

# UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CORPOS DE PROVA EM SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO DE CONCRETOS

## USE OF TEST SPECIMEN WASTES REPLACING CONCRETE AGGREGATE

Sebastião Batista Jordão Silva dos Santos<sup>1</sup>

Anderson Dantas Torres<sup>2</sup>

Evelyne Emanuelle Pereira Lima<sup>3</sup>

Carlos Mavíael de Carvalho<sup>4</sup>

Antônio da Silva Sobrinho Júnior<sup>5</sup>

## RESUMO

Muitas empresas, especificamente no setor da construção civil, geram, anualmente, grandes quantidades de resíduos e essa geração vêm causando uma série de danos ambientais, o que é muito preocupante. Por outro lado, já existem empresas que vem se conscientizando e o termo sustentabilidade deixou de ser apenas uma palavra, ou expressão meramente alusiva, e passou a ser uma realidade, em que a produtividade, a geração de resíduos vêm atreladas junto à questão da sustentabilidade. Partindo deste contexto, após análise dos resíduos, gerados por laboratórios de materiais, sobretudo corpos de prova, verificou-se que os resíduos são descartados periodicamente, sem nenhum tipo de controle e em local indefinido. Por sua vez, esses resíduos após beneficiamento, apresentam grande potencial de reaproveitamento como agregado reciclado em concretos, tendo em vista suas características. Visando um maior ganho ambiental e energético, sobretudo um maior desempenho dos concretos, em relação a sua resistência característica, avaliada aos 07 e 28 dias de cura. Este estudo avaliou algumas propriedades de concreto, no estado fresco e endurecido, através de dosagens com substituição parcial de agregado graúdo pelos resíduos dos corpos de prova britados na proporção de 20%, 30% e 40%, comparados ao concreto de referência (sem uso dos resíduos dos corpos de prova). Os resultados obtidos apresentaram altos valores de resistência, uma média de 71,88MPa, o que contribui com o avanço ambiental e econômico da região, dado o reaproveitamento de elementos antes descartados à natureza.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sustentabilidade. Resíduos de construção civil. Concreto. Agregado reciclado.

## ABSTRACT

Many companies, specifically in the construction industry, generate large amounts of waste annually and this generation has caused serious environmental damages, which is very worrying. On the other hand, there are already companies that have become aware, and the term "sustainability" is no longer just a merely allusive word or expression, i.e. has become a reality where productivity is concerned, the generation of waste is linked to the issue of sustainability. From this context, after analyzing the wastes generated by materials laboratories, mainly test specimens, it was verified that they are discarded periodically, without any type of control and in an indefinite place. In its turn, these combings after processing, present great potential of reutilization as a recycled aggregate in concretes, considering their characteristics. Aiming a greater environmental and energetic gain, especially a better performance of the concretes in relation to their characteristic resistance, evaluated at 07 and 28 days of cure. This study evaluated the concrete properties, in the fresh and hardened state, through dosages with substitution (20%, 30% and 40%) compared to the reference concrete (without the use of test specimen residues).

1 Graduando em Engenharia Civil pelo Centro Universitário de João Pessoa (UNIPÊ). E-mail: aspecjp@gmail.com

2 Graduando em Engenharia Civil pelo Centro Universitário de João Pessoa (UNIPÊ). E-mail: detodantas@gmail.com

3 Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Docente do Centro Universitário de João Pessoa (UNIPÊ). E-mail: evelyne.lima@unipe.br

4 Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Docente do Centro Universitário de João Pessoa (UNIPÊ). E-mail: carlos.mavíael@unipe.br

5 Engenheiro civil, doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Docente da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e do Centro Universitário de João Pessoa (UNIPÊ). E-mail: sobrinhojr@hotmail.com

The obtained results showed a greater potential resistant to the traces of concrete studied with addition of the test specimen residues, contributing with the environmental and economic advance of the region, given the reutilization of previously discarded elements to the nature.

**KEYWORDS:** Sustainability. Construction wastes. Concrete. Recycled aggregate.

## INTRODUÇÃO

Os processos produtivos, impulsionados pela tecnologia, carecem cada vez mais de matéria-prima. Com isso, é inevitável que resíduos sejam gerados e, na maioria das vezes, nenhuma proposta ou solução é adotada para o seu reaproveitamento.

O crescimento desenfreado da indústria da construção civil, não só resultou em benefícios, mas também acarretou um ponto negativo, que é uma realidade preocupante e bastante discutida nos últimos anos, a intensa geração de resíduos RCC (Resíduos de Construção Civil) que, geralmente, são considerados inúteis e agrava-se ainda mais por seu gerenciamento ser complexo e oneroso. Estima-se que, mundialmente, são gerados de dois a três bilhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) por ano (LAURITZIN, 1998). No Brasil, as estimativas pontuais levam a uma geração anual entre 230 a 760kg/hab (JOHN, 1996). Constata-se que nos grandes centros, os locais destinados à disposição adequada desses resíduos estão com sua capacidade esgotada o que leva a disposição em áreas irregulares, findando em problemas urbanos e sérios danos ao meio ambiente.

RCC (Resíduos de Construção Civil) não são provenientes, apenas de novas obras, outros segmentos do setor também são responsáveis por essa geração, demolições de estruturas, fábricas de pré-moldados, laboratórios de materiais, usinas de concreto, geram uma quantidade enorme de material. Com isso, a variedade de resíduos produzidos na indústria da construção civil está condicionada a alguns fatores o que, em muitos momentos, inviabiliza sua utilização. Segundo Levy (1997), a composição dos resíduos de construção está diretamente relacionada com a fonte que os originou (construções, reformas, demolições) e com o momento da coleta da amostra. Pode ainda, ser atribuída ao período, à técnica de amostragem utilizada e ao local da coleta da amostra (CARNEIRO et al., 2001).

