 4	60%	40%
CRC D - 5	50%	50%

*CC = Concreto Convencional; CRC D = Concreto com adição de agregado graúdo reciclado.

Fonte: Próprio autor, 2021.

O valor do volume compactado do agregado graúdo foi encontrado utilizando a Tabela 12, na qual foi necessário fazer interpolação tendo como resultado de 0,605. Assim, esse valor foi multiplicado pela porcentagem de cada agregado graúdo presente no traço, e por sua massa unitária compactada. Na Tabela 14 consta os resultados obtidos do consumo de agregado graúdo natural e reciclado para cada traço.

Tabela 14 - Consumo do agregado graúdo para cada traço.

Traço	Consumo do agregado graúdo (Cb) - kg/m ³	
	Agregado Graúdo Natural	Agregado Graúdo Reciclado
CC	913,55	-
CRCD - 1	822,195	82,401
CRCD - 2	730,840	164,802
CRCD - 3	639,485	247,203
CRCD - 4	548,130	329,604
CRCD - 5	456,775	412,005

Fonte: Próprio autor, 2021.

O próximo passo foi calcular a estimativa do consumo de areia a ser utilizado na fabricação do concreto, quando já determinados os valores de consumo de cimento, agregado graúdo e consumo de água. Inicialmente foi definido o volume de areia, em m³ de concreto, através da Equação 7:

$$V_A = 1 - \left(\frac{CC}{\gamma_c} + \frac{C_b}{\gamma_{cb}} + \frac{C_a}{\gamma_{ca}} \right) \quad (7)$$

Onde:

V_A = Volume de areia (m³);

CC = Consumo de cimento (kg/m³);

C_b = Consumo de brita (agregado graúdo) (kg/m³);

C_a = Consumo de água (l/m³);

γ_c = Massa específica do cimento (kg/m³);

γ_{cb} = Massa específica da brita (kg/m³);

γ_{ca} = Massa específica da água (kg/m³).

Após determinado o volume de areia, seu consumo, em m³ de concreto, foi dado pela Equação 8:

$$C_A = V_A \times \gamma_{ca} \quad (8)$$

Onde:

C_A = Consumo de areia (kg/m³);

V_A = Volume de areia (m³);

γ_{ca} = Massa específica da água (kg/m³).

Como foram substituídas porcentagens diferentes de agregado graúdo isso acaba gerando uma variação no consumo de areia. Portanto, para cada porcentagem substituída foi calculado os diferentes valores de consumo de areia, que são mostrados na Tabela 15 abaixo.

Tabela 15 - Volume e consumo de areia para cada traço

Traço	Volume de areia - Va (m³)	Consumo de areia – Ca (kg/m³)
CC	0,3320	873,353
CRCD - 1	0,3317	872,410
CRCD - 2	0,3314	871,480
CRCD - 3	0,3310	870,540
CRCD - 4	0,3306	869,600
CRCD - 5	0,3302	868,670

Fonte: Próprio autor, 2021.

Apesar de não apresentar grandes variações no consumo de areia, foi possível observar que ao longo das substituições dos agregados graúdos o consumo de areia foi diminuindo.

Após todos estes cálculos, foi possível obter o traço unitário do concreto, por meio da Equação 9. Os resultados obtidos de cada traço são mostrados na Tabela 16.

$$\frac{CC}{CC} : \frac{CA}{CC} : \frac{Cb1}{CC} : \frac{Cbr}{CC} : \frac{Ca}{CC} \quad (9)$$

Onde:

Cb1 = Consumo de brita natural (agregado graúdo) (kg/m³);

Cbr = Consumo de brita reciclada (agregado graúdo) (kg/m³);

CC = Consumo de cimento (kg/m³);

Ca = Consumo de água (l/m³);

CA = Consumo de areia (kg/m³).

Tabela 16 - Consumo unitário para cada traço.

Traço	Consumo unitário
CC	1 : 2,06 : 2,16 : 0,00 : 0,46
CRCD - 1	1 : 2,05 : 1,94 : 0,19 : 0,46
CRCD - 2	1 : 2,06 : 1,72 : 0,39 : 0,46
CRCD - 3	1 : 2,06 : 1,51 : 0,58 : 0,46
CRCD - 4	1 : 2,05 : 1,29 : 0,78 : 0,46
CRCD - 5	1 : 2,06 : 1,08 : 0,97 : 0,46

Fonte: Próprio autor, 2021.

3.4 FABRICAÇÃO DO CONCRETO

Para cada traço foi calculado e pesado o consumo de materiais, sendo que foram substituídas as porcentagens pré-definidas do agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado, conforme Tabela 13. A pesquisa baseou-se em doze tratamentos, em um sistema fatorial 6x2, sendo seis proporções diferentes de agregado graúdo natural e reciclado para duas idades, apresentando repetições para validação da análise estatística. Na Figura 9 é possível observar os materiais sendo preparados para a fabricação do concreto.

Figura 9 - Separação dos materiais sendo água (a), areia (b), cimento (c), brita reciclada (d) e brita natural (e).



Fonte: Próprio autor, 2021.

O concreto foi produzido no laboratório de materiais da Faculdade Evangélica de Goianésia (FACEG), utilizando o equipamento betoneira. Primeiramente colocou-se água na betoneira com o objetivo de limpar e tirar qualquer eventual resíduo contido nela. Após isso adicionou-se metade da água e a betoneira rodou por alguns segundos. Em seguida, foi adicionado metade do agregado graúdo e a mistura bateu por mais 50 segundos. Após isso, foi adicionado todo o agregado miúdo, deixou-se a betoneira misturando por mais alguns segundos e depois adicionou-se todo o cimento, a mistura bateu por cerca de 50 segundos. Após isso foi adicionado o restante do agregado graúdo e o restante da água, o concreto então foi rodado por 1 minuto e 30 segundos, depois desse tempo a betoneira foi desligada.

Logo após, foi feita a moldagem dos corpos de prova para realização do ensaio de resistência à compressão, conforme especificações de moldagem e cura estabelecidos pela norma NBR 5738 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (ABNT, 2015). Foram moldados 4 corpos de prova para cada traço confeccionados em moldes de formato cilíndrico de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, assim considerando seis traços e ensaios em duas idades diferente foi totalizado em 48 corpos de prova. O volume do molde indicou a quantidade de concreto usado em cada um dos corpos de provas, obtido através da Equação 10 abaixo:

$$VC = \frac{\pi d^2}{4} \cdot h \quad (10)$$

Onde:

VC = Volume total dos corpos de prova;

d = Diâmetro do molde;

h = Altura do corpo de prova

Assim, substituindo os valores têm um volume de:

$$VC = \frac{\pi \times 0,10^2}{4} \times 0,20$$

$$VC = 0,0016 \text{ m}^3$$

Esse valor para um corpo de prova, sendo que para determinar a quantidade total dos corpos de prova moldados em cada traço esse valor foi multiplicado por 8. Assim o volume total foi:

$$VC = 0,0016 \times 8$$

$$VC = 0,013 \text{ m}^3$$

Realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone, descrito no item 3.5, foi feito o preenchimento dos corpos de prova, iniciando-se com o preenchimento dos moldes com um

terço de amostra de concreto onde foi aplicado cerca de 25 golpes até seu adensamento. Na Figura 10 é possível observar os corpos de provas já moldados.

