



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VIII – ARARUNA PB
CCTS - CENTRO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SAÚDE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

RUANA DA SILVA LEITE

**CONCRETO RECICLADO: DA HISTÓRIA DO CONCRETO À INOVAÇÃO DA
RECICLAGEM**

**ARARUNA
2016**

RUANA DA SILVA LEITE

**CONCRETO RECICLADO: DA HISTÓRIA DO CONCRETO À INOVAÇÃO DA
RECICLAGEM**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado a Universidade Estadual da Paraíba
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharela em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Pedro Filipe de Luna Cunha

**ARARUNA
2016**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

L533c Leite, Ruana Da Silva
Concreto Reciclado: Da História Do Concreto à Inovação Da
Reciclagem [manuscrito] / Ruana Da Silva Leite. - 2016.
25 p. : il. color.

Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em
ENGENHARIA CIVIL) - Universidade Estadual da Paraíba,
Centro de Ciências Tecnologia e Saúde, 2016.
"Orientação: Pedro Filipe de Luna Cunha, Departamento de
Engenharia Civil".

1. Reciclagem. 2. Concreto. 3. Construção civil. I. Título.
21. ed. CDD 624.189

RUANA DA SILVA LEITE

CONCRETO RECICLADO: DA HISTÓRIA DO CONCRETO À INOVAÇÃO DA
RECICLAGEM

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado a Universidade Estadual da Paraíba
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharela em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Pedro Filipe de Luna Cunha

Aprovada em: 03/11/2016.

BANCA EXAMINADORA

PEDRO FILIPE DE LUNA CUNHA

Prof. Pedro Filipe de Luna Cunha
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Loredanna Melissa Costa de Souza

Prof. Loredanna Melissa Costa de Souza
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Erick dos Santos Leal

Prof. Erick dos Santos Leal
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

SUMÁRIO

| | | |
|----------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 06 |
| 2 | DESENVOLVIMENTO..... | 07 |
| 2.1 | Resumo histórico do surgimento do concreto..... | 07 |
| 2.2 | Componentes do concreto..... | 08 |
| 2.2.1 | <i>Cimento.....</i> | <i>09</i> |
| 2.2.2 | <i>Água.....</i> | <i>09</i> |
| 2.2.3 | <i>Agregados.....</i> | <i>09</i> |
| 2.2.4 | <i>Aditivos e adições.....</i> | <i>10</i> |
| 2.3 | Principais tipos de concreto..... | 11 |
| 2.3.1 | <i>Concreto convencional.....</i> | <i>11</i> |
| 2.3.2 | <i>Concreto bombeável.....</i> | <i>11</i> |
| 2.3.3 | <i>Concreto pré-fabricado.....</i> | <i>11</i> |
| 2.3.4 | <i>Concreto de alta resistência inicial.....</i> | <i>12</i> |
| 2.3.5 | <i>Concreto pesado.....</i> | <i>12</i> |
| 2.3.6 | <i>Concreto projetado.....</i> | <i>12</i> |
| 2.4 | Concreto reciclado..... | 13 |
| 2.4.1 | <i>Importância de se reciclar.....</i> | <i>13</i> |
| 2.4.2 | <i>Resíduos de Construção e Demolição – RCD.....</i> | <i>14</i> |
| 2.4.3 | <i>Agregado de resíduos de concreto – ARC.....</i> | <i>15</i> |
| 2.4.3.1 | <i>Granulometria.....</i> | <i>16</i> |
| 2.4.3.2 | <i>Forma e Textura.....</i> | <i>16</i> |
| 2.4.3.3 | <i>Massas unitária e específica.....</i> | <i>16</i> |
| 2.4.3.4 | <i>Porosidade e absorção de água.....</i> | <i>17</i> |
| 2.4.4 | Propriedades do concreto reciclado | 19 |
| 2.4.4.1 | <i>Trabalhabilidade.....</i> | <i>19</i> |
| 2.4.4.2 | <i>Massa específica.....</i> | <i>19</i> |
| 2.4.4.3 | <i>Resistência à compressão axial.....</i> | <i>19</i> |
| 3 | CONCLUSÃO..... | 20 |
| | REFERÊNCIAS..... | 21 |

CONCRETO RECICLADO: DA HISTÓRIA DO CONCRETO À INOVAÇÃO DA RECICLAGEM

Ruana da Silva Leite¹

RESUMO

A escassez dos recursos naturais, o grande volume e resíduos descartados e a preocupação com o meio ambiente vem levando pesquisadores e estudiosos a procurarem alternativas para amenizar os impactos causados pelo setor da construção civil, além de melhorarem na economia deste setor. Diante desta situação, a utilização de resíduos como agregados na produção de concreto, é uma alternativa viável e recomendada por tais estudiosos. O presente trabalho tem como objetivo fazer uma revisão bibliográfica sobre o concreto reciclado como material de construção nos dias atuais, trazendo considerações desde a origem do concreto convencional à nova solução para redução dos resíduos que é o concreto reciclado. As pesquisas realizadas puderam mostrar que o uso do resíduo de concreto como agregado seria o mais recomendado para a produção do novo concreto, devido ao fato de não precisarem de muitas alterações na sua reciclagem. Propriedades como trabalhabilidade, massa específica e resistência à compressão axial, puderam mostrar a eficácia e eficiência da substituição de até 50% dos agregados convencionais pelos agregados reciclados, não comprometendo as características do concreto.

Palavras-chave: reciclagem, concreto, construção civil.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a engenharia civil vem utilizando cada vez mais recursos e técnicas surpreendentes, afim de aumentar as possibilidades de se trabalhar com formas e dimensões que estão propiciando construções cada vez mais exuberantes. No entanto, para que isso fosse possível, primeiramente foi necessário que o homem inventasse algo para substituir e melhorar as construções rudimentares, desenvolvendo materiais e tornando as empresas desenvolvidas ambientalmente.

