Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

ESTUDO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E DA ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM SUBSTITUIÇÕES PARCIAIS DE AGREGADO MIÚDO RECICLADO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

BÁRBARA CARNEIRO
Engenheira Civil
Universidade de Pernambuco
Pernambuco; Brasil
barbaradacostacarneiro@hotmail.com

ANA CARLA SANTOS
Engenheira Civil
Universidade de Pernambuco
Pernambuco; Brasil
a.carla.ss@hotmail.com

ANA SHEILA NASCIMENTO
Engenheira Civil
Universidade de Pernambuco
Pernambuco; Brasil
anasheila.n@gmail.com

ELIANA MONTEIRO
Doutora em Engenharia Civil
Universidade de Pernambuco
Pernambuco; Brasil
eliana@poli.br

TIAGO AGRA
Engenheiro Civil
Universidade Federal de Pernambuco
Pernambuco; Brasil
tiagoagraengenharia@gmail.com

Resumo

A disposição incorreta e a elevada exploração de matéria-prima dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) provocam sérias consequências ao meio ambiente como poluição do solo, comprometimento da paisagem urbana, diminuição da qualidade do recurso natural, poluição do ar (que é gerada pelo transporte dos materiais das jazidas para os grandes centros), entre outros. Na tentativa de mitigar esses efeitos, vem surgindo a prática do beneficiamento de RCD, que além de conservar a matéria-prima, favorece a não destinação desses materiais em aterros, entre outros. Este estudo teve o intuito de realizar testes de Resistência à compressão de concretos contendo 25%, 50% e 100% de substiuição de agregado miúdo de RCD, análise granulométrica do agregado e de absorção por capilaridade do agregado miúdo nos teores de 25% e 50%. Os resultados revelaram que conforme se aumentava o teor de substituição, maior era o teor de material pulverulento contido nas misturas, consequentemente isto contribuiu para o decréscimo no abatimento e por consequinte na resistência à compressão. Sendo, portanto, a mistura contendo 25% de agregado miúdo de RCD reciclado a mais satisfatória. No ensaio de absorção por capilaridade, os concretos produzidos com 25% e 50% de substituição de agregados oriundos de RCD obtiveram resultados satisfatórios comparados ao concreto produzidos com agregados naturais.

Palavras-chave: Matéria-prima. Beneficiamento. RCD

Abstract

The inappropriate disposition and high exploration feedstock of construction and demolition waste (CDW) cause serious consequences to the environment such as soil pollution, affect the urban landscape, decrease quality of natural resources, air pollution (which is generated by the transport of materials from the deposits to big centers), among others. In an attempt to mitigate these effects, it has emerged the practice of CDW beneficiation, that further to conserve the feedstock, not favors disposition of these materials in landfills, among others. This study had the intention to do resistance to compression tests of concretes containing 25%, 50% and 100% of fine aggregate replacement of CDW, analysis of aggregate granulometry and absorption by capillarity of the concrete with fine aggregate in the contents of 25% and 50%. The results showed that as it increased the substitution content, the higher the content of pulverulent material contained in the mixtures, this consequently contributed to the decrease in the slump and consequently the resistance to compression. It is, therefore, a mixture containing 25% of fine aggregate from CDW recycled the most satisfactory. At the test of absorption by capillarity, the concretes made with 25% and 50% of replacement of aggregates from RCD had satisfactory results compared to concrete made with natural aggregates.

Key – words: Feedstock. Beneficiation. CDW.

1. Introdução

Com o passar dos anos o número de construções tem aumentado em larga escala e, junto a isso, a quantidade de resíduos que são gerados durante o processo construtivo, como restos de blocos cerâmicos, restos de madeira, argamassa, etc. Segundo Santos (2008) [1] esses materiais quando depositados em locais inapropriados podem causar

sérias consequências para o meio ambiente como poluição de aquíferos, escassez dos recursos naturais, a poluição do ar, que é gerada pelo transporte do material das jazidas para os grandes centros, carga negativa sobre a paisagem urbana, entre outros.

