

**FACULDADE CAPIXABA DE NOVA VENÉCIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
NA CONFECCÃO DE CONCRETO**

**KAIQUE BROMECHENG CRUGEL TOMAZ  
RAFAEL VINÍCIUS CRUZ FANTI DE MORAES**

**NOVA VENÉCIA - ES  
2017**

# **REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL NA CONFECÇÃO DE CONCRETO**

**KAIQUE BROMECHENG CRUGEL TOMAZ  
RAFAEL VINÍCIUS CRUZ FANTI DE MORAES**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil apresentado à Faculdade Capixaba de Nova Venécia – MULTIVIX, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Eng. Civil William Martins Valente Muniz.

**NOVA VENÉCIA – ES  
2017**

# **REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL NA CONFECÇÃO DE CONCRETO**

**KAIQUE BROMECHENG CRUGEL TOMAZ  
RAFAEL VINÍCIUS CRUZ FANTI DE MORAES**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil apresentado à Faculdade Capixaba de Nova Venécia – MULTIVIX, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_.

## **COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof. Eng. Civil William Martins Valente Muniz  
Faculdade Capixaba de Nova Venécia – MULTIVIX  
Orientador

---

Prof.  
Faculdade Capixaba de Nova Venécia – MULTIVIX  
Examinador

---

Prof.  
Faculdade Capixaba de Nova Venécia – MULTIVIX  
Examinador

## REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL NA CONFECÇÃO DE CONCRETO

Kaique Bromecheng Crugel Tomaz<sup>1</sup>

Rafael Vinícius Cruz Fanti De Moraes<sup>2</sup>

William Martins Valente Muniz<sup>3</sup>

### RESUMO

O setor da construção civil está entre os mais impactantes ao meio ambiente devido a produção em ampla escala de resíduos, que em geral são descartados de forma inadequada na natureza sem qualquer tipo de tratamento. Medidas de reutilização surgem como uma ótima solução para o problema, ao proporcionar uma nova destinação a estes resíduos. Diante disso, o presente trabalho trata da reutilização dos resíduos de construção civil como agregados, para a confecção de concreto reciclado, reduzindo a demanda por novos agregados naturais, afim de evitar uma possível futura escassez destes recursos e de área de descarte. O método de pesquisa ocorreu em laboratório medindo a resistência à compressão do concreto reciclado e sua vantagem econômica em relação ao convencional. Por meio de gráficos foram analisados os perfis de resistência, obtendo resultados satisfatórios para seu uso. A pesquisa também evidencia o potencial de medidas de reutilização do material, expandindo o conhecimento no âmbito dos concretos reciclados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Construção civil. Reutilização. Concreto reciclado.

### ABSTRACT

The construction industry, is among at the most impacting to the environment, owing the large-scale production of waste, which is usually disposed of inappropriately in nature without any kind of treatment. Reuse measures appear to be a great solution to the problem, by providing a new destination for these wastes. Hence, the present work deals with the reuse of construction waste as aggregates, for the preparation of recycled concrete, reducing the demand for new natural aggregates, in order to avoid a possible future shortage of these resources and disposal area. The research method was carried out in the laboratory measuring the compressive strength of the recycled concrete and its economic advantage over the conventional one. By means of graphs the resistance profiles were analyzed, obtaining satisfactory results for their use. The

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Civil pela Faculdade Capixaba de Nova Venécia.

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia Civil pela Faculdade Capixaba de Nova Venécia.

<sup>3</sup> Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Vale do Rio Doce.

research also highlights the potential of reuse measures of the material, expanding knowledge in the scope of recycled concrete.

**KEY WORDS:** Civil construction. Reuse. Recycled concrete.

## 1 INTRODUÇÃO

Dos segmentos que compõem a economia, a construção civil caracteriza-se por ser o setor encarregado de atender as necessidades de infraestrutura e de promover o bem-estar da sociedade, decorrentes do crescimento populacional e consequentemente do desenvolvimento urbano, além de abrigar um grande contingente de trabalhadores em toda sua cadeia produtiva. Entretanto, com o passar dos anos também vem contribuindo com a geração de grandes quantidades de resíduos, os chamados Resíduos de Construção Civil (RCC) (EVANGELISTA; COSTA; ZANTA, 2010).

Em geral, estes resíduos são descartados na natureza sem qualquer tipo de controle, por ser considerada a opção mais barata e prática à curto prazo, não levando em consideração agressividade e a longa vida útil dos materiais que o constituem, acarretando sérios impactos ao meio ambiente e a saúde pública (EVANGELISTA; COSTA; ZANTA, 2010).

A NBR 10004 – Resíduos sólidos: Classificação (ABNT, 2004), que classifica os resíduos sólidos resultantes das mais diversas atividades quanto a sua periculosidade ao meio ambiente e a saúde pública, caracteriza os RCC como inertes, pertencentes a classe II B. Estes resíduos, segundo a NBR 10006 – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos (ABNT, 2004) quando submetidos aos testes de solubilização em água não devem apresentar concentrações de nenhum de seus constituintes superiores aos padrões de potabilidade da água, a não ser os aspectos de cor, sabor e turbidez.

Segundo dados do Ministério das Cidades (2005) do total de resíduos gerados diariamente nas cidades, cerca de 50 a 70% são provenientes da construção civil e que cada habitante produz em média cerca de meia tonelada destes resíduos por ano. Por esse motivo, a reciclagem é citada por alguns autores com uma proposta sustentável de enorme eficiência, por reduzir de forma parcial ou até mesmo total a demanda por agregados convencionais, bem como a quantidade de RCC dispostos na natureza, lixões e em aterros sanitários de resíduos de construção, aumentado à vida útil destas obras, visto que serão destinadas a estas apenas o que não puder ser reutilizado ou reciclado (CANEIRO et al., 2001; JOHN, 2000; LEITE, 2001 apud LORDÊLO; EVANGELISTA; FERRAZ, 2007).

Segundo Zordan (1997), no Brasil há exemplos de usinas de reciclagem operando com sucesso desde 1995, evidenciando um grande potencial tanto do ponto de vista sustentável quanto de eficiência dos produtos. Por esse motivo, o autor reforça a importância da realização de pesquisas no ramo do reaproveitamento de resíduos, dizendo:

Por mais que haja uma constante reavaliação para o aperfeiçoamento dos processos construtivos, de forma a reduzir os custos e a quantidade de material desperdiçado, não há nenhuma mágica que possa ser feita, sempre haverá algo inevitavelmente perdido. Por isso, existe a necessidade de se encontrar soluções para o problema dos resíduos, com formas práticas de reciclagem na própria obra ou em usinas apropriadas. A reciclagem, além de proporcionar melhorias significativas do ponto de vista ambiental, introduz no mercado um novo material com grande potencialidade de uso, transformando o entulho, novamente, em matéria prima. (ZORDAN, 1997, p.3).

Levy (2001), em um de seus estudos afirma que a importância da confecção de concretos com agregados reciclados é de mudar o pensamento errôneo da maioria da sociedade brasileira, ao caracterizarem o entulho como um material inútil e sem valor.

Considerando que o concreto produzido com agregados reciclados tem sua resistência e durabilidade influenciada diretamente pela maior porosidade destes em relação aos agregados naturais, ensaios comprovam que o mesmo apresenta de 5 a 20% da resistência a compressão obtida para os concretos de referência, revelando uma diferença relativamente pequena, possibilitando sua utilização em obras que requerem do concreto uma menor resistência à compressão (HANSEN, 1992 apud LEITE, 2001).