Dizer que uma empresa ou material possui uma gestão ambiental é afirmar que os parâmetros de economia e a escassez dos recursos ambientais são respeitados, passando assim por um processo sustentável (CARDOSO. 2010). Nesta ótica, o setor da construção civil tem, nas últimas décadas, procurado mecanismos que envolvam novas técnicas para que possa se tornar os processos de construção mais sustentáveis e produtivos economicamente.

Assim, pesquisas com o reaproveitamento dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD), como um material alternativo na composição de concreto na construção civil, é cada

¹ Aluna de Graduação em Engenharia Civil na Universidade Estadual da Paraíba – Campus VIII.
Email: ruanaite86@gmail.com

vez mais comum. Pois, os impactos ambientais que o setor gera, são um forte agravante a poluição e degradação do meio, assim, o setor busca na reciclagem uma maneira de minimizar tais danos, obtendo sucesso e produtos mais competitivos para o mercado (VIANA,2016).

Reciclar o RCD é de suma importância para o setor, tendo em vista que a reciclagem desses benefícios é de grande respaldo, como: a diminuição das taxas de consumo de matéria-prima não renovável de origem natural; redução de áreas necessárias para aterro, minimização de volume de resíduos, uma vez que representam mais de 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos (PINTO, 1999).

Com isso, este artigo tem como objetivo fazer uma revisão bibliográfica sobre o concreto reciclado como material de construção nos dias atuais, trazendo considerações sobre a origem do concreto convencional, seus constituintes, principais tipos e enfatizando o concreto reciclado, mostrando a importância de se reciclar, para a sociedade e o meio ambiente, também sobre os resíduos de construção e demolição e resíduo de concreto como agregado e suas propriedades e a influência dos agregados reciclados na produção de um novo concreto.

2 DESENVOLVIMENTO

Aqui serão abordados os temas relacionados à pesquisa, como o resumo histórico do surgimento do concreto e seus componentes, os principais tipos de concreto e o concreto reciclado que será o assunto destaque no presente trabalho.

2.1 Resumo histórico do surgimento do concreto

O concreto é o material de construção mais utilizado em todo o mundo. Podendo ele, ser encontrado nas nossas habitações de alvenaria, em pontes, rodovias, obras de saneamento, como tantas outras edificações. Há uma estimativa de que seu consumo anual no mundo, seja de 11 bilhões de toneladas. Segundo a ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, em 2012 o país produziu cerca de 51 milhões de m³.

O concreto preparado em centrais cresce a uma taxa superior ao crescimento da construção civil porque seus sistemas construtivos têm ganhado a preferência dos construtores e porque tem caído o número de obras que rodam concreto sem o uso do serviço das concreteiras. (Valter Frigieri, diretor de planejamento e mercado da ABCP).

Chega a ser surpreendente a capacidade e versatilidade do concreto. Grandes edifícios foram erguidos, como o Burj Khalifa, um arranha-céus localizado em Dubai, nos Emirados Árabes Unidos. A edificação apresenta 828 metros de altura e é considerado a estrutura mais alta do mundo a ser edificada pelo homem. Porém nem sempre foi assim, a história do concreto começa com a do cimento que é seu principal componente.

Homens pré-históricos já conheciam um material que teria propriedades aglutinantes. Ou seja, eles teriam notado que ao deixar pedras próximas ao fogo, as mesmas descarbonavam e liberavam um pó que endurecia com a ação do sereno noturno. (PANZERA, 2010).

Há evidências de que o cimento foi utilizado na construção das pirâmides do Antigo Egito, utilizando uma espécie de gesso calcinado. Entrando nas construções gregas e romanas, estudos mostram que os mesmos utilizaram um tipo de massa obtida através da hidratação de cinzas vulcânicas misturadas com areia e pedaços de telha.

Somente em 1824, o britânico Joseph Aspdin, pôde apresentar o cimento Portland. Aspdin tinha experiência em queimar e moer pó de pedra e argila. Com esse processo ele pôde obter um pó que ao misturar com água produzia uma espécie de argamassa. Ao deixar secar, ele observou que a mistura se transformava em algo com resistência semelhante às pedras utilizadas nas construções. Nomeando-o de cimento Portland por possuir grandes semelhanças com rochas encontradas na ilha Portland, no condado de Dorset. (DORFMAN, 2003).

2.2 Componentes do concreto

O concreto é composto por cimento, água, agregados graúdo e miúdo. Podendo haver adição de aditivos químicos e adições, cuja finalidade seja melhorar as características químicas e físicas deste. Logo, para a obtenção de um concreto resistente, econômico e de boa durabilidade, é importante a realização de estudos e ensaios para melhor conhecer as propriedades de tais componentes.

Com isso, para chegar na mistura que chamamos de concreto temos que começar com a mistura do cimento com água, que recebe o nome de pasta de cimento. Ao adicionar areia (agregado miúdo) a esta pasta, tornasse-a argamassa, e ainda se colocar uma tela de ferro ao montar uma peça, receberá o nome de argamassa armada. Daí, da mistura da argamassa com brita (agregado graúdo) surge o concreto. Se houver aditivos ou ferro, produzirá um concreto especial ou armado, respectivamente.

