



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA
 CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DO CONCRETO**

**STUDY THE TECHNICAL FEASIBILITY OF USING CONSTRUCTION WASTE IN THE
 PRODUCTION OF CONCRETE**

**ESTUDIO DE LA VIABILIDAD TÉCNICA DEL USO DE RESÍDUOS DE CONSTRUCCIÓN EN LA
 PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN**

Darci Augusto Moreira¹, Elzelis Muller da Silva², Marcelo Coelho Marques³, Ronilson Rosário Lobo⁴

e4114527

<https://doi.org/10.47820/recima21.v4i11.4527>

PUBLICADO: 11/2023

RESUMO

A consciência ecológica está cada vez presente na sociedade e no setor consumista, imprimindo exigências ao setor industrial que perpassam no baixo impacto antes e após a produção do produto, atualmente há uma grande preocupação da indústria da construção civil no que se refere ao reaproveitamento e reciclagem dos resíduos produzidos. O setor da construção civil tem considerado a possibilidade da incorporação de resíduos sólidos, como substituição dos agregados naturais, para a preparação de concreto não estrutural. Realçando a necessidade de realização de mais estudos nesta vertente, no intuito de obter uma matriz cimentícia de qualidade aceitável pelas normas que regem os elementos estruturais na construção civil. No estudo, foi realizada a coleta de Resíduo de Construção e demolição (RCD) no município de Paragominas-PA, o método da coleta foi o de "casa em casa". No total, foram coletados seiscentos e noventa e três quilos e noventa e seis gramas de RCD, estes foram caracterizados e a substituição utilizada neste trabalho foi de 100% do agregado graúdo, após a confecção do corpo de prova, a matriz cimentícia foi caracterizada, na qual foram determinados índice de vazios e indicador de pH, todos os resultados foram tratados estatisticamente. Os dados obtidos demonstraram que o tamanho médio de brita 2 e 3 se mostrou para o RCD um excelente tamanho para ser utilizada na matriz cimentícia em substituição do agregado graúdo.

PALAVRAS- CHAVE: Reutilização. Porosidade. Resistência

ABSTRACT

Ecological awareness is increasingly present in society and in the consumer sector, imposing requirements on the industrial sector that go through the low impact before and after the production of the product, currently there is a great concern of the construction industry regarding the reuse and recycling of the waste produced. The civil construction sector has considered the possibility of incorporating solid waste, as a substitute for natural aggregates, for the preparation of non-structural concrete. Emphasizing the need to carry out further studies in this area, in order to obtain a cementitious matrix of acceptable quality by the standards that govern structural elements in civil construction. In the study, the collection of Construction and Demolition Waste (CDW) was carried out in the municipality of Paragominas-PA, the collection method was "house to house". In total, six hundred and ninety-three kilograms and ninety-six grams of CDW were collected, these were characterized and the substitution used in this work was 100% of the coarse aggregate, after the preparation of the specimen, the cementitious matrix was characterized, in which the void index and pH indicator were determined, all results were statistically treated. The data obtained showed that the

¹ Graduada em Engenharia Civil e mestre em Engenharia Mecânica (materiais e processos). Universidade do Estado do Pará.

² Graduada em Engenharia Civil e Engenharia Sanitária, mestre em Engenharia Civil e doutora em Engenharia de Recursos Naturais. Universidade do Estado do Pará.

³ Técnico em Agroindústria, graduado em Engenharia Ambiental. Esp. em Gestão Ambiental e Desenvolvimento Sustentável. Universidade do Estado do Pará.

⁴ Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade do Estado do Pará.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DO CONCRETO
Darci Augusto Moreira, Elizelis Muller da Silva, Marcelo Coelho Marques, Ronilson Rosário Lobo

average size of gravel 2 and 3 proved to be an excellent size for the CDW to be used in the cementitious matrix in place of coarse aggregate.

KEYWORDS: *Reuse. Porosity. Resistance.*

RESUMEN

La conciencia ecológica está cada vez más presente en la sociedad y en el sector de consumo, imponiendo exigencias al sector industrial que pasan por el bajo impacto antes y después de la producción del producto, actualmente existe una gran preocupación de la industria de la construcción en cuanto a la reutilización y reciclaje de los residuos producidos. El sector de la construcción civil ha considerado la posibilidad de incorporar residuos sólidos, como sustituto de los agregados naturales, para la preparación de hormigones no estructurales. Enfatizando la necesidad de realizar más estudios en esta área, con el fin de obtener una matriz cementicia de calidad aceptable por las normas que rigen los elementos estructurales en la construcción civil. En el estudio, la recolección de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) se realizó en el municipio de Paragominas-PA, el método de recolección fue "casa por casa". En total, se colectaron seiscientos noventa y tres kilogramos y noventa y seis gramos de RCD, estos fueron caracterizados y la sustitución utilizada en este trabajo fue el 100% del agregado grueso, luego de la preparación de la probeta, se caracterizó la matriz cementicia, en la cual se determinó el índice de vacío y el indicador de pH, todos los resultados fueron tratados estadísticamente. Los datos obtenidos mostraron que el tamaño promedio de las gravas 2 y 3 resultó ser un tamaño excelente para el RCD para ser utilizado en la matriz cementosa en lugar de agregado grueso.