Figura 10 - Corpos de prova moldados.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Após 48 horas, os corpos de prova foram desmoldados e preparados para a cura úmida onde foram submersos em um tambor com água, conforme mostra a Figura 11, esse processo é realizado para evitar que a água utilizada na dosagem evapore até que o produto esteja completamente endurecido. Antes de serem submersos cada corpo de prova foi pesado e à medida que as idades dos rompimentos foram chegando, eles foram pesados novamente para ter a diferença de massa, sendo possível a determinação da absorção de água, descrito no item 3.6. Quatro corpos de provas de cada traço foram retirados após 7 dias e submetidos aos ensaios de absorção e compressão, repetindo o processo aos 28 dias.

Figura 11 - Corpos de prova desmoldados (a) e processo de cura dos corpos de prova (b).



Fonte: Próprio autor, 2021.

3.5 ENSAIO DE CONSISTÊNCIA

É de fundamental importância que o concreto fresco apresente as devidas características ideais para a sua utilização, no que diz respeito a trabalhabilidade, cujo componente físico mais importante é a consistência, pois traduz propriedades intrínsecas da mistura fresca, relacionadas a fluidez da massa e coesão entre os componentes, tendo em vista que a uniformidade e compactidade do concreto são elementos que trarão bom rendimento da execução (ABCP, 2000).

Nesse contexto, seguindo o especificado na NBR 16889 – Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (ABNT, 2020), foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone, ou *slump test*, usado para medir a consistência e fluidez do concreto, permitindo desta forma o controle da uniformidade do mesmo, através de um método simples e convincente que determinará a trabalhabilidade por meio da constância do abatimento.

O teste foi realizado com quatro amostras de cada um dos traços de concreto utilizados, que foram rompidos em dias diferentes. Inicialmente, o cone com a amostra foi preenchido em três camadas iguais, aplicando com a haste metálica 25 (vinte e cinco) golpes uniformemente distribuídos em cada camada, a fim de adensá-las.

Após a compactação da última camada, foi retirado o excesso de concreto e a superfície foi alisada com a régua para garantir que a mesma fique reta e não tenha nenhuma protuberância que vá interferir no ensaio de ruptura.

Seguidamente, o cone foi retirado com cuidado na direção vertical, onde foi colocado invertido ao lado da massa abatida para fins de comparação da altura entre os dois. Com o auxílio da haste como referência, foi medida a distância entre a parte inferior da haste e o ponto médio do concreto, expressando o resultado em milímetros. O valor obtido determina a consistência do concreto.

3.6 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Sabe-se que a durabilidade do concreto está relacionada à sua porosidade, e a permeabilidade do concreto está principalmente relacionada à relação água/cimento, sendo que a relação água/cimento determina a continuidade, tamanho e volume do espaço capilar e a dimensão máxima do agregado, que afeta a espessura e microfissuras na zona de transição entre

o agregado graúdo e a pastas de cimento. Portanto, agentes agressivos do meio ambiente penetram e se difundem através da estrutura dos poros (NEVILLE, 2016).

Assim, através da NBR 9778 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica (ABNT, 2009), foi realizado o ensaio para determinação da absorção de água. O cálculo da absorção de água é realizado através da Equação 11.

$$A(\%) = \left(\frac{m_{\text{sat}} - m_s}{m_s} \right) \cdot 100 \quad (11)$$

Onde:

A = Absorção de água (%);

M_{sat} = Massa da amostra saturada (g);

M_s = Massa da amostra seca (g).

Para a realização desse ensaio todas as amostras foram pesadas antes de serem submersas e após as idades de 7 e 28 dias foram pesadas novamente, permitindo obter os parâmetros de absorção de água nesse período, pois além de ser muito importante para a caracterização das propriedades do concreto, ainda permite analisar o índice de absorção que cada amostra obteve e como isso pode influenciar nas demais propriedades.

3.7 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

Após o período de cura, os 48 corpos de provas foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão. O ensaio foi realizado no laboratório da FACEG, utilizando uma prensa hidráulica, conforme mostra a Figura 12 Os corpos de provas tiveram sua resistência à compressão axial analisada conforme os procedimentos estabelecidos na NBR 5739 (ABNT, 2018), nas idades de 7 e 28 dias e calculada de acordo com a Equação 12.

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2} \quad (12)$$

Onde:

f_c = Resistência a compressão (MPa);

F = Força máxima (N);

D = Diâmetro do corpo de prova (mm).

Figura 12 - Prensa hidráulica utilizada para realização do ensaio de compressão.



Fonte: Próprio autor, 2021.

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os tratamentos foram dispostos em um arranjo fatorial 6x2, sendo seis doses de brita reciclada (0, 10, 20, 30, 40 e 50%) em conjunto com a brita natural e dois intervalos de tempo para análise (7 e 28 dias após a moldagem dos corpos de prova de concreto), totalizando 12 tratamentos com quatro repetições.

Através da Tabela 17 é possível observar como os tratamentos foram denominados, visto que para a separação dos dados é de suma importância nomear cada tratamento para facilitar o entendimento das variáveis analisadas e também da quantidade total.

Tabela 17 - Descrição dos tratamentos.

Nomenclatura	Descrição
T07-D000	Tempo de 7 dias, 100% de brita natural e 0% de brita reciclada
T07-D010	Tempo de 7 dias, 10% de brita natural e 90% de brita reciclada
T07-D020	Tempo de 7 dias, 20% de brita natural e 80% de brita reciclada
T07-D030	Tempo de 7 dias, 30% de brita natural e 70% de brita reciclada
T07-D040	Tempo de 7 dias, 40% de brita natural e 60% de brita reciclada
T07-D050	Tempo de 7 dias, 50% de brita natural e 50% de brita reciclada
T28-D000	Tempo de 28 dias, 0% de brita natural e 100% de brita reciclada
T28-D010	Tempo de 28 dias, 10% de brita natural e 90% de brita reciclada
T28-D020	Tempo de 28 dias, 20% de brita natural e 80% de brita reciclada
T28-D030	Tempo de 28 dias, 30% de brita natural e 70% de brita reciclada
T28-D040	Tempo de 28 dias, 40% de brita natural e 60% de brita reciclada
T28-D050	Tempo de 28 dias, 50% de brita natural e 50% de brita reciclada

Fonte: Próprio autor, 2021.

Os dados foram submetidos à análise de variância, comparativo de média pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e à análise de regressão quando significativo, utilizando o software SISVAR 5.6, para a variável resistência à compressão, em desdobramento da soma dos quadrados da interação (tempo x doses de brita natural), para verificação de significância (FERREIRA, 2014).

