

**FACULDADE EVANGÉLICA - CAMPUS CERES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**JOAQUIM ALVES DOS SANTOS SANTANA NETTO
LUCAS VINÍCIUS NORMANDES SILVA BORGES**

**SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO GRAÚDO PELO
RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC) NO CONCRETO**

PUBLICAÇÃO N°:

**Ceres - GO
2020**

**JOAQUIM ALVES DOS SANTOS SANTANA NETTO
LUCAS VINÍCIUS NORMANDES SILVA BORGES**

**SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO GRAÚDO PELO
RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC) NO CONCRETO**

PUBLICAÇÃO Nº:

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

ORIENTADOR: Ma. JÉSSICA NAYARA DIAS

CERES / GO: 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

NETTO, JOAQUIM ALVES DOS SANTOS SANTANA.

BORGES, LUCAS VINÍCIUS NORMANDES SILVA.

Substituição parcial do agregado graúdo pelo resíduo de construção civil (RCC) no concreto. [Goiás] 2020.

18P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2020).

TCC – UniEVANGÉLICA.

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|---------------------|--------------------------------|
| 1. Sustentabilidade | 2. Resíduo da construção civil |
| 3. Agregado graúdo | 4. Agregado reciclado |
| I. ENC/UNI | II. Título (Série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

NETTO, Joaquim Alves dos Santos Santana; BORGES, Lucas Vinícius Normandes Silva. Substituição parcial do agregado graúdo pelo resíduo de construção civil (RCC) no concreto. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Ceres, GO, 18p. 2020.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DOS AUTORES: Joaquim Alves dos Santos Santana Netto e Lucas Vinícius Normandes Silva Borges.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Substituição parcial do agregado graúdo pelo resíduo de construção civil (RCC) no concreto.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2020

É concedida à UniEVANGÉLICA 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.

Joaquim Alves dos Santos Santana Netto
76.372-000 – Pilar de Goiás/GO – Brasil

Lucas Vinícius Normandes Silva Borges
76.310-000 – Rialma/GO – Brasil

**JOAQUIM ALVES DOS SANTOS SANTANA NETTO
LUCAS VINÍCIUS NORMANDES SILVA BORGES**

**SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO GRAÚDO PELO
RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC) NO CONCRETO**

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

APROVADO POR:

Professora Ma. Jéssica Nayara Dias

Orientadora – UniEVANGÉLICA Campus Ceres

Professora Me. Charles Lourenço de Bastos

Examinador interno – UniEVANGÉLICA Campus Ceres

Professor Me. Vilson Dalla Libera Junior

Examinador interno – UniEVANGÉLICA Campus Ceres

CERES/GO, 22 de junho de 2020

SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO GRAÚDO PELO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC) NO CONCRETO

Joaquim Alves dos Santos Santana Netto¹

Lucas Vinícius Normandes Silva Borges²

Jéssica Nayara Dias³

RESUMO

O concreto pode ser produzido com sucesso usando materiais reciclados. O uso de agregado reciclado na produção do concreto tem aumentado constantemente com o passar do tempo e com a evolução das pesquisas, que mostram resultados cada vez mais satisfatórios e próximos de aplicabilidade. Assim, o presente artigo tem como objetivo avaliar se a substituição parcial do agregado graúdo do concreto por RCC traz benefícios para o mesmo. Para tanto, realizou-se a comparação dos resultados dos ensaios de resistência à compressão uniaxial e tração por compressão diametral do concreto convencional e do concreto com a substituição parcial do agregado graúdo em três porcentagens distintas, sendo 30%, 50% e 70%. Os resultados dos experimentos denotam uma redução da resistência a compressão axial e tração por compressão diametral, em função do aumento da porcentagem de substituição, sendo inversamente proporcional, ou seja, quanto maior a substituição, menor a resistência. Apesar do não emprego desse concreto para finalidades estruturais, os resultados obtidos apontam para a viabilidade da sua utilização em estruturas como bocas de lobo, lajotas para pavimentação, mourões e peças de concreto utilizadas em drenagem superficial de estradas, como as sarjetas.

Palavras-chave: Agregado graúdo. Agregado reciclado. Resíduo da construção civil. Sustentabilidade.

¹ Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: joaquimnetto2000@hotmail.com

² Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: luksnormandes@hotmail.com

³ Mestra em Integridade de Materiais da Engenharia (UnB), professora do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: jessicadias.engenharia@gmail.com

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 Produtividade excessiva da construção civil	6
2.2 Sustentabilidade na construção civil e RCC.....	7
2.3 A utilização de RCC como agregado no concreto.....	8
3 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	9
3.1 Obtenção dos materiais e caracterização do resíduo de construção civil (RCC).....	9
3.2 Tratamento do resíduo para ser utilizado como agregado graúdo	10
3.3 Granulometria.....	10
3.4 Dosagem.....	11
3.5 Fabricação dos corpos de prova	11
3.6 Realização dos experimentos	12
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	13
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	15
REFERÊNCIAS	16

1 INTRODUÇÃO

A construção civil tem apresentado um desenvolvimento considerável nos últimos anos, essa evolução tem como consequência o aumento da demanda por recursos naturais, como a areia e a brita, que são fundamentais para a produção de concreto, sendo o mesmo responsável por parte do desenvolvimento do setor da engenharia civil. Contudo, através da extração da matéria prima é também responsável por causar problemas ambientais, como a ocorrência de processos erosivos e a modificação na geomorfologia fluvial (NOGUEIRA, 2016).