PALABRAS CLAVE: *Reutilización. Porosidad. Resistência.*

1 INTRODUÇÃO

Qualquer processo industrial é gerador de resíduo sólido, e a indústria da construção civil (ICC), apesar de ser uma grande geradora de empregos, também é um dos setores que mais geram resíduos ao longo do seu processo produtivo. A ICC é responsável pelo consumo de matérias-primas não renováveis, consumo consideráveis de energia que engloba a extração e transporte de insumos, produção de considerável volume de gases poluentes, descarte de grande volume de resíduos sólidos durante a construção e demolição, muitas vezes descartados de forma inapropriada em lixões ou em áreas urbanas, impactando negativamente o meio ambiente. Modificando o meio hidrológico e hidro geológicos, tornando, em muitos casos, ambientes dificilmente recuperáveis (Brasileiro *et al.*, 2015; Matos, 2020, Júnior *et al.*, 2019; Scheiferi *et al.*, 2021).

Segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2021), em 2021, no país, foram gerados um total de 47 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD), sendo que aproximadamente 1.812.955 t/ano somente na região Norte do Brasil (Matos, 2020).

Atualmente a consciência ecológica está cada vez mais presente no setor consumista, imprimindo exigências ao setor industrial que perpassam no baixo impacto antes e após a produção, há uma grande preocupação da indústria da construção civil no que se refere ao reaproveitamento e reciclagem, no intuito de reduzir o consumo e geração de resíduos sólidos e matéria-prima e, conseqüentemente, energia. O setor da construção civil pode incorporar grande quantidade de



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DO CONCRETO
Darci Augusto Moreira, Elzelis Muller da Silva, Marcelo Coelho Marques, Ronilson Rosário Lobo

resíduos, como substituição dos agregados naturais para a preparação de concreto (Silva *et al*, 2021).

O RCD já possui aplicação de concretos magros, apresentando boas propriedades de resistência mecânica, com capacidade de suportar solicitações externas sem sofrer deformações (Matos, 2020). Para que a reciclagem do RCD tenha aceitação no mercado como substituição de parte da matéria prima, a aplicação do referido concreto deve apresentar resistência superior a 20MPa, possibilitando o uso do RCD na produção de concreto estrutural. A resistência elevada pode ser alcançada através do controle de suas variáveis, tais como porosidade e diversidade de materiais. Para um controle das variáveis, é necessário fazer utilização de um processo de classificação do RCD no intuito de recuperar materiais com resistência mecânica elevada e porosidade reduzida (Júnior, 2019). Neste sentido, diversos autores verificaram que há uma relação direta entre o percentual de porosidade e a plasticidade do concreto no estado fresco, ao fazer opção para utilização do RCD, na procura de atingir uma plasticidade tecnicamente aceitável, trabalhando com resíduos porosos e o fator água cimento (a/c) na intenção de melhorar a resistência mecânica do concreto pós cura (SILVA *et al.*, 2012), realça a necessidade de realização de mais estudos nesta vertente, no intuito de traçar uma técnica adaptável às regularizações já existente para obtenção do concreto utilizando resíduos da construção civil, possibilitando reduzir o descarte de materiais que podem retornar ao processo construtivo.

2 MÉTODO

Fisiografia do município

O estudo foi desenvolvido no município de Paragominas-PA, localizado a 314 km de Belém a capital do estado, no Norte do Brasil, ocupando uma área territorial de 19.342,254 km² e a população é estimada em 115.838 habitantes (IBGE, 2021).

Área de estudo

Área de estudo foram os 14 (quatorzes) bairros do município de Paragominas (Promissão, Angelim, Célio Miranda, Jardim Atlântico, Tião Mineiro, Uraim e Juparanã). Para obter e caracterizar as amostras, foi realizada a coleta no período de um ano, durante os meses de outubro de 2018 a outubro de 2019.

Para esta fase, o método utilizado foi o de “casa em casa”, na qual as obras foram visitadas e os resíduos separados e pesados utilizando uma balança com sensibilidade de 0,01kg. Ao todo foram coletados 51 (cinquenta e uma) amostras, cujo total em peso foi de aproximadamente seiscentos e noventa e três quilos e noventa e seis gramas (693,96 Kg), as amostras foram classificados *in loco* conforme a NBR 10004 (ABNT, 2004) e as Resoluções do CONAMA nº 307/2002, 348/ 2004, e após a classificação, ocorreu o transporte ao laboratório, para caracterização dos resíduos, bem como a produção das composições de concreto utilizando o RCD coletado,



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DO CONCRETO
Darci Augusto Moreira, Elzelis Muller da Silva, Marcelo Coelho Marques, Ronilson Rosário Lobo

conforme já descrito no trabalho de Souza (2020) e produção dos corpos de prova para realização do ensaio mecânico de resistência à compressão. Após a realização do ensaio, a compressão das partes do corpo de prova foram recolhidas e devidamente catalogadas para a realização dos ensaios de caracterização da matriz cimentícia.