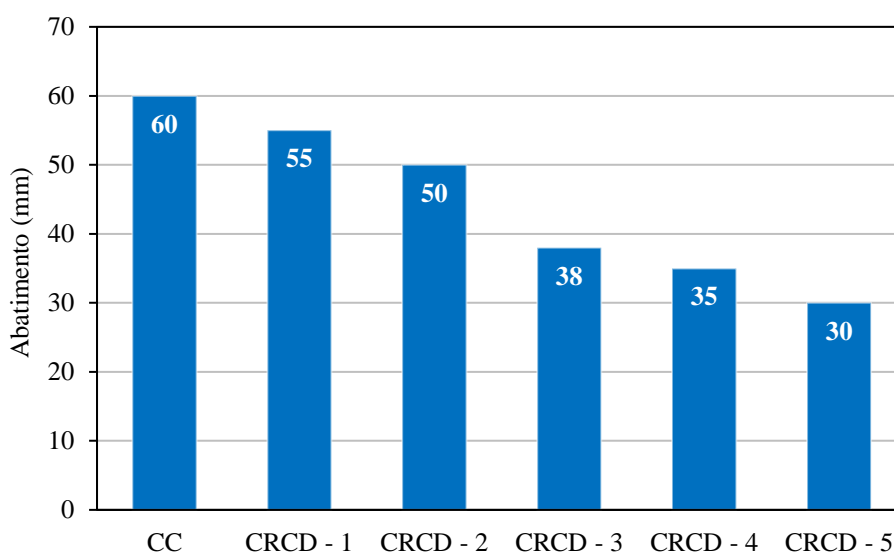
Essa análise permite examinar a relação entre as variáveis, mostrando as diferenças apresentadas e identificando quais apresentaram maior impacto para o tema em questão, na qual objetiva mostrar a eficiência do agregado graúdo reciclado na fabricação do concreto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 AVALIAÇÃO DO ENSAIO DE CONSISTÊNCIA

O ensaio de consistência do concreto foi realizado conforme especificado na NBR 16889 (ABNT, 2020), onde a trabalhabilidade de cada traço foi avaliada através do abatimento do tronco de cone medido em milímetros (mm), conforme mostra a Figura 13.

Figura 13 - Abatimento do concreto.



Fonte: Próprio autor, 2021.

A consistência do concreto influencia diretamente em sua trabalhabilidade, através dos resultados foi possível observar que o traço referência estava dentro do previsto, 60 mm. A medida que foi feita a substituição do agregado gráudo natural pelo agregado gráudo reciclado foi possível observar uma diminuição da consistência do concreto. De acordo com Krüger et al. (2017), o uso de agregados reciclados pode diminuir a trabalhabilidade do concreto, pelo fato de exigirem maior quantidade de água.

O concreto com adição de 10% e 20% de agregado gráudo reciclado apresentou uma trabalhabilidade mais semelhante ao traço referência. Já nas outras substituições observou-se uma queda considerável em relação ao traço referência, o que justifica o fato de que a porcentagem de material reciclado foi aumentando ao longo das substituições. Agrela et al. (2011), relatam que a imersão do agregado em água faz a porcentagem de absorção de água aumentar consideravelmente, observa-se também que essa perda de trabalhabilidade do

agregado reciclado comparado ao agregado natural se dá pois o agregado reciclado pode continuar absorvendo água mesmo depois da mistura.

Como o agregado graúdo reciclado é composto por diversos materiais da construção civil é possível que as diferentes propriedades presentes neles influencie tanto na trabalhabilidade quanto na resistência. Lovato (2007), retrata que em concretos utilizando agregado reciclado com uma quantidade maior de cerâmica demandam maior quantidade de água e quanto maior o teor de substituição do agregado graúdo maior pode ser a relação água/cimento, que pode vir influenciar também na resistência do concreto.

4.2 AVALIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA

A Tabela 18 apresenta a média do índice de absorção de água dos traços estudados nas idades de 7 e 28 dias. É possível observar também o desvio padrão para cada traço, tornando mais fácil identificar a dispersão apresentada em cada amostra.

Tabela 18 - Resultado do índice de absorção de água.

Traço	Índice de absorção (A%)	
	7 dias	28 dias
CC	1,61 ± 0,3	2,37 ± 0,2
CRCD-1	1,47 ± 0,4	2,16 ± 0,2
CRCD-2	1,76 ± 0,3	2,68 ± 0,1
CRCD-3	1,84 ± 0,2	2,54 ± 0,3
CRCD-4	1,72 ± 0,2	2,41 ± 0,4
CRCD-5	1,75 ± 0,02	2,56 ± 0,3

Fonte: Próprio autor, 2021.

A partir dos resultados obtidos percebe-se um aumento no índice de absorção de água nos traços com substituição comparado ao traço referência, com exceção ao traço CRCD-1, que apresentou menor índice de absorção nas duas idades. De acordo com Cordeiro (2013), as partículas dos agregados reciclados têm grande influência na absorção de água. Assim comparando com os resultados obtidos percebe-se que o concreto foi absorvendo mais água à medida que a porcentagem de agregado graúdo reciclado foi aumentando.

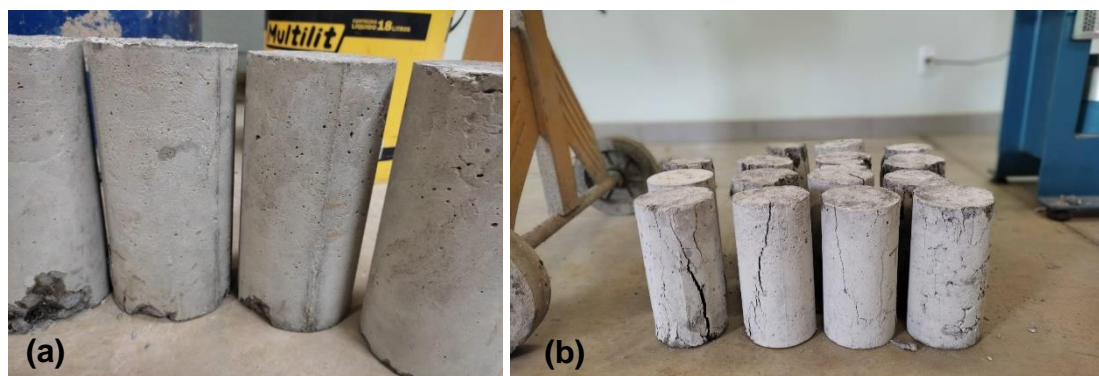
Sales, Cordeiro e Souza (2004) afirmam que concretos e argamassas que têm em sua constituição materiais reciclados apresentam maior absorção que concretos convencionais. Em seus estudos Buttler (2003) diz que a influência do agregado graúdo reciclado é mais evidente

por possuir uma porosidade maior que a do agregado natural. Tanto Lovato (2007), quanto Levy (2001) discorrem que devido a presença de material cerâmico em concretos com RCD, é visível uma absorção maior de água, isso explica o fato do agregado reciclado ter em sua composição diversos materiais que acabaram influenciando na absorção de água do concreto.

