

Análise da Utilização de Concretos com Agregados Reciclados

Letícia Santana Borges¹, Fernanda Pattielly Silva de Almeida², Fausto Arantes Lobo³

Resumo

Este trabalho tem a finalidade de analisar e comparar a utilização de concretos com resíduos de construção e demolição (RCD), avaliando as propriedades mecânicas, provando ser viável tal substituição. Este reaproveitamento visa à sustentabilidade aplicada à construção civil, colaborando tanto para a qualidade de vida dos cidadãos, quanto para a preservação da natureza e diminuição da extração dos recursos naturais, estimulando a população a pensar no descarte destes materiais. Foram produzidos quatro traços com valores distintos de substituição de agregado natural pelo RCD. Os concretos com agregados reciclados obtiveram diferentes resultados de ensaio à compressão, os concretos com 20%, 40% e 100% de RCD apresentaram 19,49 MPa, 25,52 MPa e 28,17 Mpa respectivamente. O concreto com 20% de RCD mostrou estar apto para a execução de obras provisórias e calçadas. O concreto com 40% de RCD se mostrou mais apropriado que o de 100% de RCD devido sua menor absorção de água, mostrando que são utilizados para diversas aplicações na construção civil.

Palavras-chave: Sustentabilidade. RCD. Concreto.

1. Introdução

O aumento na geração dos resíduos de construção e demolição (RCD) adveio com o desenvolvimento e crescimento do mercado da construção civil. Com isso, surgiu a necessidade de estudos para reaproveitá-los, visto que, quando mal gerenciada essa produção de resíduos causará grandes impactos ambientais, afetando a qualidade de vida urbana (PINTO, 1999).

De acordo com dados do Globo Ciência (2012), a construção civil é responsável por consumir 40% a 75% da matéria-prima produzida no planeta e, também, por produzir cerca de 500 kg/hab de entulhos. Entretanto, o consumo de agregados naturais tem crescido devido

¹ leticiasantana.eng@gmail.com, Acadêmica de Engenharia Civil, UniRV – Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil, Campus Rio Verde, Fazenda Fontes do Saber, Caixa Postal 104. CEP: 75. 901-970 - Rio Verde - GO.

² fernanda_grupoacrefort@hotmail.com, Acadêmica de Engenharia Civil, UniRV – Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil, Campus Rio Verde, Fazenda Fontes do Saber, Caixa Postal 104. CEP: 75. 901-970 - Rio Verde - GO.

³ faustoalobo@gmail.com, Professor Adjunto, Mestre, UniRV – Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil, Campus Rio Verde, Fazenda Fontes do Saber, Caixa Postal 104. CEP: 75. 901-970 - Rio Verde - GO.

ao aumento da produção do concreto e sua aplicação. Sabendo que tais recursos naturais são limitados, surge a necessidade de mudanças no modelo de desenvolvimento, para que se torne viável a preservação das jazidas destes materiais. Com isso, fomenta a iniciação de pesquisas voltadas para a busca por materiais alternativos.

De acordo com os dados da Anepac (2012), a evolução do consumo de agregados graúdos quanto miúdos vem crescendo cada vez mais nos últimos anos e apresenta uma perspectiva para os próximos anos, estimando um consumo de 1,12 bilhão de toneladas em 2022 no Brasil.

Em 2017 foram coletados no Brasil cerca de 45 milhões de toneladas de RCD. Como alternativa para amenizar o consumo de agregados naturais, houve a reciclagem dos resíduos, que segundo dados levantados pela ABRELPE (2018) 13.574 ton/dia de RCD foram retiradas das cidades da região centro-oeste.

Para amenizar os problemas ambientais foi criada uma das principais medidas efetivas em termos legais, a Resolução nº 448 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de 2012, na qual foram definidas as responsabilidades, mostrando em que os geradores devem reduzir, reutilizar, tratar e dispor o RCD.