Caracterização da matriz cimentícia.

Determinação do pH

O pH dos corpos de prova foi avaliado qualitativamente pelo método colorimétrico, para atingir tal objetivo, foi utilizada uma solução de fenolftaleína, preparada conforme especificado na norma 1920-12 (ISO, 2015), da solução preparada, foi utilizada 1 g de fenolftaleína dissolvida em 70 ml de álcool etílico e 30 ml de água. A referida porção foi aspergida em toda superfície da amostra, com a finalidade de evitar distorção de resultado, a solução foi aspergida, evitando que houvesse deposição em excesso, salientando que foram realizadas 18 medições da espessura de carbonatação.

Determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica

A determinação da absorção de água e índice de vazios foi realizada utilizando uma adaptação da NBR 9778, inicialmente as amostras foram colocadas em estufa à temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$, e suas massa foram determinadas após ter transcorrido 24h, 48h e 72h após transcorrido este intervalo de tempo, as amostras foram transferidas para um dessecador mantidas à uma temperatura de aproximadamente $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e até que a sua massa se apresentasse constante. Após a certificação da secagem das amostras, 1/3 do volume das amostras foram mantidas imerso em água à temperatura ambiente por 4h, após transcorrido este intervalo de tempo foi imerso 2/3 de seu volume por mais 4h, sendo completamente imerso por 64hs restantes com a finalidade de completar 72h de imersão. Transcorrido o tempo previsto pela norma, as amostras foram secas com toalha absorvente e suas massas foram registradas.

A etapa seguinte consistiu em colocar as amostras em um recipiente cheio d'água a qual foi levada até o ponto de ebulição pelo período de 5h, iniciando depois de 15min e antes de 30min. Após este intervalo de tempo, a água sofreu o resfriamento natural por 14h, até que a água atingisse a temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$, em seguida as amostras foram retiradas da água enxutas e pesadas.

Absorção de água por imersão

Definida pela seguinte expressão

$$(1) \frac{M_{\text{sat}} - M_s}{M_s} \times 100$$

Onde:

M_{sat} = massa do corpo-de-prova saturado



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DO CONCRETO
Darci Augusto Moreira, Elzelis Muller da Silva, Marcelo Coelho Marques, Ronilson Rosário Lobo

M_s = massa do corpo-de-prova seco em estufa

Índice de vazios

Relação entre os volumes de poros permeáveis e o volume total, sendo calculada pela expressão seguinte:

$$(2) \quad \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \times 100$$

Onde:

M_i = massa do corpo-de-prova saturado, imerso em água

Massa específica da amostra seca

Definida pela expressão:

$$(3) \quad \frac{M_s}{M_{sat} - M_i}$$

Massa específica da amostra saturada

Definida pela expressão:

$$(4) \quad \frac{M_{sat}}{M_{sat} - M_i}$$

absorção após imersão em água à temperatura de:

$(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, em porcentagem = $[(B - A)/A] \times 100$;

absorção após imersão e fervura, em porcentagem = $[(C - A)/A] \times 100$;

índice de vazios após saturação em água, em porcentagem = $[(B - A)/(B - D)] \times 100$;

índice de vazios após saturação e fervura, em porcentagem = $[(C - A)/(C - E)] \times 100$;

massa específica da amostra seca = $[A/(C - D)]$;

massa específica da amostra após saturação = $[B/(C - D)]$;

massa específica da amostra após saturação e fervura = $[C/(C - D)]$;

massa específica real = $[A/(A - D)]$.

Onde:

A = massa, em g, da amostra seca em estufa

B = massa, em g, da amostra saturada em água à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ com superfície seca

C = massa, em g, da amostra com superfície seca, após saturação em água à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, e fervura em água em ebulição durante 5 h

D = massa, em g, da amostra, após saturação em água à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$

E = massa, em g, da amostra após saturação em água à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, e fervura em água em ebulição durante 5h.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DO CONCRETO
Darci Augusto Moreira, Elzelis Muller da Silva, Marcelo Coelho Marques, Ronilson Rosário Lobo

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todas as amostras foram ensaiadas quanto à absorção de água, índice de vazios, massa específica e determinação do pH. Em cada tópico foi realizada análise estatística.

Determinação da absorção de água e índice de vazios

A tabela 01 apresenta os resultados do ensaio da absorção de água e índice de vazios, com exceção das amostras brita 3 (RCD de concreto e argamassa) que apresentaram uma variação, as outras amostras se comportaram de forma homogênea. Os valores do índice de vazios são proporcionais aos valores de absorção de água, o que era esperado, visto que há uma relação direta no que se refere à quantidade de vazios existente na matriz estrutural cerâmica, e a quantidade de poros. A absorção de água possui sua variação relacionada à composição dos RCD, sendo que os maiores valores de absorção são apresentados quando ocorrem percentuais elevados de material cerâmico na composição do RCD e menores valores de absorção quando há ocorrência de maiores percentuais de material concreto na composição do RCD.