2.2.1 Cimento

O cimento mais utilizado na produção do concreto é o cimento Portland. Segundo a norma NBR 5732, o cimento Portland comum é um aglomerante hidráulico adquirido através do resultado da moagem do clínquer, que é um produto composto por silicatos de cálcio. Durante a moagem é adicionado uma certa quantidade de sulfato de cálcio, ainda podendo ser adicionado matérias pozolânicos, escórias e/ou materiais carbonáticos. Vale frisar que o cimento é o aglomerante mais utilizados nas construções como aglomerante.

Há uma enorme gama de cimentos com características e propriedades distintas, que permite o uso mais adequado de acordo com o tipo de edificação. Com isso, é muito importante conhecer estas características e propriedades a fim de ter um melhor aproveitamento dentro da obra.

2.2.2 Água

De acordo com a origem que a água tem, pode-se definir, através de ensaios, se esta é apropriada ou não para a produção do concreto. Onde deve estar livre de impurezas e atender qualidades químicas, como por exemplo o seu pH que deve estar entre 6 e 8, e ainda seguir parâmetros estabelecidos por normas. Afinal, é ela a responsável por hidratar o cimento e torná-lo um material aglutinante.

A norma NBR 15900-1, estabelece os requisitos necessários para aprovação da água de amassamento do concreto. Podemos citar como exemplo de requisito a cor, que esta deve ser comparada com a água potável. Outro requisito seria a presença de material sólido, onde é permitido no máximo 50.000 mg/L. Além dos requisitos físicos, é preciso conhecer as propriedades químicas, pois estas podem alterar a resistência e o tempo de pega do material.

A água mais apropriada é a proveniente do abastecimento público. Aquela oriunda de esgoto, mesmo passando por todo tratamento, não é satisfatório seu uso. Ainda temos a água salobra e a do mar, que podem até ser utilizadas, mas somente em concreto simples. Já as subterrâneas, devem ser submetidas à ensaios.

2.2.3 Agregados

Valverde (2001), define agregados como sendo minerais, sólidos e inertes que ao misturá-los com materiais aglomerantes (cimento) ou com ligantes betuminosos podem ser

utilizados na fabricação de peças artificiais resistentes. Exemplos de agregados, temos a areia como agregado miúdo e brita como agregado graúdo.

Segundo a literatura, os agregados correspondem, mais ou menos, oitenta por cento do peso do concreto. Há um benefício enorme quanto a sua utilização na produção deste. São eles os responsáveis por propriedades importantes do concreto, como o aumento da resistência ao desgaste, redução da retração e até no aumento da resistência contra incêndios (TROIAN, 2010; WERLE, 2010; CAVALHEIRO, 2010; GONÇALVES, 2011, ULSEN, 2011).

Os agregados são ricos em características, devendo ser realizado estudos e controle de qualidade antes e durante a utilização em construções de peças de concreto. Destas características as mais relevantes, são sua forma, granulometria, textura, suas massas unitária e específica, além da absorção de umidade, resistência à abrasão, compressão e sanidade.

A massa dos agregados influencia diretamente na massa do concreto. Se estes estiverem úmidos, esta água presente irá alterar a relação água/cimento, interferindo diretamente na resistência mecânica da estrutura. Além disto, os agregados têm que ter uma boa resistência aos esforços mecânicos, até maior do que a pasta de cimento quando esta estiver endurecida.

Logo, pode-se afirmar que é de grande importância o conhecimento das propriedades físicas e químicas dos agregados utilizados nas estruturas de concreto. Se procurar em sites, livros, revistas específicas, podemos encontrar exemplos de erros causados pelo mau uso dos agregados.

2.2.4 Aditivos e adições

Os aditivos e adições são cruciais para obter um aumento e melhoramento das propriedades do concreto, transformando-o em concreto especial. São eles os encarregados de aumentar ou diminuir o tempo de pega, ou ainda alterar a fluidez, entre tantas outras características que o concreto, assim, adquirir.

Segundo a norma NBR EB 1763 de 1992, aditivos são “produtos que adicionados em pequena quantidade a concretos de cimento Portland modificam algumas de suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições”. Ou seja, irá alterar diretamente a cinética da hidratação do concreto. Entre tantos tipos, podemos citar aqui aditivos retardadores, aceleradores, plastificantes.

Por outro lado, as adições são utilizadas em maiores quantidades, as vezes na hora da própria fabricação do cimento. Elas têm uma origem mineral, onde as mais utilizadas são a

cinza volante, escória de alto forno, metacaulinita e sílica ativa. Geralmente são utilizadas na substituição de parte do aglomerante, obtendo propriedades especiais.

Resumidamente, os aditivos enfraquecem ou fortalecem uma propriedade específica que já exista no concreto. Já as adições dão ao concreto características que ele não tinha.

2.3 Principais tipos de concreto

O concreto é um elemento bastante utilizado hoje em dia, facilmente encontramos de pequenas à grandes estruturas feitas completamente ou parcialmente com uso do concreto. Dependendo do material utilizado e a quantidade do mesmo, pode-se obter vários tipos de concreto, havendo alterações nos custos, métodos de aplicação, entre tantas outras naturezas. Podemos, aqui, listar os principais tipos (Construção Civil Pet).

2.3.1 Concreto convencional

Este é o concreto mais utilizado em obras civis, também conhecido como concreto simples. Não há adições de nenhum tipo de aditivo químico e sua resistência pode variar entre 10 e 40 MPa, dependendo do seu traço. É lançado diretamente ao solo, quando for uma fundação, ou em formas. Podendo ser feito na própria obra ou usinado (Esquissomo).

Além de fundações, o concreto convencional pode ser utilizado na construção de pisos, calçamentos e estruturas. É um concreto que proporciona a diminuição dos custos e do tempo na execução da obra. Além de aumentar a qualidade final e a durabilidade da estrutura.