O processo de reciclagem de determinados RCC vem proporcionando inúmeros benefícios, amenizando o impacto ambiental e gerando produtos usuais e econômicos. No entanto, é preciso cuidado com a simples substituição dos materiais convencionais pelos reciclados. É importante conhecer o material, para ter o controle de suas propriedades. A reciclagem não somente acrescenta novos materiais ao mercado, mas também gera benefícios adicionais, pois sendo mais baratos que os convencionais, podem viabilizar projetos de interesse social.

Dentre os vários tipos de RCC, os resíduos provenientes de concreto, além da quantidade existente, segundo dados atuais fornecidos pela ABESC - Associação Brasileira de Empresas de Serviço de Concretagem, o volume nacional de concreto dosado em central é de 12 milhões de metros cúbicos anuais. Adotando-se o índice de perda de 2,5% para este material (índice alemão), o país teria um volume de cerca de 300.000 m<sup>3</sup> de resíduos deste material, apresentando um dos maiores potenciais de reutilização, devido ao conhecimento de suas características básicas (Fck, idade, tipo de cimento, etc.) e, principalmente, seu menor grau de contaminação por outros materiais (plástico, matéria orgânica, borracha, etc.) em comparação com outros resíduos. Seu uso já é bem difundido em base e sub-base de pavimentos, produção de concretos magros sem fins estruturais, fabricação de blocos de vedação, utilização em projetos de drenagem, entre outras aplicações com pequena exigência de desempenho mecânico. Porém, o mercado deve ser ampliado e, para isso, a sua utilização em concreto se torna essencial (BANTHIA e CHAN, 2000). Uma das maneiras de reutilização de resíduos de concreto é na fabricação de agregado reciclado.

Visando dar mais atenção a questão dos RCC, foi publicada a Resolução CONAMA n° 307, no ano de 2002, que determina diretrizes para uma possível redução dos impactos ambientais provocados por estes materiais. Foi estabelecido que os geradores são os responsáveis pelo resíduo e, a princípio, o que deve ser feito é não produzir, não gerar mais. Como isto não é considerável possível, a Resolução impõe que se deve reduzir, reutilizar, reciclar ou propiciar uma correta disposição final para os resíduos produzidos (BRASIL, 2002).

Um laboratório de materiais da capital paraibana gera resíduos de corpos de prova constantemente (Figura 1). Dentro deste contexto, tais resíduos ao invés de serem descartados e, obedecendo (BRASIL, 2002), podem ser empregados em atividades de baixo valor agregado ao meio ambiente, tais como, fundações de casas populares, aterros, base e sub-base em pavimentações. Submetido a processo de britagem e separação granulométrica, o resíduo pode ser utilizado de maneira mais nobre, tendo em vista as características do material, com um grande potencial, na sua substituição como agregado do concreto. Tal prática traz um maior ganho ambiental/energético e podendo influenciar positivamente no desempenho de concretos desenvolvidos com o mesmo.

Figura 1 – Estoque de Resíduos de corpos de prova.



Fonte: Autores, 2016.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### HISTÓRICOS DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL NO MUNDO

Vários autores relatam que há notícias de obras executadas, com agregados reciclados, já nas cidades do Império Romano. Mas foi na Alemanha, após o fim da Segunda Guerra Mundial, a primeira aplicação significativa de resíduos reciclados. Foram utilizadas sobras de blocos de concreto de cimento Portland, na produção de artefatos de concreto para a reconstrução das cidades europeias, que tiveram seus edifícios totalmente destruídos (LEVY, 1997).

De acordo com Cincotto (1983), a partir de 1968, começaram a surgir as primeiras pesquisas relacionadas ao reaproveitamento de resíduos da construção civil. Após a realização de vários simpósios sobre o tema, foram criados, em 1974, o Comitê E-38, criado pela ASTM (American Society for Testing and Materials), visando normatizar e desenvolver métodos de recuperação de materiais e energia, o Comitê 37-DRC, criado pela RILEM (Reunion International des Laboratoires d'Essais et Materiaux), voltado para os resíduos de demolição, e o Comitê de "Pesquisa em Materiais Residuais e Subprodutos para Construção de Rodovias" criado pela OECD (Organization for Economic Cooperation and Development).

Foi realizado no Japão em 1988, o Segundo Simpósio Internacional RILEM em Demolição e Reutilização de Concreto e Alvenaria, com o objetivo de traçar diretrizes. De acordo com Kasai (1989), foram estabelecidas as seguintes:

- a. O concreto de origem dos agregados reciclados deve estar isento de solo e grandes quantidades de impurezas;
- b. A forma e o tamanho do agregado reciclado podem ser controlados pelo processo de britagem;
- c. Os métodos de dosagem dos concretos reciclados podem ser melhorados;
- d. Agregados reciclados graúdos são adequados para reutilização, enquanto a qualidade dos concretos reciclados geralmente se torna inferior se o agregado reciclado miúdo é utilizado;
- e. É necessário estabelecer normas de qualidade para agregados reciclados e concretos reciclados;
- f. Especificações e recomendações devem ser desenvolvidas de maneira a encorajar o uso de concreto reciclado, em conformidade com códigos e normas de cada país.

Toaldo (1993) apresenta algumas informações sobre a legislação existente em países do Primeiro Mundo. No Japão, os construtores são obrigados a incluir em seus projetos a destinação final do resíduo, gerado por suas obras. Sabe-se que dois terços do resíduo de concreto demolido já é utilizado na pavimentação de rodovias. Além disso, o uso desses resíduos para a produção de novos concretos está sendo estimulado (VÁSQUEZ e BARRA, 2000).

Países como Bélgica, França, Alemanha, entre outros, perceberem a importância da reciclagem e têm pesquisado intensamente o assunto, estabelecendo procedimentos para obtenção de padrão de qualidade para os agregados reciclados (LEVY, 2001).