Diante disso, os pesquisadores tiveram o intuito de reaproveitar os resíduos de concreto como uma alternativa sustentável para a problemática da gestão dos RCC na atualidade, devido à insuficiência e a precariedade dos locais de tratamento existentes. O presente trabalho então delimita-se ao estudo dos concretos produzidos com a utilização de agregados provenientes da britagem de resíduos de concreto, denominados agregados reciclados, em termos de resistência e economia. Ao aprofundar nos estudos os pesquisadores verificaram que a substituição do agregado miúdo alcançou melhores resultados se comparado ao agregado graúdo, o que levou ao seguinte questionamento: é viável em termos de resistência e economia a utilização de resíduos de concreto na produção de agregados miúdos, substituindo a areia na confecção de um novo concreto?

Logo, o objetivo principal deste trabalho foi testar a resistência à compressão e verificar a viabilidade econômica do concreto reciclado em relação a um concreto de referência, e a partir dos resultados verificar a possibilidade de sua utilização na construção civil com eficiência e qualidade, empregando assim o conceito de reutilização dos materiais frequentemente descartáveis e contribuindo ainda para o avanço e o enriquecimento acerca do assunto,

essenciais para que novos estudos sejam realizados e juntamente a eles novas tecnologias de destinação continuem a surgir.

Neste contexto, os objetivos específicos do trabalho foram:

- a) Reutilizar os resíduos de construção civil como agregados na confecção de concreto;
- b) Testar resistência à compressão do concreto reciclado; e
- c) Verificar a viabilidade econômica do concreto reciclado em relação ao convencional.

## 2 METODOLÓGIA DA PESQUISA

Para a realização deste projeto, que se trata de uma pesquisa exploratória experimental de abordagem quantitativa, a princípio foram realizadas pesquisas bibliográficas com objetivo de conhecer melhor as principais propriedades do concreto, para que fosse possível produzi-lo com agregados reciclados. Para tal, analisou-se os resultados obtidos por outros pesquisadores que realizaram estudos sobre o concreto reciclado e também consultado as normas técnicas brasileiras para conhecer os métodos de estudo, procedimentos utilizados e os parâmetros normativos vigentes.

O estudo de viabilidade econômica foi desenvolvido através de um comparativo de custos para a produção do concreto convencional em relação ao concreto reciclado, levando em consideração o valor necessário para a aquisição dos insumos (areia, brita, cimento e água), constantes na planilha de custos referenciais do Instituto de Obras Públicas do Espírito Santo (IOPES), cujos valores estão apresentados na tabela 1, exceto o custo da água que é cobrado pela Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN), cujo valor da tarifa para a categoria industrial no ano de 2017 é de R\$ 7,94 por m<sup>3</sup>.

**Tabela 1 – Custo dos materiais utilizados para a confecção dos concretos**

<b>Insumo</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor</b>
Brita 1	R\$/m <sup>3</sup>	62,93
Areia lavada média	R\$/m <sup>3</sup>	53,33
Cimento CP III 40	R\$/kg	0,34

Fonte: IOPES, 2017

A areia e a brita utilizadas na confecção do concreto convencional e reciclado, são provenientes da região de Nova Venécia, sendo a areia da Industria de Beneficiamento de Argila e Areia Miotto Ltda e a brita do britador da empresa de mineração Colúmbia MCL. As propriedades de massa específica e unitária apresentadas a seguir na tabela 2, foram fornecidas de ensaios

realizados pelo Departamento de Estradas e Rodagens do Estado do Espírito Santo (DER-ES) de Nova Venécia.

**Tabela 2 – Características dos materiais utilizados na confecção dos concretos**

<b>Característica</b>	<b>Unidade</b>	<b>Areia</b>	<b>Brita</b>
Massa específica	kg/m <sup>3</sup>	2480	2740
Massa unitária	kg/m <sup>3</sup>	1426	1551

Fonte: DER-ES, 2017

O Cimento utilizado em ambos os traços foi o CP III 40 RS da marca Cauê, produzido na fábrica de Santana do Paraíso, sendo um aglomerante hidráulico obtido da moagem do Clínquer Portland e que atende as condições estabelecidas pelas normas técnicas brasileiras, com disponibilidade no Laboratório de Construção Civil da Faculdade Capixaba de Nova Venécia – Multivix. Sendo, sua massa específica corresponde a 2940 kg/m<sup>3</sup>, fornecida pelo próprio fabricante. A utilização de um aglomerante resistente a sulfatos, está diretamente associada a maior porosidade dos agregados reciclados, como uma forma de tonar o concreto reciclado menos vulnerável.

Os resíduos de concreto utilizados como agregados reciclados nos testes de substituição foram fornecidos pela empresa Toledo Concreto Ltda., os mesmos foram retirados de um caminhão betoneira no qual todo material seria descartado pela empresa, sua retirada para reciclagem foi autorizada pelo sócio administrador da empresa por meio de uma carta de autorização que está em posse dos pesquisadores. O material se trata de concreto puro e enrijecido com resistência de 40 MPa. Não foi necessário a realização do processo de triagem, já que o material se encontrava puro, sem presença de materiais contaminantes que poderiam prejudicar o desempenho do concreto.

A determinação da granulometria dos agregados, confecção de ambos os concretos, moldagem e cura dos corpos de prova, ocorreu no Laboratório de Construção Civil da Faculdade Capixaba de Nova Venécia – Multivix, que disponibilizou suas instalações, equipamentos e materiais para a realização da pesquisa. No entanto, os ensaios de resistência à compressão foram realizados no laboratório do Departamento de Estradas e Rodagens do Espírito Santo (DER-ES) de Nova Venécia. Dessa forma, a coleta de dados envolveu as seguintes atividades:

- a) Coleta e britagem manual dos resíduos de concreto 40 MPa, utilizando maretas e recipiente metálico (disco de arado) como base. O resíduo produzido da britagem foi armazenado em um recipiente plástico com capacidade de 30 litros;



- b) Determinação da granulometria dos agregados, conforme prescreve a NBR NM 248 – Agregados: Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003). Para tal, foi utilizado série de peneiras inox com malha variando de 76mm a 0,075mm, peneirador eletromecânico para peneiras redondas, fundo para peneira inox de 8x2mm, escova com fios de latão e balança eletrônica com capacidade de 20,000kg e precisão decimal de três dígitos;
- c) Dosagem do concreto com base no método proposto pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e prescrições da a NBR 12655 – Concreto: Preparo, controle e recebimento (ABNT, 2015), os materiais utilizados foram o Cimento CP III – 40 RS, agregado miúdo natural, agregado miúdo reciclado, agregado graúdo 12,5mm e água;
- d) Determinação do teor de umidade da areia para a correção do traço, conforme prescreve a NBR NM 30 – Agregado miúdo: Determinação da absorção de água (ABNT, 2001). Para tal, foi utilizado uma amostra de 1000g de areia, bandeja galvanizada, espátula metálica, balança eletrônica utilizada na determinação da granulometria, estufa na temperatura  $105\pm 5$  °C;
- e) Preparo do concreto convencional e reciclado, conforme prescreve a NBR 12655 – Concreto: Preparo, controle e recebimento (ABNT, 2015). Para tal, foi utilizado balança eletrônica especificada anteriormente, carinho de mão, colher de pedreiro 8mm, pá, proveta de 2500ml graduada com precisão de 100ml, bandeja galvanizada com alças 50x30x6cm e betoneira de 150 litros com motor elétrico 110v/50HZ;
- f) Realização do *Slump Test* para determinar da trabalhabilidade do concreto, conforme prescreve a NBR NM 67 – Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tranco de cone (ABNT, 1998). Para tal, foi utilizado, tronco de cone de Abrams completo, placa de base, colher de pedreiro 8mm, régua de aço 30cm, tacho de chapas zincado com haste 28x21x11cm, haste de compactação 16x600mm e amostra de concreto fresco conforme a NBR 15558 – Concreto: Determinação da exsudação (ABNT, 2008);
- g) Moldagem, cura e desforma dos corpos de prova (CP), conforme prescreve a NBR 5738 - Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (ABNT, 2016). Para tal, foram utilizados corpos de prova cilíndricos de aço de 10x20cm, colher de pedreiro 8mm, haste socadora para compactação de 16x600mm e tanque de água para cura dos corpos de prova;
- h) Foram moldados um total de nove CP para cada concreto confeccionado, sendo três CP para cada idade de rompimento, realizadas aos 3, 7 e 28 dias, conforme rege a NBR 12655 – Concreto: Preparo, controle e recebimento (ABNT, 2015); e

- i) Determinação da resistência a compressão do concreto convencional e reciclado, conforme prescreve a NBR 5739 – Concreto: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos (ABNT, 2007), para a determinação foi utilizado a prensa eletrohidráulica digital disponível no laboratório do DER-ES de Nova Venécia.