A utilização dos agregados reciclados foi feita pela primeira vez na Alemanha, devido a necessidade de reconstruir as cidades que foram destruídas pela 2ª Guerra Mundial (LEVY, 2001). A reutilização gerou impactos tão positivos, que fez com que a Europa recebesse o título de continente precursor da reciclagem de RCD. Muitos métodos para a aplicação do RCD foram utilizados, tanto que na Alemanha existem milhares de empresas móveis e usinas fixas de reciclagem (ÂNGULO e FIGUEIREDO, 2011).

O RCD é utilizado como substituição dos agregados graúdos e miúdos e apresenta a vantagem de reduzir a exploração das jazidas naturais, o que minimiza os impactos ambientais.

Conforme Amario (2013), as mudanças da composição do concreto são contínuas, o que tem gerado formas mais viáveis, para a produção, entretanto, concretos com agregados reciclados apresentam menor trabalhabilidade em vista do concreto com agregados convencionais, pois possuem maior porosidade, ocasionando maior absorção de água e, conseqüentemente, a diminuição da relação água/cimento (a/c).

Lovato (2007), afirma que essa ação é revertida utilizando uma maior quantidade de água, de forma a aumentar a relação a/c para que o concreto possa atingir a mesma trabalhabilidade, que o convencional, porém, tal alteração, ocasionará uma redução na resistência à compressão do concreto.

Em função da necessidade de obtenção de concretos com agregados reciclados mais duráveis e resistentes, foram conduzidos estudos mais aprofundados, sobre as propriedades dos agregados, que além de terem um papel econômico na composição do concreto, podem influenciar em suas propriedades físicas, mecânicas e em sua durabilidade (LEITE, 2001). Segundo a NBR 12655 (ABNT, 2015), só podem ser adicionados agregados reciclados em quantidades superiores a 5% quando forem caracterizados e separados nas diferentes frações.

Este trabalho tem o objetivo de verificar a influência da substituição dos agregados naturais pelos agregados reciclados. Mais especificamente, procurou-se comparar diferentes valores de substituição de RCD, através da avaliação de propriedades mecânicas no estado endurecido e também verificar qual será a influência nas propriedades do concreto, no estado fresco.

Objetivo específico:

Serão realizados os seguintes ensaios:

- Determinação de finura e superfície específica;
- Determinação de massa unitária e específica;
- Determinação da composição granulométrica;
- Determinação de absorção;
- Slump test;
- Resistência à compressão diametral e
- Resistência à tração por compressão diametral.

2. Material e métodos

Os materiais usados, estão apresentados a seguir.

O cimento utilizado na pesquisa foi o CPV-ARI, cujas especificações são dadas pela NBR 16697 (ABNT, 2018). Os ensaios executados para obter as características de determinação de espessura foram através da NBR 11579 (ABNT, 2013) pela peneira 75 μm , e o ensaio de determinação de massa específica foi realizado com base na NBR 16605 (ABNT, 2017). A Tabela 1 apresenta os dados obtidos nestes ensaios.

Tabela 1 – Caracterização CPV-ARI

Especificações	Resíduo na peneira 75 μm (%)	Massa específica (g/cm^3)
Com ou sem função estrutural	5,4	3,08

Fonte: Próprio autor (2019).

A areia utilizada foi areia fina, que atende os requisitos das especificações da norma NBR 7214 (ABNT, 2015). Foram realizados os ensaios de massa unitária de acordo, com a NBR NM 45 (ABNT, 2006) e específica com a NBR NM 52 (ABNT, 2009). A Tabela 2 apresenta os dados obtidos neste ensaio.

Tabela 2 – Massa específica e unitária da areia

Ensaio	Areia fina (g/cm ³)
Massa Específica	2,61
Massa Unitária	1,56

Fonte: Próprio autor (2019).

A composição granulométrica é dada pelas especificações segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009), em que foram realizados ensaios de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003) para a determinação da granulometria dos agregados miúdos, com peneiras definidas pela NBR ISO 3310-1 (ABNT, 2010). A Tabela 3 e Figura 2 apresentam os dados obtidos neste ensaio.