O que se esperava neste trabalho, era de que as amostras contendo RCD de argamassa apresentassem elevados valores de absorção de água e índice de vazios em relação ao RCD de concreto, os valores encontrados são muito próximos. Contudo, os valores encontrados neste trabalho corroboram com os resultados encontrado por Silva *et al.*, (2021), Ângulo *et al.*, (2005), Furian, 2022. A NBR 6136 estabelece o valor de absorção de água não superior à 10%, todas as composições desta pesquisa cumpriram à referida exigência.

Tabela 01 : Resultados do ensaio de absorção de água e índice de vazios

AMOSTRAS	ABSORÇÃO DE ÁGUA	ÍNDICE DE VAZIOS
Brita 2 concreto	4,966 ± 0,013	52,60 ± 0,104
Brita 3 concreto	6,616 ± 0,007	80,53 ± 0,139
Brita 4 concreto	4,896 ± 0,012	58,95 ± 0,173
Brita 2 argamassa	5,363 ± 0,009	52,50 ± 0,153
Brita 3 argamassa	3,780 ± 0,011	38,11 ± 0,168
Brita 4 argamassa	5,423 ± 0,013	60,01 ± 0,153

Fonte: Autores (2023)

Legenda: RCD brita 2 concreto = rejeito de construção oriundo de demolição de concreto classificado conforme o tamanho da brita nº 2; RCD brita 3 concreto = rejeito de construção oriundo de demolição de concreto classificado conforme o tamanho da brita nº 3; RCD brita 4 concreto = rejeito de construção oriundo de demolição de concreto classificado conforme o tamanho da brita nº 4; RCD brita 2 argamassa = rejeito de construção oriundo de demolição de paredes contendo argamassa e pedaços de tijolos classificado conforme o tamanho da brita nº 2; RCD brita 3 argamassa = rejeito de construção oriundo de demolição de parede contendo argamassa e pedaços de tijolos classificado conforme o tamanho da brita nº 3; RCD brita 4 argamassa = rejeito de construção oriundo de demolição de parede contendo pedaços de tijolos e argamassa classificado conforme o tamanho da brita nº 4.

A tabela 02 apresenta os resultados referentes à análise de variância de absorção de água e a tabela 03 apresenta os resultados para o índice de vazios das amostras, é possível observar que o valor de “F” para ambos os resultados possui o valor menor que “F α ” ou seja, o teste é não



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DO CONCRETO
Darci Augusto Moreira, Elzelis Muller da Silva, Marcelo Coelho Marques, Ronilson Rosário Lobo

significativo, indicando que não há diferença significativa entre os grupos, mesmo sendo os materiais utilizados na substituição do agregado graúdo compostos de diferentes porosidades (RCD de concreto e RCD oriundo de argamassa contendo pedaços de tijolo telha entre outros), aparentemente não influência diretamente nesta propriedade.

Tabela 02: Análise de variância de absorção de água

Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	F α
Entre grupos	262,547	5	4,629		4,68
Dentro dos grupos	23,147	12	21,878	0,211	
Total	285,694	17			

Fonte: Autores (2023)

Tabela 03: Análise de variância de índice de vazio.

Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	F α
Entre grupos	4.008,4064	5	801,681	3,013	3,63
Dentro dos grupos	28.987,160	12	2.415,59		
Total	32995,566	17			

Fonte: Autores (2023)

A tabela 04 apresenta a análise estatística para os valores de absorção de água das amostras, nos resultados é possível observar médias variando entre 3,780 e 6,616 (%), todas as amostras apresentaram elevado valor de variância para as amostras contendo o mesmo tamanho médio de brita, as amostras apresentaram valores próximos com exceção do tamanho médio de brita 3, o RCD contendo concreto apresentou, neste trabalho, valor inferior em relação ao RCD contendo argamassa. Valores semelhantes foram obtidos por Costa (2018).

O desvio padrão de todas as amostras possui valores baixos (valores menores que 10), demonstrando a homogeneidade das amostras, apesar das variações entre a composição e quantidade de porosidade. O volume de poros facilita a permeabilidade da água e íons agressivos que são responsáveis pela deterioração da matriz cimentícia (Trentin *et al.*, 2020).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DO CONCRETO
Darci Augusto Moreira, Elzelis Muller da Silva, Marcelo Coelho Marques, Ronilson Rosário Lobo

Tabela-04 Coeficiente de variação em função da absorção de água dos agregados de RCD