4.3 AVALIAÇÃO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Através dos ensaios de rompimento dos corpos de prova, foi analisado os resultados da resistência à compressão do concreto nas idades de 7 e 28 dias. Na Figura 14 é possível observar alguns corpos de prova já rompidos com as idades de 7 dias e 28 dias.

Figura 14 - Corpos de prova após o rompimento, sendo idade de 7 dias (a) e idade de 28 dias (b).



Fonte: Próprio autor, 2021.

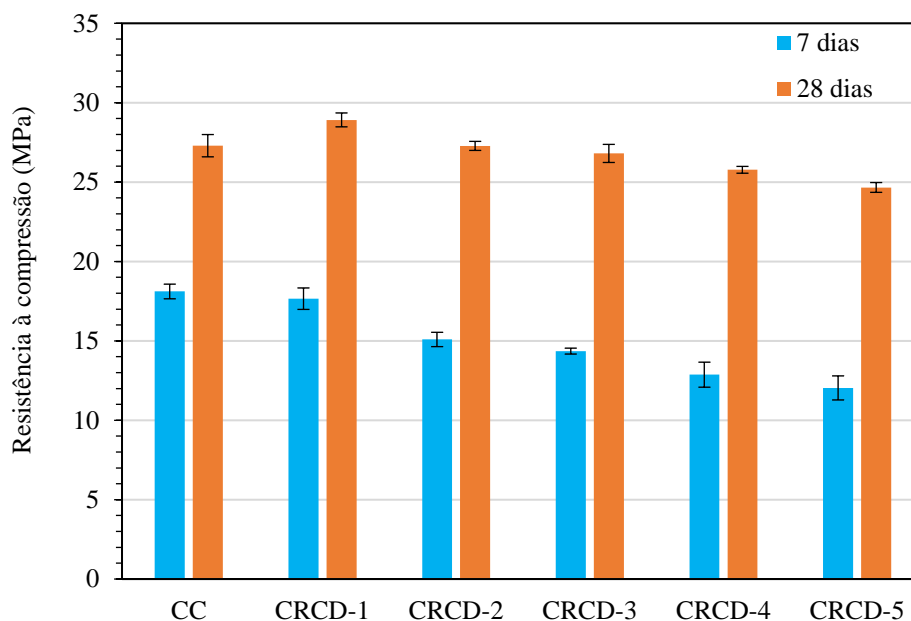
Abaixo, na Tabela 19, encontra-se a relação dos resultados mecânicos obtidos neste trabalho. Na Figura 15 é possível observar os resultados da resistência do concreto atingida aos 7 e 28 dias, na qual representam a média feita entre quatro amostras de seis substituições.

Tabela 19 - Resultados do ensaio de compressão nos traços estudados.

Traço	Tensão de ruptura média (MPa)	
	7 dias	28 dias
CC	18,20 ± 0,5	27,30 ± 0,7
CRCD-1	17,50 ± 0,7	28,80 ± 0,4
CRCD-2	15,15 ± 0,5	27,40 ± 0,3
CRCD-3	14,40 ± 0,2	26,60 ± 0,6
CRCD-4	12,70 ± 0,8	25,85 ± 0,2
CRCD-5	11,75 ± 0,8	24,65 ± 0,3

Fonte: Próprio autor, 2021.

Figura 15 - Resistência à compressão dos traços de concreto estudados aos 7 e 28 dias.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Observa-se na idade de 7 dias uma diminuição na resistência conforme a substituição do agregado graúdo foi aumentada. De acordo com Mehta e Monteiro (2008), nas primeiras idades a resistência do concreto pode ser afetada devido a textura do agregado, podendo formar uma aderência mais forte entre a pasta de cimento e o agregado. Assim, considerando que o agregado reciclado apresenta uma grande variabilidade em sua constituição, esse pode ser um dos motivos pelos quais a resistência foi diminuindo conforme o aumento da porcentagem de agregado reciclado presente na mistura.

Ao comparar a resistência na idade de 28 dias, percebe-se que o traço CRCD-1 apresentou um aumento de 5,49% ao comparado com o concreto convencional. Franklin e Gumedde (2014), relatou em seus estudos sobre a substituição de agregados graúdos naturais por agregados graúdos de RCD, que a resistência à compressão dos agregados reciclados é interligada a resistência do concreto convencional, visto que em algumas situações a resistência do concreto com a substituição pode ser equivalente ou até superior à do concreto convencional, o motivo disso pode estar relacionado com a relação água/cimento de cada um.

Em relação as outras substituições percebe-se uma diminuição conforme a substituição aumenta, esse resultado foi encontrado em outros trabalhos. Richardson et al. (2010) relataram que o aumento do uso do agregado reciclado influencia na perda de resistência do concreto, um dos motivos para isso está relacionada na absorção de água do agregado reciclado, que pode ter

influenciado na relação água/cimento, a sugestão foi a avaliação quanto a condição do agregado em termos de forma, porosidade e até mesmo do material fino presente.

Sbrighi Neto (2005) em seus estudos afirmou que as partículas presentes em agregados reciclados diminuem a trabalhabilidade do concreto, por exigir uma maior quantidade de água, conseqüentemente reduzindo a resistência do concreto, dessa forma, ao usar esse tipo de agregado é essencial um estudo rigoroso para determinação do traço do concreto objetivando otimizar seu desempenho.

Ao analisar o comportamento do concreto com 20% de substituição (CRCD-2) é possível notar um aumento de 0,36% em relação ao concreto convencional, esse foi o traço com um resultado mais semelhante ao comparado com o traço referência, trazendo à tona algumas discussões de que em suma a substituição do agregado traz resultados semelhantes quando comparado com o uso do agregado reciclado. Exteberria et al. (2007) explica que o agregado reciclado de RCD pode ter uma variabilidade grande em sua constituição, essa variabilidade pode acabar influenciando nos resultados de resistência do concreto, o que explica os diferentes resultados em cada substituição.

Quanto ao traço com 50% de substituição percebe-se que o valor de resistência obtido de 24,65 MPa foi menor que o valor de f_{ck} definido no cálculo do traço (25 MPa), isso pode ser explicado pelo fato de ser o traço com maior substituição de agregado reciclado, esse comportamento foi semelhante no estudo de Moreira (2010) onde foi observado essa redução da resistência conforme o aumento da substituição. Neste estudo, foi relatado que um dos motivos para isso ter acontecido pode até estar relacionado com a massa específica do agregado reciclado, visto que uma diminuição da densidade do agregado acabou gerando um aumento da relação água/cimento, correspondendo então a uma diminuição da resistência à compressão.

Diante de tais resultados torna-se de suma importância uma análise estatística dos dados para verificar se existe realmente uma diferença significativa para as diferentes variáveis estudadas, essa análise permite determinar parâmetros capazes de mostrar como essa resistência pode influenciar em outros aspectos, a variação da resistência também é capaz de mostrar possíveis locais de uso para esse concreto. Cabral et al. (2007) ressalta que ao se fazer uma análise estatística é possível identificar variáveis dependentes que causam um efeito bastante significativo no que se refere a perda e até mesmo ao ganho de resistência do concreto com agregado reciclado.