Tabela 3 – Composição Granulométrica

Ensaio	Areia fina
Módulo de Finura	2,43
DMC	9,5 mm

Fonte: Próprio autor (2019).

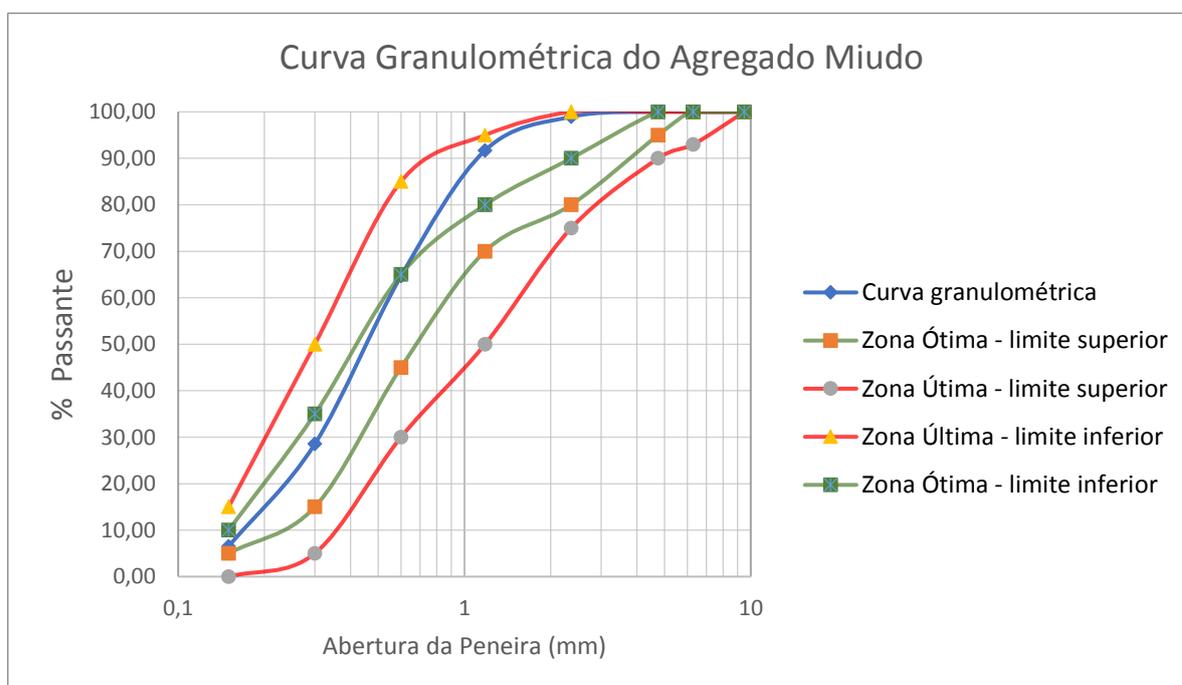


Figura 2 – Curva granulométrica da areia fina.

Fonte: Próprio Autor (2019).

Para a substituição da brita, foram produzidos agregados graúdos de RCD utilizando os corpos de prova provenientes do laboratório de materiais da engenharia civil da UNIRV. Para sua produção foi utilizado o triturador e os ensaios sobre granulometria foram realizados de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009) e a granulometria utilizada foi determinada através dos ensaios da NBR NM 248 (ABNT, 2003). A Figura 3 apresenta os resultados obtidos nestes ensaios.

Foram realizados os ensaios de massa unitária de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006), massa específica e absorção de água de acordo com a NBR NM 53 (ABNT, 2009). As Tabelas 4 e 5 apresentam os dados obtidos nestes ensaios.

Tabela 4 – Absorção de água

Ensaio	Agregado Graúdo Natural (%)	RCD (%)
Absorção de água	1,49	5,10

Fonte: Próprio autor (2019).