De acordo com estudos feitos pelo SINDUSCON-CE (2011) [2], o desperdício de materiais durante o processo construtivo é o principal responsável pela geração de RCD no canteiro de obras e ocorre em diferentes fases e por diversos motivos. As perdas podem ser ocasionadas por superprodução, por manutenção de estoques, pela fabricação de produtos defeituosos e podem ocorrer também durante o transporte e no processamento.

Para Gusmão (2008) [3], cerca de 91% dos RCD têm potencial reciclável sob forma de agregado, podendo ser solo, argamassa, cerâmica vermelha, brita, areia e pedregulho. Baseando-se nessa informação, pode-se considerar a reciclagem de RCD como uma alternativa bastante promissora e sustentável.
Na tentativa de atenuar esses efeitos sobre o meio ambiente, surge a prática do beneficiamento de RCD, na qual se busca reaproveitar o resíduo de construção, submetê-lo ao processo de britagem para assim se obter as frações miúdas e graúdas desse material, que pode ser utilizado na confecção de concretos, reforço de pavimentos, reforço de solos, dentre outras aplicações.

2. Materiais e Métodos

2.1. Materiais

2.1.1.Cimento

Foi empregado o Cimento Portland do tipo CP – IV – 32 – RS, o qual é indicado para obras que estão expostas a um ambiente bastante agressivo e de grande volume de concreto. No Quadro 1 encontram-se as características físicas, químicas e mecânicas do cimento escolhido.

Tabela 1 - Características físicas, químicas e mecânicas do cimento
Fonte: Fabricante

Ensaios físicos e mecânicos		
Ensaios	**Resultados**	**Limites de Norma**
Finura % retido na # 200	1,6	≤ 8,0
% retido na # 325	10,2	-
Área específica (Blaine) - m²/Kg	512	≥ 260
Água de consistência (%)	32,6	-
Tempo de pega Início (min)	200	≥ 60
Fim (min)	265	≤ 600
Expansibilidade de Le Chatelier à quente (mm)	0,0	≤ 5,0
Resistência à compressão (MPa) 3 dias	22,4	≥ 10

Ensaios físicos e mecânicos		
Ensaios	**Resultados**	**Limites de Norma**
Resistência à Compressão - 7 dias	31,6	≥ 20
Resistência à Compressão - 28 dias	35,3	≥ 32 ; ≤49
Ensaios químicos		
Perda ao fogo - PF	3,35	≤ 4,5
Óxido de Magnésio MgO	2,84	≤ 6,5
Anidrido Sulfúrico SO_3	3,07	≤ 4,0
Resíduo Insolúvel - RI	22,04	-

2.1.2. Água

A água utilizada foi coletada de um poço da Fazenda Benone, localizada no município de Pesqueira (PE).

2.1.3. Agregado miúdo

O agregado miúdo natural foi oriundo de uma jazida localizada em Mimoso (PE).

2.1.4. Agregado graúdo

A brita de diâmetro 25mm, foi oriunda da pedreira Galvaz, situada no município de Pedra (PE).

2.1.5. Agregado reciclado

A areia reciclada foi coletada, em uma usina recicladora de resíduos de construção localizada no município de Camaragibe (PE). Tal material foi coletado em quantidade suficiente para se realizar a análise granulométrica do agregado e posteriormente os ensaios de resistência à compressão e da absorção por capilaridade do concreto produzido com a areia reciclada.

2.2. Métodos

2.2.1. Análise granulométrica dos agregados

Foi feito um estudo da composição granulométrica dos agregados miúdos (naturais e reciclados), conforme especifica a Norma NBR NM 248 - Agregados – Determinação da Composição Granulométrica (ABNT, 2003) [4]. Para isto, foram usados 2000g, sendo 1000g para a areia natural e 1000g para a areia reciclada para serem levados a um conjunto de peneiras o qual será submetido à agitação mecânica para promover a separação dos grãos e assim conhecer o percentual de massa retida e o percentual de massa retida acumulada, que será muito importante para se analisar a granulometria do material. Também foram determinados o módulo de finura, o diâmetro máximo dos agregados e o teor de material pulverulento.