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Através dos resultados obtidos têm-se que todos os dados atendem aos requisitos básicos de normalidade e homogeneidade, assim não foi necessária uma transformação dos dados. A variável analisada foi a resistência à compressão do concreto e os testes realizados foram: Análise de variância para 6 doses de brita reciclada e 2 tempos, Análise do desdobramento da brita reciclada dentro de cada nível de tempo, além do Teste de Tukey e Análise de regressão.

4.4.1 Análise de variância para 6 doses de brita reciclada e 2 tempos (esquema fatorial 6x2)

A análise estatística é muito importante para auxiliar a análise e modelagem de uma determinada variável, sendo que vem do pressuposto de que pode existir duas hipóteses: a hipótese nula (H0), que afirma não haver diferença entre os tratamentos e a hipótese (H1), que afirma haver diferença entre os tratamentos, ou seja, o oposto da hipótese nula. Através da Tabela 20 é possível observar a análise de variância feita para o esquema fatorial de 6 doses de brita reciclada e 2 tempos.

Tabela 20 - Análise de Variância.

FV	GL	SQ	QM	FC	P-Value
Brita Reciclada	5	149,872	29,974	107,647	0,000*
Tempo	1	1675,012	1675,012	6015,443	0,000*
Brita Reciclada*tempo	5	21,882	4,376	15,717	0,000*
erro	36	10,024	0,278		
Total	47	1856,792			
CV (%)	2,53				
Média geral:	20,86				Número de observações: 48

FV = Fontes de Variação; GL = Grau de Liberdade; SQ = Soma dos Quadrados; F = Valor do F calculado no teste; P-Value = Medida quantitativa estatística para tomada de decisão; *Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Fonte: Próprio autor, 2021.

A partir da realização desta análise as FV (Fontes de Variação) foram consideradas como variáveis perguntas, onde, para cada uma delas foi verificado se os valores P-Value são inferiores a 0,05 (5%) de probabilidade. É possível perceber que para todas elas os valores foram inferiores a 5% rejeitando assim a hipótese nula H0, ou seja, existe uma diferença significativa entre os tratamentos.

4.4.1.1 Comparativo de média para FV – Brita Reciclada

Partindo do pressuposto de que existe uma diferença significativa entre os tratamentos e analisando se existe mais de dois tratamentos, é necessário a aplicação de um teste de comparação de médias entre eles, para determinar qual o melhor tratamento dos mesmos, nesse caso foi utilizado o Teste de Tukey por ser de fácil aplicação e simples entendimento. É muito importante também a realização de uma regressão, para determinar qual melhor representa o tratamento em questão.

Na Tabela 21 observa-se os dados do Teste de Tukey, sendo que as médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Tabela 21 - Teste de Tukey para FV Brita Reciclada.

Tratamentos (Doses)	Médias
10% Brita Reciclada	23,16 a
0% Brita Reciclada	22,75 a
20% Brita Reciclada	21,28 b
30% Brita Reciclada	20,50 b
40% Brita Reciclada	19,27 c
50% Brita Reciclada	18,20 d

Resultados seguidos de mesma letra não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Próprio autor, 2021.

Através desses resultados têm-se que ao considerar apenas o tratamento doses da brita reciclada, o melhor resultado quanto a resistência à compressão são os de 0% e 10% de brita reciclada, que estatisticamente são iguais entre si. Os resultados de 20% e 30% também são considerados estatisticamente iguais. Já os resultados de 40% e 50% apresentam diferença entre si, sendo o de 50% o pior resultado apresentado entre os tratamentos analisados.

4.4.1.2 Regressão para FV – Brita Reciclada

A regressão permite modelar uma relação entre conjuntos de variáveis, pode ser usada para previsão e também para otimização. Foram analisados três tipos de regressões: linear, quadrática e cúbica, todas apresentaram diferença significativas entre si, conforme mostra a Tabela 22.

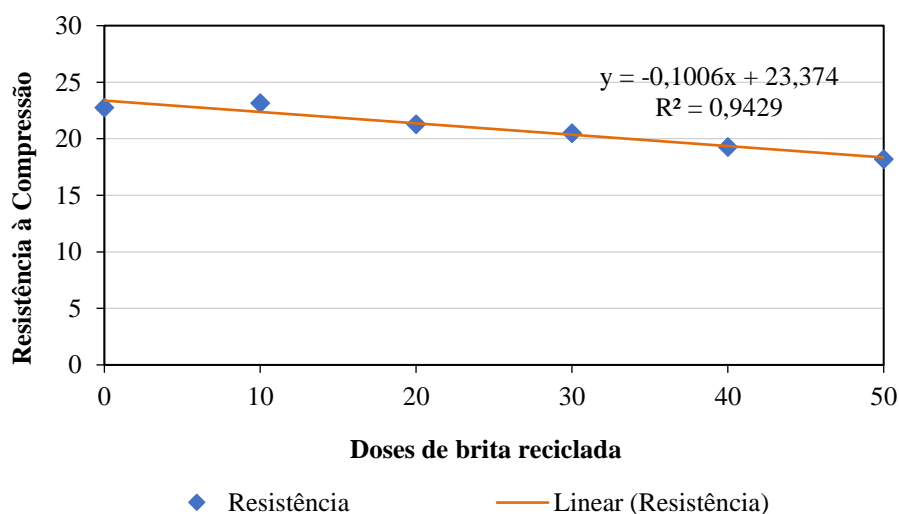
Tabela 22 - Análise de regressão para FV Brita Reciclada.

Causas de Variação	GL	SQ	QM	FC	P-Value	R ²
linear	1	141,333	141,333	507,567	0,000*	94,29
quadrática	1	2,200	2,200	7,901	0,008*	95,77
cúbica	1	2,523	2,523	9,059	0,005*	97,45
desvio de regressão	2	3,817	1,908	6,853	0,003	
erro	36	10,024	0,278			

FV = Fontes de Variação; GL = Grau de Liberdade; SQ = Soma dos Quadrados; F = Valor do F calculado no teste; P-Value = Medida quantitativa estatística para tomada de decisão; *Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Fonte: Próprio autor, 2021.

Considerando os valores apresentados pode-se dizer que a regressão linear foi a regressão que melhor apresenta os resultados para o tratamento doses da brita reciclada. A Figura 16 apresenta a regressão linear, juntamente com a variância dos dados.

Figura 16 - Regressão linear para FV Brita Reciclada.

Fonte: Próprio autor, 2021.

4.4.2 Análise do desdobramento da brita reciclada dentro de cada nível de tempo

A análise do desdobramento da brita reciclada para os resultados aos 7 e 28 dias, é representada na Tabela 23. É possível perceber que existe uma diferença significativa entre os tratamentos nas diferentes idades, o que justifica o fato do concreto ganhar mais resistência em 28 dias quando comparado com as resistências na idade de 7 dias.

Tabela 23 - Análise do desdobramento por nível de tempo.