Tabela 5 – Massa específica e unitária

Ensaio	Agregado Graúdo Natural (g/cm ³)	RCD (g/cm ³)
Massa Específica	2,89	2,32
Massa Unitária	1,59	0,60

Fonte: Próprio autor (2019).

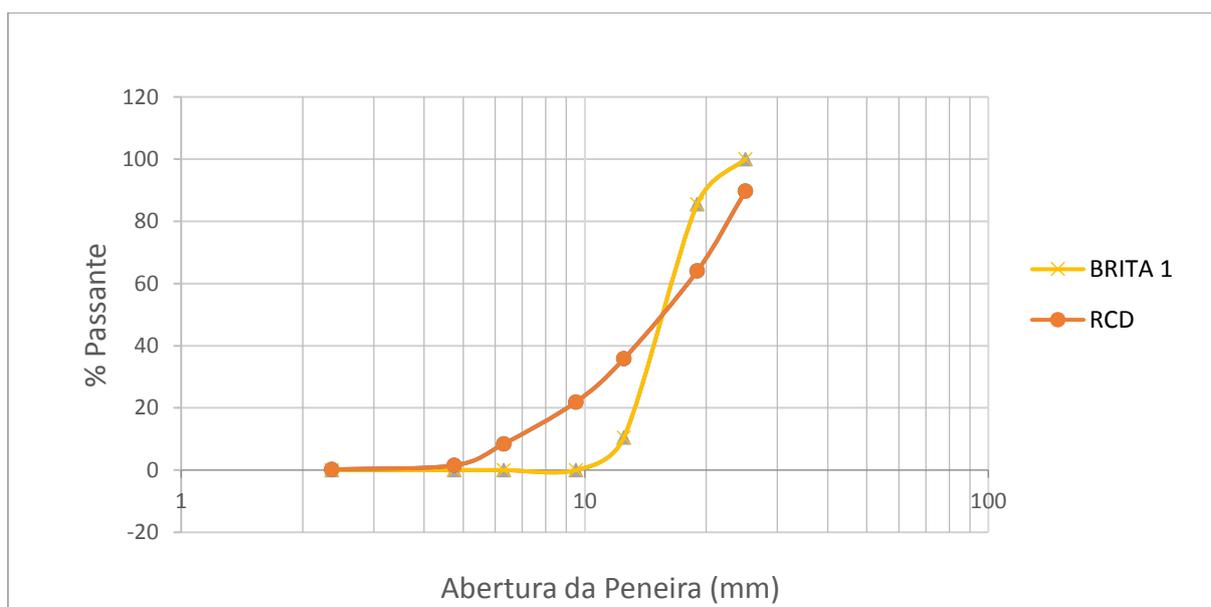


Figura 3 – Curva granulométrica da brita 1 e RCD.

Fonte: Próprio Autor (2019).

Foram dosados e ensaiados quatro tipos de concretos, com diferentes quantidades de substituição do agregado graúdo, conforme mostrado a seguir na Tabela 6.

C.R – Concreto Referência;

C.RCD – Concreto com RCD;

Tabela 6 – Concretos

Concreto	% Agregado Graúdo	%RCD
C.R	100	0
C.RCD I	80	20
C.RCD II	60	40
C.RCD III	0	100

Fonte: Próprio autor (2019).

O traço utilizado foi calculado pelo método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) para o traço de referência, sendo 1: 1,75: 2,59, 0,47 e 31,5 de aditivo, mantendo este padrão até o C.RCD II, pois no C.RCD III houve a necessidade de aumentar a relação a/c, devido este não ter atingido uma boa trabalhabilidade. A tabela 7 apresenta o consumo de materiais, nos traços utilizados.

