

## ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NAS PRINCIPAIS PROPRIEDADES DO CONCRETO

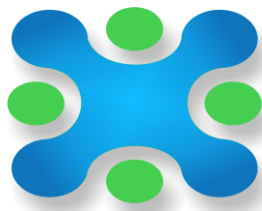
Sabiana Gilsane Mühlen dos Santos<sup>a</sup>, Ana Cláudia Larsson<sup>b</sup>, Nelson Seidler<sup>c</sup>, Vanusa Andrea Casarin<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões- Campus Santo Ângelo, e-mail: sabianavonmuhlen@gmail.com; <sup>b</sup>Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões- Campus Santo Ângelo, e-mail: anaclaudia.larsson@gmail.com; <sup>c</sup>Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões- Campus Santo Ângelo, e-mail: seidler@santoangelo.uri.br; <sup>d</sup>Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões- Campus Santo Ângelo, e-mail: vanusaandrea@santoangelo.uri.br

**Resumo:** A produção de lixo e seus impactos tem sido uma preocupação dos órgãos governamentais e outros setores da sociedade, tornando necessária a implantação de políticas que reduzam sua produção ou procurem a destinação adequada dos resíduos. Em vista disso, a construção civil que produz um grande quantidade de entulho durante as obras realizadas, necessita de uma alternativa para minimizar os malefícios dos resíduos de construção e demolição (RCD). Sendo assim, o presente trabalho estudou a utilização e influência dos RCD's na produção de concreto, produto este que é utilizado em larga escala em obras de construção civil, fazendo a substituição do agregado graúdo natural por agregado graúdo originado de entulho nas proporções de 30, 50 e 100%, visando dar a destinação adequada dos resíduos de construção e demolição diminuindo consideravelmente os impactos ambientais, além de custos com matéria-prima natural. Verificou-se que esse tipo de material necessita de uma maior relação a/c, para melhorar a trabalhabilidade no estado fresco e por maior que seja o teor de substituição sua resistência à compressão não apresentou diferença significativa segundo a ANOVA. Portanto mostrou-se um material interessante para o uso na construção civil quando avaliado a resistência e menor impacto ambiental, pois durante os ensaios de compressão axial nas substituições do agregado natural pelo reciclado com as proporções de 30%, 50% e 100% em todas as idades apresentaram bons resultados, sendo portanto uma solução viável o uso de RDC como substituição aos agregados no concreto.

**Palavras-chave:** Resíduos de construção e demolição, sustentabilidade, agregado reciclado.

**Abstract:** The production of waste and its impact has been a concern of government agencies and other sectors of society, the implementation of policies making it necessary to reduce their production or seek the proper disposal of waste. In this point of view, the construction that produces a large amount of debris during the works carried out, needs an alternative to minimize the harmful effects of waste from construction and demolition (WCD). Thus, this paper studied the use and influence of WCD's in concrete production, which product is used in large-scale construction works, making the replacement of natural coarse aggregate by coarse aggregate originated from rubble in 30 proportions, 50 and 100%, aiming to provide the proper disposal of construction and demolition waste significantly reducing environmental impacts, and costs of natural raw material. It was found that this kind of material requires a higher w/c ratio, to improve the workability in the fresh state and is greater than the replacement content of the compressive strength showed no significant difference according to ANOVA. Therefore proved to be an interesting material for use in construction when measured resistance and lower environmental impact, because during the axial compression tests in the replacement of natural aggregate by recycled with the proportions of 30%, 50% and 100% in all ages showed good results, therefore a viable solution using the WCD as a substitute for aggregates in concrete.



# 6<sup>ta</sup> JIDeTEV

Investigación y Desarrollo Tecnológico.  
Extensión, Vinculación y Muestra de la Producción.

Keywords: construction and demolition waste, sustainability, recycled aggregate

## 1. INTRODUÇÃO

Tendo em vista que os recursos naturais são finitos e a produção de resíduos tem aumentado em vários âmbitos da construção civil, a busca por alternativas renováveis que deem a destinação adequada a tais resíduos e ao mesmo tempo auxiliem na preservação do meio ambiente tem sido uma preocupação para os profissionais da área.

Além disso, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) criou a resolução CONAMA n.º. 307, publicada em 2002, que estabelece critérios para a gestão dos resíduos de construção civil, colocando sobre responsabilidade dos municípios o efetivo cumprimento da mesma junto aos construtores procurando a destinação apropriada dos rejeitos visando diminuir os impactos ambientais.

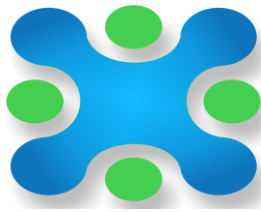
Dessa forma, a utilização de agregados recicláveis originados de resíduos de construção civil, na produção de concreto atende as exigências legais acerca do cuidado com o meio ambiente e diminui custos com matérias primas desde que os mesmos não afetem a qualidade do material em questão.