A partir dos dados fornecidos por estes procedimentos foi feita a constatação e conclusão desta pesquisa.

### **3 REFERÊNCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE CONCRETO**

A construção civil apresenta-se como um dos ramos industriais mais antigos do mundo, cujas técnicas e materiais utilizados são praticamente os mesmos ao longo de sua história. Porém, com o ritmo de crescimento atingido pelo setor nos últimos anos e com a perspectiva de aumento para o futuro, em função do crescimento populacional e econômico, problemas relacionados ao meio ambiente tem sido motivo de alerta, levando o setor a repensar seus conceitos e procurar novos métodos e técnicas que estejam voltadas ao desenvolvimento mais sustentável (LEITE, 2001).

John (1998a), apud Leite (2001), apresenta que a quantidade gerada de RCC, corresponde a aproximadamente o dobro da quantidade de lixo urbano, índice bastante assustador que revela a necessidade de medidas urgentes para conter o avanço do problema. Para a autora “a geração de resíduos de construção e demolição já possui números assustadores e a tendência mundial é que estes valores aumentem ainda mais. Encontrar uma utilização para estes resíduos é mais que uma necessidade, é uma obrigação” (LEITE, 2001, p.18).

Com isso, a utilização de materiais menos agressivos ao meio ambiente tem sido testada e aos poucos vão sendo incorporados. Dentre os quais, a adesão dos agregados reciclados de resíduos de construção civil, que representam uma ótima alternativa para a preservação dos recursos naturais e que também promove um ganho significativo na vida útil dos locais de disposição (LEITE, 2001).

Em geral, os resíduos de construção são gerados em basicamente três fases envolvendo um empreendimento; fase de construção com perdas associadas as tecnologias construtivas, como o superdimensionamento da estrutura; manutenção pela eventual necessidade de reparos para a correção de patologias ou simplesmente para reformas; e demolição que em geral está associada a vida útil da construção (FORMOSO et al.,1998 apud VIEIRA; DAL MOLIN, 2004).

A NBR 10004 – Resíduos sólidos: Classificação (ABNT, 2004), classifica os RCC como pertencentes a classe II B, inertes. De acordo com esta norma estes resíduos, quando:

[...] submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor [...] (ABNT NBR 10004, 2004, p. 5).

Conforme a classificação da NBR 15116 - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos (ABNT, 2004, p.3), que atende a resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, os resíduos passíveis de serem reutilizados ou reciclados como agregados, são “os resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento e outros), argamassa e concreto.”

Esta resolução, também estabelece diretrizes, critérios, procedimentos para gestão e medidas que visam minimizar os impactos dos RCC sobre a natureza, responsabilizando os geradores pela destinação, cujo principal objetivo deverá ser a não geração de resíduos na fonte, seguido da redução, reutilização, reciclagem e destinação final.

É interessante ressaltar que a reciclagem dos resíduos de construção apesar de ser um assunto atual não é uma prática recente, uma vez que teve uma maior adesão após a Segunda Guerra Mundial, na qual alguns países europeus fizeram uso da enorme quantidade entulho gerado durante a Guerra, para a reconstrução de suas cidades, a título de exemplo a Alemanha e a Inglaterra (EVANGELISTA; COSTA; ZANTA, 2010).

De acordo com Gonçalves (2001), os resíduos de concreto são os que apresentam um maior potencial de reutilização em relação aos demais RCC, devido apresentarem um menor teor de contaminação por outros materiais e por terem suas propriedades básicas conhecidas, como resistência, idade, dentre outras. O autor ainda apresenta que os principais geradores de resíduos de concreto são as fabricas de pré-moldados, de concreto usinado, de pavimentação asfáltica e de demolição.

No Brasil, o histórico da reciclagem dos RCC e sua aplicação como material de construção ainda ocorre de modo incipiente, permeando apenas no âmbito técnico-científico. Porém, devido sua importância para o futuro do setor da construção, vem aos poucos sendo motivo de pauta em discussões políticas e de conscientização da sociedade acerca dos impactos ambientais provocados por sua disposição irregular na natureza (ÂNGULO; ZORDAN; JOHN, 2001 apud VIEIRA; DAL MOLIN, 2004).

Neste contexto, a criação de normas técnicas que tratam do manejo dos resíduos sólidos de construção e sua utilização como agregados reciclados, além da função de regulamentar, desempenham um importante papel no estímulo à segregação, reciclagem e adequada

disposição destes resíduos. Por outro lado, é importante destacar a necessidade de ações que tenham como propósito a redução da geração dos resíduos na fonte, para que em conjunto possam ter uma maior eficiência (EVANGELISTA; COSTA; ZANTA, 2010).

Desde 1992, quando foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Rio-92, que teve como resultado a agenda 21, documento que ressaltava a importância e a necessidade de se encontrar soluções para os problemas socioambientais vigentes, verifica-se que houve um aumento do interesse mundial em relação ao futuro do planeta e um esforço maior por parte de alguns países em adotar políticas voltadas para o desenvolvimento sustentável, engajadas pela possibilidade do esgotamento dos recursos naturais não renováveis (LORDÊLO; EVANGELISTA; FERRAZ, 2007 apud EVANGELISTA; COSTA; ZANTA, 2010).

Neste período, a política de destinação dos RCC não era tida como prioridade para o setor da construção, mesmo sendo responsável por cerca de 50% do CO<sub>2</sub> lançado na atmosfera e por quase metade dos resíduos sólidos gerados em todo planeta, o que o caracteriza como um dos maiores geradores de resíduos sólidos dentre os demais segmentos da economia (JOHN, 2000). Segundo Vieira e Dal Molin (2004, p. 47) “um dos principais questionamentos atuais é o que será da construção civil quando os recursos naturais se tornarem escassos”. De fato, a exploração indiscriminada destes recursos, podem provocar sérios impactos ambientais, além da geração e acúmulo de grandes quantidades de resíduos em áreas urbanas. Neste sentido, a reciclagem tem se mostrado uma alternativa eficaz, pois promove a redução de custos, demanda por matéria prima ao mesmo tempo que reduz os problemas com a gestão dos resíduos sólidos urbanos nos municípios (LEITE, 2001 apud VIEIRA; DAL MOLIN, 2004).

Goonan (2000), citado por Evangelista; Costa e Zanta (2010), diz que a utilização dos agregados reciclados apresenta vantagens na redução do consumo de agregados convencionais, no volume destinado a aterros, custos com transporte, energia e o desgaste de equipamentos. O autor ainda ressalta que no futuro a indisponibilidade de locais de destinação, a maior aceitação do produto, o desenvolvimento de políticas públicas de incentivo, exigências ambientais e de uma econômica são, impulsionarão o uso destes agregados.