Tabela 7 – Consumo de materiais

Material	Unidade	C.R	C.RCD I	C.RCD II	C.RCD III
Cimento	Kg	9,45	9,45	9,45	9,45
Areia	Kg	16,58	16,58	16,58	16,58
Brita	Kg	24,53	19,62	14,71	0
Água	L	4,44	4,44	4,44	5,20
Relação a/c		0,47	0,47	0,47	0,55
RCD	Kg	0	4,90	9,81	24,53
Aditivo	g	31,5	31,5	31,5	31,5

Fonte: Próprio autor (2019).

Diante da caracterização dos agregados, todos os concretos foram produzidos em uma betoneira de 400L. Após a produção foi realizado o slump test de acordo com a norma NBR NM 67 (ABNT, 1998), para determinar a consistência dos concretos. Em seguida os corpos de prova cilíndricos foram moldados, para a realização dos ensaios de compressão e módulo de elasticidade, e após um período de 24 horas da moldagem, os CPs foram levados para um tanque, em que os C.R, C.RCD I, C.RCD II ficaram submersos, por 28 dias, até a data dos ensaios e o C.RCD III ficou submerso por 7 dias, e após a obtenção dos resultados dos ensaios, foi estimada a sua resistência, aos 28 dias, através do cálculo do F_{cj} , utilizando a faixa de crescimento informada pelo fabricante.

Foram moldados corpos de prova cilíndricos $\Phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$, de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015), realizar o ensaio de compressão, tração por compressão diametral e módulo de elasticidade.

3. Resultados

A tabela 8 apresenta as diferenças de abatimento das misturas e suas respectivas relações a/c para a obtenção de uma consistência na faixa de 90 ± 10 mm. As diferenças ocorrem devido a porosidade dos agregados reciclados, pois os concretos com RCD tendem a absorver uma maior quantidade de água. É importante lembrar que somente parte da água consumida estará disponível para as reações de hidratação do cimento, pois parte ficará retida temporariamente, nos poros dos agregados reciclados.

Os C.R, C.RCD I, C.RCD II apresentam a mesma relação a/c , porém, durante a produção do C.RCD III, houve a necessidade de aumentar esta relação, pois este não atingiu a mesma trabalhabilidade. É importante ressaltar que os concretos C.RCD I, II, III mostraram uma ótima distribuição dos agregados, por toda a sua matriz, mas houve certa dificuldade, na moldagem, devido a sua trabalhabilidade inferior.

Tabela 8 – Abatimento das misturas

Concreto	Abatimento (cm)	Relação a/c
C.R	10,0	0,47
C.RCD I	8,5	0,47
C.RCD II	10,0	0,47
C.RCD III	5,0	0,55

Fonte: Próprio autor (2019).

Na Figura 4 estão apresentados os resultados do ensaio de compressão. O Concreto Referência, e os concretos com 20% e 40% de RCD foram rompidos com 28 dias, o concreto com 100% de RCD foi rompido com 7 dias, e sua resistência aos 28 dias foi estimada através do cálculo do F_{cj} , utilizando a faixa de crescimento informada pelo fabricante. É possível observar uma maior resistência do concreto com agregados naturais. Porém, de maneira que o RCD foi acrescentado, houve o aumento da sua resistência. Tal comportamento pode ter ocorrido, devido ao fato de o RCD utilizado ser composto, por corpos de provas triturados, não contendo uma variedade em sua composição, quanto a variedade dos resíduos de construção e demolição.