## 2. ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NAS PRINCIPAIS PROPRIEDADES DO CONCRETO

### 2.1 Materiais constituintes do concreto

Dentre os materiais constituintes do concreto cita-se: cimento, areia, brita e água. Decorrente da rocha matriz e considerando os fatores relacionados ao processo de fabricação, os agregados possuem características importantes que afetam o processo de dosagem do concreto e seu comportamento nos estados frescos e endurecido. (MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J.M., 2014). A figura 1 mostra as propriedades do concreto nesses dois estados e os elementos que influenciaram essas características.

FIGURA 1: Diagrama ilustrativo de como a microestrutura, condições prévias de exposição e fatores relacionados ao processo de fabricação do agregado determinam as características e propriedades do concreto.



Fonte: ( MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J.M., 2014, p. 274).

### ***Cimentos***

Material proveniente de misturas de materiais calcários e argilosos em quantidades apropriadas que se tornem compostos químicos adequados para o cozimento (BAUER, 2000). Em seu processo de fabricação o cimento é o produto obtido da pulverização do *clinker* constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, contendo, eventualmente, adições que variam de acordo com o tipo de cimento.

Sua fabricação comporta seis operações principais: extração da matéria-prima; britagem; moedura e mistura; queima; moedura do *clinker*; expedição (BAUER, 2000). De acordo com o processo de fabricação do cimento e os materiais constituintes do mesmo, é possível analisar as propriedades físicas, como densidade, finura, tempo de pega, pasta de cimento, resistência, exsudação e químicas tais como estabilidade, calor de hidratação, resistência aos agentes agressivos, reação álcali- agregado.” Tais propriedades se enquadram em processos em processos artificialmente definidos nos métodos e especificações padronizadas, oferecendo sua utilidade quer para o controle de aceitação do produto, quer para a avaliação de suas qualidades para os fins de utilização dos mesmos.” (BAUER, 2000, p.38).

### ***Tipos de cimento***

Os cimentos são classificados de acordo com a sua constituição mineralógica e as propriedades referentes ao tipo de aplicação. Podem-se encontrar vários tipos de cimento no Brasil oficialmente normalizados (BAUER, 2000). A tabela 1 mostra os tipos de cimento Portland fabricados no Brasil e a 2 os principais componentes do cimento Portland.

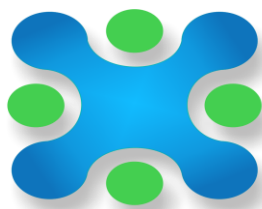


Tabela 1- Tipos de Cimento Portland normalizados, fabricados no Brasil

| Norma                  | Sigla    | Designação (tipo)                            | Classe     |
|------------------------|----------|--|------------|
| NBR 5732/91(EB1/91)    | CPI      | Cimento Portland Comum                       | 25,32 e 40 |
|                        | CPI-S    | Cimento Portland Comum c/ adição             | 25,32 e 40 |
| NBR 11578/91(EB- 2138) | CPII-E   | Cimento Portland Comum c/ Escória            | 25,32 e 40 |
|                        | CPII-Z   | Cimento Portland Comum c/ Pozolana           | 25,32 e 40 |
|                        | CPII- F  | Cimento Portland Comum c/ Filler             | 25,32 e 40 |
| NBR 5735/91 (EB-208)   | CPIII    | Cimento Portland de Alto Forno               | 25,32 e 40 |
| NBR 5736/91 (EB-758)   | CPIV     | Cimento Portland Pozolânico                  | 25 e 32    |
| NBR 5733/91 (EB-2)     | CPV- ARI | Cimento Portland de Alta Resistência Inicial |            |

Fonte: Bicca, 2000.

Tabela 2 - Componentes do cimento Portland

| Sigla    | Teores dos componentes      |                   |                     |                      |
|----------|-----------------------------|-------------------|---------------------|----------------------|
|          | Clinker + Sulfato de Cálcio | Escória Granulada | Material Pozolânico | Material Carbonático |
| CPI      | 100                         | -                 | 0                   | -                    |
| CPI-S    | 99-95                       | -                 | 1-5                 | -                    |
| CPII-E   | 94-56                       | 6-34              | -                   | 0-10                 |
| CPII-Z   | 94-76                       | -                 | 6-14                | 0-10                 |
| CPII-F   | 94-90                       | -                 | -                   | 6-10                 |
| CPIII    | 65-25                       | 35-70             | -                   | 0-5                  |
| CPIV     | 85-45                       | -                 | 15-50               | 0-5                  |
| CPV- ARI | 100-95                      | -                 | -                   | 0-5                  |