### 3.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO RECICLADO

A resistência a compressão do concreto é uma das propriedades mais importantes para o bom desempenho de uma estrutura e está associada à sua capacidade de resistir as tensões sem o surgimento de rupturas. Por esse motivo, características como a porosidade dos agregados influenciam diretamente em sua resistência, ou seja, quanto maior o índice de vazios dos

agregados menor será a resistência do concreto. Diante disso, ao estudar a resistência do concreto com agregados reciclados, verifica-se que a porosidade passa ter uma maior influência sobre sua resistência (LEITE, 2001). Entretanto, estudos realizados com agregados reciclados alcançaram desempenhos satisfatórios em termos de resistência mecânica e durabilidade, revelando ser possível sua aplicação em concretos (GOMEZ SOBERON, 2002 apud VIEIRA; DAL MOLIN, 2004).

Sabendo que a resistência e o desempenho do concreto são diretamente influenciados pelos materiais que o constituem, e que a porcentagem de agregados em uma mistura de concreto pode chegar a até 80%, qualquer alteração destes requer uma análise criteriosa de suas propriedades (LEITE, 2001). Neste sentido, Coutinho (1997a), apud Leite (2001, p. 88), diz que “a resistência do concreto só não é influenciada pela resistência do agregado graúdo quando seus valores são muito superiores aos valores de resistência do concreto”.

Considerando que a porosidade, isto é, relação entre o volume de vazios e o volume de sólidos, nos agregados reciclados pode ser até 10% maior em relação aos convencionais, característica que afeta consideravelmente a resistência e a durabilidade do agregado reciclado, sua determinação torna-se um fator essencial para a qualidade final do concreto. Além disso, os diversos agentes agressivos do concreto ingressam através dos seus poros, o que torna a utilização do concreto com agregado reciclado não recomendável em áreas urbanas poluídas, com alto índice de CO<sub>2</sub>, pois o processo de carbonatação é mais acelerado (ANGULO; FIGUEIREDO, 2011).

Em função da porosidade, o concreto com agregado reciclado utiliza a água livre da pasta de cimento, o que gera uma perda de consistência rápida nos minutos iniciais, podendo vir a acarretar problemas de adensamento, geração de fissuras e até cura inadequada do concreto. Assim, quando ocorre a pré-saturação do agregado reciclado (entre 80 e 90% da absorção de água), o excedente da água no agregado migra para a pasta de cimento, causando um aumento da relação água/cimento (ANGULO; FIGUEIREDO, 2011).

A resistência mecânica do concreto com agregado reciclado pode, no entanto, ser aumentada pela redução da relação água/cimento, com aumento do consumo de cimento, e do controle de teores de substituição do agregado convencional pelo agregado reciclado. De forma geral, quanto maior o teor de substituição, menor a resistência do concreto (ANGULO; FIGUEIREDO, 2011).

Machado e Agnesini (1999), citado por Leite (2001), revelam que devido a maior porosidade e ao alto teor de absorção característico dos agregados reciclados, há uma melhor aderência e ganho de resistência do concreto nas primeiras idades e aos 28 dias. Já Leite (2001), apresenta

que o concreto produzido com agregados reciclados tem sua resistência diretamente influenciada pelo calor de hidratação e pelo teor de água, onde quanto menor a relação a/c maior será sua resistência.

Vieira e Dal Molin (2004), em seus estudos promoveram um comparativo entre concretos preparados com agregados naturais e reciclados com substituições de 50% e 100% dos agregados convencionais distribuídos em cinco amostragens. Os resultados obtidos apontaram que o uso de agregados reciclados pode promover determinadas melhorias nas propriedades do concreto, dentre elas a resistência a compressão e durabilidade, aferida através da estimativa da sua vida útil.

Di Niro et al. (1998), apud Leite (2001), realizaram testes de compressão em concretos com agregados reciclados, nos testes em que se utilizou 100% dos agregados reciclados houve a redução de aproximadamente 20% da resistência em relação aos concretos de referência, já para a substituição de 30% houve uma redução de apenas 4%.

Hansen (1985), apud Gonçalves (2001), em estudo constatou que a redução da resistência à compressão em concretos confeccionados somente com a utilização da fração graúda reciclada foi de apenas 5%, enquanto os produzidos com a substituição de metade da fração miúda natural pela reciclada tiveram valores entre 10 a 20%. Já para a substituição de ambas as frações, miúda e graúda, a redução foi bem mais acentuada com valores entre 20 a 40%.

Limbachiya (2000), apud Levy (2001), diz que a redução da resistência dos concretos produzidos com agregados reciclados está diretamente associada a alteração da relação água/cimento, provocada pelo acréscimo de água a mistura para se atingir a trabalhabilidade requerida, devido a elevada taxa de absorção característica dos agregados reciclados.

Considerando que a relação água/cimento (a/c) tem influência direta sobre a resistência à compressão do concreto, sendo, portanto, grandezas inversamente proporcionais, verifica-se que o aumento progressivo de água provoca o enfraquecimento da estrutura interna do concreto, que passa a ter uma influência ainda maior quando analisado sobre o ponto de vista dos concretos reciclados, devido a menor densidade, resistência e a maior porosidade características dos agregados reciclados (LEITE, 2001).

Dolara et al. (1998), citado por Leite (2001), estudaram a influência do tipo de cura sobre a resistência à compressão em concretos com a substituição de 50 e 100% dos agregados convencionais pelos reciclados, e constataram que a cura úmida proporcionou um ganho de resistência de 10% em relação a cura realizada ao ar livre.

De acordo com Leite (2001), a viabilidade da utilização dos agregados reciclados está apenas na substituição do agregado miúdo, seja de forma parcial ou total, apresentando melhores

resultados para menores relações de a/c. Os resultados obtidos evidenciam que ao substituir apenas os agregados miúdos convencionais pelos reciclados independente da relação a/c, foi constatado maiores percentuais de crescimento na resistência entre os 28 e 91 dias, devido a presença de atividade pozolânica na fração miúda. Entretanto, a autora reforça que o concreto produzido a partir da combinação de agregados reciclados graúdos e miúdos, também conduz a ganhos significativos de resistência, principalmente para maiores relações de a/c.

O maior teor de material pulverulento característico dos agregados reciclados também é um aspecto que afeta negativamente a resistência mecânica do concreto, uma vez que pode influenciar bastante na quantidade de água de amassamento necessária. Além de tornar o concreto menos resistente aos desgastes por abrasão (COUTINHO, 1997a apud LEITE, 2001). Chen et al. (2003), apud Vieira e Dal Molin (2004), realizaram estudos em concretos com a utilização de agregados graúdos reciclados, lavados e não lavados. Os resultados obtidos revelaram que o concreto confeccionado a partir de agregados graúdos lavados alcançou índices de resistência à compressão na ordem de 90% em relação aos concretos de referência, enquanto os produzidos com agregados não lavados tiveram índices abaixo de 75%.

Nos estudos realizados por Levy (2001), os concretos confeccionados com a substituição de até 20% dos agregados naturais pelos reciclados de resíduos de concreto e alvenaria, não tiveram alteração em sua resistência se comparado aos de referência, indicando segundo o autor, a possibilidade de serem utilizados sem qualquer tipo de restrição para percentuais de substituição inferiores.

### 3.3 VIABILIDADE ECONÔMICA DA RECICLAGEM

Do ponto de vista econômico, a utilização de agregados reciclados de resíduos de concreto pode conduzir à benéficos significativos, pois reduz os custos com manejo, transporte, destinação e aquisição de material natural, além de promover ganhos ambientais para as cidades (FILHO; STOROPOLI; DUARTE, 2014).

Os agregados reciclados devem ser tidos como materiais com características distintas dos convencionais e não meramente como lixo ou um produto sem qualidade, que ao serem devidamente estudados podem trazer além de benefícios ambientais, um ganho econômico (GONÇALVES, 2001).