Identificação da amostra (RCD)	RCD – brita 2 – concreto	RCD – brita 3 - concreto	RCD – brita 4 - concreto	RCD – Brita 2- argamassa	RCD – Brita 3 - argamassa	RCD – Brita 4 - argamassa
Média	4,966	6,616	4,896	5,363	3,780	5,423
Erro padrão	0,807	0,510	0,912	0,811	0,877	0,947
Desvio padrão	1,397	0,884	1,580	1,405	1,519	1,641
CV (%)	28,148	13,36	32,283	26,20	40,192	30,270

Fonte: Autores (2023)

Legenda: RCD brita 2 concreto = rejeito de construção oriundo de demolição de concreto classificado conforme o tamanho da brita nº 2; RCD brita 3 concreto = rejeito de construção oriundo de demolição de concreto classificado conforme o tamanho da brita nº 3; RCD brita 4 concreto = rejeito de construção oriundo de demolição de concreto classificado conforme o tamanho da brita nº 4; RCD brita 2 argamassa = rejeito de construção oriundo de demolição de paredes contendo argamassa e pedaços de tijolos classificado conforme o tamanho da brita nº 2; RCD brita 3 argamassa = rejeito de construção oriundo de demolição de parede contendo argamassa e pedaços de tijolos classificado conforme o tamanho da brita nº 3; RCD brita 4 argamassa = rejeito de construção oriundo de demolição de parede contendo pedaços de tijolos e argamassa classificado conforme o tamanho da brita nº 4

A tabela 05 apresenta a análise estatística para os valores de índice de vazios. Nos resultados apresentados abaixo, as médias variando entre 38,11 e 80,53 (%), as amostras referentes aos RCD de concreto referente ao tamanho médios 2 e 4, apresentaram valores próximos, bem como as amostras de RCD de argamassa com tamanho referente à brita 2 e 4, as amostras de RCD de concreto e argamassa referente ao tamanho 3 apresentaram disparidades nos valores, sendo que o RCD de concreto apresentou valores elevados em relação ao RCD de argamassa referente ao mesmo tamanho (brita 3). Os valores dos desvios em relação à média se encontraram entre 10,43 e 17,36 demonstrando que os valores se encontram agrupados próximos da média. Os resultados encontrados neste trabalho apresentaram valores abaixo do encontrado por Scheifer (2021) (28,13%), no entanto na pesquisa de Scheifer (2021) a NBR 6136 não foi atendida podendo ter interferido nos resultados.

Tabela 05 Análise estatística de índice de vazios

Identificação da amostra (RCD)	RCD – brita 2 - concreto	RCD – brita 3 - concreto	RCD – brita 4 - concreto	RCD – Brita 2 - argamassa	RCD – Brita 3 - argamassa	RCD – Brita 4 - argamassa
Média	52,6	80,53	58,95	52,5	38,11	60,01
Erro padrão	6,02	8,87	10,02	8,87	9,73	8,89
Desvio padrão	10,43	13,90	17,36	15,37	16,85	15,39
CV (%)	19,83	17,26	29,46	29,28	44,22	29,27

Fonte: Autores (2023)

Legenda: RCD brita 2 concreto = rejeito de construção oriundo de demolição de concreto classificado conforme o tamanho da brita nº 2; RCD brita 3 concreto = rejeito de construção oriundo de demolição de concreto classificado conforme o tamanho da brita nº 3; RCD brita 4 concreto = rejeito de construção oriundo de demolição de concreto classificado conforme o tamanho da brita nº 4; RCD brita 2 argamassa = rejeito de construção oriundo de demolição de paredes contendo argamassa e pedaços de tijolos classificado conforme o tamanho da brita nº 2; RCD brita 3 argamassa = rejeito de construção oriundo de demolição de parede contendo argamassa e pedaços de tijolos classificado conforme o tamanho da brita nº 3; RCD brita 4 argamassa = rejeito de construção oriundo de demolição de parede contendo pedaços de tijolos e argamassa classificado conforme o tamanho da brita nº 4.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DO CONCRETO
Darci Augusto Moreira, Elzelis Muller da Silva, Marcelo Coelho Marques, Ronilson Rosário Lobo

A tabela 06 apresenta os resultados referentes à análise de variância da massa específica, foi utilizado um nível de significância (α) de 5%, a partir deste valor os desvios são considerados não significantes apresentando um nível de confiabilidade 95%.

Tabela- 06 Análise de variância da massa específica

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	F α
Entre grupos	32,476	5	6,495	0,081	4,68
Dentro dos grupos	958,745	12	79,895		
Total	991,221	17			

Fonte: Autores (2023)

Legenda: RCD brita 2 concreto = rejeito de construção oriundo de demolição de concreto classificado conforme o tamanho da brita nº 2; RCD brita 3 concreto = rejeito de construção oriundo de demolição de concreto classificado conforme o tamanho da brita nº 3; RCD brita 4 concreto = rejeito de construção oriundo de demolição de concreto classificado conforme o tamanho da brita nº 4; RCD brita 2 argamassa = rejeito de construção oriundo de demolição de paredes contendo argamassa e pedaços de tijolos classificado conforme o tamanho da brita nº 2; RCD brita 3 argamassa = rejeito de construção oriundo de demolição de parede contendo argamassa e pedaços de tijolos classificado conforme o tamanho da brita nº 3; RCD brita 4

A tabela 07 apresenta os resultados estatísticos da massa específica, as médias apresentam valores próximos no intervalo entre 9,6% e 12,2%, os valores do erro padrão indicam que os valores estão próximo da média bem como o valor do desvio padrão, ao observar os valores da variância observa-se que as amostras RCD de concreto tamanho referente à brita 2, 4 e RCD de argamassa referente ao tamanho de brita 4 possuem valores próximos, bem como o RCD de concreto tamanho referente à brita 3 e RCD de argamassa tamanho referente à brita 2, apresentando valor discrepante o RCD de argamassa tamanho referente à brita 3.