Fonte: Bicca, 2000

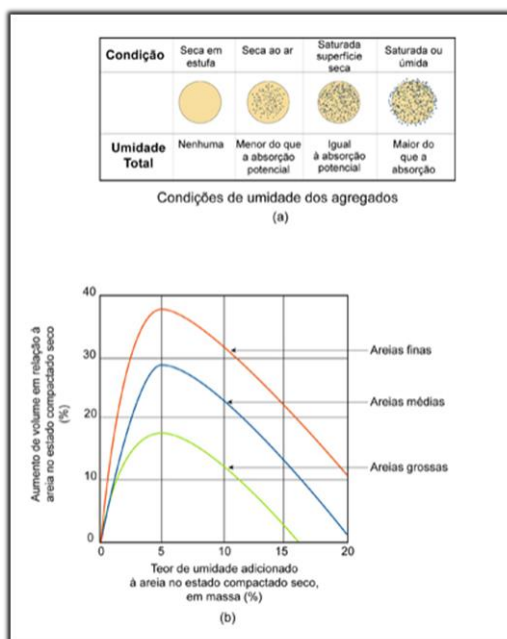
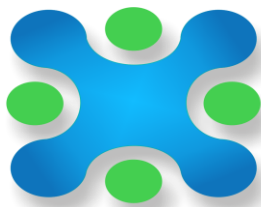
Segundo BICCA “no Sul do país o maior volume de produção é de Cimento Portland Pozolânico (Tipo IV) Classe 32, sendo por isso o mais empregado.” ( 2000, p. 28)

### *Agregados miúdos*

São classificados como agregados miúdos aqueles que passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,075 mm. (MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J.M., 2014).

Uma das características dos agregados miúdos que influencia no processo de dosagem do concreto é um fenômeno denominado inchamento, este varia conforme a composição granulométrica do agregado. “As areias finas apresentam maior inchamento porque a tensão superficial da água mantém as partículas separadas” (MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J.M., p.276, 2014). A figura 2a apresenta as condições de umidade do agregado miúdo e a b faz referência ao inchamento proporcionado pela umidade.

Figura 2- (a) Agregado em várias condições de umidade; (b) Inchamento devido à umidade no agregado miúdo.



Fonte: MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J.M. 2008, p. 276

### **Agregados graúdos**

Consideramos agregado graúdo os grãos que passam pela peneira ABNT 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT 4,8 mm. Conforme a dimensão característica do agregado graúdo varia a quantidade de água necessária para alcançar uma consistência específica no concreto. (MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Monteiro, Paulo J., 2014).

O agregado graúdo também pode ser um fator de economia se for usado o volume máximo de agregado, no estado compactado e seco, por volume unitário de concreto. (MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J., 2014).

### **Água**

A relação água / cimento influencia na resistência do concreto, determina a porosidade da pasta de cimento endurecido, para um dado grau de hidratação.

### **2.1 Emprego dos resíduos da construção civil na resistência do concreto**

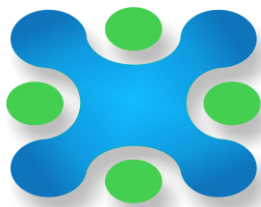
Resultado das atividades humanas os resíduos são uma preocupação no que diz respeito à saúde humana e preservação ambiental, pois pode ser danoso quando material poluente é despejado de maneira incoerente na natureza. Devido a isso tem se pesquisado alternativas de gestão dos resíduos de construção e demolição (RCD).

Em análise da utilização de resíduos na produção de elementos pré-moldados, como blocos estruturais, blocos de vedação e argamassas para revestimento o programa Habitare, Programa de Tecnologia de Habitação, apresenta a tabela 3 com as vantagens e inconvenientes do uso desse material.

Tabela 3- Vantagens e inconvenientes da utilização do RCD

| Vantagens do uso de resíduo de construção e demolição | Inconvenientes |
|---|----------------|
|---|----------------|

|                          |
|--------------------------|
| Características Técnicas |
|--------------------------|



- |   |   |
|---|---|
| a) Disponibilidade, estimada 654,72 t/dia (Florianópolis, SC), Blumenau SC-441,92 (t/dia) | a) Necessidade de sistematizar o controle de qualidade do agregado reciclado  |
| b) Necessidade de beneficiamento prévio do resíduo de construção e demolição              | b) Necessidade de controlar a água a ser absorvida pelo agregado reciclado de entulho ou fazer moldagem previa com tempos de imersão em água superiores a 20 min. |
| c) Argamassas e concretos podem ser dosados no próprio canteiro                           | c) Controle do resíduo de demolição de instalações de saúde e industriais, devido o risco de contaminantes  |
| d) Tecnologia de processamento e classificação já tem estudos em casos bem sucedidos      | d) Controle do teor de gesso incorporado  |

#### Características Sociais

- |  |   |
|--|---|
| e) A indústria da construção civil é a própria geradora do resíduo da obra   | e) Uso em processo construtivo convencional     |
| f) Instalação de usinas para britar e classificar em localizações estratégicas atende à geração de resíduos do município | f) Agregado pode ser fornecido a um baixo custo |
| g) Geração de emprego nas unidades de processamento do resíduo da construção e demolição                                 | g) Aplicação em obras publicas                  |