2.3.2 Concreto bombeável

Este tipo de concreto tem, praticamente, as mesmas características, funções e vantagens do concreto convencional. A diferença é no aumento do seu fator água-cimento, diminuição da granulometria do agregado graúdo e a opção de adição de algum aditivo plastificante, para que o concreto tenha maior fluidez e possa ser bombeado (Esquissomo).

2.3.3 Concreto pré-fabricado

Como o próprio nome já diz, é um concreto feito previamente. É fabricado, geralmente, em empresas especializadas, seguindo um rigoroso controle de qualidade tanto na sua

fabricação, como no transporte, armazenamento e utilização na obra. Geralmente são fabricadas peças, como lajes, pilares, vigas (ULSEN, 2011).

Este tipo de concreto está sendo cada vez mais utilizado nas construções civis. É um excelente negócio para uma construtora, pois economiza tempo, ou seja, enquanto seus funcionários trabalham fazendo outros serviços, como a preparação do terreno, as peças de concreto já estão sendo fabricadas. Outro fator positivo é a economia de material, não há muito desperdício porque há um encaixe entre essas peças.

2.3.4 Concreto de alta resistência inicial

Este tipo de concreto tem como principal característica, a capacidade de adquirir uma alta resistência em pouco tempo de idade, ganhando tempo e velocidade na execução da obra. Sua resistência inicial se dá pelo uso de aditivos, tornando-o um concreto caro. Porém, a construtora que faz uso deste tipo de concreto, irá ter uma redução com outros gastos, como por exemplo redução com funcionários, equipamentos, alugueis de formas, entre outros (ULSEN, 2011; Esquissomo).

2.3.5 Concreto pesado

Como o próprio nome sugere, este concreto tem sua densidade elevada em comparação aos demais tipos, variando entre 2800 e 4500 kg/m³. Para ser feito, geralmente utilizam o mineral hematita, como agregado graúdo, pois ele tem uma maior massa específica e maior resistência (Construção Civil Pet).

Além da maior resistência alcançada, o concreto também se torna mais durável, e consegue proteger locais contra radiações. Sua utilização é feita em locais que necessitam de um contrapeso ou em salas que tenham radiação, como salas de raio-x.

2.3.6 Concreto projetado

É um dos concretos mais utilizados hoje em dia no Brasil, por causa do relevo brasileiro que exige muitas estruturas de contenção. Este tipo, chega a ser mais fluido que o concreto bombeável, pois ele é aplicado de forma projetada, ejetada, através de equipamentos que utilizam a pressão do ar comprimido (ULSEN, 2011).

Há duas formas de ser aplicado o concreto, uma é de forma seca e outra de forma úmida, dependendo se há ou não a mistura com água antes da aplicação. Na primeira forma, a água é aplicada no bico da mangueira de projeção, ou seja, só ocorre o contato água-cimento segundos antes da aplicação. Geralmente, é utilizado para conter taludes, em construções de túneis, paredes, entre outras estruturas.

2.4 Concreto reciclado

2.4.1 Importância de se reciclar

Sempre que é feita uma reforma ou uma construção, há acúmulo de entulho e muitas vezes não se sabe o que fazer com o mesmo. Há uma estimativa de que no Brasil são gerados cerca de 70×10^6 toneladas de resíduos de construção de demolição (RCD). Acreditando que a geração nos centros urbanos é contínua e elevada, diferente das jazidas, logo sua reutilização como matéria-prima para a construção irá, de certa forma, contribuir positivamente para a sustentabilidade no meio ambiente (ULSEN, 2011).

De acordo com Patto (2006) os recursos naturais disponibilizados pela natureza são limitados e esgotáveis, logo, aparece a necessidade de desenvolver estudos para comprovarem a eficiência e eficácia utilização de agregados reciclados, promovendo proteção ao meio ambiente, pois menos jazidas serão exploradas, além de proporcionar uma maior economia.

São gerados mais de 1 bilhão de toneladas por ano de RCD, onde são depositados em aterros sanitários do mundo inteiro (BJEGOVIC, 2010). Segundo Cabral (2007), no Brasil, os RCD representam 50% do total de resíduos sólidos, sendo a região sudeste responsável por 61%. E segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil – CBIC, atualmente se tem uma maior geração de RCD, já que o setor da construção civil está passando por um momento favorável.

Diante disto, uma alternativa promissora para redução dos entulhos, diminuição dos impactos ambientais, dos problemas gerados pelas demolições e do enorme consumo dos recursos naturais pelas indústrias de construção civil, é o uso de concreto reciclado.

A prática da reciclagem de entulhos surgiu na Alemanha após a segunda guerra mundial, onde foi preciso fazer a reconstrução das cidades. Segundo Arnaldo Battagin, engenheiro responsável pelos laboratórios da ABCP, “a influência dos agregados de RCD no concreto tem sido investigada desde a década de 80 em vários países europeus, que viabilizaram

economicamente essa alternativa ao proibirem a prática de uso de aterros para destinação de resíduos passíveis de reciclagem”.

Alguns países como a Bélgica, Holanda e Dinamarca, para se adaptarem a atual falta de agregados graúdos em locais onde não há fontes de extração, precisam realizar importação de areia e entulho da Sibéria e Inglaterra, respectivamente. Onde este entulho é devidamente reciclado e utilizado na produção de concreto. Além disso, há uma estimativa de que 90% dos resíduos nesses países são reciclados (SILVA, 2016).

Padovan (2013) cita em seu trabalho que no Brasil, onde as técnicas de reciclagem são usadas a mais de 20 anos, só foram reciclados um pouco mais de 5% do entulho gerado no país. Mesmo sendo tão pouco, é possível encontrar prédios que fizeram uso do concreto reciclado nos Estados de São Paulo, Curitiba, Rio de Janeiro e Belo Horizonte.