2.2.2. Resistência à compressão

Para se determinar a resistência à compressão do concreto, foram seguidos os procedimentos da norma NBR 5739 (2007) [5] – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Foram moldados 8 corpos de prova cilíndricos para cada teor de substituição, sendo 4 para 7 dias e 4 para 28 dias.

Definidos os teores de substituição, foi empregado um traço já utilizado em uma obra nas seguintes proporções: 1: 2,082: 2,767: 0,55, como mostrado no Quadro 2. Para esta pesquisa, optou-se por se substituir parcialmente os agregados naturais pelos reciclados, para um melhor entendimento quanto ao seu comportamento no concreto. Foi

escolhido um concreto com a classe de resistência de 25 Mpa, pelo fato de que se fosse escolhida uma classe superior a interferência pudesse ser maior, devido ao agregado reciclado possuir componentes menos resistentes. Vale ressaltar que, durante a mistura, não foi acrescentada água adicional para corrigir a trabalhabilidade do concreto.Após a moldagem, os corpos de prova permaneceram em cura submersa por 7 e 28 dias para ganharem resistência, sendo todos os procedimentos feitos como prescreve a norma NBR 5738 (2003) [6] – Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova. Após a cura, os corpos de prova seguiram para a prensa hidráulica para se determinar a resistência à compressão.

Tabela 2 – Dados referentes ao traço empregado

Traço unitário (Método do IPT – SP) : 1:2,082:2,767 (cimento: areia: brita)
a/c: 0,55
Resistência de cálculo: 25 MPa
Abatimento: 100 ± 20 mm

2.2.3. Absorção por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado no ITEP (Instituto de Tecnologia de Pernambuco), localizado em Arcoverde, de acordo com a Norma NBR 9779 - "Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade"(ABNT, 2012) [7] que estabelece a determinação da absorção de água, através da ascensão capilar de argamassa e concretos endurecidos. Foram moldados 15 corpos de prova com substituições de 25% e 50% de agregado miúdo reciclado.

Os corpos de prova utilizados no ensaio foram os do tipo cilíndrico de dimensões 10cm x 20cm, com resistência de cálculo 25 Mpa, através do método de cura submersa. Após 28 dias, foram realizados os procedimentos para determinar-se a absorção de água por capilaridade dos concretos confeccionados com a areia reciclada, de acordo a norma vigente.

3. Análise e discussão dos resultados

3.1 Análise granulométrica dos agregados

A análise granulométrica feita nos agregados naturais e reciclados apresentou os seguintes resultados mostrados no Quadro 3.

Tabela 3 - Análise granulométrica dos agregados

Agregado natural	Agregado reciclado
Módulo de finura: 3,03	Módulo de finura: 3,50
Diâmetro máximo: 4,75 mm	Diâmetro máximo: 6,3 mm

O Quadro 3 mostra que o agregado reciclado possui um maior módulo de finura, logo, é mais grosso que o natural e esse possui um diâmetro máximo maior em relação ao natural, indicando que esse grão terá uma menor superfície específica. Com o módulo de finura do agregado reciclado sendo maior que o natural, era esperado que o abatimento fosse maior, pois o agregado teria uma menor área específica que seria molhada pela água. Mas pelo fato do agregado reciclado possuir resíduos de argila, madeira e cerâmica, fez com que o mesmo absorvesse mais água, provocando uma redução no abatimento.

Com os dados obtidos no Quadro 3 e das curvas granulométricas será possível classificar os agregados em uma determinada faixa granulométrica.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

3.1.1. Comparação da granulometria do agregado natural com a do reciclado

Os agregados miúdos natural e reciclado apresentaram as seguintes curvas granulométricas mostradas nas Figuras 1 e 2.