Um dos setores mais importantes no mercado atual é o da construção civil, devido ao elevado número de empregos que o setor gera e ainda ao peso que ele tem na economia brasileira. Todavia, este setor é também um dos que mais afetam diretamente o meio ambiente devido a elevada quantidade de entulho que gera.

Qualquer material proveniente de atividades de demolição de obras civis, assim como restos de obras, autoconstrução ou reformas pode ser considerado resíduo de construção e demolição (SILVA, 2009). Os entulhos são os restos da construção civil, e é bastante significativa a quantidade de resíduos gerados por essas atividades, uma vez que os mesmos são classificados como um problema tanto para as construtoras quanto para os órgãos públicos. Uma das formas de atenuar os impactos causados por esses resíduos é o reaproveitamento realizado pelo próprio setor, reutilizando o entulho na fabricação de novos concretos, como uma forma alternativa de matéria prima, sendo reciclado e contribuindo com o meio ambiente.

Atualmente algumas empresas apresentam resultados promissores na busca pela construção sustentável. Algumas delas reaproveitam materiais que seriam descartados no meio ambiente com a finalidade de melhoria nas propriedades de outros materiais, como o concreto. Sendo assim, é necessário a realização de atividades na construção civil que não causem tantas ações degradantes ao meio ambiente, como por exemplo, construções produzidas de forma sustentável. Para isto, precisa-se adotar métodos mais conscientes na exploração da matéria-prima e buscar formas alternativas que contribuam para o meio ambiente, como gerar um destino mais apropriado ao resíduo da construção civil (RCC).

Zordan (1997) afirma que é oneroso e difícil gerenciar os resíduos de construção e demolição de uma grande cidade, e as dificuldades, aumentam na mesma dimensão do volume gerado. O descarte desse resíduo somente piora a situação, uma vez que os aterros são sobrecarregados rapidamente, sendo necessário a criação de novos aterros, cada vez maiores, para conter o despejo dos resíduos. Dos 1,3 bilhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos gerados anualmente pelo mundo, de acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil do ano de 2015, publicado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE, 79,9 milhões de toneladas correspondem aos resíduos gerados pelo Brasil, ou seja, aproximadamente 6,15% da quantidade total produzida pelo mundo (ABRELPE, 2015).

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho, é avaliar se a substituição parcial do agregado graúdo do concreto por resíduo de construção civil (RCC) traz benefícios para o mesmo, como uma forma de minimizar os impactos ambientais que o entulho causa na natureza. Para tanto, realizou-se a comparação dos resultados dos ensaios do concreto com a substituição parcial do agregado graúdo pelo RCC com o concreto convencional. Três porcentagens distintas de substituições foram realizadas buscando não somente determinar qual delas traria melhores resultados em termos das propriedades mecânicas do concreto, mas também ampliando a busca por uma alternativa que minimize os impactos ambientais causados pelos resíduos de construção civil (RCC) descartados nos aterros e de maneira irregular na natureza.

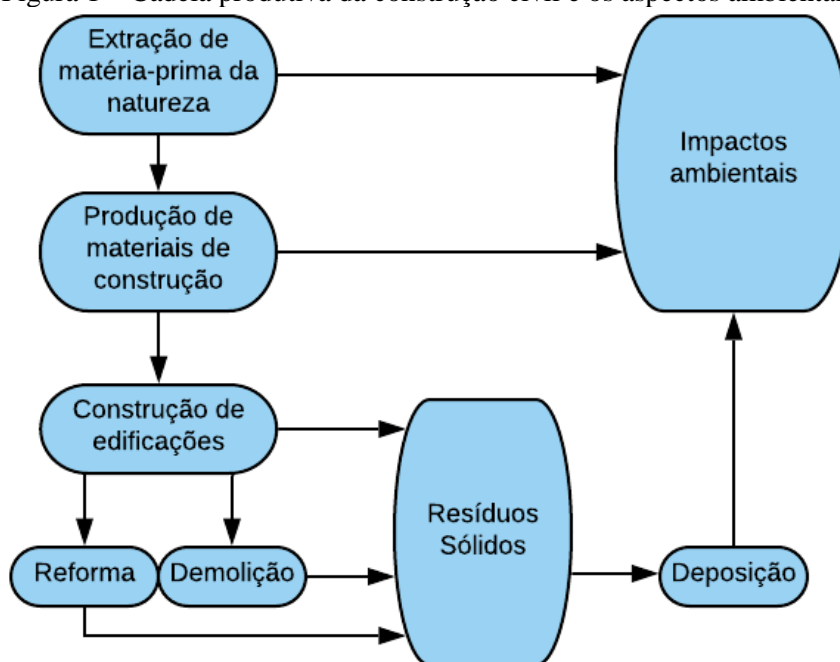
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Produtividade excessiva da construção civil

O setor da construção civil é uma grande fonte geradora de resíduos sólidos, sendo também sua responsabilidade viabilizar o descarte adequado desses resíduos. Estudos indicam que o volume de resíduos de construção e demolição (RCD) caracterizam aproximadamente 60% do volume total de sólidos produzidos nas cidades brasileiras, de acordo com a Resolução N° 307 do CONAMA, 2002.

A utilização dos recursos naturais na produção de insumos, a exploração excessiva de matéria prima, e a geração de entulhos nos canteiros de obras, são alguns dos impactos causados pelas indústrias de engenharia que podem contribuir negativamente com o meio ambiente, conforme demonstrado na Figura 1. Além disso, o setor pode ter impacto direto sobre o aquecimento global, quando do aquecimento de matérias primas empregadas no processo de fabricação de insumos, sendo grande preocupação mundial. A fim de reduzir os danos causados ao meio ambiente e aumentar as oportunidades para as próximas gerações é necessário fazer a utilização de uma construção sustentável (RODRIGUES, 2017).