A Holanda se destaca pelo grau de desenvolvimento da técnica de reciclagem e pelos incentivos dados à mesma. Atualmente, cerca de 95% de todo resíduo gerado anualmente nesse país é reciclado (DORSTHORST e HENDRIKS, 2000).

Nos Estados Unidos, após 1982, os governos dos estados norte-americanos começaram a elaborar normas, dentre elas a ASTM C-33 e C125-79, que estabelecem a reutilização de RCD e pavimentos e concretos. No programa de reciclagem da cidade de Los Angeles, o custo com reciclagem é cerca da metade do custo dos aterros norte-americanos (JOHN e AGOPYAN, 2000).

## HISTÓRICOS DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL.

No Brasil, a reciclagem e estudos com resíduos de construção iniciou-se ainda nos anos 80, idealizada pelo arquiteto Tarcísio de Paula Pinto. Consistia na utilização de pequenos moinhos instalados, durante a construção de edifícios, onde os resíduos de alvenaria eram reaproveitados para a produção de argamassas (LIMA, 1999). Em 1991, a primeira usina recicladora do Brasil foi implantada (CARNEIRO et al., 2001).

Segundo Nunes (2004), Ribeirão Preto, Brasília, São Paulo, em um total de 12 cidades brasileiras, têm ao todo 14 usinas de reciclagem operando. Quantidade pouco significativa, em relação a quantidade de resíduos gerados.

Estima-se que no Brasil a perda de materiais pode chegar a 20% em sistemas construtivos convencionais, sendo a argamassa e seus componentes os principais vilões, contribuindo com 60% do entulho gerado. Os componentes de vedação também se mostraram grandes fontes de desperdício, participando com 30% do entulho. Em países europeus, os valores do desperdício de material, em obra, podem variar, em massa, entre 10 e 15% (PINTO, 1995).

Segundo Picchi (1993), o desperdício na construção civil brasileira é muito alto se comparado a outros países. O desperdício relacionado ao entulho gerado, expresso em porcentagem do custo da obra, é da ordem de 5%.

De acordo com Monteiro (2001), no Brasil, a geração de RCD é de, aproximadamente, 300 kg/m<sup>2</sup> a partir de novas edificações, enquanto países desenvolvidos geram 100 kg/m<sup>2</sup>. Em cidades com 500 mil ou mais habitantes os RCD representam, aproximadamente, 50% do peso dos resíduos sólidos urbanos coletados.

Pinto (1995) acrescenta que as taxas de geração de resíduos da construção civil, que varia de 400 a 700 kg/hab.ano, em cidades médias e grandes do Brasil, dependem também do desenvolvimento econômico de cada cidade, da época, do momento do país e de outros fatores. Por exemplo, na cidade de Piracicaba/SP, em 2001, a taxa de resíduo de construção chegou a 580 kg/hab.ano, o que, em termos de massa dos resíduos sólidos municipais, representa uma porcentagem de 67%. Enquanto na cidade de João Pessoa, de acordo com o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e Demolição do Município, em agosto de 2007, a geração de resíduos de RCC correspondeu a 0,495 kg/hab/dia, isso, sem computar a destinação clandestina dos pequenos geradores.

## RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL, DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO.

Segundo a NBR 10004 (2004), resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Ainda de acordo com NBR 10004 (2004) os RCD's podem ser classificados como inertes (Classe II-b), uma vez que quando submetidos a testes de solubilização os mesmos não apresentam nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de portabilidade da água. Alguns autores contestam esta classificação, pois os RCD podem conter resquícios de pinturas, ou substâncias de tratamento de superfícies, entre outras, que podem percolar pelo solo, contaminando-o (OLIVEIRA, 2003).

De acordo com Brasil (2002), os resíduos sólidos da construção civil, são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, calça ou metralha.

A resolução também classifica os RCD de acordo com o potencial de reciclagem em quatro classes distintas: (Classe A) são os resíduos reutilizáveis, tais como:

- a. de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplenagem;

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

(Classe B) são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como, plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros.

(Classe C) são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias, ou aplicações economicamente viáveis, que permitam a sua reciclagem/recuperação, a exemplo dos produtos oriundos do gesso.

(Classe D) são os resíduos perigosos, oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados, oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

Brasil (2010), define Resíduos Sólidos da Construção Civil, em seu Artigo 13, como “os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civis incluídas os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis”.

## AGREGADO RECICLADO

Segundo Brasil (2002), agregado reciclado é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção, que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários, ou outras obras de engenharia.

De acordo com a NBR 15115 (2004), são pertencentes a (Classe A) e classificados como ARC, agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo pertencente à classe A, composto na sua fração graúda, de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas e ARM. Agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo de classe A, composto na sua fração graúda com menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas.

O agregado reciclado, deve se enquadrar dentro de determinados limites e, quimicamente, só pode conter níveis mínimos toleráveis de contaminação, para que, o concreto produzido seja durável e haja garantia da estabilidade das estruturas construídas (LEVY,1997).

De acordo com Leite (2001), agregado reciclado proveniente do RCC, para que seja utilizado na fabricação de concreto, é necessário se fazer uma caracterização sistemática para conhecer bem o comportamento do material reciclado nas misturas de concreto, pois isso aumentará a possibilidade de se obter um produto de melhor qualidade, que favoreça as condições de reaproveitamento do resíduo.

Segundo John et al. (2006), a heterogeneidade da composição do agregado reciclado resultará em uma variabilidade de suas propriedades, já que cada fase tem suas próprias características e peculiaridades. Frações compostas, predominantemente, de concretos estruturais e de rochas naturais podem ser recicladas, como agregados para a produção de concretos estruturais. A presença de fases mais porosas e de menor resistência mecânica, como argamassas, produtos de cerâmica vermelha e de revestimento, provoca uma redução da resistência dos agregados e um aumento da absorção de água.