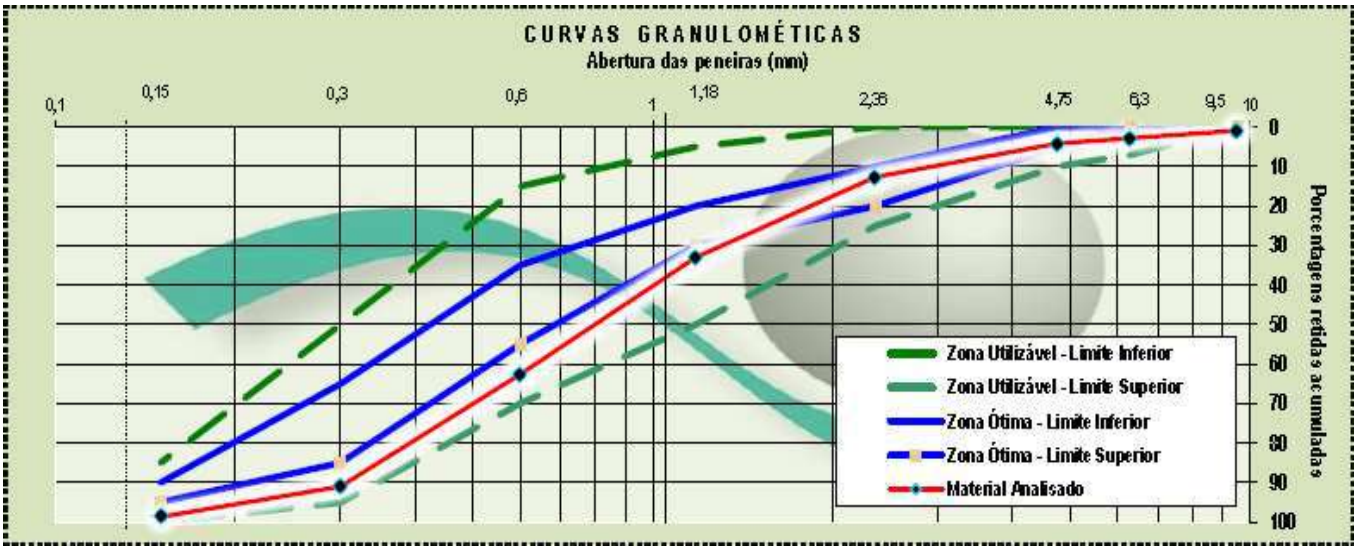


Figura 1: Curva granulométrica do agregado natural

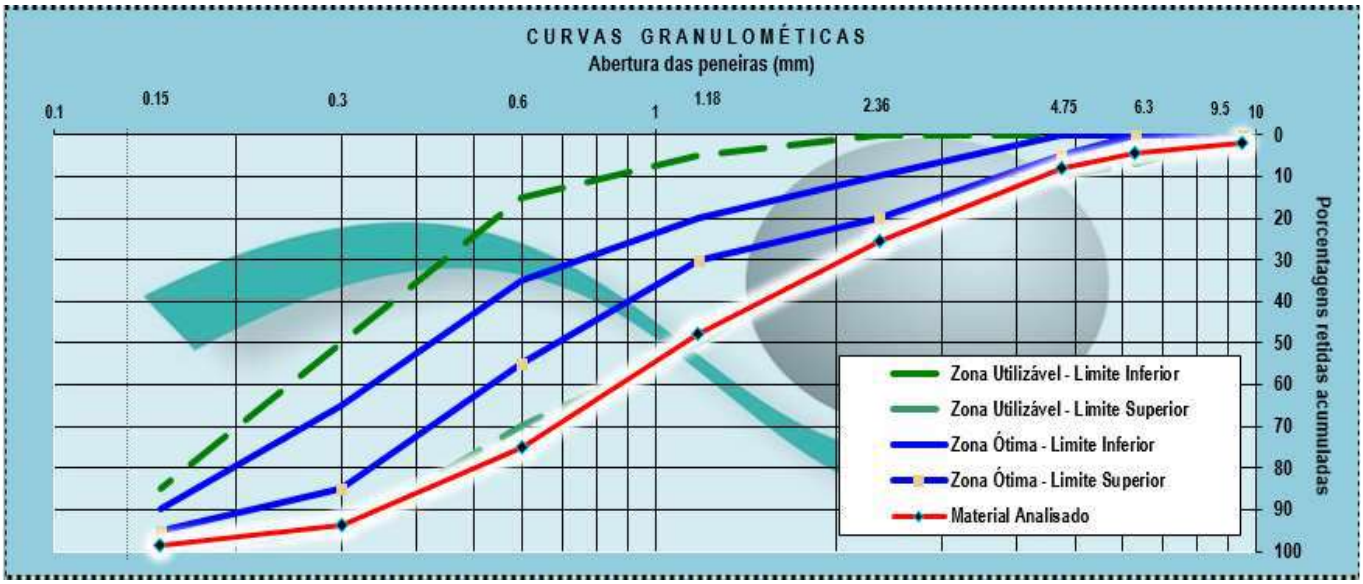


Figura 2: Curva granulométrica do agregado miúdo reciclado de RCD

Observando a curvas percebe-se que o agregado miúdo natural se encontra no limite superior da zona utilizável, idem para o agregado reciclado, indicando que são agregados de boa qualidade para utilização em concretos de Cimento Portland. Analisando as porcentagens retidas acumuladas conclui-se que ambos os agregados possuem uma granulometria contínua, ou seja, bem graduada.

3.1.2. Teor de material pulverulento

Os agregados natural e reciclado apresentaram os seguintes resultados para teor de material pulverulento, como mostrado no Quadro 4.

Tabela 4 - Teor de material pulverulento

Teor de material pulverulento	
Areia natural	1%
Areia reciclada	16%

Nota-se que a areia natural apresentou um teor de material pulverulento dentro do limite que estabelece a NBR 7211 – Agregados para concreto - especificação (ABNT,2009) [8], que é de 5% para concretos protegidos contra o desgaste superficial. Já o agregado reciclado apresentou 16% de materiais pulverulentos, ultrapassando os limites previstos na NBR 7211 (2009). Esse teor tão elevado na areia reciclada se justifica, pois, quando o resíduo é triturado, ocorre a formação de finos, que são substâncias prejudiciais, e podem comprometer a qualidade de concreto.