Figura 1 – Cadeia produtiva da construção civil e os aspectos ambientais.



Fonte: RODRIGUES (2017)

O concreto é bastante utilizado na construção civil, porém para ser feito é preciso que haja uso de alguns agregados de origem natural, tais como a brita, areia e a água. Nota-se um esgotamento de recursos naturais, pois, quanto mais o setor da construção civil cresce, menos matéria bruta tem-se a disposição na natureza para ser utilizada (TEODORO, 2011). Considerando que os recursos naturais não são infinitos, há a necessidade de procurar novos meios de construção sustentável para substituir a metodologia atual, construindo com responsabilidade e não pensando somente no presente, mas também nas futuras gerações.

Responsável por causar impactos ambientais, a indústria da construção civil influencia diretamente na economia brasileira. Apesar da quantidade de empregos gerados e da viabilização de moradias, renda e infraestrutura, é necessário que se faça o descarte desses resíduos de construção com responsabilidade, para que não haja prejuízos ao meio ambiente (GUIMARÃES et al., 2009).

Segundo Souza et al. (2004) com o passar dos anos, os resíduos produzidos pelo setor da construção civil têm gerado bastante discussões políticas a respeito das questões ambientais. Visto que desperdiçar materiais, mesmo que seja na condição de resto (entulho) ou sob outra forma, significa desperdiçar recursos naturais que não serão repostos e conseqüentemente o setor gera discussões na procura pelo bem da população através do desenvolvimento sustentável.

Em busca da produtividade excessiva, a construção civil é responsável pela grande quantidade de resíduos de construção empilhados nas encostas dos rios, vias e logradouros públicos, formando depósitos irregulares nos municípios, conforme mostra a Figura 2. Os resíduos depositados de forma imprópria, modificam a paisagem urbana, invadem as ruas, atrapalham o tráfego de pedestres e de veículos, da mesma forma que dificultam a drenagem urbana (DANTAS; GENARI, 2017).

Figura 2 – Depósito irregular de RCC.



Fonte: RODRIGUES (2017)

Esse setor possui ainda um grande desafio, pois tenta conciliar a superprodução com o desenvolvimento sustentável com a finalidade de ser menos destrutivo ao meio ambiente. De acordo com Bonfim, Selere e Silva (2014), algumas empresas utilizam recursos não renováveis como a areia e a brita sem se preocupar com a manutenção de seu fornecimento além de gerar poluição e desmatamento ao meio em que vivem. A consequência a longo prazo será o esgotamento de suas fontes. Deste modo, uma empresa que se preocupa com a sustentabilidade irá investir em métodos renováveis de manter suas matérias primas.

2.2 Sustentabilidade na construção civil e RCC

O desenvolvimento das indústrias promove o desmatamento, e na busca pela preservação ambiental precisamos de um desenvolvimento sustentável para minimizar os impactos causados ao meio ambiente, e também, uma exploração ponderada dos recursos naturais a fim de atender as necessidades da população sem comprometer o futuro das próximas gerações (JOHN, 2000).

De acordo com Ortega (2014), globalmente, a construção civil absorveu mais tardiamente os conceitos de sustentabilidade, visto que inicialmente apenas se pensava em lucratividade. Os conceitos de sustentabilidade vêm sendo discutidos com mais frequência com o passar dos anos. O desenvolvimento sustentável deve buscar o equilíbrio entre a natureza e a economia. Em sua ausência, os fenômenos de degradação ambiental e de decadência social comprometerão a vida existente no planeta, visto que os recursos naturais são limitados.

Dentro da temática de sustentabilidade encontra-se a reciclagem, que consiste no reaproveitamento de materiais reutilizando-os como matéria-prima de um novo produto. Segundo Neto (2005) o RCC, resíduo de construção civil, é classificado como os resíduos de construções, reformas e restauração de residências, edificações comerciais, e outras estruturas. Tais como blocos, concreto, madeira, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plástico e outros materiais de alvenaria.

Em alguns países, a variação quanto a reciclagem de RCC está relacionada com a disponibilidade de recursos naturais; distância de transporte entre reciclados e materiais naturais; situação econômica e tecnológica do país; tipos de resíduos (Figura 3); e densidade populacional (DORSTHORST; HENDRIKS, 2000). No Brasil a reciclagem de RCC está bastante atrasada em comparação com outros países, notadamente em relação aos países europeus, na Holanda, cerca de 90% dos resíduos de construção civil são reciclados (DORSTHORST; HENDRIKS, 2000).

Figura 3 – Tipos de resíduos de acordo com a sua classificação.



Fonte: PINHAIS, S, J (2013).

Os resíduos possuem quatro classificações, sendo divididos em Classe A, B, C e D. Na classe A, estão os agregados minerais recicláveis como o tijolo, cerâmicas, argamassa, telhas e pré-moldados de concreto. Os recicláveis como plásticos, metais, vidros, gesso e madeira estão localizados na Classe B, enquanto os não recicláveis como lixa, massa corrida, massa de vidro e sacos de cimento estão incluídos na Classe C. Na classe D, situam-se os resíduos perigosos ou contaminados como tintas, solventes e telhas de fibrocimento que contenham amianto. Nesse presente trabalho substituímos parcialmente o agregado graúdo do concreto pelo bloco de concreto – Classe A.