#### Características Ambientais

- |   |  |
|---|--|
| h) Redução do entulho de obra descartada clandestinamente | h) A operação da usina para processamento do entulho necessita licença ambiental |
| i) Oferta do produto, com atributo ambiental              |  |

Fonte: ROCHA, Janaíde Cavalcante; CHERIAF, Malik, 2003, p.87

#### ***Tipos de resíduos da construção civil***

Segundo a NBR 15113/2004, defini-se resíduos da construção civil como:

“Resíduos 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, caliça ou metralha.” (ABNT, NBR 15113/2004, p.2)

E podem divididos em classes A, B, C e D. Sendo:

**CLASSE A:** Resíduos que podem ser reutilizados ou reciclados como agregados, tais como, materiais obtidos de reformas, construções ou demolição, tijolos, argamassas, blocos, telhas, placas de revestimento, etc.

**CLASSE B:** Materiais recicláveis para outras finalidades como vidro, papel, plástico, papelão, entre outros.

**CLASSE C:** Resíduos que não possuem tecnologias ou aplicações viáveis para sua reciclagem, como produtos oriundos do gesso.

**CLASSE D:** Resíduos perigosos provenientes do processo de construção, como solventes, tintas e outros, ou contaminados durante a reforma, reparos ou demolição de clínicas radiológicas, instalações industriais etc.

### ***Proporções de resíduos em obras de construção civil***

Os resíduos em obras de construção civil, tem alcançado números elevados e pode ser superior aos resíduos domiciliares. Pode-se dizer que “os resíduos da construção e demolição representam entre 41% e 70% do total de resíduos sólidos urbanos.” (PINTO, 1999 apud DIAS; KERN; KULAKOWSKI; GOMES; BENINI, 2014, p. 3072).

Esses números não são assustadores somente em nível nacional, no cenário mundial, os resíduos da construção civil tem uma proporção considerável. De acordo com JOHN & AGOPYAN (2010, p. 3) temos a estimativa da geração de resíduos de construção civil a nível mundial conforme a tabela 4.

Tabela 4 – Estimativas de geração de resíduos de construção civil

| País      | Quantidade Anual |            | Fonte   |
|-----------|------------------|------------|---|
|           | Mton/ano         | Kg/hab.    |   |
| Suécia    | 1,2 – 6          | 136 – 680  | TOLSTOY, BÖRKLUND & CARLSON (1998); EU (1999)                       |
| Holanda   | 12,8 – 20,2      | 820 – 1300 | LAURITZEN (1998); BROSSINK; BROUWERS & VAN KESSEL (1996); EU (1999) |
| EUA       | 136 – 171        | 463 – 584  | EPA (1998); PENG. GROSSKOPF, KIBERT (1994)                          |
| UK        | 50 – 70          | 880 a 1120 | DETR (1998); LAURITZEN (1998)                                       |
| Bélgica   | 7,5 – 34,7       | 735 – 3359 | LAURITZEN (1998), EU (1999)   |
| Dinamarca | 2,3 – 10,7       | 440 – 2010 |   |
| Itália    | 35 – 40          | 600 – 690  |   |
| Alemanha  | 79 – 300         | 963 – 3658 |   |
| Japão     | 99               | 785        | KASAI (1998)  |
| Portugal  | 3,2              | 325        | EU (1999)   |
| Brasil    |                  | 230 – 660  | PINTO (1999)  |

Fonte: (a partir de JOHN, 2000)

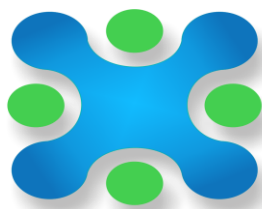
Essa geração exacerbada de resíduos sem a destinação adequada dos mesmos gera impactos ambientais, tornando-se uma preocupação devendo haver uma grande preocupação a respeito desses rejeitos, procurando soluções viáveis que minimizem as ações poluentes e gerem resultados positivos nas obras de construção civil.

### **2.2 Aproveitamento dos resíduos da construção civil em concretos**

Em virtude da redução dos custos e minimização dos impactos ambientais, pesquisas no campo da engenharia civil, tem trazido como tema o uso de agregados reciclados na produção de concreto, podendo ser agregados oriundos de várias etapas da construção, desde cerâmicas, argamassas, tijolos, madeira, etc.

A utilização de tais resíduos na produção de concreto requer uma atenção especial as características físicas e mecânicas dos agregados reciclados que alteram a trabalhabilidade e qualidade do concreto a ser produzido. Sendo assim, é necessário fazer misturas experimentais fazendo a substituição dos agregados naturais em diversas proporções por agregados reciclados. (LEITE, 2001).