2.4.2 Resíduos de construções e demolição – RCD

RCD é todo e qualquer resíduo proveniente de atividades da construção civil, sejam eles oriundos de novas construções, reformas, demolições ou qualquer outra atividade que esteja relacionada à obra (CONAMA, 2002).

Estima-se que mais de 90% do total de RCD é composto por fração mineral, além de componentes orgânicos como madeira, papel e plástico. Com isto, o primeiro passo na reciclagem é realizar a separação dos materiais que possuem tecnologias específicas de reciclagem. Com os resíduos separados, o segundo passo consiste na escolha do processo que irá gerar um material homogêneo através do resíduo heterogêneo. (ULSEN, 2011).

A norma da ABNT, NBR 10004/2004, classifica os resíduos de construção e demolição como classe III, ou seja, resíduos inertes, onde não promovem reações químicas. Em 2002 foi aprovada a resolução 307, pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, que orienta sobre a destinação dos resíduos da construção civil. Nesta resolução, mais precisamente no artigo 3º, há a classificação dos RCD de acordo com sua origem,

- Classe A: resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, como tijolos, telhas, placas de revestimentos, blocos, tubos, resíduos de concreto, etc.;
- Classe B: resíduos recicláveis para outras destinações como vidro, metais, plásticos, papéis, gesso, madeira, etc.;
- Classe C: resíduos onde ainda não há tecnologias que permitam a sua recuperação ou reciclagem;

- Classe D: resíduos considerados perigosos como aqueles provenientes de reformas ou demolições de clínicas radiológicas.

No caso do presente trabalho, o foco é nos resíduos Classe A. o agregado proveniente destes resíduos pode atribuir características específicas que determinam algumas diferenças em relação aos agregados convencionais. As principais são: heterogeneidade, menor resistência mecânica e maior absorção de água (LIMA, 1999).

A heterogeneidade faz com que as propriedades do agregado reciclado seja influenciada por matérias encontrados em sua composição. Sendo assim, os resíduos de concreto (RC) se torna o material mais homogêneo e conseqüentemente mais propício na utilização da produção do novo concreto. Essa forma de reciclagem seja ela na fração de agregados graúdos ou miúdos, ainda podem ser usados para diferentes finalidades, tais como argamassas e pavimentação (PADOVAN, 2013).

A ideia de utilizar resíduos para obtenção de concreto é uma solução bastante viável e vem sendo amplamente estudada, sendo comprovada sua efetividade técnica. O Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Unisinos tem promovido pesquisas sobre este tema, comprovando a eficiência do uso de agregados reciclados na substituição do agregado natural num teor de até 50% (TROIAN, 2010; WERLE, 2010; CAVALHEIRO, 2010; GONÇALVES, 2011).

Todavia, há discordâncias em relação ao modo como é realizado a mistura deste agregado com os outros materiais. Ainda que o agregado proveniente da reciclagem do concreto (ARC) tenha uma menor possibilidade de contaminação e menor variabilidade, possui uma menor massa específica e maior porosidade quando comparado aos agregados naturais. Logo, o concreto reciclado irá ter uma menor trabalhabilidade.

2.4.3 Agregado de resíduos de concreto – ARC

Segundo a NBR 15116:2004 da ABNT, agregado de resíduos de concreto é definido como sendo aquele que é obtido através dos resíduos pertencentes à Classe A, sendo composto por cerca de 90% em massa de material a base de cimento Portland e rochas. Segundo Butter (2013), estes agregados irão apresentar características e propriedades bem particulares, advindas do tipo de material que chega para ser reciclado. A forma como esse material será desintegrado irá influenciar diretamente nas propriedades do agregado.

É sugerido usar no máximo 50% do agregado reciclado em substituição do natural para que possa evitar possível diminuição na resistência mecânica do novo concreto. O que irá afetar diretamente na resistência, é o fato de que o agregado reciclado apresenta uma certa quantidade de argamassa presa no grão, tornando-o mais poroso (TROIAN, 2010; WERLE, 2010). Diante disto, faz-se necessário conhecer as propriedades dos agregados reciclados.

2.4.3.1 Granulometria

A granulometria é uma característica muito importante, pois interfere diretamente na trabalhabilidade do concreto, além de influenciar na sua resistência mecânica, absorção de água, consumo do aglomerante e fluência do concreto (TORÇU E SENDEL, 2004). Segundo Padovan (2013), os agregados reciclados têm a granulometria mais grossa, se comparada aos agregados naturais. Sendo assim, é possível conhecer a quantidade de agregados finos, provenientes da argamassa que é solta do agregado convencional.

2.4.3.2 Forma e textura

Forma e textura são dois fatores que tem bastante influência na produção do concreto, como na trabalhabilidade, devido interferir na quantidade de água necessária para o amassamento da mistura (COUTINHO, 2006). Segundo a norma da ABNT NBR 7211:2009, a forma do grão válida para uso em concreto deve ser no máximo 3, segundo a literatura estudado, o agregado reciclado atende este critério.

Em relação a sua textura, o ARC é mais poroso e rugoso do que os agregados convencionais, proporcionando uma maior absorção do material ligante (massa de cimento). Podendo proporcionar um melhor desempenho final, devido ao fato que esta maior absorção irá, de certa forma, transformar o agregado e a matriz em um único bloco de material.

2.4.3.3 Massas unitária e específica

A norma da ABNT NBR NM 45:2006 define massa unitária como sendo a “relação entre a massa do agregado com o estabelecido nesta Norma e o volume do recipiente”. Já a massa específica é definida pela NBR NM 52:2009, da ABNT como sendo “a relação entre a massa do agregado seco e o seu volume excluindo os poros permeáveis”.