2.3 A utilização de RCC como agregado no concreto

A substituição do entulho na produção do concreto pode minimizar os impactos ambientais causados pelo desmatamento, visto que utiliza um resíduo que seria descartado na natureza, ao mesmo tempo em que reduz a busca desenfreada por matéria prima. Segundo Silva (2009) a aplicação da reciclagem pode trazer vantagens não apenas para as empresas como para as cidades, principalmente visto pelo lado financeiro e ecológico.

A falta de conhecimento e de estudos sobre estes materiais, levam à um desperdício econômico gigantesco, pois este material está sendo constantemente descartado, sendo que possui um grande potencial de reaproveitamento. Dessa forma, além de procurar melhorar uma propriedade mecânica do concreto, que é a resistência a compressão, a substituição parcial do agregado graúdo pelo RCC estará contribuindo com o meio ambiente, devido ao fato de estar utilizando esse resíduo, que seria descartado na natureza, para a fabricação de um novo material.

De acordo com Zordan (1997), tendo como objetivo especificar a propriedade dos materiais constituintes desse resíduo, realizou-se uma análise qualitativa dos elementos presentes nas amostras de entulho. O ensaio, conforme mostra a Figura 4, revelou uma

predominância das argamassas (37,4%), seguida pelo concreto (21,1%) e pelos materiais cerâmicos não polidos (20,8%).

Figura 4 – Porcentagem média dos elementos constituintes do entulho.



Fonte: ZORDAN (1997).

Segundo Guimarães et al. (2009), as características mais indispensáveis a serem analisadas quando se estuda a utilização de agregados na fabricação de concretos é a granulometria, a absorção de água, a resistência à compressão, e o módulo de elasticidade. Ao analisar o propósito que os agregados influenciam na produção do concreto, todas essas propriedades são de suma importância, essencialmente quando se formam um novo material, tal como o agregado reciclado, visto que sua utilização apenas será efetiva a partir do conhecimento adquirido baseado nos estudos realizados comprovando a viabilidade do novo agregado na estrutura do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

De acordo com Quebaud e Buyle-Bodin (1999), os agregados reciclados exibem propriedades singulares influenciadas pelos materiais apresentados nas centrais de processamento e do tipo de procedimento efetuado, tais como o tipo de britador utilizado, os equipamentos empregados para a extração de impurezas, entre outros. A maior diferença existente entre o agregado normal e o agregado reciclado é a maior heterogeneidade, a menor resistência da matriz e maior porosidade analisadas entre os dois tipos de agregados. Atributos estes que podem ser encontrados em todos os componentes dos agregados reciclados de construção, visto que seu reaproveitamento apresenta as mesmas características em maiores ou menores dimensões (LEITE, 2001).

Em busca de concretos mais duráveis e resistentes, deve-se realizar estudos mais aprofundados sobre as características dos agregados. Para que os agregados possam ser mais atrativos por suas características físicas e mecânicas, do que somente pelo seu alto valor no aspecto econômico.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 Obtenção dos materiais e caracterização do resíduo de construção civil (RCC)

Os materiais que consistiam no traço do concreto foram: agregado graúdo, agregado miúdo, cimento e água. Como agregado graúdo para o concreto, utilizou-se a brita 1 e o resíduo de construção civil (Classe A – Bloco de concreto). A areia utilizada na composição do concreto estava em sua granulometria areia natural (média grossa). O cimento utilizado foi tipo - CP II-Z-32, e por fim, utilizou-se ainda água potável, disponível no laboratório de materiais do Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA – Campus Ceres.

Inicialmente foi realizada a coleta da amostra do entulho e a separação do material a ser utilizado. Este procedimento foi realizado com base na NBR 10007 (ABNT, 2004) - Amostragem de Resíduos sólidos, que fixam as condições exigíveis para amostragem, preservação e estocagem de resíduos sólidos.

3.2 Tratamento do resíduo para ser utilizado como agregado graúdo

Após a obtenção do RCC foi necessário fazer a separação e eliminação de quaisquer substâncias presentes no material para poder então ser utilizado como agregado graúdo na fabricação do concreto. O material foi devidamente limpo, tirando qualquer traço de sujeira ou resíduos de matéria orgânica, conforme mostra a Figura 5a, em seguida foi aquecido em estufa a 110° C para deixar o resíduo seco sem teor de umidade, a Figura 5b mostra a estufa utilizada no processo de secagem.

Figura 5 – Tratamento do RCC: a) Separação do material; b) Estufa utilizada na secagem do RCC

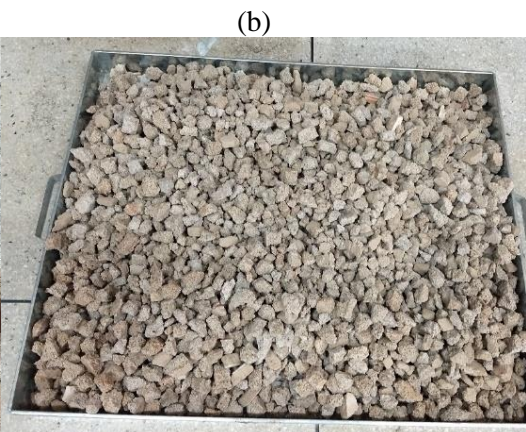
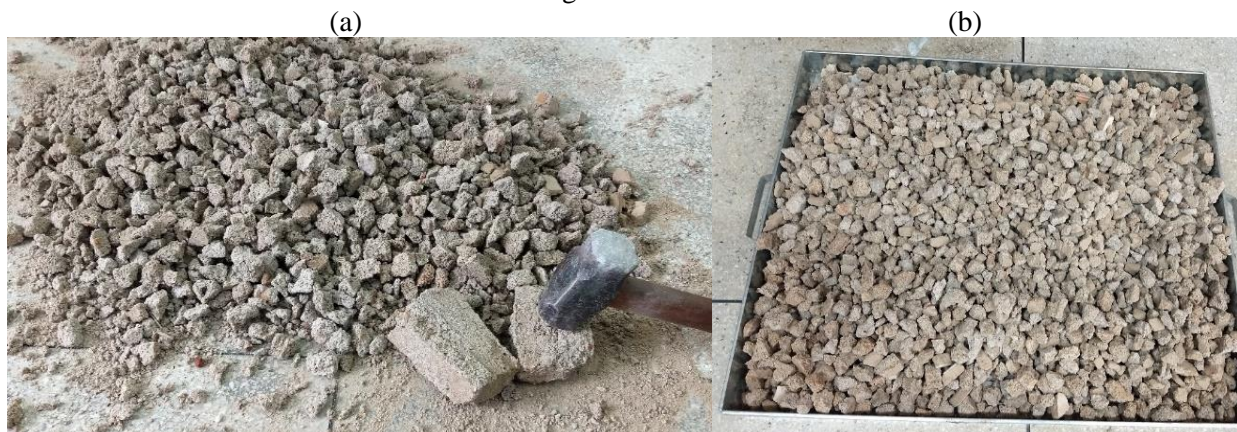