Silva e Maciel (2014) afirmam que o uso dos agregados reciclados traz benefícios tanto para as empresas quanto para as cidades que o empregam, e relatam que o que falta para seu uso ser expandido é a existência de comprovações que sua utilização pode de fato trazer economia, sem abrir mão da qualidade. Os autores também apresentam que a maior barreira a ser vencida no

país é inserir no mercado um novo material contendo resíduos, devido às restrições impostas pelas leis regulamentadoras, pelo fato de ser um produto inexplorado. A pesquisa feita também revelou que há economia ao se empregar os materiais reciclados na construção civil, concluindo que:

A economia obtida no custo dos agregados pode se refletir em ganhos para empresas ou instituições que trabalham com habitações de interesse social, pois os menores custos com os agregados reciclados possibilitarão uma redução no valor do produto final, seja esse produto final uma habitação popular, artefatos de concreto ou até mesmo a produção de agregados reciclados para venda direta ao consumidor (SILVA; MACIEL, 2014, p. 113).

Evangelista, Costa e Zanta (2010) realizaram uma pesquisa com o objetivo de empregar o agregado reciclado na construção de um condomínio residencial na cidade de Salvador - BA, onde houve um ganho econômico de R\$ 43,82 por m<sup>3</sup> na produção de concreto reciclado, levando em consideração os custos do agregado convencional e os custos com bota-fora. Na pesquisa, houve um investimento com a estruturação de uma central para a reciclagem e a contratação de serviço técnico de consultoria e ensaios laboratoriais, totalizando um valor de R\$ 15.686,90, foi constatado que o prazo de recuperação dos investimentos realizados foi de 4,3 meses e um ganho estimado para os meses seguintes a recuperação do investimento de R\$ 7.011,27 por mês. As autoras concluíram que apesar dos investimentos realizados houve um retorno financeiro com a realização de bota-fora e na obtenção de agregados naturais.

Vieira e Dal Molin (2004) defendem que a reciclagem pode trazer benefícios econômicos tanto para o proprietário da obra, para a construtora encarregada de executá-la, quanto para as cidades em virtude da redução de custos no combate aos impactos ambientais. No entanto, as autoras ressaltam que o problema do uso de agregados reciclados muito se deve à falta de comprovação de que sua utilização pode de fato promover economia ao mesmo tempo que produza um produto final de qualidade.

De acordo com John (1988b), citado por Leite (2001), alguns fatores devem ser considerados ao se produzir um novo produto, no caso do concreto reciclado, sua viabilidade será determinada através do valor do produto no mercado, os custos gerados no processo de reciclagem e os custos de disposição do resíduo em aterro.

Vieira e Dal Molin (2004) em seus estudos fizeram um levantamento de custos entre os agregados naturais e reciclados. No qual, avaliaram o custo da brita e areia de origem natural e reciclado, chegando a um preço médio por m<sup>3</sup> de R\$ 16,00 e R\$ 31,00 para os naturais, respectivamente, enquanto para os reciclados um preço médio de R\$ 8,47 e R\$ 7,84, respectivamente, indicando uma economia de 47,06% no custo da brita e 74,71% no custo da areia com utilização dos reciclados, valores referentes ao ano de sua publicação.



As autoras ainda realizaram uma estimativa de vida útil dos concretos produzidos com agregados naturais em relação aos reciclados. Os resultados obtidos revelam que o concreto convencional apresentou uma vida útil de 35,1 anos. Enquanto, o concreto confeccionado com a utilização de agregados miúdo reciclado e brita natural, apresentou uma vida útil de 45,8 anos. Já para a substituição de metade dos agregados miúdos e grãos naturais, apresentou uma vida útil de 34,8 anos. Na realização do experimento, utilizou-se concreto com resistência de 20 MPa e relação água/cimento de 0,60.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO E GRANULOMETRIA DOS MATERIAIS

Para determinação da composição granulométrica do agregado grão (brita), foram pesados uma amostra de 5 kg, em atendimento a amostragem mínima para ensaio estabelecida pela NBR NM 248 – Agregados: Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003). As características da brita obtidas no ensaio estão expressas na tabela 3. No gráfico 1 é representado a curva granulométrica da mesma.

**Tabela 3 – Características do agregado grão utilizado na confecção dos concretos**

Característica	Unidade	Valor
Modulo de finura	–	4,87
Diâmetro máximo	mm	12,50
Material pulverulento	%	1,23

Fonte: Autor, 2017

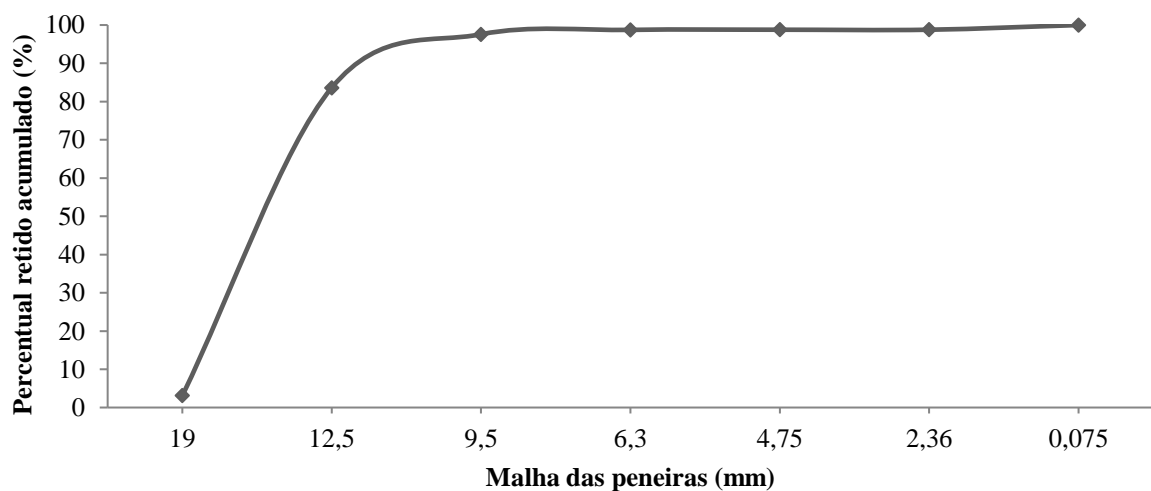


Gráfico 1 – Curva granulométrica da brita utilizada

Fonte: Autor, 2017

Já para a determinação da granulometria da areia, foram pesados uma amostra de 0,5 kg, correspondente a amostragem mínima para ensaio estabelecida pela NBR NM 248 – Agregados: Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003). As características da areia obtidas no ensaio estão apresentadas na tabela 4. No gráfico 2 é representado a curva granulométrica da mesma.