Tabela - 07 Análise estatística da massa específica

Identificação da amostra (RCD)	RCD – brita 2 - concreto	RCD – brita 3 - concreto	RCD – brita 4 - concreto	RCD – brita 2 - argamassa	RCD – Brita 3 - argamassa	RCD – Brita 4 - argamassa
Média	10,733	12,211	11,933	9,623	9,476	11,040
Erro padrão	0,434	1,147	0,388	0,923	1,429	0,329
Desvio padrão	0,752	1,987	0,672	1,600	2,476	0,570
CV (%)	7,015	16,27	5,634	16,630	26,130	5,170

Fonte: Autores (2023)

Legenda: RCD brita 2 concreto = rejeito de construção oriundo de demolição de concreto classificado conforme o tamanho da brita nº 2; RCD brita 3 concreto = rejeito de construção oriundo de demolição de concreto classificado conforme o tamanho da brita nº 3; RCD brita 4 concreto = rejeito de construção oriundo de demolição de concreto classificado conforme o tamanho da brita nº 4; RCD brita 2 argamassa = rejeito de construção oriundo de demolição de paredes contendo argamassa e pedaços de tijolos classificado conforme o tamanho da brita nº 2; RCD brita 3 argamassa = rejeito de construção oriundo de demolição de parede contendo argamassa e pedaços de tijolos classificado conforme o tamanho da brita nº 3; RCD brita 4

Determinação do pH

A tabela 08 apresenta os resultados referentes à análise de variância do pH, nos resultados é possível observar que o valor de “F” possui o valor menor que “F α ”, indicando que não há diferença significativa entre os grupos.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DO CONCRETO
Darci Augusto Moreira, Elzelis Muller da Silva, Marcelo Coelho Marques, Ronilson Rosário Lobo

Tabela – 08 Análise de variância de pH

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	F α
Entre grupos	14,990	5	0,555	0,444	4,68
Dentro dos grupos	2,778	12	1,249		
Total	17,768	17			

Fonte: Autores (2023)

Legenda: RCD brita 2 concreto = rejeito de construção oriundo de demolição de concreto classificado conforme o tamanho da brita nº 2; RCD brita 3 concreto = rejeito de construção oriundo de demolição de concreto classificado conforme o tamanho da brita nº 3; RCD brita 4 concreto = rejeito de construção oriundo de demolição de concreto classificado conforme o tamanho da brita nº 4; RCD brita 2 argamassa = rejeito de construção oriundo de demolição de paredes contendo argamassa e pedaços de tijolos classificado conforme o tamanho da brita nº 2; RCD brita 3 argamassa = rejeito de construção oriundo de demolição de parede contendo argamassa e pedaços de tijolos classificado conforme o tamanho da brita nº 3; RCD brita 4 argamassa = rejeito de construção oriundo de demolição de parede contendo pedaços de tijolos e argamassa classificado conforme o tamanho da brita nº 4.

Os resultados apresentados na tabela 09 apresentam variações das médias entre valores de 0,6 e 2,0, as amostras confeccionadas com RCD oriundo de concreto para o tamanho de referência brita número três, apresentou um valor dispare em relação às outras amostras, as amostras confeccionadas com RCD oriundo de concreto para o tamanho de referência brita número três apresentaram um elevado volume de porosidade justificando a facilidade de penetração de fluidos podendo interferir nos resultados. O método calorimétrico utilizado neste trabalho apresenta um limite de zona de viragem próxima a 9,8, valores superiores deixam a superfície do material com uma cor rosa carmim, neste trabalho o indicador de pH na superfície de algumas amostras revelou uma coloração breve rosa carmim, principalmente na amostra correspondente ao corpo de prova oriundo do RCD de concreto de tamanho de referência brita três, a referida amostra apresentou valor elevado (2,048) em relação às outras amostras, mas este valor pode ser considerado baixo em relação ao limite de zona de viragem (9,8), nas outras amostras que apresentaram valores médios baixos, entre (0,6 e 1,4) não houve considerável modificação na coloração delas, conforme é apresentado na figura 03 as área nas fotos estão demarcadas por uma forma circular. Os resultados encontrados por Cordeiro (2018) apresentaram valores superiores a 12,5 muito acima dos valores encontrados neste trabalho, provavelmente as amostras deste trabalho se encontravam com teor elevado de CO₂ ou o fato dos reagentes estarem vencidos, talvez justifique de certa forma seus percentuais reduzidos em relação à zona de viragem.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DO CONCRETO
Darci Augusto Moreira, Elizelis Muller da Silva, Marcelo Coelho Marques, Ronilson Rosário Lobo