Entretanto, algumas propriedades específicas devem ser observadas, como a alta taxa de absorção de água do agregado reciclado, sua forma irregular e a textura muito áspera, tornando necessária a pré-umidificação do mesmo ou o uso de aditivos superplastificantes para que não prejudique a



trabalhabilidade do concreto, tanto no estado fresco, quanto endurecido. (DEVENNY; KHALAF, 1999 apud LEITE, 2001).

Segundo FORSTER (1996) citado por LEITE (2001) apenas a substituição de 15 a 30 % do agregado reciclado, na fração miúda, pode favorecer a trabalhabilidade e o acabamento da mistura de concreto. Apesar de considerar que o ideal seria a utilização dos agregados reciclados graúdos e miúdos na substituição dos agregados naturais.

É possível verificar as influências quantidade de substituição dos agregados reciclados no concreto, através dos ensaios à compressão e à tração.

“DI NIRO et al. (1998) realizaram misturas de concreto com agregado reciclado utilizando teores de 0,30, 50, 70 e 100% de substituição do agregado graúdo natural pelo reciclado e concluíram que quanto maior o teor de substituição utilizado, menor era a resistência à compressão do concreto reciclado. Para o traço com 100% de agregado reciclado a redução foi de cerca de 20%, enquanto que para a mistura com apenas 30% de substituição a redução foi de apenas 4%.” (LEITE, 2001)

Contudo, agregados graúdos provenientes de blocos cerâmicos apresentaram 10% mais resistência à compressão do que o concreto referência, com relação a/c variando entre 0,3 a 0,6. (MANSUR et al. 1999 apud LEITE, 2001).

Da mesma forma nos estudos realizados sobre a resistência à tração, “concretos produzidos com agregados reciclados de tijolos cerâmicos, com resistência em torno de 37 MPa, apresentaram resultados de resistência à tração 11% superiores aos mesmos concretos de referência.” (AKHTARUZZAMAN e HASNAT, 1983 apud LEITE, 2001, p. 115).

Segundo MORETTI et al. (2014) ao realizar a dosagem do concreto conforme a tabela 5, verificou-se que o uso de RCC pode influenciar negativamente a durabilidade do concreto quando comparado ao concreto referência. Entre os resultados encontrados constatou-se maior absorção de água, índice de vazios e profundidade de carbonatação.

Tabela 5- Dosagem dos concretos com RCC e referência

| Traço      | Teor de RCC | Composição do traço de concreto (em massa e seco) |       |      |       |      |                 |
|------------|-------------|---|-------|------|-------|------|-----------------|
|            |             | Cimento   | Areia | RCC  | Brita | a/c  | Abatimento (mm) |
| Referência | 0%          | 1,00  | 2,00  | -    | 2,62  | 0,49 | 77              |
| 30RCC      | 30%         | 1,00  | 2,00  | 0,68 | 1,83  | 0,50 | 65              |
| 50RCC      | 50%         | 1,00  | 2,00  | 1,13 | 1,31  | 0,52 | 65              |
| 100RCC     | 100%        | 1,00  | 2,00  | 2,26 | -     | 0,55 | 70              |

Fonte: Moretti et al.(2014)

Portanto, não há uniformidade nas bibliografias encontradas referentes aos resultados de resistência à tração ou compressão, cabendo especulações com o auxílio de experimentos sobre os reais efeitos dos agregados reciclados no concreto. Considerando que os agregados reciclados, por serem mais irregulares e com texturas rugosas, podem elevar a resistência à tração, além dos benefícios para o meio ambiente e a redução dos custos com matéria-prima.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Materiais utilizados

##### *Cimento*

Para a realização da moldagem dos corpos de prova baseou-se no traço sugerido por MORETTI (2014), sendo o cimento utilizado CP IV-32 RS, com as características químicas e físicas apresentadas na tabela



6, e os agregados reciclados oriundos de entulho, como tijolos, argamassas, cerâmicas, blocos de concretos, além da brita e areia como exibido na figura 3.

Figura 3- Materiais utilizados para realização do ensaio: cimento Supremo CP IV- 32 RS; brita; areia; agregado reciclado.



Tabela 6- Características Químicas e físicas do Cimento CP IV-32 RS

| Químicos    |                                |                  |                                |        |                    |                 |                          |           |               |               |      |
|-------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|--------|--------------------|-----------------|--------------------------|-----------|---------------|---------------|------|
|             | AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO    | MgO                | SO <sub>3</sub> | Perda Fogo               | CaO Livre | Resid. Insol. | Equiv. Alcal. |      |
|             | %                              | %                | %                              | %      | %                  | %               | %                        | %         | %             | %             |      |
| Média       | 9,92                           | 29,43            | 3,83                           | 44,76  | 2,93               | 2,27            | 3,73                     | 0,64      | 25,81         | 1,13          |      |
| Físicos     |                                |                  |                                |        |                    |                 |                          |           |               |               |      |
| Exp. Quente | Tempo de pega                  |                  | Cons. Normal                   | Blaine | # 200              | # 325           | Resistência à compressão |           |               |               |      |
|             | Início                         | Fim              |                                |        |                    |                 | 1 dia                    | 3 dias    | 7 dias        | 28 dias       |      |
|             | mm                             | h: min           | h: min                         | %      | cm <sup>2</sup> /g | %               | %                        | Mpa       | Mpa           | Mpa           | Mpa  |
| Média       | 0,23                           | 04:15            | 05:01                          | 30,3   | 4,19               | 0,56            | 3,28                     | 12,8      | 25,7          | 32,8          | 45,7 |