**Tabela 4 – Características da areia utilizada na confecção dos concretos**

Característica	Unidade	Valor
Modulo de finura	–	2,54
Diâmetro máximo	mm	1,18
Material pulverulento	%	1,3

Fonte: Autor, 2017

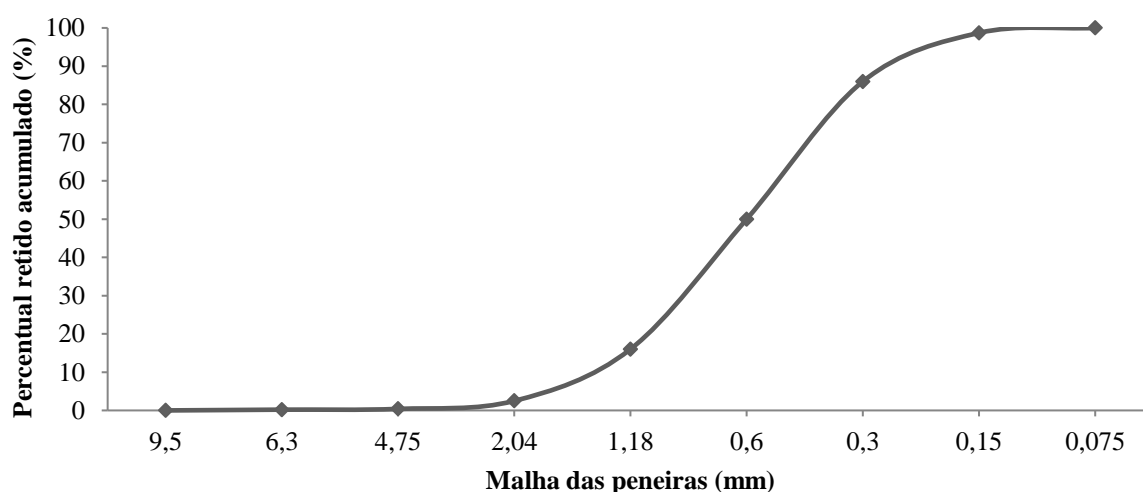


Gráfico 2 – Curva granulométrica da areia utilizada

Fonte: Autor, 2017

Por fim, a determinação da composição granulométrica do agregado miúdo reciclado, seguiu os mesmos critérios adotados para o caso da areia. As características obtidas no ensaio estão contidas na tabela 5. No gráfico 3 é expressa a curva granulométrica do material.

**Tabela 5 – Características do agregado reciclado utilizado na confecção dos concretos**

Característica	Unidade	Valor
Modulo de finura	–	2,66
Diâmetro máximo	mm	2,40
Material pulverulento	%	12,55

Fonte: Autor, 2017

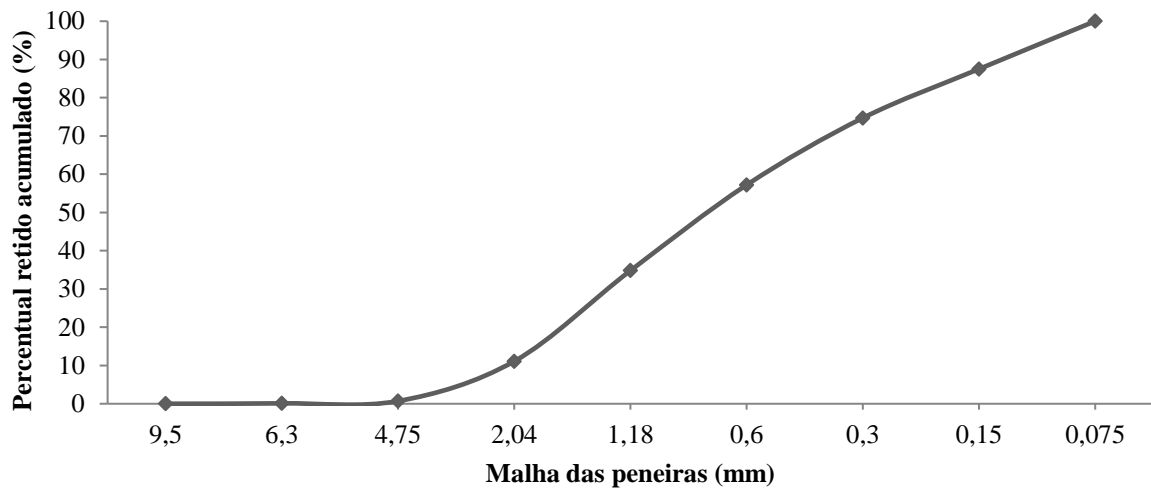


Gráfico 3 – Curva granulométrica do agregado reciclado utilizado  
Fonte: Autor, 2017

#### 4.2 DOSAGEM DO CONCRETO CONVENCIONAL E RECICLADO

A princípio, foi estabelecido uma resistência à compressão do concreto característica ( $f_{ck}$ ) de 25 MPa, com um abatimento de tronco de cone, *slump test*, de  $9 \pm 1$  cm e um desvio padrão ( $S_d$ ) de 4, definido conforme as condições de preparo do concreto, caracterizado como condição A especificada pela NBR 12655 – Concreto de cimento Portland: Preparo, controle e recebimento: procedimento (ABNT, 2015). A partir desses parâmetros, obteve-se o valor de 31,60 MPa para resistência de dosagem do concreto ( $f_{cj}$ ), determinado através da seguinte fórmula:

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \times S_d$$

De acordo com o  $f_{ck}$  e o  $f_{cj}$ , obteve-se através da curva de Abrams o valor de 0,57 para a relação água/cimento (a/c). Em seguida, com base no abatimento de tronco de cone de  $9 \pm 1$  cm e no diâmetro máximo do agregado graúdo de 12,50mm, obteve-se o consumo de água ( $C_a$ ) correspondente a 230 l/m<sup>3</sup>. Dividindo-se o consumo de água pela relação a/c, obteve-se o valor de 403,508 kg/m<sup>3</sup> para o consumo de cimento ( $C_c$ ). Após, relacionando-se o módulo de finura da areia de 2,54 com o diâmetro máximo da brita de 12,50mm, obteve-se o valor de 0,565 para o volume compactado seco de brita por m<sup>3</sup> de concreto, que multiplicado pela massa unitária compactada da brita de 1551 kg/m<sup>3</sup>, resultou em um consumo de brita ( $C_b$ ) de 876,315 kg/m<sup>3</sup>. Para determinação do consumo de areia ( $C_m$ ) que foi de 776,240 kg/m<sup>3</sup>, multiplicou-se a massa específica da areia de 2480 kg/m<sup>3</sup> pelo volume de areia ( $V_a$ ) correspondente a 0,313 m<sup>3</sup>, este encontrado através da seguinte equação:

$$V_a = 1 - \left( \frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_b}{\gamma_b} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right)$$

Sendo:

Cc: consumo de cimento (403,508 kg/m<sup>3</sup>);

Cb: consumo de brita (876,315 kg/m<sup>3</sup>);

Ca: consumo de água (230 l/m<sup>3</sup>);

$\gamma_c$ : massa específica do cimento (2940 kg/m<sup>3</sup>);

$\gamma_b$ : massa específica da brita (2740 kg/m<sup>3</sup>); e

$\gamma_a$ : massa específica da água (1000 kg/m<sup>3</sup>).

Assim, dividindo-se os consumos de cimento, areia, brita e água, respectivamente, pelo consumo de cimento, obteve-se o traço unitário do concreto, conforme a seguinte equação:

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_m}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_a}{C_c}$$

$$1 : 1,924 : 2,172 : 0,57$$

Cimento: Areia: Brita: Água

Com traço calculado, iniciou-se a confecção dos concretos. Ademais, convém mencionar que o concreto o reciclado foi produzido a partir do mesmo traço, havendo apenas a substituição de 50% da quantidade de areia natural pelo agregado miúdo reciclado.

#### 4.3 MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA

Devido a quantidade limitada de corpos de prova disponíveis, foi necessário realizar a moldagem dos concretos em dias distintos. Também é importante mencionar que areia utilizada estava úmida, por esse motivo foi necessário determinar o teor de umidade apresentado pela mesma para a correção do traço. Diante disso, para a confecção do concreto convencional, pesou-se uma amostra correspondente a 1000g de areia, que após o processo de secagem e estufa, conforme rege a NBR NM 30 – Agregado miúdo: Determinação da absorção de água (ABNT, 2001), teve seu peso reduzido para 974g, indicando um teor de umidade de 2,60%. Com isso, o traço unitário anteriormente apresentado passou a ter a seguinte configuração:

$$1 : 1,974 : 2,172 : 0,52$$

Cimento: Areia: Brita: Água

Em atendimento a amostragem mínima de 30 litros de concreto estabelecido pela NBR 15558 – Concreto: Determinação da exsudação (ABNT, 2008), utilizou-se para o preparo do concreto 10 kg de cimento, 19,740 kg de areia, 21,720 kg e de brita e 5,2 litros de água, suficientes para a realização do *Slump Test* e a moldagem dos corpos de prova.