Porém, quando é feita a mistura de concreto utilizando a substituição de 25% de areia, o teor de material pulverulento passa a ser aceitável, apresentando 4,75% de material pulverulento, o que não acontece nas substituições de 50% e 100% apresentando, respectivamente, 8,5% e 16% de material pulverulento.

3.2. Resistência à compressão

O Quadro 5 mostra os resultados obtidos de resistência à compressão, utilizando 0%, 25%, 50% e 100% de areia reciclada.

Tabela 5 - Valores obtidos de resistência à compressão do concreto feito com 0%, 25%, 50% e 100% de agregado miúdo de RCD

Teor de substituição	Resistência aos 7 dias (MPa)	Resistência aos 28 dias (MPa)	Slump (mm)
0%	18,1	24,7	100 ± 20
25%	17,3	23	80
50%	16,7	22	60
100%	14	18,7	40

Os resultados mostram que à medida em que o teor de substituição aumenta, há uma redução na resistência à compressão e no abatimento. Foi observado que nas misturas com 50% e 100% de substituição, os valores obtidos para o abatimento eram, respectivamente, 60 mm e 40mm, logo, não foi atingido o abatimento previsto em cálculo, que era de 100 ± 20 mm. A redução no abatimento também é provocada pelo alto teor de material pulverulento, que são os finos gerados quando o resíduo é submetido à trituração. Já no concreto com 25% de substituição, além de ter um bom valor de resistência comparado ao concreto de referência, apresentou um abatimento de 80mm, que está dentro do limite estabelecido. O comportamento da resistência à compressão ante o aumento dos percentuais de substituições será mostrado esquematicamente na Figura 3.