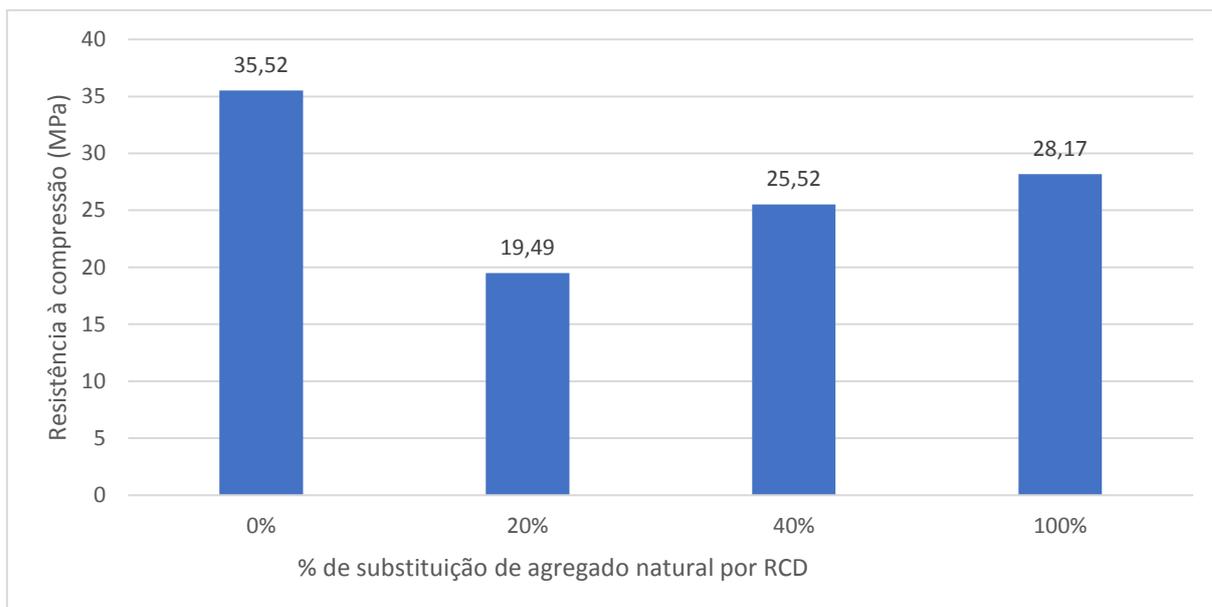


Figura 4 – Resistência à compressão.
Fonte: Próprio Autor (2019).

Estão representados na Figura 5 os resultados do ensaio de compressão diametral. Os corpos-de-prova de concreto com agregados naturais e reciclados apresentaram uma pequena diferença, entre os valores de resistência, o que indica que o agregado reciclado não causou influência, na resistência à tração do concreto.