Com os materiais devidamente pesados, iniciou-se o preparo do concreto em betoneira, com adição sequencial de toda a quantidade de brita, metade da água, toda a quantidade de cimento,

toda a quantidade de areia e por fim o restante da água. Em seguida, foi realizado o *slump test* para medir a trabalhabilidade do concreto, cujo valor obtido foi de 10cm. Logo após, foram moldados um total de nove CP, sendo três para cada idade de rompimento, realizadas aos 3, 7 e 28 dias. Após 24 horas, foi realizado a desforma, identificação e colocação dos CP em cura úmida, conforme rege a NBR 5738 - Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (ABNT, 2016).

Na data de moldagem do concreto reciclado, também foi pesado uma amostra de 1000g de areia, que após a secagem e estufa, passou para 958g, indicando um teor de umidade de 4,20%, considerando o mesmo traço e a substituição de metade da quantidade de areia natural pelo agregado miúdo reciclado, a correção da umidade ocorreu somente em relação a quantidade de areia natural, visto que a metade correspondente ao agregado miúdo reciclado estava totalmente seca. Assim, o traço unitário passou a ter a seguinte composição:

1: 0,962: 1,006: 2,172: 0,526

Cimento: Agregado reciclado: Areia: Brita: Água

Assim, o concreto reciclado foi produzido com a utilização de 8 kg de cimento, 7,696 kg de agregado miúdo reciclado, 8,048 kg de areia natural, 17,376 kg de brita e 4,208 litros de água, suficientes para a moldagem dos CP e realização do *slump test*, cujo valor obtido também foi de 10cm. Os procedimentos adotados no preparo, moldagem, identificação e cura dos CP foram os mesmos do convencional.

#### 4.4 QUANTIDADE E DIMENSÃO DOS CORPOS DE PROVA

As dimensões dos CP foram definidas conforme o diâmetro máximo do agregado gráudo estabelecida pela NBR 5738 - Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (ABNT, 2016). Assim, foram moldados um total de 9 CP com diâmetro de 10cm e altura de 20 cm para o concreto convencional e o reciclado. As idades de rompimento ocorreram aos 3, 7 e 28 dias da data da moldagem, onde foram rompidos 3 CP em cada uma das idades, atendendo a quantidade mínima de 2 CP estabelecida pela NBR 12655 – Concreto: Preparo, controle e recebimento (ABNT, 2015).

#### 4.5 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPESSÃO

Os resultados de resistência à compressão dos CP obtidos nas idades de 3, 7 e 28 dias, estão expressos na tabela 6. No gráfico 4 é apresentado um comparativo entre as resistências dos concretos convencional e reciclado, que corresponde ao maior valor obtido no rompimento dos

3 CP em cada idade, conforme estabelece a NBR 12655 – Concreto: Preparo, controle e recebimento (ABNT, 2015).

**Tabela 6 – Resistência à compressão do concreto convencional e reciclado em MPa**

Concreto	Idade	CP 1	CP 2	CP 3	Média
Convencional	3 dias	7	5,8	7	6,6
	7 dias	11,1	15,1	13,4	13,2
	28 dias	21,8	21,5	21,7	21,7
Reciclado	3 dias	7,3	7,2	7,7	7,4
	7 dias	13,7	12,2	14,5	13,5
	28 dias	18,1	17,7	19	18,3

Fonte: Autor (2017)

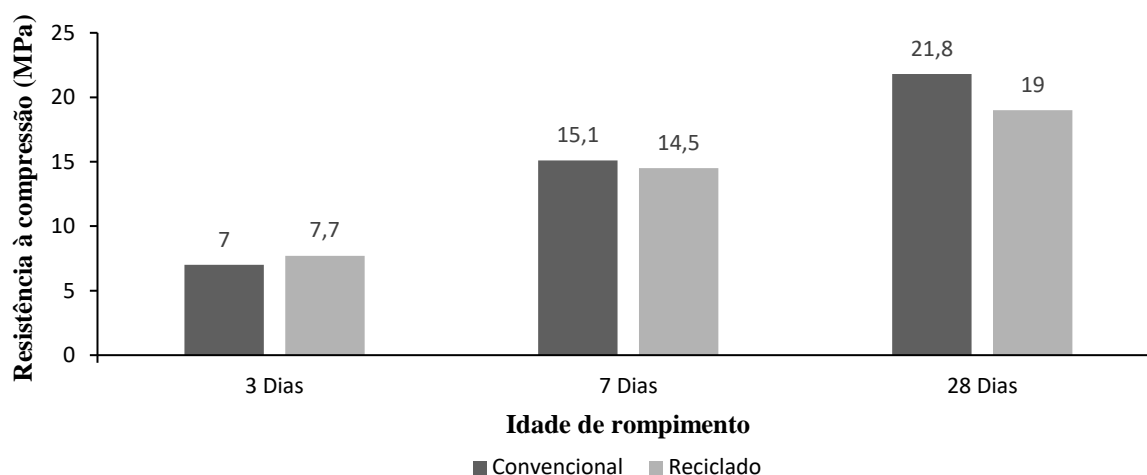


Gráfico 4 - Comparação da resistência à compressão dos concretos convencional e reciclado

Fonte: Autor, 2017

De acordo com o gráfico 4, a resistência à compressão aos 28 dias apresentada pelo concreto reciclado foi da ordem de 87% da apresentada pelo concreto convencional, havendo uma perda de resistência de aproximadamente 13%. A ruptura apresentada pelo corpo de prova do concreto reciclado com maior resistência aos 28 dias foi do tipo cônica e cisalhada, conforme descreve a NBR 5739 – Concreto: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2007).

#### 4.6 LEVANTAMENTO E COMPARATIVO DE CUSTOS

Sabendo que, em geral o custo para a confecção de um concreto está diretamente associado ao valor dos insumos, mão de obra e dos equipamentos necessários. Diante desses fatores, o levantamento de custos para o comparativo, foi desenvolvido levando em consideração somente o custo necessário para a aquisição da brita, areia, cimento apresentados anteriormente na

Tabela 1 e da água correspondente a R\$ 7,94 por m<sup>3</sup>, que é referente a tarifa atualmente cobrada para a categoria industrial pela CESAN.

Assim, com base no consumo e no valor dos materiais, foi realizado uma estimativa de custo para a confecção de 1m<sup>3</sup> de ambos os concretos. Entretanto, é importante mencionar que na determinação do custo de produção do concreto reciclado, foi considerada uma empresa estruturada com equipamento de britagem, na qual já se realizava o processo para obtenção dos agregados naturais, não havendo custos adicionais com aquisição de equipamento de britagem e nem com os resíduos de construção. Os custos para a confecção do concreto convencional e reciclado estão expressos nas tabelas 7 e 8, respectivamente.