Fonte: Próprios autores (2020).

3.3 Granulometria.

A granulometria da brita 1 varia de 9,5 mm a 19,0 mm, para fazer a substituição do RCC pelo agregado graúdo, os blocos de concreto precisavam atingir a essa mesma granulometria. O material foi moído manualmente, conforme mostra a Figura 6a, resultando em diversos tamanhos de grãos. Em sequência o resíduo foi levado às peneiras com agitador mecânico onde foram depositados para fazer a caracterização granulométrica do entulho a fim de conseguir atingir a granulometria estipulada, mostrada na Figura 6b. A Figura 7 mostra as peneiras com agitador mecânico que foram utilizadas no processo de separação.

Figura 6 – Preparação do agregado graúdo: a) Quebra dos blocos de concreto; b) Blocos de concreto fragmentados.



Fonte: Próprios autores (2020).

Figura 7 – Peneiras com agitador mecânico utilizados no processo de separação.



Fonte: Próprios autores (2020).

3.4 Dosagem

Neste trabalho foi utilizado o traço de 1:1,99:1:0,44 para o concreto normal e para cada grupo de corpos de prova foi calculado e pesado o consumo de brita, sendo substituídas as porcentagens pré-definidas da mesma por RCC.

3.5 Fabricação dos corpos de prova

Para a realização dos ensaios, tomamos como base a NBR 5738 (ABNT, 2015) - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, e em sequência foram moldados 80 corpos de prova no formato cilíndricos com dimensões de 10 cm x 20 cm (diâmetro x altura), Figura 8, divididos em quatro grupos. Cada grupo contendo 20 corpos de prova, sendo que 3 dos grupos tinham a substituição parcial do agregado graúdo por RCC, nas porcentagens de 30%, 50% e 70%, sendo substituídas as porcentagens em massa. Em um dos grupos, não houve a substituição do agregado graúdo por RCC em sua composição, pois este é o concreto convencional usado para comparação. Dos 80 corpos de prova, 40 foram quebrados na vida de 7 dias e 40 foram quebrados na vida de 28 dias, para obter os valores de resistência mínima e máxima. Sendo submetidos aos testes de compressão uniaxial e tração por compressão diametral em ambas as vidas.

Figura 9 – Moldagem dos corpos de prova.



Fonte: Próprios autores (2020).

Os materiais necessários e os moldes foram separados, colocou-se desmoldante vegetal nos moldes, e iniciou-se a mistura dos materiais na betoneira apresentada na Figura 9 (a). Após retirar o concreto da betoneira, realizou-se o ensaio do *Slump Test*, conforme a NBR

NM 67 (ABNT, 1998) - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Em sequência foram moldados os corpos de prova depositando o concreto nas fôrmas previamente untadas até serem preenchidas, sendo adensadas manualmente. A moldagem dos corpos de prova foi realizada conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015) - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

Após 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados, conforme demonstra a Figura 9 (b), e em sequência foram encaminhados para cura úmida (molhada parcialmente) com temperatura ambiente, aguardando os dias designados para a realização dos ensaios.

Figura 9 – a) Betoneira utilizada no processo; b) Corpos de prova desmoldados.

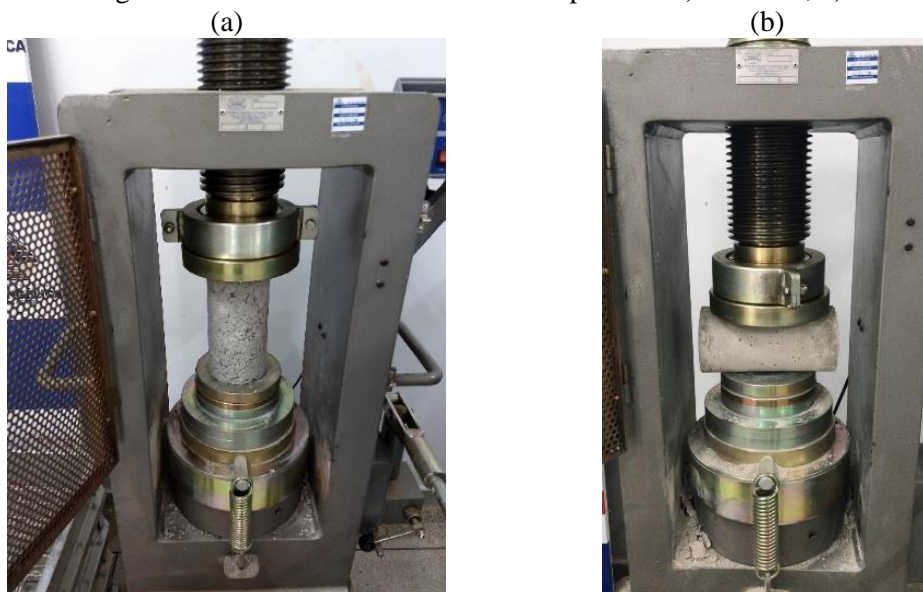


Fonte: Próprios autores (2020).