FV	GL	SQ	QM	FC	P-Value
Brita Reciclada / 7 dias	5	131,008	26,201	94,097	0,0000*
Brita Reciclada / 28 dias	5	40,747	8,149	29,267	0,0000*
erro	36	10,024	0,278		

FV = Fontes de Variação; GL = Grau de Liberdade; SQ = Soma dos Quadrados; F = Valor do F calculado no teste; P-Value = Medida quantitativa estatística para tomada de decisão; *Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Fonte: Próprio autor, 2021.

Com esse resultado é necessário determinar qual tratamento apresentou melhor resultado, nesse caso como trata-se de apenas dois tempos não é possível a realização de uma regressão, no entanto, um comparativo de média é suficiente para apresentar essa diferença. Assim, na Tabela 24 é possível observar essa diferença entre os tratamentos nas diferentes idades.

Tabela 24 - Teste de Tukey do desdobramento por nível de tempo.

Tratamentos (Dias)	Médias
28	26,77 a
7	14,95 b

Resultados seguidos de mesma letra não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Próprio autor, 2021.

Analisando os resultados, percebe-se que realmente na idade de 28 dias foi apresentado melhores resultados quando comparado com a idade de 7 dias. Isso mostra que o concreto ganhou resistência ao longo do tempo, o que é um ponto bastante positivo. Torna-se necessário então determinar qual foi a melhor porcentagem de brita reciclada utilizada e as diferenças entre as doses, comparadas com o tempo.

4.4.3 Teste de Tukey para desdobramento da brita reciclada dentro da idade de 28 dias

Considerando que a idade de 28 dias apresentou melhores resultados, é de suma importância realizar um comparativo de média para ter qual variável apresentou melhor impacto na resistência à compressão do concreto. Na Tabela 25 estão os resultados do Teste de Tukey realizado.

Tabela 25 - Teste de Tukey no desdobramento aos 28 dias.

Tratamentos (Doses)	Médias
10% Brita Reciclada	28,80 a
0% Brita Reciclada	27,30 b
20% Brita Reciclada	27,40 b
30% Brita Reciclada	26,60 c
40% Brita Reciclada	25,85 c
50% Brita Reciclada	24,65 d

Fonte: Próprio autor, 2021.

Os resultados seguidos de letras iguais não apresentam diferenças significativas entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Desse modo, percebe que o melhor resultado apresentado foi o de 10% de brita reciclada, havendo uma diferença significativa quando comparado com os outros. O tratamento de 0% e 20% de brita reciclada são estatisticamente iguais, assim como o tratamento de 30% e 40%. Percebe-se que o pior tratamento foi o de 50% de brita reciclado, visto que, foi o menor valor apresentado além de ser estatisticamente diferente de todos os outros.

Esses resultados mostram a viabilidade de utilizar na prática a substituição do agregado graúdo reciclado. Além disso, em seus estudos, Frotté et al. (2017) ressalta que o desempenho do concreto com a substituição de agregados reciclados de RCD possui um grande potencial. Tenorio (2007) afirma que mesmo havendo uma ligeira diminuição da resistência à compressão em concretos com a utilização de agregado reciclado a sua aplicação é viável, o autor ressalta ainda que sendo observadas algumas particularidades do agregado reciclado é possível prever sua utilização até em aplicações estruturais. Araújo et al. (2016) constata também que é possível substituir agregados naturais pelos agregados reciclados sem prejuízo das propriedades mecânicas do concreto.

4.4.4 Regressão para desdobramento da brita reciclada dentro da idade de 28 dias

Foram analisados três tipos de regressão: linear, quadrática e cúbica, conforme mostra a Tabela 26. Através desses dados, é possível obter qual regressão representa melhor essa variável sendo possível estimar através dela quais as médias que poderiam ser obtidas, para outras porcentagens de tratamento.

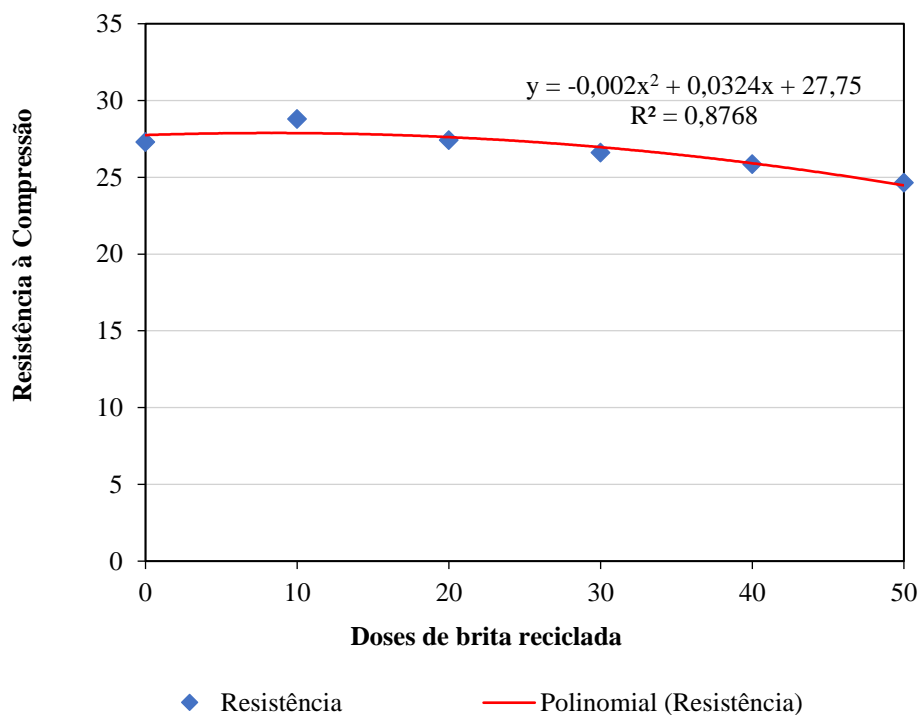
Tabela 26 - Regressão no desdobramento aos 28 dias.

Causas de Variação	GL	SQ	QM	FC	P-Value	R ²
linear	1	30,005	30,006	107,758	0,000*	73,64
quadrática	1	5,723	5,723	20,552	0,000*	87,68
cúbica	1	2,496	2,496	8,963	0,005*	93,81
desvio de regressão	2	2,523	1,262	4,531	0,018	
erro	36	10,024	0,278			

FV = Fontes de Variação; GL = Grau de Liberdade; SQ = Soma dos Quadrados; F = Valor do F calculado no teste; P-Value = Medida quantitativa estatística para tomada de decisão; *Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Fonte: Próprio autor, 2021.

Com base nos resultados, têm-se que todas as regressões apresentaram diferenças significativas, mas ao analisar os dados observa-se que a regressão quadrática é capaz de representar melhor os resultados para o desdobramento do tratamento doses de brita reciclada dentro do tempo de 28 dias. A Figura 17 apresenta a regressão quadrática da resistência à compressão dos tratamentos aos 28 dias.

Figura 17 - Regressão quadrática para resistência, no desdobramento aos 28 dias.

Fonte: Próprio autor, 2021.