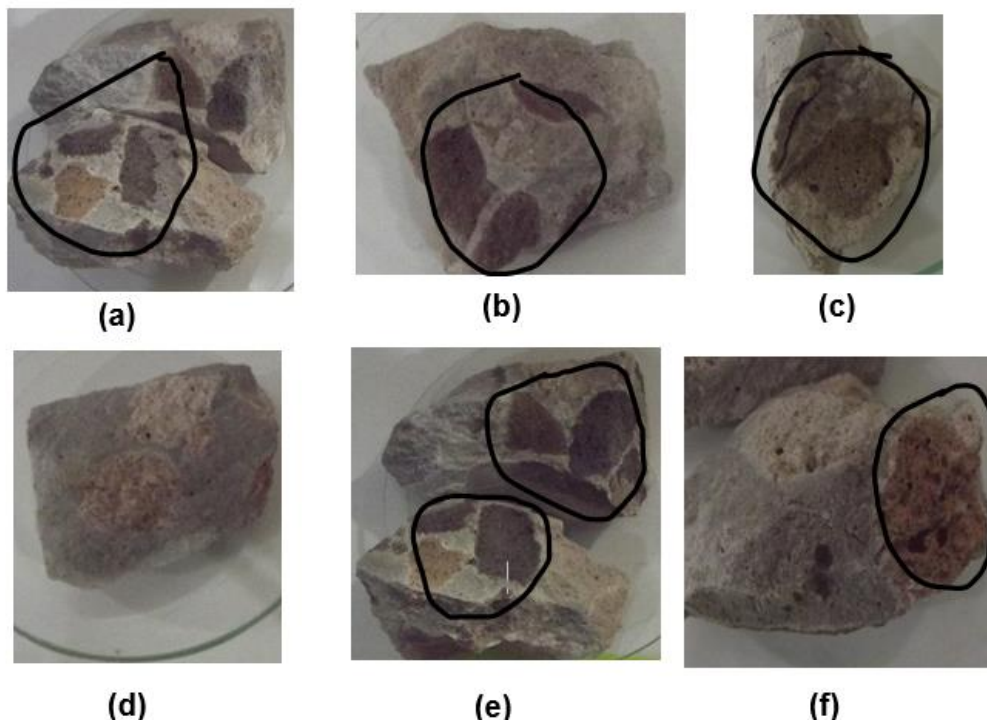
Tabela- 09 Análise estatística do indicador de pH

Identificação da amostra (RCD)	RCD brita 2 - concreto	RCD brita 3 - concreto	RCD brita 4 - concreto	RCD brita 2 - argamassa	RCD brita 3 - argamassa	RCD brita 4 - argamassa
Média	0,807	2,048	1,050	0,648	1,116	1,431
Erro padrão	0,081	0,431	0,160	0,137	0,380	0,314
Desvio padrão	0,141	0,747	0,278	0,238	0,658	0,545
CV (%)	17,56	67,010	26,477	36,820	32,167	38,061

Fonte: Autores (2023)

Legenda: RCD brita 2 concreto = rejeito de construção oriundo de demolição de concreto classificado conforme o tamanho da brita nº 2; RCD brita 3 concreto = rejeito de construção oriundo de demolição de concreto classificado conforme o tamanho da brita nº 3; RCD brita 4 concreto = rejeito de construção oriundo de demolição de concreto classificado conforme o tamanho da brita nº 4; RCD brita 2 argamassa = rejeito de construção oriundo de demolição de paredes contendo argamassa e pedaços de tijolos classificado conforme o tamanho da brita nº 2; RCD brita 3 argamassa = rejeito de construção oriundo de demolição de parede contendo argamassa e pedaços de tijolos classificado conforme o tamanho da brita nº 3; RCD brita 4 argamassa = rejeito de construção oriundo de demolição de parede contendo pedaços de tijolos e argamassa classificado conforme o tamanho da brita nº 4

Figura 01: Imagem da coloração da superfície das amostras na sequência temos amostra com RCD oriundo de concreto do tamanho de referência (a) brita 2, (b) brita 3, (c) brita 4, amostra com RCD oriundo de argamassa do tamanho de referência (d), brita 2 (e) brita 3 e (f) brita 4.