Concretos com agregados reciclados selecionados têm sido estudados e o seu uso, em proporções dosadas corretamente, não afeta a durabilidade ou resistência do concreto (VIEIRA et al, 2004).

Mesmo com estudos, comprovação e já se conhecendo os benefícios econômicos e ambientais, que a utilização do agregado reciclado possibilita, de que são viáveis as utilizações ainda existem barreiras, dentre elas: (A. Rao et al. (2006))

- a. A não aceitação popular, pois a falta de conhecimento técnico da população dificulta a utilização de materiais de qualidade em função da sua origem;
- b. A falta de instalações apropriadas para a reciclagem, pois para isso são necessários investimentos, devido à falta de estudos e conhecimento de consumidores não é possível prever retorno para investimentos, tornando-os não atrativos economicamente;
- c. A falta de tecnologias apropriadas, pois ainda não existem estudos suficientes sobre a possibilidade de utilização do agregado reciclado que garantam a segurança necessária;

- d. A falta de incentivo dos governos que não se interessam pelos problemas sociais e esperam até que estes estejam em situação extrema para tomar providências, entre outros.
- e. Segundo Barai (2006), as utilizações de agregados reciclados proporcionam vantagens como a redução da extração de matérias-primas, redução de custos de transporte, melhora nos lucros, redução de impactos ambientais.

## MATERIAIS UTILIZADOS

Para realização deste trabalho, foram utilizados os seguintes materiais:

Cimento : Agregado Miúdo (Areia Fina) : Agregado Graúdo (Brita 19 mm e Reciclado de corpo de prova)  
: Aditivo Super Plastificante : Água

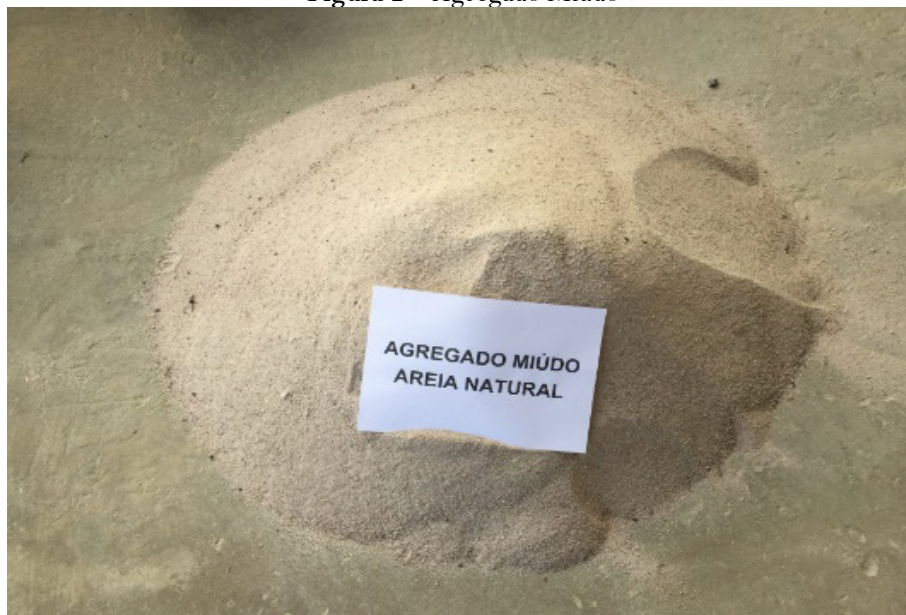
## CIMENTO PORTLAND

O cimento utilizado foi o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial CPV – ARI MAX, fornecido em sacos de 40kg, fabricado pela empresa Cimento Nacional.

## AGREGADO MIÚDO

O agregado miúdo utilizado nas dosagens foi uma areia natural fina, procedente da Jazida do Borba (Figura 2).

**Figura 2** – Agregado Miúdo



Fonte: Autores, 2016.

Com o agregado miúdo foram realizados os seguintes ensaios de caracterização:

- Determinação da Massa Unitária e Volume de Vazios (NBR 45, 2006);
- Determinação da Massa Específica Aparente (NBR 52, 2006);
- Determinação do Teor de Material Pulverulento (NBR 46, 2009);
- Determinação da Composição Granulométrica (NBR 248, 2003).

## AGREGADO GRAÚDO NATURAL

O agregado graúdo, utilizado nas dosagens, foi uma brita “granítica” com diâmetro máximo de 19mm, procedente da Jazida Verde Brita (Figura 3).

Figura 3 – Agregado Graúdo (Brita 19mm).



Fonte: Autores, 2016.

## AGREGADO GRAÚDO RECICLADO

Foi utilizado para a fabricação do agregado reciclado, Resíduo de Corpos de Prova – RCP, coletados do bota-fora do laboratório da ASPEC – Engenharia e Consultoria LTDA. Durante a coleta, foram separados corpos de prova moldados com concretos que, após suas rupturas, apresentaram níveis de resistências de 30 a 40MPa. Após o processo de separação, o RCP foi beneficiado e transformado em agregado reciclado, através de um processo de britagem corrida, utilizando um britador de mandíbula, conforme Figura 4. O agregado reciclado não passou por nenhum processo de peneiramento, visando se aproveitar todo material constituinte do RCP.

Figura 4 – Agregado Miúdo



Fonte: Autores, 2016.

Com os agregados graúdos natural e reciclado foram realizados os seguintes ensaios de caracterização:

- Determinação da Massa Unitária e Volume de Vazios (NBR 45, 2006);
- Determinação da Massa Específica Aparente e Absorção de água (NBR 53, 2003);
- Determinação da Composição Granulométrica (NBR 248, 2003);

## ADITIVO SUPER PLASTIFICANTE

O aditivo utilizado nas dosagens foi do Super plastificante de terceira geração ADVA CAST 525, a base de policarboxilato, fornecido pela *Grace Construction Products*. Com percentuais de dosagens variando de 0,15 a 0,8% sobre a massa cimento, de acordo com sua aplicação. Apresenta massa específica de 1,06kg/m<sup>3</sup>. No estudo

foi utilizado 0,65% em relação a massa do cimento, apresentando uma boa performance do ponto de vista técnico e econômico.