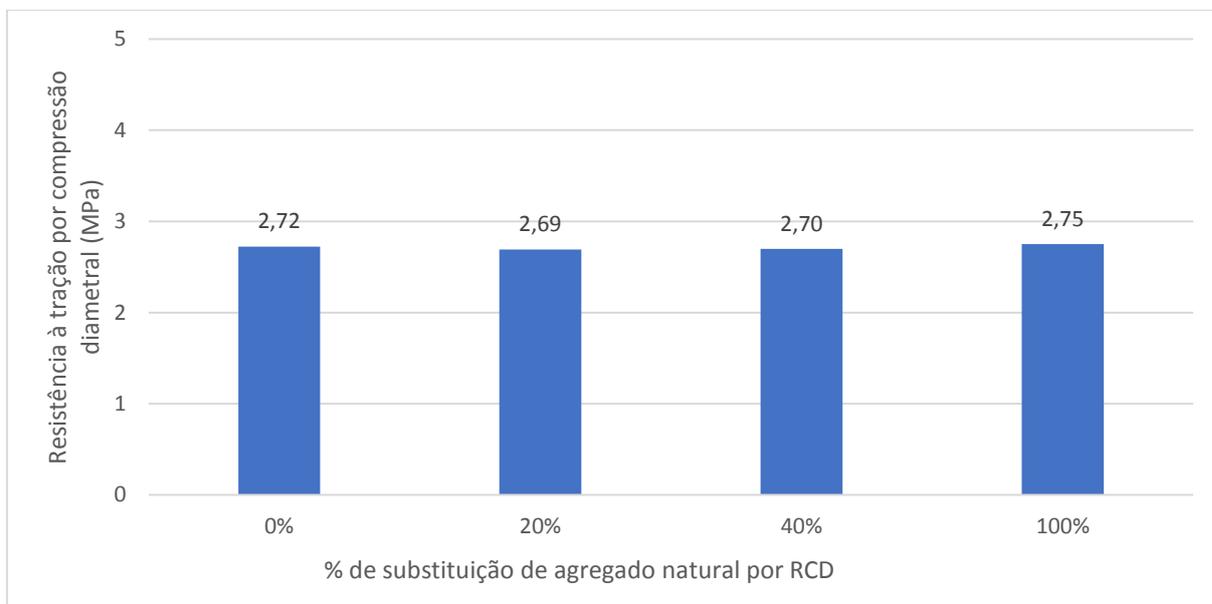


Figura 5 – Resistência à tração por compressão diametral.
Fonte: Próprio Autor (2019).

A Figura 6 mostra os resultados do ensaio de absorção de água, que foi realizado na idade de 28 dias. Através dos resultados encontrados em análise, obtêm-se melhores resultados, nos concretos C.R C.RCD I e C.RCD II, já o C.RCD III apesar de ter tido um aumento de relação a/c, este obteve uma maior absorção de água, o que é justificável, pelo fato de o agregado reciclado ser mais poroso.

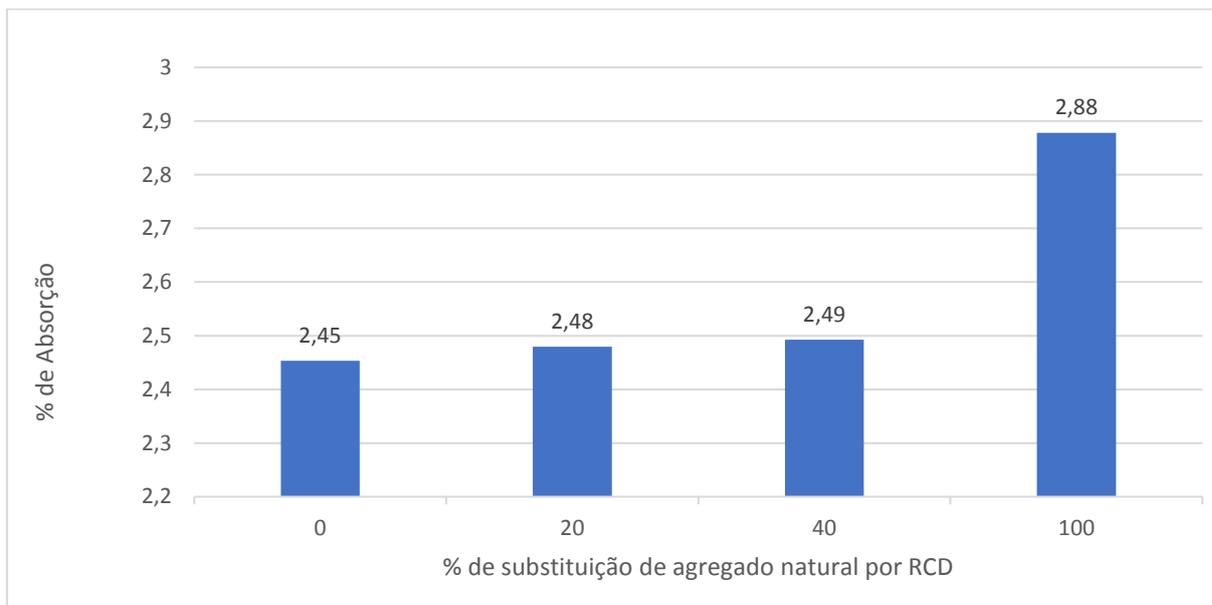


Figura 6 – Absorção de água.
Fonte: Próprio Autor (2019).