É importante se ter conhecimento da massa específica dos agregados reciclados, pois se esta for baixa, o que pode acontecer devido à alta porosidade dos grãos, não poderá ser utilizada na produção do concreto de alta resistência (BRITO, 2005). Ter este conhecimento prévio torna-se possível a realização da substituição dos agregados reciclados por aqueles de origem natural, de forma que não necessite sua total substituição.

A tabela a seguir (Tabela 1), é possível mostrar o levantamento bibliográfico em relação as massas unitárias e específica dos agregados reciclados em relação a sua granulometria.

Tabela 1 - Levantamento bibliográfico sobre as massas unitária e específica, levando em consideração sua granulometria.

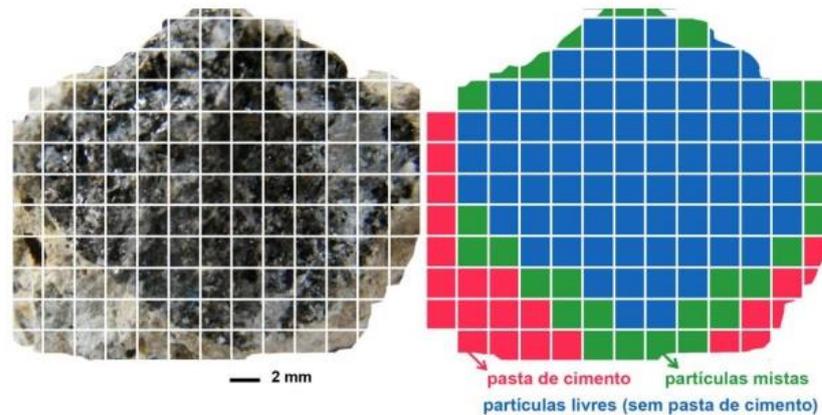
| Autor | Fração Granulométrica (mm) | Massa Unitária (kg/dm³) | Massa Específica (kg/dm³) |
|------------------------------------|---|---|---|
| Buttler (2003) | 0 – 19 | 1,25 – 1,29 | 2,39 – 2,45 |
| Torçu e Sengel (2004) | – | 1,16 | 2,47 |
| Cabral (2007) | 0 – 20 | 1,22 | 2,27 |
| Werle (2010); Troian (2010) | 4,75 – 20 | 1,21 | 2,47 – 2,50 |
| Gonçalves (2011) | 4,75 – 19 | 1,07 – 1,16 | 2,33 – 2,37 |

Esta diferença entre os valores apresentados é explicada pela diferença nas massas dos agregados naturais que fazem parte da composição dos agregados reciclados e da porosidade da argamassa (CABRAL, 2007).

2.4.3.4 Porosidade e absorção de água

A porosidade e a absorção de água estão diretamente ligadas, pois os poros retêm uma certa quantidade de água afetando a durabilidade e a resistência mecânica do concreto produzido. Diversas pesquisas comprovam que os agregados reciclados absorvem muita água e que este fato ocorre devido ao fato que a sua composição é de agregado natural e a argamassa de cimento, que está aderida das obras anteriores, como podemos ver no esquema da Figura 1. Sendo esta uma das diferenças mais relevantes entre os ARC e os NA (agregados naturais) (BUTTLER, 2003; CABRAL, 2007; TROIAN, 2010; WERLE, 2010; GONÇALVES, 2011).

Figura 1 - Esquema do agregado reciclado - agregado natural coberto por argamassa.

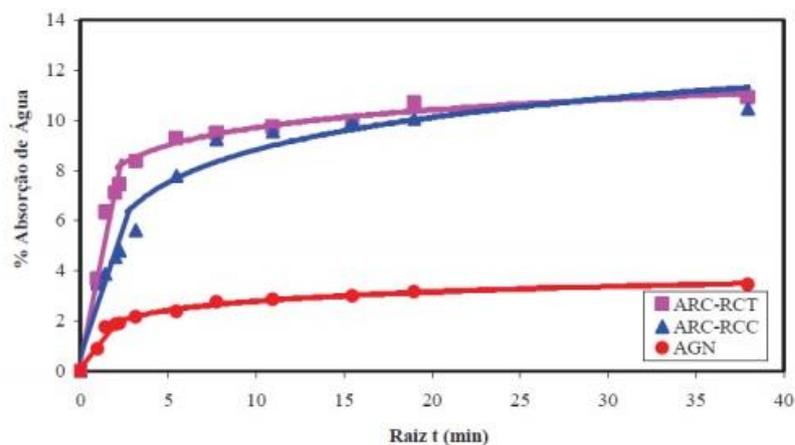


Fonte: Ulsen (2011).

Segundo os autores Juan e Gutiérrez (2004), a porosidade proporcionada pela argamassa, irá surtir efeitos negativos nas propriedades dos ARC. Ainda, segundo os autores, o recomendado seria que a quantidade máxima de argamassa aderida seja de 44%. De acordo com Amorim (2004), quanto menor for o grão do agregado natural, maior será a quantidade de argamassa.

Estudos realizados por Gonçalves (2011), mostram que a absorção de água pelo ARC é muito superior à quantidade de água absorvida pelos agregados naturais. Como se pode ver na Figura 2, a maior absorção nos ARC ocorre durante os 10 minutos iniciais do ensaio, onde durante os primeiros 5 minutos esta absorção é mais intensa.

Figura 2 - Absorção de água dos agregados reciclados (ARC) e AGN.



Fonte: Gonçalves (2011).