## ÁGUA

A água de amassamento utilizada nas dosagens foi a de uso comum fornecida pela CAGEPA - Companhia de Água e Esgotos da Paraíba.

## METODOLOGIA E DOSAGENS ESTUDADAS

Para definição dos estudos das dosagens de concreto, foi utilizada uma metodologia de cálculo desenvolvida pelo Prof. Dr. Sebastião Batista dos Santos, ora qual ele desvincula um sistema de cálculo complexo, evitando o máximo possível a parte teórica dos materiais e de sistema computacionais. Ou seja, a metodologia requer o conhecimento prático dos materiais constituintes do concreto, os dados mais usuais para o desenvolvimento das dosagens e, principalmente, a finalidade do concreto.

Dados necessários para aplicação da metodologia:

- a. Resistência características do concreto  $F_{ck}$ ;
- b. Consumo de Cimento mais usual para  $F_{ck}$  admitido, atendendo a exigências de (NBR 12655, 2006);
- c. Relação Água/Cimento, que forneça a consistência desejada para aplicação do concreto, atendendo a exigências de (NBR 12655, 2006);
- d. Com as informações acima citadas, calcula-se a composição do traço unitário em peso, podendo ou não utilizar sistemas computacionais. Facilitando o cálculo da mistura em locais onde não se dispõem de tecnologias.

## DOSAGENS

Foi desenvolvido um traço padrão (TP) e, a partir dele, foram calculados mais 3 traços denominados TPS 2, TPS 3 e TPS 4, substituindo parte do agregado graúdo do traço padrão por 20%, 30% e 40% de agregado reciclado, respectivamente. As demais características do traço padrão foram mantidas ( $M_{tc}$ ,  $C_i$ ,  $A/C$  e percentual de aditivo). Foi admitido para as dosagens, um  $F_{ck}$  28 de 40MPa e faixa de consistência variando de  $100 \pm 20$ mm, pois essas características vêm sendo comumente utilizadas no mercado de construção civil da grande João Pessoa.

## DEFINIÇÃO E CÁLCULO DAS DOSAGENS ESTUDADAS

Para o cálculo da dosagem tomou-se como base os seguintes parâmetros:

- a. Massa Específica Teórica do Concreto ( $M_{tc}$ ) =  $2500 \text{kg/m}^3$
  - b. Consumo de Cimento ( $C_i$ ) =  $450 \text{kg/m}^3$
  - c. Relação Água Cimento ( $A/C$ ) = 0,30
  - d. Fator de Argamassa ( $K$ ) = 55%
  - e. Aditivo ADVA CAST 525 = 0,65%
1. Para o cálculo da quantidade de materiais pétreos ( $m$ ), é dado pela seguinte Equação 1.

Aplicando os valores acima  $m = \frac{M_{tc} - (A/C \times C_i + C_i)}{C_i}$  (1) encontramos o valor de  $m$ .

2. Cálculo da quantidade de  $m = \frac{2500 - (0,30 \times 450 + 450)}{450} = 4,26$  Equação 2:



Substituindo  $m$  na equação temos:  $a = K x (1 + m) - 1$  (2)

3. Cálculo da quantidade de agreg:  $a = 0,55 x (1 + 4,26) - 1 = 1,893$  Equação 3:

Substituindo os valores  $m$  e  $a$  temos  $b = m - a$  (3)

Considerando o TUP refer  $b = 4,26 - 1,893 = 2,367$  : 0,30 : 0,65), representados respectivamente por (cimento : areia fina : brita 19 mm : A/C : Aditivo). Por sua vez, foram adicionados gradativamente o agregado reciclado em percentuais de 20%, 30% e 40%, respectivamente, do agregado graúdo, no qual tem-se os seguintes traços em peso conforme Tabela 1.

**Tabela 1** – Determinação do Traço por Peso

Traço	Cimento	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo		Água	Aditivo	Slump (mm)
		Areia Fina	Brita (19mm)	Reciclado (CP)			
TP	1,000	1,893	2,367		0,300	0,650	90
TP2 20%	1,000	1,893	1,8936	0,4734	0,300	0,650	90
TP3 30%	1,000	1,893	1,6569	0,7101	0,300	0,650	110
TP4 40%	1,000	1,893	1,4202	0,9468	0,300	0,650	120

Fonte: Autores, 2016.

A consistência foi verificada pelo método de abatimento do tronco de cone mais conhecido por *Slump test*, em que foram estabelecidas uma faixa de consistência de  $100 \pm 20$ mm, seguindo as recomendações da NBR 67 (2015).

## MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA

Foram moldados 8 corpos de prova cilíndricos (10 x 20 cm) para ensaios de resistência à compressão simples. Os corpos de prova foram moldados em formas metálicas e adensados manualmente em duas camadas de 12 golpes cada e desmoldados após 24 horas. Após a desforma, foram submetidos a cura submersa em tanque saturado de cal por um período de 7 e 28 dias. Todo o procedimento seguiu as recomendações da NBR 5738 (2015).

## ACABAMENTO DOS CORPOS DE PROVA

Quando completada as idades de rupturas, de 7 e 28 dias de cura, os corpos de prova foram planeados, utilizando uma retificadora manual de corpos de prova, com o objetivo de dar um melhor acabamento em suas superfícies, sanando qualquer tipo de imperfeição que venha a influenciar nos resultados das resistências à compressão simples.

## RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

A fim de se verificar a influência das substituições do agregado graúdo por agregado reciclado, nesta propriedade, os corpos de prova moldados foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples, seguindo todas as recomendações da NBR 5739(2007). As rupturas foram realizadas aos 7 e 28 dias de cura, 4 corpos de prova para cada dosagem estudada. Os ensaios foram realizados em uma prensa elétrica digital, com velocidade controlada e capacidade de 100 toneladas, existente por um laboratório da região.

# RESULTADOS E DISCUSSÕES

## ENSAIOS DOS MATERIAIS

Após análise dos ensaios de caracterização do agregado miúdo, mostrados na Tabela 2, verificou-se que o material é muito fino, com diâmetro máximo de 0,6 mm e módulo de finura de 1,425.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios de caracterização do agregado miúdo

Peneiras		Material Retido			% Passando da A. Total
Nº	mm	Peso (g)	% Amost. Total	% Acumulado	
Nº 4	4,8	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº 8	2,4	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº 16	1,2	3,92	0,79	0,79	99,21
Nº 30	0,60	12,45	2,50	3,29	96,71
Nº 50	0,30	222,17	44,60	47,89	52,11
Nº 100	0,15	212,36	42,63	90,52	9,48
Nº 200	0,075	44,87	9,01	99,53	0,47
Fundo		2,32	0,47	100,00	0,00
Módulo de Finura (MF)					1,425
Diâmetro Máximo (DM)					0,6
Massa Uni. Aparente Solta (kg/m³)					1,501
Massa Específica Real (kg/m³)					2,630
Absorção (%)					0,5
Mat. Pulverulento (%)					1,0
Impureza Orgânicas					ND
Teor de argila e Mat. Friáveis					ND

Fonte: Autores, 2016.

Com a análise dos ensaios de caracterização do agregado graúdo natural, mostrados na Tabela 3, verificou-se que o material possui diâmetro máximo de 19 mm.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de caracterização do agregado graúdo natural

Peneiras		Material Retido			% Passando da A. Total
Nº	mm	Peso (g)	% Amost. Total	% Acumulado	
1"	25	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19	146,50	4,9	4,90	95,10
1/2"	12,5	1375,10	45,97	50,87	49,13
3/8"	9,5	770,95	25,77	76,64	23,36
1/4"	6,3	394,36	13,18	89,82	10,18
Nº 4	4,8	47,75	1,6	91,42	8,58
Nº 8	2,4	46,85	1,57	92,99	7,01
Nº 16	1,2	40,70	1,36	94,35	5,65
Nº 30	0,60	31,06	1,04	95,39	4,61
Nº 50	0,30	34,31	1,15	96,54	3,46
Nº 100	0,15	38,45	1,29	97,83	2,17
Nº 200	0,075	32,58	1,09	98,92	1,08
Fundo		32,62	1,09	100,01	0,00
Módulo de Finura (MF)					6,500
Diâmetro Máximo (DM)					19,0

Massa Uni. Aparente Solta (kg/m <sup>3</sup> )	1.470
Massa Específica Real (kg/m <sup>3</sup> )	2703
Absorção (%)	0,7
Índice de Forma	ND
Abrasão Los Angeles (%)	ND
Materiais Carbonosos (%)	ND

Fonte: Autores, 2016.

Através da análise dos ensaios de caracterização do agregado graúdo reciclado, mostrados na Tabela 4, verificou-se um diâmetro máximo do material é de 19 mm.

Tabela 4 – Resultados dos ensaios de caracterização do agregado graúdo reciclado

Peneiras		Material Retido			% Passando da A. Total
Nº	mm	Peso (g)	% Amost. Total	% Acumulado	
1"	25	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	669,30	22,42	22,42	77,58
3/8"	9,5	655,00	21,95	44,37	55,63
1/4"	6,3	530,80	17,79	62,16	37,84
Nº 4	4,8	216,20	7,24	69,40	30,60
Nº 8	2,4	263,00	8,81	78,21	21,79
Nº 16	1,2	190,00	6,37	84,58	15,42
Nº 30	0,60	150,40	5,04	89,62	10,38
Nº 50	0,30	125,20	4,19	93,81	6,19
Nº 100	0,15	91,60	3,07	96,88	3,12
Nº 200	0,075	55,30	1,85	98,73	1,27
Fundo		37,80	1,27	100,00	0,00

Módulo de Finura (MF)	5,569
Diâmetro Máximo (DM)	19,0
Massa Uni. Aparente Solta (kg/m <sup>3</sup> )	1.474
Massa Específica Real (kg/m <sup>3</sup> )	2410
Absorção (%)	2,4
Índice de Forma	ND
Abrasão Los Angeles (%)	ND
Materiais Carbonosos (%)	ND

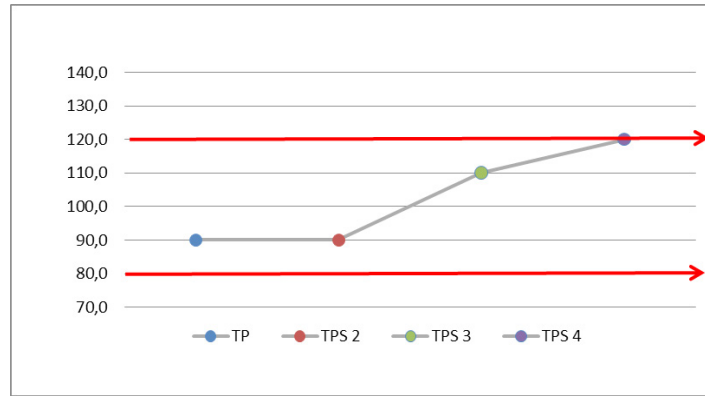
Fonte: Autores, 2016.