3.6 Realização dos experimentos

Após o processo de cura, foram realizados os ensaios experimentais: análise da resistência a compressão simples (uniaxial), conforme Figura 10a, seguindo as diretrizes da NBR 5739 (ABNT, 2018) – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos e análise da resistência a compressão diametral, conforme Figura 10b, com base na norma NBR 7222 (ABNT, 2011) - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Os testes foram realizados em uma prensa hidráulica para obtenção de dados necessários para avaliar se é viável a substituição do entulho como agregado graúdo na produção do concreto.

Figura 10 – Ensaio de resistência à compressão: a) Uniaxial; b) Diametral.



Fonte: Próprios autores (2020).

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados das resistências obtidos através dos testes de compressão uniaxial e tração por compressão diametral dos concretos produzidos com o resíduo de construção civil (RCC), e do concreto convencional, estão apresentados na Tabela 1 e na Tabela 2. Nestas, é possível observar os grupos para comparação bem como o valor de resistência obtido para a vida de 7 dias dos corpos de prova.

Tabela 1 – Resultados da resistência à compressão uniaxial na idade de 7 dias.

Grupos	Compressão Uniaxial (MPa) 7 dias	
	Média	Desvio padrão
0%	11,56	0,72
30%	9,00	3,00
50%	8,04	0,22
70%	5,56	1,02

Fonte: Próprios autores (2020).

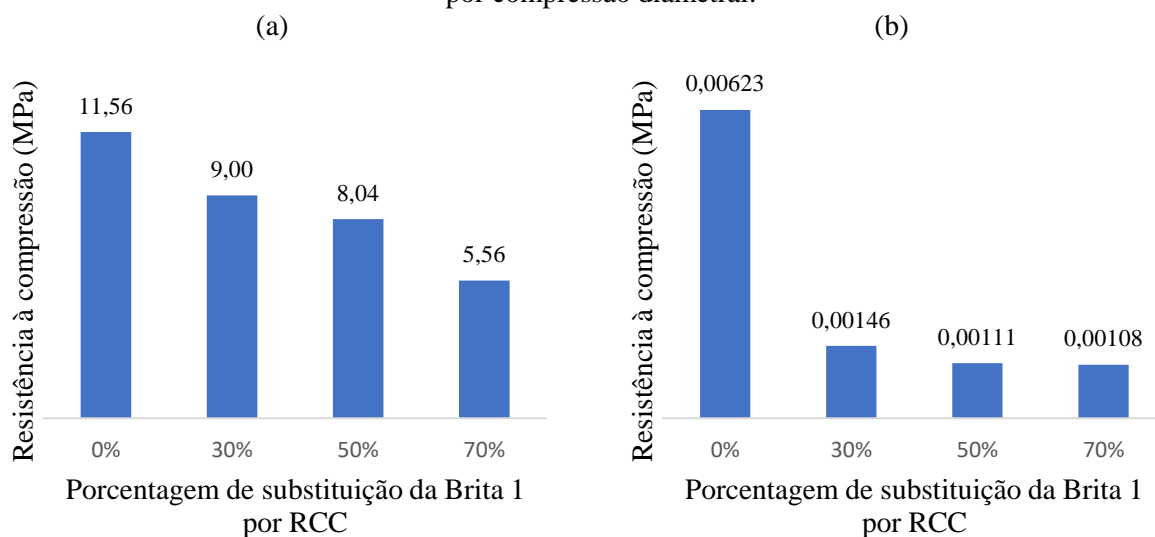
Tabela 2 – Resultados da resistência à tração por compressão diametral na idade de 7 dias.

Grupos	Compressão Diametral (MPa) 7 dias	
	Média	Desvio padrão
0%	0,00623	0,002724
30%	0,00146	0,000170
50%	0,00111	0,000088
70%	0,00108	0,000181

Fonte: Próprios autores (2020).

De modo a permitir uma melhor visualização dos resultados presentes na Tabela 1 e na Tabela 2, foram elaborados o Gráfico 1 (a), que apresenta os resultados da resistência à compressão uniaxial para rompimento aos 7 dias dos corpos de prova, e o Gráfico 1 (b), que apresenta os resultados da resistência à tração por compressão diametral para rompimento nessa mesma idade, os resultados estão em MPa.

Gráfico 1 – a) Rompimento aos 7 dias à compressão uniaxial; b) Rompimento aos 7 dias à tração por compressão diametral.



Fonte: Próprios autores (2020).

Quando se compara as resistências dos concretos no Gráfico 1 (a) e no Gráfico 1 (b), nota-se que nas idades iniciais o concreto de referência já apresenta uma superioridade quanto a resistência à compressão em detrimento dos concretos produzidos com a substituição do agregado graúdo por RCC nas duas análises de compressão. Outro fator importante a ser observado é que houve um decréscimo na resistência à compressão com o aumento da porcentagem de substituição do agregado graúdo pelo RCC, em ambos os casos: uniaxial e diametral, que pode ser observado pelo declínio mostrado nos gráficos. Isso provavelmente se deve ao acréscimo de resíduos nas amostras, uma vez que a diminuição da resistência é característica do material reciclado e por isso, o mesmo deve ser estudado anteriormente ao uso estrutural (LEITE, 2001).