Figura 3: Evolução da Resistência à Compressão com relação aos teores de substituição de agregado miúdo de RCD

A Figura 3 mostra que quando se aumenta os percentuais de substituição, há uma ligeira diminuição na resistência à compressão, tanto para as idades de 7 e aos 28 dias e associado a isso houve um decréscimo no abatimento em decorrência do alto teor de material pulverulento encontrado nas misturas de 50% e 100% de substituição. Sendo, portanto, a mistura considerada mais satisfatória a de 25%, pois além de apresentar bons valores de resistência à compressão, atendeu ao abatimento previsto e ao teor de material pulverulento máximo.

3.3. Absorção por capilaridade

O Quadro 6 indica os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade em amostras submersar em água por 3h, 6h, 24h, 48h e 72 h, com substituições de 0%, 25% e 50% de areia reciclada.

Tabela 6 - Valores obtidos da absorção de água por capilaridade em amostras de concreto submersas 3h, 6h, 24h, 48h e 72 h, produzido com 0%, 25% e 50% de agregado miúdo reciclado de RCD

Teor de substituição	Absorção de água por capilaridade (g/cm²) após 3 horas	Absorção de água por capilaridade (g/cm²) após 6 horas	Absorção de água por capilaridade (g/cm²) após 24horas	Absorção de água por capilaridade (g/cm²) após 48 horas	Absorção de água por capilaridade (g/cm²) após 72 horas
0%	0,15	0,21	0,37	0,73	0,86
25%	0,16	0,25	0,39	0,75	0,91
50%	0,15	0,25	0,41	0,75	0,94

Foi observado que na absorção de água por capilaridade, assim como no ensaio de resistência à compressão, o teor de substituição influencia bastante os resultados, pois quanto maior for o teor de agregados reciclados no concreto, maior a tendência à absorção de água. Isso ocorre porque eles são compostos por diferentes materiais tais como solos, rochas naturais, concreto, argamassas, materiais cerâmicos, entre outros, e por isso apresentam uma porosidade maior comparada aos agregados naturais.

Vários fatores podem ter influenciado nos ensaios de absorção de água, como grande variabilidade de materiais indesejados presentes nos agregados coletados e grande quantidade de material pulverulento. O desempenho das amostras, no que se refere à absorção por capilaridade, será mostrado na Figura 4.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