## CARACTERISTICAS DAS DOSAGENS

### NO ESTADO FRESCO

Foi estabelecida uma faixa de consistência de  $100 \pm 20$ mm. Quando da realização do ensaio de abatimento pelo método do tronco de cone *Slump test*, verificou-se que os traços TP e TPS 2 apresentaram um *slump* de 90 mm onde a mistura apresentou um ótimo aspecto. Porém os traços TPS 3 e TPS 4, inicialmente apresentaram consistências abaixo da faixa estabelecida, como o mesmo fator A/C do traço padrão. Para alcançar o intervalo de consistência admitido nas condições de contorne, foi adicionada a água de folga nos traços TPS 3 e TPS 4, em torno de 0,5% em relação ao peso de agregado miúdo (absorção) utilizado quando da confecção dos concretos. Repetiu-se o ensaio de abatimento, e verificou-se que os respectivos traços entraram na faixa de consistência estabelecida, conforme mostrado na Gráfico 1.

Gráfico 1 – Curva de abatimento dos concretos estudados

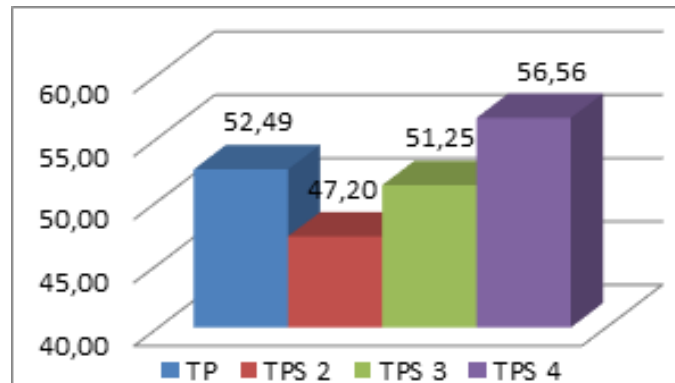


Fonte: Autores, 2016.

## RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

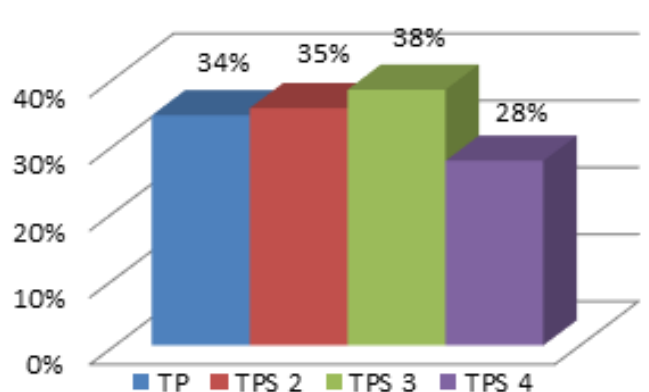
Os corpos de prova submetidos a rupturas nas idades 7 e 28 dias de cura de acordo com a ABNT, NBR 5739. Os resultados estão demonstrados a seguir nos Gráficos 2 e 3.

Gráfico 2 – Resultados aos 7 dias de cura



Fonte: Autores, 2016.

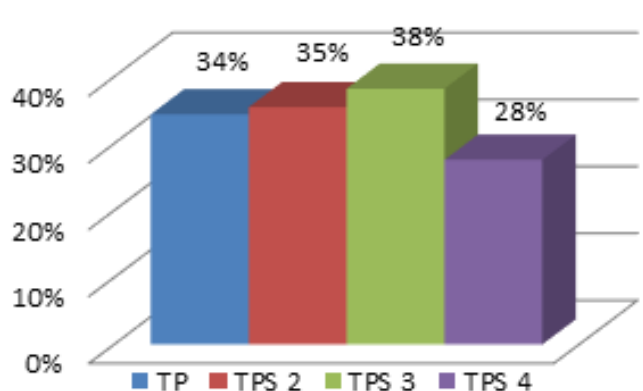
Gráfico 3 – Resultados aos 28 dias de cura



Fonte: Autores, 2016.

No Gráfico 4, um demonstrativo entre os Gráficos 2 e 3, de ganho de resistência, entre os períodos de 7 e 28 dias de cura.

Gráfico 4 – Comparativo de ganho de resistência entre 7 e 28 dias de cura



Fonte: Autores, 2016.

Aos 7 e aos 28 dias de cura, todas as dosagens estudadas apresentaram níveis de resistências acima do  $f_{ck}$  especificado no estudo, como mostram os gráficos acima. Os altos valores de resistências obtidos podem ser justificados, primeiro por terem sido utilizados nos estudos um cimento de alta resistência inicial, que apresenta em sua composição, diferentes percentuais de calcário e argila na produção do clínquer, que contribui para uma alta área específica (Blaine), resultando em um material muito fino que, ao reagir com a água, adquire elevadas resistências, com maior velocidade (NEVILLE, 2015). A presença do percentual de fino do agregado reciclado, que é constituído por parte do fino da rocha e da pasta de cimento do concreto, também favoreceu para estes níveis de resistências.

Analisando os resultados médios aos 28 dias de cura, mostrados no Gráfico 3, verifica-se que quanto maior o teor de agregado reciclado na mistura, maior é a compacidade da mesma, devido ao empacotamento que resulta em menores índices de vazios, contribuindo para a obtenção de níveis de resistências a compressão simples maiores. Quanto ao traço TPS 2, que na sua composição foi utilizado menor percentual de agregado reciclado, subentende-se que o percentual de finos não contribuiu de forma significativa na compacidade da mistura, deixando certo índice de vazios o que resultou menores níveis de resistência tanto em relação TP quanto aos traços TPS 3 e TPS 4.

O percentual de crescimento das resistências em relação ao tempo de cura está mostrado no Gráfico 4. Verifica-se que o traço TPS 4 apresentou menor percentual, apesar de ter apresentado maiores valores de resistências aos 7 e 28 dias de cura.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar do pequeno universo de características estudadas, verificou-se que é válida a utilização do agregado reciclado oriundo de Resíduos de Corpos de Prova – RCP, em substituição ao agregado graúdo para a fabricação de concretos estruturais. Porém, em pesquisas futuras, é de grande valia que sejam investigadas outras características de concretos fabricados com o agregado reciclado a exemplo de: resistência à tração na flexão, resistência à tração direta, módulo de elasticidade, permeabilidade, entre outras, que irão atribuir uma maior segurança quando utilização do agregado reciclado em relação a vida útil de estruturas executadas com estes concretos.