A regressão quadrática permite determinar médias estimadas da proporção ideal do agregado graúdo reciclado, sendo capaz de prever os resultados até mesmo para outras porcentagens. Foi visto ao longo de toda a análise estatística a presença de uma diferença significativa entre os diferentes tratamentos e na Tabela 27 é possível observar a previsão das médias para outras porcentagens de substituição, mostrando o quanto a regressão é importante até mesmo para visualizar dados futuros.

Tabela 27 - Médias estimadas através da regressão quadrática para resistência à compressão.

Doses de Brita Reciclada (%)	Resistência à Compressão (MPa)
0	27,750
10	27,874
20	27,598
30	26,922
40	25,846
50	24,370
60	22,494
70	20,218
80	17,542
90	14,466
100	10,990

Fonte: Próprio autor, 2021.

Com base nos resultados apresentados pode-se estabelecer que a substituição parcial de até 40% ainda está dentro da resistência limite considerada nos cálculos, de 25 MPa. Assim, de acordo com a análise estatística pode ter uma substituição do agregado graúdo reciclado de até 40%, visto que a resistência continua dentro dos parâmetros definidos no cálculo do traço. Além disso, através da regressão quadrática foi possível determinar o valor da melhor porcentagem de substituição, sendo 8,1%, o que significa que essa foi a porcentagem que fez com que o concreto atingisse a maior resistência.

É possível observar então um resultado bastante satisfatório, já que segundo Pandovan (2013) um enorme volume de resíduos é gerado na construção civil, além também do alto consumo de agregados naturais que são utilizados e que acabam gerando impactos ambientais, dessa forma uma possibilidade de diminuir os impactos é a substituição do agregado natural pelos agregados reciclados advindos de resíduos.

Alves et al. (2014) ressalta que de maneira a contribuir para sustentabilidade a utilização de agregados reciclados é bastante viável, visto que além de incorporar novos produtos ao mercado, o uso de agregados reciclados pode viabilizar projetos de níveis sociais, devido ao menor custo apresentado em sua utilização ao se comparar com o agregado natural. Ferreira (2007) afirma ainda que a utilização do RCD como agregado apresenta uma série de vantagens econômicas, principalmente em locais onde as jazidas desses materiais se encontram cada vez mais escassa. Sem dúvidas a reciclagem é uma solução sustentável para o processamento do RCD, pois além de promover a economia no uso de matérias-primas naturais, ainda reduz a poluição ambiental causada pelo descarte inadequado dos resíduos.

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados, pode-se concluir que a substituição da brita natural pela brita reciclada é tecnicamente viável. Através de todos os estudos de dosagem foi possível determinar a proporção de materiais a serem utilizados no tratamento para alcançar a resistência necessária, onde, por meio da análise estatística foi comprovada que existe diferença significativa entre os tratamentos, indicando assim aquele que obteve o maior impacto na resistência do concreto.

Por meio dos estudos e ensaios realizados atestou-se a viabilidade da utilização do agregado graúdo reciclado na fabricação do concreto, podendo ter sua utilização para fabricação de artefatos de concreto, calçadas, meio fio e até mesmo peças de concretos para drenagem superficial. Sem dúvidas a utilização do agregado graúdo reciclado é uma forma de contribuir para a sustentabilidade, visto que, seria capaz de diminuir consideravelmente os impactos ambientais gerados pelo descarte inadequado de resíduos da construção civil.

Contudo, é necessário a realização de pesquisas que abrangem ainda mais o comportamento desses materiais, objetivando a aplicabilidade em larga escala e fazendo com que seu uso não fique limitado, já que a utilização dos agregados graúdos reciclados será algo de suma importância. Deste modo, considerando que o concreto é um material amplamente utilizado em diversos sistemas construtivos, fazer o seu uso por meio de práticas sustentáveis seria capaz de reduzir consideravelmente o impacto ambiental causado pela construção civil.

Para trabalhos futuros, sugere-se as seguintes pesquisas:

- Pré-saturação dos agregados reciclados antes de utilizá-lo no traço de concreto visando a diminuição da alta absorção de água desse material;
- Uso de aditivos para auxiliar na trabalhabilidade do concreto, que pode proporcionar maior durabilidade e maiores valores de resistência;
- Avaliação do comportamento do concreto com a utilização de armaduras, visando identificar se o agregado graúdo reciclado apresenta alguma influência no processo de corrosão.
- Determinar o módulo de elasticidade do concreto com as diferentes substituições de agregado graúdo reciclado afim de comparar com o concreto convencional, objetivando obter parâmetros que são utilizados nos cálculos estruturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRELA, F.; JUAN, M. S.; AYUSO, J.; GERALDES, V. L.; JIMÉNEZ, J. R. **Limiting properties in the characterisation of mixed recycled aggregates for use in the manufacture of concrete.** Construction and building materials, 25(10), 3950-3955, 2011.

ALVES, A., VIEIRA, T., BRITO, J., CORREIA, J. R. **Mechanical properties of structural concrete with fine recycled ceramic aggregates.** Constr. Build. Mater. 64, 103 e 113, 2014.

ARAÚJO, D. L.; FELIX, L. P.; SILVA, L. C.; SANTOS, T. M. **Influência de Agregados Reciclados de Resíduos de Construção em Propriedades Mecânicas do Concreto.** REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 11, n. 1, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Estudo Técnico: Propriedades do Concreto Fresco.** São Paulo, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Guia básico de utilização do Cimento Portland.** ABNT, Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). 2020. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br>>. Acesso em: 04 abr. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655/2015 - **Concreto de cimento portland:** Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2006.

_____.NBR 16889/2020. **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, Brasil.

_____.NBR 16916/2021. **Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água.** Rio de Janeiro, Brasil.

_____.NBR 16917/2021. **Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água.** Rio de Janeiro, Brasil.

_____.NBR 16697/2018. **Cimento Portland - Requisitos.** Rio de Janeiro, Brasil.

_____.NBR 16972/2021. **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro, Brasil.

_____.NBR 5738/2015. **Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova-** Especificação. Rio de Janeiro, Brasil.

_____.NBR 5739/2018. **Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, Brasil.

_____.NBR 7211/2009. **Agregados para concreto - Especificação.** Rio de Janeiro, Brasil.

_____.NBR 9778/2009. **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, Brasil.

_____. NBR NM 248/2003. **Agregados – Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO (ABRECON). 2014. Disponível em: <<https://abrecon.org.br>>. Acesso em: 03 mar. 2021.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do Concreto Armado.** 88p. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Bauru, São Pulo, 2011.

BAUER, L.A.F. **Materiais de Construção.** 6 ed. Rio de Janeiro: LTC. 2019

BORGES, J. B. G.; BERTICELLI, R.; KALIL, R. M. L.; BRUM, E. M.; GOMES, A. P.; **Usinas de Reciclagem de Resíduos de Construção Civil atuando no desenvolvimento Sustentável dos municípios.** 4º Seminário Nacional de Construções Sustentáveis, v. 4, n. 2, 2015.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil.** Cerâmica, v. 61, n. 358, p. 178-189, 2015.