Fonte: Autores (2023).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DO CONCRETO
Darci Augusto Moreira, Elzelis Muller da Silva, Marcelo Coelho Marques, Ronilson Rosário Lobo

Tabela – 10 Valores de índice de vazios, massa específica e resistência à compressão

Identificação das amostras (RCD)	índice de vazios (%)	Massa específica	❖ Resistência à compressão (MPa)
RCD – brita 2 - concreto	52,6	10,73	13,18
RCD – brita 3 - concreto	89,53	12,11	12,69
RCD – brita 4 - concreto	58,95	11,93	13,04
RCD – brita 2 - argamassa	52,50	9,62	12,87
RCD – brita 3 - argamassa	38,11	9,47	15,77
RCD – brita 4 - argamassa	60,01	11,04	06,60

- ❖ Os valores referentes à resistência à compressão, foram obtidos do trabalho de Souza *et al.*, 2020.
Fonte: Autores (2023).

Legenda: RCD brita 2 concreto = rejeito de construção oriundo de demolição de concreto classificado conforme o tamanho da brita nº 2; RCD brita 3 concreto = rejeito de construção oriundo de demolição de concreto classificado conforme o tamanho da brita nº 3; RCD brita 4 concreto = rejeito de construção oriundo de demolição de concreto classificado conforme o tamanho da brita nº 4; RCD brita 2 argamassa = rejeito de construção oriundo de demolição de paredes contendo argamassa e pedaços de tijolos classificado conforme o tamanho da brita nº 2; RCD brita 3 argamassa = rejeito de construção oriundo de demolição de parede contendo argamassa e pedaços de tijolos classificado conforme o tamanho da brita nº 3; RCD brita 4 argamassa = rejeito de construção oriundo de demolição de parede contendo pedaços de tijolos e argamassa classificado conforme o tamanho da brita nº 4.

4 CONCLUSÃO

A reutilização de RCD como substituição de agregado graúdo, utilizado neste trabalho, apontou para uma provável solução no que se refere à obtenção de matriz cimentícia com resistência mecânica aceitável para substituição em alguns elementos estruturais que não são exigidos elevados carregamentos. Neste trabalho ficou realçado que há uma relação com a quantidade de poros e resistência mecânica, logo, controlando a porosidade, provavelmente possibilite alcançar uma resistência mecânica próxima à exigida pela norma. Este controle pode ser feito trabalhando com a relação de água e cimento acrescida na matriz cimentícia. O tamanho médio de brita 2 e 3 se mostrou, para o RCD, um excelente tamanho para ser utilizada na matriz cimentícia em substituição do agregado graúdo.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DO CONCRETO
Darci Augusto Moreira, Elzelis Muller da Silva, Marcelo Coelho Marques, Ronilson Rosário Lobo

ABNT – ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa de concreto endurecido – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ÂNGULO, Sérgio Cirelli. **Caracterização de agregado de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico de concretos**. 2005. 167f. Tese (Doutorado) - Escola politécnica de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 307 de 5 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2002 p. 95-96. Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm. Acesso em: 29 fev. 2022.

CORDEIRO, Priscilla Coelho. **Estudo do avanço da frente de carbonatação em compósitos cimentícios produzidos com baixos teores de aditivos incorporadores de ar**. 2018. 137f. Tese (Dissertação) - Universidade Federal de Minas Gerais Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2018.

COSTA, José Yter Alcantara, **Agregado reciclado de resíduos de construção e demolição: variabilidade e influência no comportamento mecânico do concreto**. 2018. 171f. Tese (Dissertação) Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, 2018.

DUTRA, Carrinne; MOREIRA, Damião Santos; AGUIAR, Eduardo Albuquerque. **O efeito do índice de vazios e do coeficiente de permeabilidade nas propriedades mecânicas de concretos permeáveis**. 2021. Trabalho de conclusão de curso (bacharel em engenharia civil) - Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, 2021.

EUROPEAN STANDARD - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 14630**: Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Test methods - Determination of carbonation depth in hardened concrete by the phenolphthalein method. [S. l.]: European Standard, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades estimativa da população**. Brasília: IBGE, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/paragominas/panorama>. Acesso em: 20 set. 2022.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO 1920-12**: Testing of concrete — Determination of the carbonation resistance of concrete — Accelerated carbonation method. [S. l.]: ISO, 2015.

NORDTEST METHOD. **NT BUILD 492**: Concrete, mortar and cement-based repair materials: chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments. [S. l.]: NT, 1999.

SCHEIFER, Danielle Melo; CALLEJAS, Ivan Julio Apolonio. Caracterização física e mecânica de blocos de concreto com incorporação de areia de resíduo de construção civil. **Revista matéria**, v. 26, p. 15, 2021. ISSN 1517-7076.

SOUZA, Luana Lima; LOBO, Ronilson Rosário; MOREIRA, Darci; BRITO, Rodolfo Pereira. **Estudo da viabilidade técnica de reutilização dos rejeitos da construção civil e reforma**. 2020. Trabalho de conclusão do curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade do Estado do Pará, Belém, 2020.

TRENTIN, Priscila Ongaratto, MANICA, Jocasta; VANZETTO, Suelen Cristina; MARANGONI, Bruno; ZALESKI, Alessandra. Substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de vidro moído na produção de argamassa. **Revista matéria**, v. 25, p. 14, 2020. ISSN 1517-7076.