## REFERÊNCIAS

A. Rao, K.N. Jha, S. Misra. **Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete Resour Conserv Recycl.**, 50 (2006), pp. 71-81.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação.** 2. ed. Rio de Janeiro, 2004. 77 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos.** Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 45: Agregados: Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro, 2006. 18 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 12655: Concreto de Cimento Portland. Preparo, controle e recebimento - Procedimento.** 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 22 p.

- \_\_\_\_\_. **NBR 248:** Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 13 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 46:** Agregado - Determinação do Teor de Material Pulverulento. Rio de Janeiro, 2009. 6 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 52:** Agregado miúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009. 12 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 53:** Agregados: Determinação da massa específica, massa específica aparente e absoluta da água dos agregados. Rio de Janeiro, 2003. 15 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 5738:** Concreto. Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 2. ed. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 5739:** Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007. 13 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 67:** Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998. Rio de Janeiro, 2015. 8 p.
- BANTHIA; CHAN, C. Use of recycled aggregate in plain and fiber reinforced shotcrete. *Concrete Internacional*, v.22, n.6,p.41-46, julho 2000.
- BARAI, S. V. Studies on recycle aggregates based concrete. *Waste management & Reserch*. Vol 24, p. 225-233, 2006.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Lei nº 307 – 2002**. Brasília, 2002. 5 p.
- BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 21 jul. 2016.
- CARNEIRO, A. P; BURGOS, P. C; ALBERTE, E. P. V. Uso do agregado reciclado em camadas de base e sub-base de pavimentos. Projeto Entulho Bom. Salvador: EDUFBA/ Caixa Econômica Federal, 2001, 188-227 p.
- CARNEIRO, A.P; CASSA, J.C.S.; BRUM, I.A.S. **Reciclagem de Entulho para a Produção de Materiais de Construção**. Projeto entulho bom. EDUFBA; Caixa Econômica Federal. Salvador. 312 p. 1ª edição. 2001
- CINCOTTO, M.A. **Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil, Tecnologia de Edificações**. São Paulo, 1983, p. 71-78.
- DORSTHORST, B.J.H; HENDRIKS, Ch. F. Re-use of construction and demolition waste in the EU. In: CIB Symposium: Construction and Environment – theory into practice., São Paulo, 2000. Proceedings. São Paulo, EPUSP, 2000.
- JOHN, V. M., ÂNGULO, S. C, KAHN, H. Controle de qualidade dos agregados de resíduos de construção e demolição reciclados para concretos a partir de uma ferramenta de caracterização. In: Miguel Aloysio Sattler, e Fernando Oscar Ruttkay Pereira. *Construção e Meio ambiente*. Organizador. Porto Alegre: ANTAC, 2006, cap. 7.
- JOHN, V.M **Pesquisa e desenvolvimento do mercado para resíduos**. In: Seminário sobre reciclagem e reutilização de resíduos com materiais de construção, 1996, São Paulo.
- JOHN, V.M; AGOPYAN, V. Reciclagem de resíduo da construção. São Paulo, 2000.13p
- KASAI, Y. Demolition and reuse of concrete and masonry. *Concrete International*, v.11, n. 3, p.24-28, 1989.
- LAURITZIN, E. K. **The global challenge of recycled concrete**. In: Use of recycled concrete aggregate. DHIR, HENDERSON & LIMBACHIYA eds. Tomas Telfor, 1998, p. 506.
- LEITE.B. M. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. 2001 Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- LEVY, Salomon M. **Reciclagem do entulho da construção civil, para utilização com agregados para argamassas e concretos**. São Paulo, 1997. 147p. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

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

LIMA, J. A. R. Industrialização de componentes a partir de uma política de reciclagem de resíduos da construção urbana. In: SIMPÓSIO ÍBERO - AMERICANO SOBRE TÉCNICAS CONSTRUTIVAS INDUSTRIALIZADAS PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL; 3., São Paulo, 1999.

MONTEIRO, José H. P. et al. Manual Integrado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, Rio de Janeiro. IBAM, 2001

NEVILLE, M.A.; BROOKS, J.J. Tecnologia do Concreto. 5ª edição. 2015.

NUNES, K. R. A. Avaliação de investimentos e de desempenho de centrais de reciclagem para resíduos sólidos de construção e demolição. Programa: Engenharia de Produção UFRJ. 2004

OLIVEIRA, D. F. Contribuição ao estudo da durabilidade de blocos de concreto produzidos com a utilização de entulho da construção civil. 119f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 2003

PICCHI, F. A. Desperdício impera na construção civil. O Estado de São Paulo, São Paulo, 16 maio 1993.

PINTO, T. P. De Volta à Questão do Desperdício. Construção, São Paulo, Ed. Pini, no 2491, nov. 1995.

TOALDO, E. **Para não virar pó.** Construção, São Paulo n.2348, p.10, fevereiro. (1993).

VÁSQUEZ, E.; BARRA, M. "Recycling of aggregates in the construction industry". In: CIB Symposium in Construction and Environment: Theory into Practice, 2000, São Paulo, Brazil. Proceedings... [CD-ROM]. São Paulo: CIB, 2000. 8p

VIEIRA, G. L.; DAL MOLIN, D. C. C.; LIMA, F. B. Resistência e Durabilidade de Concretos Produzidos Com Agregados Reciclados Provenientes de Resíduos de Construção e Demolição. **Revista Engenharia Civil da Universidade do Minho**, v. 19, p. 5-18, 2004.

Enviado em: 28/07/2016.

Aceito em: 04/11/2016.