Fonte: <http://www.cimentoitambe.com.br/relatorios-de-ensaio/?pro=370>

### Agregados

O agregado graúdo utilizado na pesquisa foi a brita 1, de origem basáltica. O agregado miúdo a areia de rio proveniente de Santa Maria, de acordo com a curva granulométrica apresentada nas figuras 4.

Figura 4- Composição Granulométrica NBR - 7217



|                  |         |         |         |          |
|------------------|---------|---------|---------|----------|
| <b>Água</b>      | 3,47 Kg | 3,65 Kg | 3,88 Kg | 4,08 Kg  |
| <b>Reciclado</b> | -       | 5,31 Kg | 8,85 Kg | 17,71 Kg |

Depois foi realizada a moldagem e realizados os ensaios de resistência a tração e compressão. Foram desmoldados em 24 horas e colocados em câmara úmida, em temperatura de 22 °C e umidade relativa de 95%, lá permanecendo até as idades de rompimento.

#### 4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Durante o estudo foi realizado o ensaio de abatimento de tronco de cone, encontrando na tabela 9.

Tabela 9- Resultados da verificação do abatimento nos traços moldados

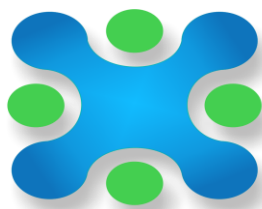
| Ensaio         | Abatimento (mm) |
|----------------|-----------------|
| Testemunho     | 35              |
| 30% reciclado  | 0               |
| 50% reciclado  | 0               |
| 100% reciclado | 45              |

A figura 5 mostra o teste de abatimento, da esquerda para direita está o testemunho, seguido de 30%, 50% e 100% reciclado.

Figura 5- Teste de abatimento realizado no testemunho e nos corpos de prova com a substituição de 30%, 50% e 100% de agregado reciclado.



Verificou-se que na condição de estado fresco o concreto com a substituição de 100% de agregado reciclado apresentou abatimento superior ao concreto referência em 10mm. Entretanto com os traços de 30% e 50% de substituição o abatimento foi zero, tornando necessário aumentar a quantidade de água para a mistura, não apresentando boa trabalhabilidade.



Segundo LEITE (2001) isso ocorre devido a maior capacidade de absorção de água do agregado reciclável, e ainda a sua granulometria mais contínua, irregularidade de forma e aspereza, ocasionando maior travamento entre as partículas de agregado reciclado comparado ao agregado natural.

Concluída a moldagem e o tempo de cura, os corpos de provas foram submetidos aos ensaios de compressão, resultando nos dados da tabela 10.

Tabela 10- Resultados à compressão axial realizados nos três, sete e vinte e oito dias no ensaio do testemunho, com substituição de 30%, 50% E 100% de agregado reciclado.

| Material   | Data da moldagem | Data de ensaio | Idade | Resistência obtida |       |
|------------|------------------|----------------|-------|--------------------|-------|
|            |                  |                |       | Kgf                | Mpa   |
| Testemunho | 17/11/2015       | 20/11/2015     | 3     | 10336              | 12,91 |
|            | 17/11/2015       | 20/11/2015     | 3     | 10000              | 12,49 |
|            | 17/11/2015       | 24/11/2015     | 7     | 14727              | 18,39 |
|            | 17/11/2015       | 24/11/2015     | 7     | 15462              | 19,31 |
|            | 17/11/2015       | 15/12/2015     | 28    | 23911              | 29,86 |
|            | 17/11/2015       | 15/12/2015     | 28    | 24419              | 30,49 |
|            | 17/11/2015       | 20/11/2015     | 3     | 10644              | 13,29 |
| 30% de RCD | 17/11/2015       | 20/11/2015     | 3     | 10136              | 12,66 |
|            | 17/11/2015       | 24/11/2015     | 7     | 16479              | 20,58 |
|            | 17/11/2015       | 24/11/2015     | 7     | 13847              | 17,29 |
|            | 17/11/2015       | 15/12/2015     | 28    | 23620              | 29,49 |
|            | 17/11/2015       | 15/12/2015     | 28    | 23611              | 29,48 |
|            | 17/11/2015       | 20/11/2015     | 3     | 8639               | 10,79 |
|            | 17/11/2015       | 20/11/2015     | 3     | 10308              | 12,87 |
| 50% RCD    | 17/11/2015       | 24/11/2015     | 7     | 14582              | 18,21 |
|            | 17/11/2015       | 24/11/2015     | 7     | 14446              | 18,04 |
|            | 17/11/2015       | 15/02/2015     | 28    | 23738              | 29,68 |
|            | 17/11/2015       | 15/02/2015     | 28    | 25616              | 31,99 |
|            | 19/11/2015       | 23/11/2015     | 3     | 7078               | 8,84  |
|            | 19/11/2015       | 23/11/2015     | 3     | 7840               | 9,79  |
|            | 19/11/2015       | 26/11/2015     | 7     | 7223               | 9,02  |
| 100% RCD   | 19/11/2015       | 26/11/2015     | 7     | 7532               | 9,40  |
|            | 19/11/2015       | 17/12/2015     | 28    | 19001              | 23,73 |
|            | 19/11/2015       | 17/12/2015     | 28    | 18103              | 22,60 |