É muito importante conhecer sobre a capacidade de absorção do agregado para que se possa determinar as diretrizes necessárias para a execução do traço do concreto. Geralmente, a

quantidade de água utilizada é estipulada levando em consideração o potencial de água absorvida pelo agregado e a velocidade inicial da absorção.

2.4.4 Propriedades do concreto reciclado

A opção de substituir os agregados convencionais por agregados reciclados de concreto, nos leva a necessidade de conhecer a sua influência nas propriedades do concreto produzido. Aqui estarão citadas, as principais delas.

2.4.4.1 Trabalhabilidade

Esta é uma das propriedades mais importantes do concreto no estado fresco, pois irá influenciar diretamente no seu estado endurecido. Segundo Mehta e Monteiro (2008), o concreto produzido com agregado reciclado tem um aspecto mais seco, devido a maior absorção de água. Sendo mais difícil de ser lançado, irá afetar tanto a resistência quanto a aparência da peça final. Para aumentar a trabalhabilidade, pode-se aumentar a quantidade de água ou adicionar aditivos que compensem a necessidade de água na mistura.

2.4.4.2 Massa específica

Para Leite (2001), o concreto produzido como agregado reciclado tende a ter uma massa específica menor no seu estado fresco do que o concreto convencional. Isto ocorre devido a baixa massa específica dos agregados reciclados e da grande quantidade de vazios.

2.4.4.3 Resistência à compressão axial

Todos os materiais que compõem o concreto afetam diretamente a resistência à compressão do mesmo, logo a qualidade do agregado terá grande influência já que corresponde a 80% do peso do concreto. Leite (2001) e Cabral (2007) concordam que o que mais interfere na resistência é a relação água/cimento, pois quanto maior for a relação, maior será a porosidade e conseqüentemente a perda de resistência.

Já Werle (2010), afirma que a qualidade do agregado reciclado será o agente com maior influência na resistência à compressão. Se utilizar um ARC com baixa resistência, ele irá tornar o concreto num concreto de baixa resistência, já se utilizar um agregado de alta resistência não

irá ter influência significativa no novo concreto. A autora ainda recomenda que a substituição de até 50% dos agregados convencionais pelos reciclados, manterá suas propriedades mecânicas intactas.

Com isso, é possível considerar satisfatório o uso do agregado reciclado em concretos, sejam eles concretos estruturais ou não.

3 CONCLUSÃO

Considerando-se o que foi exposto, pode-se concluir que a reciclagem de entulhos gerados em grandes volumes no mundo inteiro, além de promover uma redução nos impactos ambientais, promove a economia para as empresas de construção, que deixam de adquirir novos agregados naturais, para inovarem na reciclagem dos entulhos gerados pela própria empresa.

Com a pesquisa realizada, pôde-se ver que o agregado mais indicado para a produção de concreto, é aquele proveniente de resíduos de concreto (ARC), pois não necessitam de alterações químicas no seu processo de reciclagem. Sendo recomendando uma substituição de até 50% dos agregados naturais pelos reciclados, sem haver alterações significativas no resultado final.

Nos países europeus que já adquiriram a cultura da reciclagem, o uso de agregados reciclados enfrenta poucas restrições, já no Brasil a grande dificuldade é que ainda não há esta cultura. Uma dificuldade em comum para o mundo todo é a falta de tecnologia para reciclagem dos resíduos.

A propriedade mais afetada pela utilização do agregado reciclado é a trabalhabilidade, devido ao fato do agregado natural que compõe o reciclado, ser coberto por uma camada expressiva de argamassa proveniente de obras anteriores, aumentando sua porosidade e conseqüentemente a absorção de água, tornando o concreto mais difícil de ser lançado. Entretanto, a utilização de mais água ou aditivos junto a mistura, promoverá melhor trabalhabilidade. Logo, pode-se concluir que o concreto reciclado é uma alternativa bastante inovadora e eficaz para o ramo da Engenharia Civil.

CONCRETO RECICLADO: DA HISTÓRIA DO CONCRETO À INOVAÇÃO DA RECICLAGEM

ABSTRACT

The scarcity of natural resources, the sheer volume and discarded waste and concern for the environment has led researchers and scholars to seek alternatives to mitigate the impacts caused by the construction industry, as well as improve the economy of this sector. In this situation, the use of waste as aggregates in concrete production is a viable alternative and recommended by such scholars. This paper aims to make a literature review on the recycled concrete as a building material today, bringing considerations from the origin of conventional concrete to the new solution to reduce waste that is recycled concrete. Research conducted could show that the use of concrete residue as added would be the most suitable for the production of new concrete, due to the fact they do not require many changes in their recycling. Properties such as workability, density and resistance to axial compression, could show the effectiveness and 50% replacement of the efficiency of conventional aggregates by recycled aggregates, not compromising the concrete characteristics.

Keywords: recycling, concrete, construction.

REFERÊNCIAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. Disponível em:
<<http://www.abcp.org.br/>>. Acesso em: 18 de agosto de 2016.

AMORIM, P. M. E. **Influência das condições de cura no desempenho em termos de durabilidade de betões com agregados reciclados de betão.** 2008. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10004: 2004.** Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15116: 2004.** Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15900: 2009.** Água para amassamento do concreto. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 1763: 1992.**
Aditivos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5732: 1991.**
Cimento Portland Comum. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7211: 2009.**
Agregados para concreto - especificações. Rio de Janeiro, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 52: 2009.**
Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

BJEGOVIC, D.; STIRMER, N.; SERDAR, M. Ecological Aspects of Concrete Production. In **Second international conference on sustainable construction materials and technologies**, Ancona, Italia, 2010.