**Tabela 7 – Custo para a confecção de 1m<sup>3</sup> de concreto convencional**

<b>Cimento</b>	<b>Areia</b>	<b>Brita</b>	<b>Água</b>	<b>Total</b>
137,19	16,92	20,14	1,83	176,08

Fonte: IOPES – Adaptada pelo Autor, 2017

**Tabela 8 – Custo para a confecção de 1m<sup>3</sup> de concreto reciclado**

<b>Cimento</b>	<b>Areia</b>	<b>Brita</b>	<b>Água</b>	<b>Total</b>
137,19	8,46	20,14	1,83	167,62

Fonte: IOPES – Adaptada pelo Autor, 2017

Diante dos resultados apresentados, a economia gerada por m<sup>3</sup> de concreto produzido com a utilização de 50% de agregados miúdos reciclados foi de aproximadamente R\$ 8,46, que representa uma redução de 4,80% em relação ao custo final do concreto convencional.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

### **5.1 COMENTÁRIOS**

Ao final desta pesquisa, foi possível constatar que a utilização dos RCC como matéria prima para a produção agregados miúdos reciclados é uma alternativa capaz de reduzir tanto a demanda por novos agregados naturais quanto os problemas relacionados com a gestão dos resíduos sólidos urbanos. Pode-se também notar à precariedade de informações sobre sua aplicação na construção civil, sendo ainda uma área pouco explorada e com amplo potencial de resultados.

Neste contexto, é fato que os RCC agridem ao meio ambiente quando dispostos de forma irregular e que os agregados naturais utilizados na construção civil não são renováveis. Por esse motivo, a possibilidade de uma futura escassez destes materiais, evidencia a importância e a necessidade de se ter uma maior preocupação em relação ao conceito de sustentabilidade dentro

construção civil. Dessa forma, a possibilidade de solucionar ambos os problemas de uma maneira simples pode ser o caminho certo a se seguir. Entretanto, a falta de padronização das pesquisas no âmbito da reutilização dos RCC tem conduzido a diferentes resultados.

Com intuito de expandir a área de conhecimento, esta pesquisa avaliou o comportamento à compressão do concreto confeccionado com a substituição de metade da proporção de agregados miúdos naturais pelos reciclado de RCC. É importante mencionar que os materiais utilizados são comumente empregados na confecção de concreto na região. Deste modo, é sugerido que mais pesquisas como esta sejam desenvolvidas para acrescentar nos resultados aqui obtidos.

## 5.2 CONCLUSÃO

A partir dos resultados, observou-se uma semelhança em termos de granulometria entre o agregado miúdo natural e o reciclado que pode estar associada ao tipo de britagem a qual o material foi submetido, diferenciando-se apenas em relação ao teor de material pulverulento que foi maior para o agregado reciclado, proveniente do processo de britagem dos resíduos de concreto.

Dentre os fatores que podem ter levado o concreto convencional a não ter atingido a resistência de projeto, pode-se citar o mal estado de conservação da betoneira e a qualidade dos agregados da região, porém o objetivo do trabalho foi a relação de resistência entre os concretos. De acordo com resistência à compressão do concreto reciclado, verificou-se uma perda de resistência de aproximadamente 13% em relação ao concreto convencional, que está diretamente associada a maior porosidade característica do material, que não foi objetivo de estudo deste trabalho. Assim, visando sua porosidade devido a estudos prévios, sua utilização não se indicaria para fins estruturais, exigindo mais pesquisas em torno do assunto, já que a porosidade pode levar ao surgimento de anomalias no concreto armado. Sendo assim, seu uso torna-se viável para estruturas em concreto simples, como guia, calçada em concreto simples, concreto magro para regularização de solos e elementos pré-moldados de pavimentação urbana, como blocos hexagonais, entre outros.

Com relação ao custo para a confecção do concreto reciclado, constatou-se uma economia de 4,80% em comparação ao convencional, revelando-se uma diferença muito pequena que inviabiliza sua utilização em obras de pequeno porte. Entretanto, quando mensurada para uma obra de grande porte, pode representar uma redução significativa no custo final do empreendimento, pois reduz os custos contínuos com bota-fora e com a obtenção de agregados naturais. Sendo assim, sua utilização torna-se viável em usinas de concretagens que já dispõem



de equipamentos para a britagem dos resíduos, introduzindo no mercado um novo material, que seja sustentável, de qualidade e economicamente competitivo, proporcionando ainda a construção de uma imagem sustentável no mercado obtendo benefícios econômicos.

### 5.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A área de reaproveitamento de resíduos ainda precisa de mais pesquisas para determinar o absoluto comportamento do material antes que possa de fato ser fabricado. Portanto, fica como sugestões para pesquisas futuras:

- a) Estudo da porosidade do agregado reciclado de concreto;
- b) Alteração da relação a/c no traço de concreto reciclado;
- c) Utilização de agregado graúdo reciclado na produção de concreto;
- d) Estudo sobre metodologias para cura de concreto reciclado;
- e) Perda da trabalhabilidade em concreto utilizando agregados reciclados;
- f) Análise das características dos agregados da região;
- g) Verificação do Módulo de elasticidade do concreto reciclado; e
- h) Uso do agregado reciclado na produção de argamassa cimentícia.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Método para dosagem de concreto**. São Paulo, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 30. **Agregado miúdo – Determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. NBR NM 67. **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. NBR NM 248. **Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. NBR 5738. **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. NBR 5739. **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. NBR 10004. **Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004<sup>a</sup>.

\_\_\_\_\_. NBR 10006. **Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004<sup>b</sup>.

\_\_\_\_\_. NBR 12655. **Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – procedimento.** Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. NBR 15116. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil: Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutura – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. NBR 15558. **Concreto – Determinação da exsudação.** Rio de Janeiro, 2008.

ANGULO, S. C.; FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com Agregados Reciclados.** In: ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo: IBRACON, 2011. Cap. 47. p. 1731-1767.

CAUÊ. **Mapa de qualidade.** Intercement. Santana do Paraíso, 2017.

COMPANHIA ESPÍRITO SANTENSE DE SANEAMENTO (CESAN). **Tabela de tarifas de água.** Vitória, 2017. Disponível em: <<https://www.cesan.com.br/wp-content/uploads/2017/09/Tarifario2017comTarifaDisponibilidade.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2017.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGENS DO ESTADO DO ESPIRITO SANTO (DER-ES). **Determinação da composição granulométrica.** Espírito Santo, 2017. Planilha.

EVANGELISTA, P. P. A.; COSTA, D. B.; ZANTA, V. M. **Alternativa sustentável para destinação de resíduos de construção classe A: Sistemática para reciclagem em canteiros de obras.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v.10, n. 3, p. 23-40, 2010.

FILHO, J. A. P.; STOROPOLI, J. H.; DUARTE, E. B. L. **Viabilidade econômica da utilização de resíduos de demolição reciclados na execução do contrapiso de um edifício localizado na zona leste da cidade de São Paulo.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 18, n. 2, p. 928-943, 2014.

GONÇALVES, R. D. C; MACHADO JUNIOR, E. F. **Agregados reciclados de resíduos de concreto - um novo material para dosagens estruturais.** Anais IBRACON, 2001.

INSTITUTO DE OBRAS PÚBLICAS DO ESPIRITO SANTO (IOPES). **Insumos da tabela de custos referenciais.** Vitória, 2017. Disponível em: <<https://iopes.es.gov.br/referencial-preco-1>>. Acesso em: 07 out. 2017.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria.** Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

LORDÊLO, P. M.; EVANGELISTA, P. P. A.; FERRAZ, T. G. A. **Gestão de resíduos na construção civil: redução, reutilização e reciclagem.** Salvador: SENAI, 2007.

MINISTÉRIO DAS CIDADES (MC). **Manejo e gestão de resíduos da construção civil: Procedimentos para solicitação de financiamentos.** Editores: PINTO, T. P. et al. Volume 1. Brasília: CAIXA, 2005. 96 p.

SILVA, Antônio Bertoldo da; MACIEL, Jussara Cury Socorro. **Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** REVISTA IGAPÓ-Revista de Educação Ciência e Tecnologia do IFAM, v. 3, 2014.

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.

ZORDAN, Sergio Eduardo et al. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto.** UNICAMP, Campinas, 1997.