A partir dos dados apresentados examinou-se a variabilidade das observações dentro de cada grupo através da Análise da Variância. O objetivo principal foi verificar o nível de significância entre grupos, isto é, se existem Diferenças Significativas entre médias de grupos diferentes. Os dados são lançados em programas computacionais, que apresentam a soma, a média e a variância, como também a soma dos quadrados, os graus de liberdade, as médias quadráticas e o teste F, conforme resumo observado nas tabelas 11,12 e 13. É comparado o valor F com o F crítico ou tabelado. Se F for maior que o valor tabelado, conclui-se que existem diferenças significativas entre grupos, isto é, os fatores que estão sendo comparados possuem influência no resultado que está sendo analisado.

Tabela 11- ANOVA – Comparação entre testemunho e 30% RCD

| Fonte da variação | SQ | Gl | MQ | F | valor-P | F crítico |
|-------------------|----|----|----|---|---------|-----------|
|-------------------|----|----|----|---|---------|-----------|

|              |        |   |        |           |           |           |
|--------------|--------|---|--------|-----------|-----------|-----------|
| Entre grupos | 0,0363 | 1 | 0,0363 | 0,0006048 | 0,9808641 | 4,9646027 |
|--------------|--------|---|--------|-----------|-----------|-----------|

Tabela 12- ANOVA – Comparação entre testemunho e 50% RCD

| Fonte da variação | <i>SQ</i>   | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i>  | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|-------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|----------------|------------------|
| Entre grupos      | 0,291408333 | 1         | 0,2914083 | 0,0041943 | 0,9496385      | 4,9646027        |

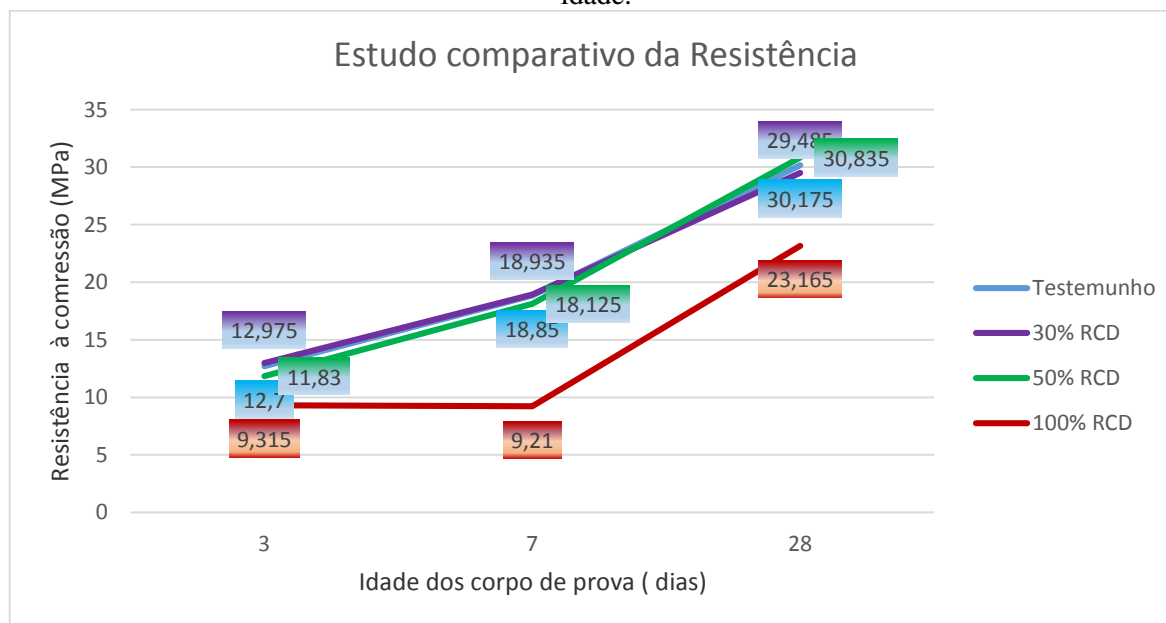
Tabela 13- ANOVA – Comparação entre testemunho e 100% RCD

| Fonte da variação | <i>SQ</i>   | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i>  | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|-------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|----------------|------------------|
| Entre grupos      | 133,8004083 | 1         | 133,80041 | 2,3314591 | 0,1577711      | 4,9646027        |

Considerando que  $F < F$  crítico nas tabelas 11, 12 e 13, portanto não existem diferenças significativas do testemunho em relação a 30,50 e 100% de RCD.