BRITO, J. de. **Agregados reciclados e a sua influência nas propriedades dos betões.** 2005.
Lição de síntese para provas de agregação em Engenharia Civil, Lisboa, 2005.

BUTTLER, A. M. **Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto – influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados.** 2003. 187f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Engenharia de Estruturas. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD.** 2007. 248f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos – Doutor em ciências da Engenharia Ambiental. Universidade de São Paulo, 2007.

CARDOSO, José Ribamar de Abreu. **Uso do agregado de entulho da construção civil de Manaus-AM para obtenção de bloco de argamassa celular.** 2010.

CAVALHEIRO, A. P. **Contribuição para a implementação de agregado reciclado de concreto em uma empresa de pré-fabricados de concreto.** 2011. 151f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Gestão de Resíduos. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2011.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil. 2011. Disponível em: <<http://www.cbic.org.br/>>. Acesso em: 17 de agosto de 2016.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n ° 307, de 05 de julho de 2002: Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 jul. 2002.

Construção Civil Pet, O concreto como material construtivo: Da origem às novas tecnologias. Disponível em: <<https://construcaocivilpet.wordpress.com/2012/11/07/o-concreto-como-material-construtivo-da-origem-as-novas-tecnologias/>>. Acesso em: 15 de agosto de 2016.

COUTINHO, A. **Fabrico e propriedades do betão**. Vol. I e II, LNEC, Lisboa, 2006.

DORFMAN, Gabriel. **História do cimento e do concreto**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2003.

Esquisomo, As 10 estruturas mais altas do mundo. Disponível em: <<http://esquisso.com/artigos/10-estruturas-mais-altas-do-mundo>>. Acesso em: 20 de setembro de 2016.

GONÇALVES, M. S. **Análise da viabilidade técnica de utilização de resíduos de concreto oriundos da pré-fabricação como agregado graúdo para a produção de novos concretos**. 2011. 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Gestão de Resíduos. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2011.

Incopre pré-fabricados de concreto, Conheça os 6 principais tipos de concreto utilizados em construções. Disponível em: <<http://incopre.com.br/index.php/conheca-os-6-principais-tipos-de-concreto-utilizados-em-construcoes/>>. Acesso em: 10 de setembro de 2016.

JUAN, M. S.; GUTIÉRREZ, P. A. Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate. **Construction and building materials**. V. 23, 2009.

JUNIOR, Enio Ribeiro. **Propriedades dos materiais constituintes do concreto**, revista especialize on-line IPOG, Goiânia, v.1, n.10, p.15, dez 2015, disponível em: <<http://www.ipog.edu.br/revista-especialize-online/>>, acesso em: 17 outubro de 2016.

LEITE, M. B. **Avaliação das propriedades mecânicas de concreto produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 270f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LIMA, J. A. R. **Preposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclados e de suas aplicações em argamassas e concretos**. São Carlos, 1999. 246p. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008. 573f.

PADOVAN, Rafaela Gava. **Influência da pré-molhagem nas propriedades de concreto produzido com agregado reciclado de concreto**. Dissertação (Mestrado) Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2013.

PANZERA, T. H. et al. **Propriedades mecânicas de materiais compósitos à base de cimento Portland e resina epoxi**. Cerâmica, Mar 2010, vol.56, no.337, p.77-82. ISSN 0366-6913.

PATTO, André Luiz Duqui Brunini. **Minimização de impactos ambientais com a utilização de resíduos de construção e demolição como agregados**. Taubaté, SP: 2006.

PEREIRA, E.; MEDEIROS, M. H. F. de; LEVY, S. M. **Durabilidade de concretos com agregados reciclados: uma aplicação de análise hierárquica**. 2012. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. v. 12, n. 3, p. 125-134, 2012.

PINTO, T. P. **Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. 1999. 189p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (PCC), São Paulo, 1999.

SANTANA, V. M. de; PAES, F. P.; SANTANA, D. da. S.; CERQUEIRA, M. B. dos. S.; SILVA, F. G. S.; ARAGÃO, H. G. **Utilização de concreto reciclado na aplicação de elementos estruturais**. 2011. In: XV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e XI

Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, Cruz das Almas, Bahia.

SILVA, Fábio Melle. **Novo desafio para a sustentabilidade: O concreto reciclado.**

Disponível em: <<http://www.deviante.com.br/noticias/ciencia/novo-desafio-para-sustentabilidade-o-concreto-reciclado/>>. Acesso em: 15 de outubro de 2016.

SOUSA, Rainer. **História do cimento**, disponível em:

<<http://historiadomundo.uol.com.br/curiosidades/historia-do-cimento.htm>>, acesso em: 10 de setembro de 2016.

TORÇU, I. B.; SENDEL, S. Properties of concretes produced with waste concrete aggregate. 2004. **Cement and concrete research**. v. 34, p. 1307-1312, 2004.

TROIAN, A. **Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregado reciclado de concreto frente à penetração de íons cloreto.** 2010. 127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Gestão de Resíduos. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2010.

ULSEN, Carina. **Caracterização e separabilidade de agregados miúdos produzidos a partir de resíduos de construção e demolição.** Tese (Doutorado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

VALVERDE, Fernando Mendes. **Agregados para construção civil.** *Balanço Mineral Brasileiro*. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes-economia-mineral/arquivos/agregados-para-contrucao-civil.pdf>>. Acesso em: 11 de outubro de 2016.

VIANA, Valmir Soares. **Análise das propriedades mecânicas do concreto produzido com substituição parcial do agregado graúdo por agregado reciclado.** 2016.

WERLE, A. P. **Determinação de propriedades de concretos com agregados reciclados de concreto com ênfase na carbonatação.** 2010. 154f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Gestão de Resíduos. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2010.