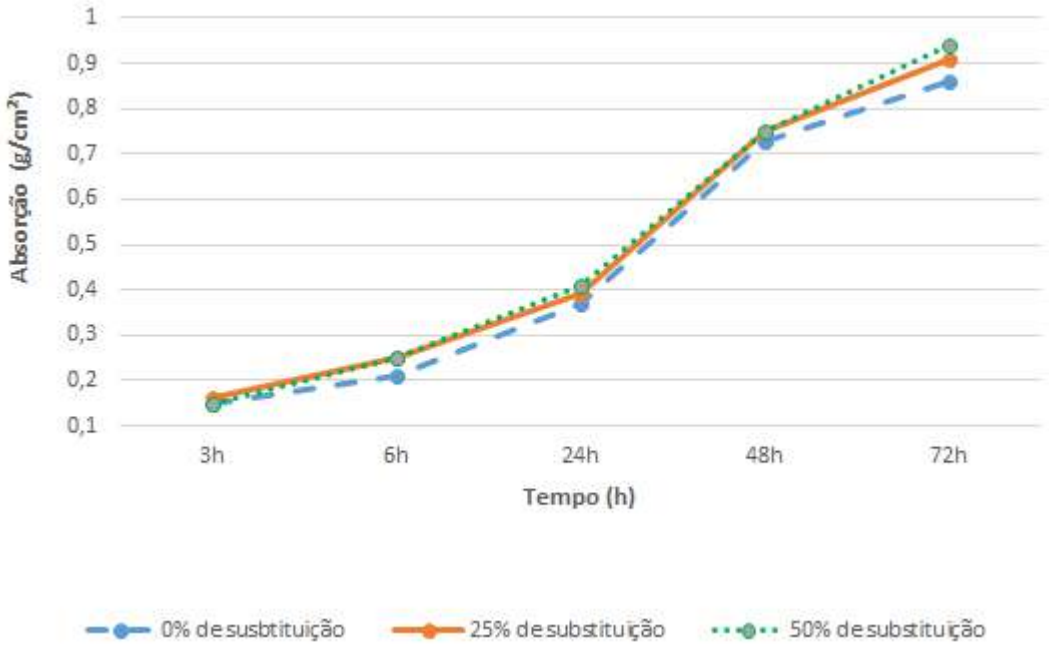


Figura 4: Absorção de água por capilariadade com relação aos teores de substituição de agregado miúdo de RCD

A Figura 4 mostra que ao final do ensaio de absorção de água (72 horas), as amostras com 25% de teor de substituição tiveram um aumento de 6% na taxa de absorção em relação ao concreto de referência. Já as amostras produzidas com 50% de agregados reciclados tiveram um aumento de 9%. Ambos os resultados foram considerados satisfatórios. Ao comparar-se as resistências dos concretos com 25% e 50% de areia reciclada com os resultados do ensaio de absorção, verificamos que os mesmos absorvem mais água do que os concretos de referência Em um estudo feito por SENTENA (2010) [9], o mesmo observou que quanto menor fosse a resistência à compressão do concreto com agregado reciclado, maior seria sua porosidade e consequentemente maior a sua absorção de água.

4. Conclusão

A partir dos resultados encontrados, verificou-se que à medida em que é aumentado o teor de substituição do agregado miúdo reciclado, há uma diminuição na resistência à compressão e um aumento na taxa de absorção de água por capilaridade do concreto feito com agregado reciclado. Assim, comprovou-se que ao aumentar a quantidade de areia reciclada na mistura ocorria um decréscimo na resistência à compressão e, por conseguinte, uma maior taxa de absorção de água por capilaridade. Isso se deve a vários fatores tais como composição granulométrica do material, alta quantidade de poros encontrados nos agregados reciclados, grande variabilidade de materiais indesejados presentes nos agregados coletados e um alto de material pulverulento.

Com esse estudo, conclui-se que a substituição parcial de agregado miúdo natural pelo reciclado na confecção de concretos é uma alternativa bastante viável, pois além de proporcionar o aproveitamento dos resíduos, podem oferecer melhoria nas características de durabilidade do material**.** No referido estudo obteve-se bons resultados, tanto na resistência à compressão com substituíção 25% de agregado miúdo de RCD, quanto para absorção de água por capilaridade. Porém a sua aplicação em concretos estruturais requer estudos mais aprofundados.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Referências

[1] SANTOS, Eder Carlos Guedes dos. "Avaliação Experimental de Muros Reforçados Executados com Resíduos de Construção e Demolição Reciclados (RCD-R) e Solo Fino".2008. pp. 8 – 9.

[2] SINDUSCON**. "**Manual sobre os resíduos sólidos da construção civil". Fortaleza, 2011. Disponível em: http://www.sinduscon-ce.org/ce/downloads/pqvc/Manual-de-Gestao-de-Residuos-Solidos.pdf Acesso em: 7 set.2015.

[3] GUSMÃO, A. D. "Manual de Gestão dos Resíduos da Construção Civil". Recife: Gráfica Editora, 2008. 140 p.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – "NBR NM 248 – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica". 2003. pp.2 – 6.

[5] BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – "NBR 5739 – Concreto – Ensaio de Compressão de corpos de prova cilíndricos". 2007. Pp. 1 - 9

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –" NBR 5738 – Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova".2003. pp. 2 – 6.

[7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – "NBR 9779 – Concreto – Determinação da absorção de água, através da ascensão capilar, de argamassa e concretos endurecidos". 2012. pp. 1 – 3.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – "NBR 7211 – Agregados para concreto - especificação". 2009. pp. 3 – 7.

[9] SENTENA, J. A. A. Absorrção de Água por Capilaridade em Concretos com Agregados Reciclados de Concreto. Rio Grande do Sul, 2010. pp.2 – 3.