A figura 7 mostra o comportamento da resistência a compressão aos 3, 7 e 28 dias, assim como as tabelas 14, 15 e 16, a ANOVA.

Figura 7-Estudo comparativo da Resistência à compressão média nos corpos de prova conforme a idade.



Constatou-se que houve um incremento na resistência a compressão entre 3 e 7 dias de 28,10%, de 58,81% entre 3 e 28 dias e entre 7 e 28 dias um aumento da resistência a compressão de 60,24%.

Tabela 14- ANOVA – Estudo comparativo das resistências aos 3 e 7 dias.

|  | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
|--|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|

| Fonte da variação |          |   |          |           |           |           |
|-------------------|----------|---|----------|-----------|-----------|-----------|
| Entre grupos      | 41,86125 | 1 | 41,86125 | 3,3323051 | 0,1177263 | 5,9873776 |

Pela ANOVA conclui-se como  $F < F$  crítico, estatisticamente esses resultados são iguais.

Tabela 15- ANOVA – Estudo comparativo das resistências aos 3 e 28 dias.

| Fonte da variação | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i>  | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|------------------|
| Entre grupos      | 558,4482  | 1         | 558,4482  | 72,853661 | 0,0001418      | 5,9873776        |

Tabela 16- ANOVA – Estudo comparativo das resistências aos 7 e 28 dias.

| Fonte da variação | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i>  | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|------------------|
| Entre grupos      | 294,51645 | 1         | 294,51645 | 16,877048 | 0,0062993      | 5,9873776        |

De acordo com ANOVA, nas tabelas 15 e 16 e como  $F > F$  crítico, existem diferenças significativas na resistência comparando 3 e 28 dias ou 7 e 28 dias, mostrando a influência das idades no crescimento das resistências a compressão.

## 5 CONCLUSÃO

Nota-se que o agregado reciclado oriundo de resíduos de construção e demolição (RCD) possui vantagens quando utilizados em substituição do agregado natural. Analisando os três comportamentos em relação ao testemunho, conclui-se que sobre o aspecto da resistência a compressão conseguiu-se bons resultados, quando necessita-se resistências em torno de até 20 MPa, para qualquer percentual de substituição analisados aos 28 dias. Pode-se verificar que resultados com 30 e 50% de substituição mostraram ser melhores quando utilizados RCD.

Analisando sob o aspecto ambiental e como os resultados foram bons na faixa desejada de resistência, chega-se a conclusão que para qualquer percentual de substituição, os resultados foram altamente satisfatórios, podendo serem utilizados perfeitamente em substituição aos agregados naturais, reduzindo desta forma suas deposições no meio ambiente.

## 6 BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto-ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos: NBR 5739.** Rio de Janeiro, 1994.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de construção vol.1** Rio de Janeiro: LTC, 2013.

DIAS; KERN; KULAKOWSKI; GOMES; BENINI. **Geração de resíduos em obras residenciais verticais: investigação da influência do projeto arquitetônico e sistema de produção.** Maceió/AL, 2014, p. 3072 In .XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

JOHN, Vanderley M.; AGOPYAN, Vahan. **Reciclagem de resíduos da construção**. Trabalho apresentado no Seminário- Reciclagem de Resíduo Sólidos Domiciliares, São Paulo, 1998. Disponível em:

<[http://www.globalconstroi.com/images/stories/Manuais\\_tecnicos/2010/reciclagem\\_residuos/CETES B.pdf](http://www.globalconstroi.com/images/stories/Manuais_tecnicos/2010/reciclagem_residuos/CETES B.pdf)>. Acesso em: 10 de dezembro de 2015

LEITE, Mônica Batista. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Porto Alegre, 2001. Tese (Doutorado)- Escola de Engenharia- Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto. Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2014.

MORETTI, Juliana; SALES, Almir; ALMEIDA, Fernando; REZENDE, Mariana. **Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com resíduos da construção civil**. Maceió/AL, 2014, p. 3072 In .XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

Relatórios de Ensaios CP IV-32 RS. Disponível em:

<<http://www.cimentoitambe.com.br/relatorios-de-ensaio/?pro=370>> Acesso em: 14 mai. 2016