A Tabela 3 e a Tabela 4, por sua vez, apresentam respectivamente os resultados das resistências à compressão uniaxial e tração por compressão diametral obtidas na idade de 28 dias dos corpos de prova. Os resultados, quanto as substituições de 0%, 30%, 50% e 70% de brita 1 por resíduo de construção civil (RCC) – bloco de concreto, estão em MPa. Para cada grupo de corpos de prova é apresentada a média aritmética das resistências.

Tabela 3 – Resultados da resistência à compressão uniaxial na idade de 28 dias.

Grupos	Compressão Uniaxial (MPa) 28 dias	
	Média	Desvio padrão
0%	16,22	1,723253
30%	15,70	0,141421
50%	12,42	1,506519
70%	10,66	1,649970

Fonte: Próprios autores (2020).

Tabela 4 - Resultados da resistência à tração por compressão diametral na idade de 28 dias.

Grupos	Compressão Diametral (MPa)	
	Média	Desvio padrão
0%	0,00608	0,002978
30%	0,00154	0,000030
50%	0,00152	0,000106
70%	0,00125	0,000138

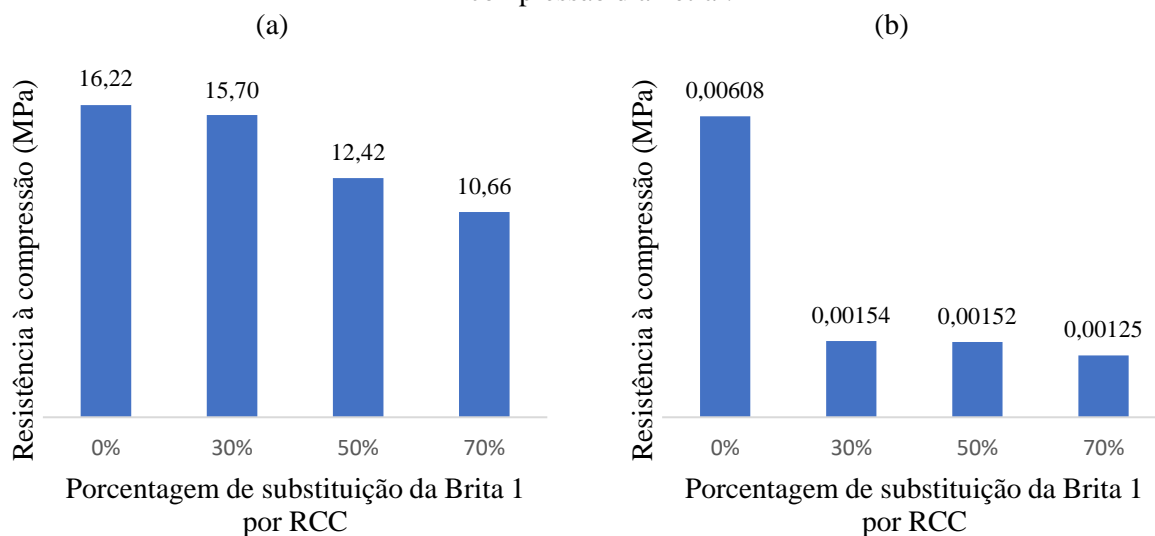
Fonte: Próprios autores (2020).

Os resultados foram ainda expressos na forma de gráficos, onde no Gráfico 2 (a) são apresentados os resultados da resistência à compressão uniaxial para rompimento aos 28 dias dos corpos de prova, e no Gráfico 2 (b), pode-se ver os resultados da resistência à tração por compressão diametral para rompimento nessa mesma idade. Analisando os resultados apresentados na Tabela 3 e na Tabela 4 bem como o Gráfico 2 (a) e o Gráfico 2 (b) observa-se que a amostra de comparação a 0% de substituição possui uma resistência superior nos dois testes de compressão (uniaxial e diametral) em relação as amostras de substituição parcial pelo RCC nas porcentagens de 30%, 50% e 70%. No entanto, o concreto com 30% de substituição apresenta uma resistência próxima a do concreto de referência quanto a compressão uniaxial.

Adotando-se a média da resistência do concreto sem substituição (amostra de 0%) como sendo 100% e analisando as demais com base nesta, nota-se que os corpos de prova com 30% de substituição apresentaram aproximadamente uma resistência 3,21% menor de resistência em relação ao concreto sem substituição, enquanto o concreto com 50% e 70% de substituição obteve aproximadamente uma resistência de 23,43% e 34,28% menor de

resistência, quanto a análise de compressão uniaxial. Por sua vez, a análise à tração por compressão diametral mostra uma diferença ainda maior, onde para as mesmas porcentagens, obteve-se os resultados de 74,67%, 75,00% e 79,28% menor de resistência em relação ao concreto de referência, respectivamente.

Gráfico 2 – a) Análise aos 28 dias à compressão uniaxial; b) Análise aos 28 dias à tração por compressão diametral.



Fonte: Próprios autores (2020).