BUTTLER, A. M. **Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto: influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2003.

CABRAL, A. E. B., SCHALCH, V.; DAL MOLIN, D. C. C.; RIBEIRO, J. L. D. **Modelagem da resistência à compressão de concretos produzidos com agregados reciclados de rcd.** 2007.

CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; DAL MOLIN, D. C. C.; RIBEIRO, J. L. D.; RAVINDRARAJAH, R. S. **Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha.** Cerâmica, v. 55, n. 336, 2009.

CARVALHO, G. M. **Levantamento dos resíduos gerados pela construção civil na cidade do Rio de Janeiro.** 2017. 99 f. Projeto de Graduação – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

CONAMA, Resolução nº 307 de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para gestão de resíduos da construção civil.

CORDEIRO, L.N.P. **Análise dos parâmetros principais que regem a variabilidade de concretos produzidos com agregados graúdos reciclados de concreto.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

CORDEIRO, L.N.P.; MASUERO, A. B; MOLIN, D.C.C.D.; SOUZA P.S.L.; PAES, N. L.; **Avaliação de processos de misturas de concretos com agregados graúdos reciclados.** Revista Ambiente Construído, v. 17, n. 3, 2017.

COUTO, J. A. S.; CARMINATTI, R. L.; NUNES, R. R. A.; MOURA, R. C. A. **O concreto como material de construção**. Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE, v. 1, n. 3, p. 49-58, 2013.

EXTEBERRIA, M.; VÁZQUEZ, E.; MARÍ, A.; BARRA, M. **Influence of Amount of Recycled Coarse Aggregates and Production Process on Properties of Recycled Aggregate Concrete**. Cement and Concrete Research. 37, 735–742. 2007.

FERREIRA, L. M. M. **Betões estruturais com incorporação de agregados grossos reciclados de betão: Influência da pré-saturação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.38, n.2, p.109-112, 2014.

FRANKLIN, S. O.; GUMEDE, M. T. **Studies on Strength and Related Properties of Concrete Incorporating Aggregates from Demolished Wastes: Part 1—A Global Perspective**. Open Journal of Civil Engineering , v. 4, n. 04, p. 311, 2014.

FROTTÉ, C.; NUBILA, C. S. A. D.; NAGALLI, A.; MAZER, W.; MACIOSKI, G.; OLIVEIRA, L. O. S. D. **Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 22, 2017.

GANTOIS, M. M. D. C.; LIMA, N. O. D. **Desenvolvimento sustentável na construção civil e a certificação ambiental: estudo de caso na sede do Sinduscon/BA**. SEMOC-Semana de Mobilização Científica-Alteridade, Direitos Fundamentais e Educação. 2018.

GUERRA, R. S. T. **Método de dosagem da ABCP**. 2015. Disponível em <<http://www.clubedoconcreto.com.br/2015/10/metodo-de-dosagem-da-abcp.html>>. Acesso em: 8 de mai de 2021.

HAGEMANN, S. E. **Materiais de construção básicos**. Rio Grande do Sul: Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, 2011.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Rio de Janeiro: IBGE.

IBRACON – Instituto Brasileiro de concreto. Revista Concreto e Construções. 2009. Disponível em: <<http://ibracon.org.br>>. Acesso em: 4 abr. 2021.

JACQUES, J. R. **Estudo da viabilidade técnica da utilização de concreto reciclado como agregado graúdo em concreto de cimento Portland**. 2014.

KRÜGER, P.; PEREIRA, E.; CHINELATTO, A. S. **Influência do agregado reciclado na durabilidade do concreto: uma revisão da bibliografia**. Revista Técnico-Científica, v. 1, 2017.

LEVY, S.M. **Contribuição ao estudo da durabilidade e concretos produzidos com resíduos de concreto e alvenaria.** 194 p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2001.

LISBOA, E. S.; ALVES, E. S.; MELO, G. H. A. G. **Materiais de construção: concreto e argamassa.** 2. ed. – Porto Alegre: SAGAH, 2017.

LOVATO, P.S. **Verificação dos parâmetros de controle de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto.** Dissertação (Mestrado). PPGEC-UFRGS.180p, Porto Alegre, 2007.

MOREIRA, L. H. H. **Avaliação da influência da origem e do tratamento dos agregados reciclados de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto estrutural.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2010.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto.** Ed. 5. Porto Alegre : Bookman, 2016.

PANDOVAN, R. G. **Influência da pré-molhagem nas propriedades de concretos produzidos com agregados reciclados de concreto.** Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2013.

RICHARDSON, A.; ALLAIN, P.; VEUILLE, M. **Concreto com Resíduos de Demolição de Construção Triturada, Graduada e Reciclada Lavada como Substituição de Agregado Grosso.** Structural Survey, 28, 142-148. 2010.

SALES, A; CORDEIRO, J. S.; SOUZA, F. R. **Estudo da resistência à compressão e da absorção de água em concretos produzidos com a adição conjunta de resíduos de construção e demolição e lodos de estações de tratamento de água.** Ambiente Construído, v. 4, n. 2, p. 31-40, 2004.

SALOMÃO, P. E. A.; KELLER, L. F. L.; RHIS, A. R.; COELHO, S. S. F. **Variação da resistência a compressão axial do concreto de cimento Portland com adição de detergente como aditivo incorporador de ar.** Research, Society and Development, v. 8, n. 4, p. e3784913-e3784913, 2019.

SBRIGHI NETO, C. **Agregados para concreto.** Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações. Ed. G.G. Isaia. São Paulo: IBRACON, 2v. 1600p. 2005.

SILVA, A. B.; MACIEL, J. C. S. **Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** REVISTA IGAPÓ-Revista de Educação Ciência e Tecnologia do IFAM, v. 3, 2014.

SILVA, O. H.; UMADA, M. K.; POLASTRI, P.; NETO, G. D. A., DE ANGELIS, B. L. D.; MIOTTO, J. L. **Etapas do gerenciamento de resíduos da construção civil.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 19, p. 39-48, 2015.

SILVA, V. A.; FERNANDES, A. L. T. **Cenário do gerenciamento dos resíduos da construção e demolição (RCD) em Uberaba-MG.** Uberlândia. 2012. 12 f. Artigo. Uberlândia, 2012.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico de Manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos**. 18. ed. Brasília, DF, 2019. 244 p.

SOUZA, B. C.; PAES, C. N. S.; BARBOZA, L. S. **Estudo do agregado graúdo reciclado de concreto como agente de cura interna**. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 25, n. 4, 2020.

SOUZA, L. M.; ASSIS, C. D.; SOUTO, S. B. G. **Agregado reciclado: um novo material da construção civil**. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 18, n. 1, p. 273-278, 2014.

TENÓRIO, J. J. L. **Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção demolição visando aplicações estruturais**. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007.

TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. **Dosagem dos concretos de cimento Portland**. 2011.

ZITTO, I. **Avaliação do desempenho mecânico de concretos confeccionados com agregados graúdos de resíduos de concreto branco de alto desempenho com fibras**. Dissertação (Diplomação) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2014.