Após analisar suas propriedades no estado fresco quanto endurecido, foi possível notar, que os concretos, com RCD serão utilizados dentro da construção civil.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014) ao analisar o aspecto de resistência, o C.RCD I é classificado como C15 por apresentar um F_c de 19,49 MPa, podendo então ser utilizado na execução de obras provisórias, e calçadas, estando de acordo, com os requisitos do Guia Prático Para Construção de Calçadas, que exige um F_{ck} mínimo de 15 MPa. Já o C.RCD II e C.RCD III são classificados como C25 apresentando respectivamente, um F_c 25,52 MPa e 28,17 MPa, no entanto o C.RCD II se sobressai, devido ao seu menor número de vazios, possuindo então, uma menor absorção de água, aumentando a sua durabilidade, mostrando-se mais apto, para à produção do concreto estrutural.

Os concretos com RCD não apresentaram variação de resistência à tração, podendo ser usado como 100% do agregado graúdo, para o concreto que serão solicitados à tração.

4 - Conclusão

Diante deste estudo constatou-se que, a substituição dos agregados naturais por RCD, mostrou-se viável, para a produção de concretos, com diversas aplicações. Algumas propriedades mecânicas do concreto nem apresentaram variação pela utilização do RCD e na resistência, a compressão na variabilidade apresentada não impedindo a sua utilização.

Sendo assim, pode-se propor a criação de leis para a utilização dos RCDs, nas construções, podendo inserir ao sistema de obras dos municípios a obrigatoriedade do gerenciamento de resíduos de construção do município, ocasionando descontos em contribuições públicas ou quaisquer outros benefícios estimulando a sociedade a pensar em uma melhor qualidade de vida, para as gerações futuras.

Referências

ABRELPE: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017**. Abrelpe. São Paulo, SP, 2018.

AMARIO, M. **Caracterização física e mecânica de concreto leve estrutural contendo agregados de tijolos cerâmicos**. 2013. 83f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

ÂNGULO, S. C.; FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com agregado reciclado**. Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011. p. 1731-1768.

ANEPAC: **Perspectiva para o setor de agregados - Consumo de agregados no Brasil**. Anepac. São Paulo, SP, 2012

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

_____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo- Determinação da massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR NM 53**: Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR NM 67**: Concreto- Determinação da consistência pelo abatimento do tronco cone- Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

_____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **NBR 5738**: Concreto- Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova- Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. **NBR ISO 3310-1: NBR ISO 3310-1**: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico (ISO 3310-1, IDT). Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concretos - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR 7214**: Areia normal para ensaio de cimento - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **NBR 11579**: Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro: ABNT 2013.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 16605**: Cimento Portland – Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

_____. **NBR 16697**: Requisitos do cimento Portland . Especificação. Rio de Janeiro: ABNT 2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução 448 (2012)**. Gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=672>>. Acesso em 05 de abril 2019.

CONSTRUÇÃO CIVIL CONSOME ATÉ 75% DA MATERIA PRIMA DO PLANETA. GLOBO CIÊNCIA. Disponível em <<http://redeglobo.globo.com/globociencia/noticia/2013/07/construcao-civil-consome-ate-75-da-materia-prima-do-planeta.html#targetText=M%C3%A3o%20de%20obra%20e%20novas%20tecnologias%20podem%20reduzir%20o%20consumo%20de%20materiais&targetText=De%20acordo%20com%20o%20professor,mat%C3%A9ria%20prima%20produzida%20no%20planeta.>>. Acesso em: 10 de abril 2019.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Porto Alegre, 2001. 257f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. 2001. 184f. Tese (Pós-graduação em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

LOVATO, P. **Verificação dos parâmetros de controle de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto**. 2007. 182f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 218f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, 1999.

ZANONI, V. A. G. **Guia prático para a construção de calçadas**. 2.ed. Mato Grosso do Sul: CREA/MS, 2014. Disponível em <<https://www.mobilize.org.br/midias/pesquisas/guia-de-construcao-de-calçadas.pdf>> . Acesso em: 01 de novembro de 2019.