Um importante aspecto a salientar é que, assim como ocorreu para os resultados na idade de 7 dias, houve um decréscimo na resistência à compressão com o aumento da porcentagem de substituição do agregado graúdo pelo RCC, como pode ser observado no Gráfico 2a e no Gráfico 2b, em ambos os casos: ensaio uniaxial e diametral. Acredita-se que isso ocorreu pelas mesmas razões nas duas idades. Segundo KALAK (2009) existem algumas situações as quais se pode atribuir essa redução na resistência, sendo; o agregado reciclado não desenvolveu uma ligação adequada com a matriz cimentícia; o RCC apresenta uma elevada porosidade, o que ocasiona a diminuição da água na mistura, de modo que para atingir a resistência adequada deve-se aumentar a quantidade de água do traço; o desconhecimento da rugosidade da superfície do material incorporado, uma vez que esse fator pode tornar a mistura impraticável afetando a distribuição da compactação nas camadas de concreto.

No estudo realizado em relação às substituições parciais do agregado graúdo (brita 1) pelo resíduo de construção civil (bloco de concreto), a amostra com 30% de substituição foi a que apresentou melhor resistência para ambas as idades do ensaio, tendo como base de comparação o concreto sem substituições.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados dos experimentos realizados com o concreto produzido a partir da substituição do agregado graúdo por resíduo de construção civil - RCC, permitiram concluir que houve uma redução da resistência a compressão axial e tração por compressão diametral, em função do aumento da porcentagem de substituição, sendo inversamente proporcional, ou seja, quanto maior a substituição, menor a resistência.

Assim, o concreto convencional obteve resistência superior a todos os casos analisados. Tendo por base o levantamento bibliográfico, acredita-se que o entulho usado

como agregado apresentou uma absorção de água superior àquela do agregado tradicional, devido a sua grande porosidade, o que influenciou na relação a/c (água, cimento) no traço do concreto e fez com que o mesmo não atingisse a resistência obtida pelos corpos de prova sem substituições. Outra possibilidade para esse decréscimo de resistência com o aumento da inserção do agregado reciclado, é que este não tenha desenvolvido uma ligação adequada com matriz a cimentícia.

É possível afirmar que a substituição do agregado mais satisfatória nesta pesquisa foi a de 30%, pois esta atingiu um nível de resistência próxima ao concreto sem substituição, quanto ao teste de compressão uniaxial aos 28 dias. Segundo Michelin (1975), elementos sem função estrutural, tais como bocas de lobo, lajotas para pavimentos, murões e peças de concreto utilizadas em drenagem superficial de estradas, como por exemplo sarjetas, necessitam de uma resistência à compressão uniaxial de 11 MPa aos 28 dias, o que torna as porcentagens 30% e 50% de substituição aplicáveis.

A proposta de utilização de um agregado reciclado como componente de novos elementos construtivos, reitera a importância de preservação de recursos naturais e ainda a diminuição da quantidade de lixo acumulada nos rios, encostas, aterros ou no meio urbano.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2015**. 2015.

_____. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

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

_____. **NBR 7222**: Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco do cone. Rio de Janeiro, 1998.

BONFIM, F. S. SELERE, C. R. M. SILVA, D. C. D. **Sustentabilidade e rentabilidade na construção civil**. Marília, 2014.

CONAMA. **RESOLUÇÃO Nº 307, DE 5 DE JULHO DE 2002**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>. Acesso em: 02 Set. 2019.

DANTAS, D. D. GENARI, L. Y. **Estudar e entender o panorama da gestão dos resíduos da construção civil de modo a desenvolver um modelo funcional em Araçatuba**. São Paulo: 2017.

DORSTHORST, B. J. H. HENDRIKS, C. F. **Re-use of construction and demolition waste in the EU**. In: **CIB Symposium: Construction and Environment - theory into practice**. São Paulo: EPUSP, 2000.

GUIMARÃES, J. C. B. et al. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental**. Porto Alegre: 2009.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo: USP, 2000.

- KALAK, F. S. Use of crushed bricks as coarse aggregate in concrete. **Tikrit Journal of Engineering Science** (TJES), v. 16, n. 3, p. 64-69. Sep. 2009.
- LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Porto Alegre: 2001.
- MICHELIN, R. G. **Drenagem superficial e subterrânea de estradas**. 2. ed. Porto Alegre, 1975.
- MEHTA, P. K. MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 573p. São Paulo: PINI, 1994.
- NETO, J. C. M. **Gestão dos resíduos de construção civil no Brasil**. São Carlos, ed. RIMA, 2005.
- NOGUEIRA, G. R. F. **A extração de areia em cursos d'água e seus impactos: proposição de uma matriz de interação**. Juiz de Fora: 2016.
- ORTEGA, S. G. **Sustentabilidade na construção civil: significados, práticas e ideologia**. Londrina: 2014.
- PINHAIS, S. J. **Empresas Transportadoras de Resíduos de Construção Civil**. São José dos Pinhais, 07 abr. 2013. Disponível em: <http://www.sjp.pr.gov.br/secretarias/secretaria-meio-ambiente/servicos/empresas-transportadoras-de-residuos-de-construcao-civil/>. Acesso em: 15 nov. 2019.
- QUEBAUD, M. R. BUYLE-BODIN, F. **A reciclagem de materiais de demolição: utilização dos agregados reciclados no concreto**. Arquivo: 3-01, 14p. São Paulo: ABCP, 1999.
- RODRIGUES, A. C. **Aspectos dos impactos ambientais causados pela construção civil**. Leme: 2017.
- SILVA, A. B. **Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. IGAPÓ: 2009.
- SOUZA, U. E. L. et al. Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva. **Ambiente Construído**, v.4, n° 4, p.33-46, 2004.
- TEODORO. N. F. G. **Contribuição para a sustentabilidade na construção civil: Reciclagem e Reutilização de Materiais**. Lisboa: 2011.
- ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto**. Campinas: 1997.