

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACIG

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NA
SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Lucas da Silva Batista



LUCAS DA SILVA BATISTA

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NA
SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho Final de Graduação apresentado no Curso Superior de Engenharia Civil da Universidade de Ciências Gerenciais de Manhuaçu, como requisito parcial à obtenção do título de graduado em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Engenharia Civil
Orientador (a): Kastelli Pacheco Sperandio

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NA SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Trabalho Final de Graduação apresentado no
Curso Superior de Engenharia Civil da Universidade
de Ciências Gerenciais de Manhuaçu, como
requisito parcial à obtenção do título de graduado
em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Engenharia Civil
Orientador (a): Kastelli Pacheco Sperandio

BANCA EXAMINADORA

Prof.

Prof.

Prof.

RESUMO

O ramo da construção civil consome durante o seu processo uma grande quantidade de material, o que de certa forma acaba gerando em escalas grandes os Resíduos da Construção e Demolição que são mais conhecidos como RCD's, resíduos que em certos grandes centros alcançam um número de proporções preocupantes. Pode-se entender que a necessidade em se pensar na reutilização desses resíduos acaba sendo extremamente importante tanto para o âmbito ambiental em que se aliviam os impactos ocasionados pelo mesmo ao meio ambiente, assim como em caráter econômico. Sendo assim, este trabalho irá abordar a utilização de resíduos sólidos na substituição de agregados da construção civil, e buscar na literatura a importância e necessidade de sua utilização, mas para isto, através de uma pesquisa bibliográfica, buscar conceituar resíduos e agregados recicláveis, bem como seu processo, levantar dados referentes à destinação dos resíduos da construção civil, no propósito de melhorar as condições ambientais.

Palavras-chave: resíduos da construção e demolição; reciclagem; agregados reciclados.

LISTA DE SÍMBOLOS

a/c relação água/cimento

↑ aumento

↓ redução

≈ semelhança

Sumário

1. INTRODUÇÃO	6
2. DESENVOLVIMENTO	7
2.1. Desenvolvimento sustentável e a construção civil	7
2.2. Agregados naturais.....	8
2.3. Agregados reciclados.....	9
2.4. Resíduos de construção e demolição – (RCD).....	11
2.5. Características dos agregados reciclados.....	12
2.6. Classificação dos agregados	13
2.6.1 Granulometria, Forma e Textura	13
2.6.2 Massa específica e massa unitária	14
2.6.3 Porosidade e absorção de água	14
2.6.4 Trabalhabilidade.....	15
2.7 Resistências mecânicas do concreto	16
2.7.1 Resistências a compressão.....	16
2.7.2 Resistências a tração por compressão diametral.....	17
2.7.3 Módulos de elasticidade	17
3. METODOLOGIA	18
4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS	18
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

1. INTRODUÇÃO

O Brasil passou, nas últimas décadas, por um crescente processo de urbanização, onde houve a migração de grande parte da população brasileira para os centros urbanos. Essa urbanização, que é marcada pelo crescimento desordenado e sem planejamento, provoca diversos problemas ambientais e estruturais, gerando desconforto e preocupação para a população (ZANGESKI *et al.*, 2017).

A construção civil é uma das indústrias que mais causam impactos ambientais, uma vez que é responsável por um alto consumo dos recursos naturais, que geralmente é extraído da natureza de forma descontrolada, sem se importar com a escassez desses recursos. Além disso, é uma indústria que gera grande quantidade de resíduos, que geralmente são descartados de forma inadequada (DOMENICO *et al.*, 2018). Os resíduos da construção civil representam um significativo percentual dos resíduos sólidos produzidos nas áreas urbanas dos municípios. Buscando minimizar os impactos causados por esse tipo de resíduo, no ano de 2002 foi publicada a resolução nº 307 do CONAMA, que considera a viabilidade técnica e econômica de produção e uso de materiais provenientes da reutilização, reciclagem e beneficiamento destes resíduos.

Segundo a resolução, resíduos da construção civil são aqueles gerados em construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, além dos resultantes da preparação e da escavação de terrenos. São exemplos desses resíduos: tijolos, blocos cerâmicos, concretos em geral, solos, telhas, vidros, plásticos, madeiras, entre outros (CONAMA, 2002).

Os resíduos de construção civil são classificados em Classe A, B, C e D, separados de acordo com o tipo de material gerado e a possibilidade de sua reutilização. A Classe A é composta pelos resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, como os provenientes de obras de infraestruturas, inclusive solos, componentes cerâmicos como tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, etc., argamassa, concretos e peças pré-moldadas em concreto (CONAMA, 2002).

Nesse sentido, a reciclagem e utilização dos resíduos da construção civil na própria indústria se tornam interessante, já que garante a diminuição da

disposição desses resíduos em aterros e locais irregulares. Além disso, pode diminuir os custos da construção através da utilização de materiais utilizando alguns materiais reciclados e, ainda, proporciona benefícios ao meio ambiente, já que haverá menor extração de materiais naturais (NUNES *et al.*, 2017).

Visto isso, o presente artigo tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica, buscando por artigos científicos publicados entre os anos de 2015 e 2019, sobre a utilização de resíduos gerados na indústria da construção civis como agregados reciclados e tudo que envolve o tema, e analisar a influência da incorporação dos agregados reciclados na produção de novos concretos a partir do estudo das características dos agregados reciclados em relação às propriedades dos concretos produzidos.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Desenvolvimento sustentável e a construção civil

De acordo com Athayde (2018), a indústria da construção civil, quando ocorreu a Revolução Industrial na Europa e Estados Unidos, abriu a possibilidade de que pessoas da zona rural optassem por morar nas cidades com o intuito de conseguir um emprego nas grandes empresas, isso consequentemente iria exigir uma grande demanda de alimentos, espaço e energia, por causa do grande aumento de população.

O aumento das indústrias de construção trouxe grandes benefícios sociais e econômicos para o desenvolvimento das cidades, mas também causou uma expressiva geração de resíduos, e dentre eles os resíduos de construção e demolição, o que causa impactos ambientais, por muita das vezes, não ser despejados em uma destinação adequada (SILVA *et al.*, 2017). Com a ideia de reduzir esses impactos negativos no meio ambiente, a construção civil vem nos últimos anos aderindo ao desenvolvimento sustentável, onde por motivos de consumo e descarte de grandes volumes no meio ambiente, utiliza-se o reaproveitamento de resíduos de construção como um meio de reduzir os impactos ambientais e tornar o canteiro de obra mais

limpo e sustentável, já que os entulhos e a extração dos calcários para fabricação dos agregados serão reduzidos(CORDEIRO *et al.*, 2017).

No Brasil, é abordada a importância do gerenciamento dos resíduos na Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 307 do ano de 2002, e nela visa reduzir, reutilizar ou reciclar os resíduos, através de diretrizes e procedimentos para a gestão dos resíduos de construção. Com a reutilização dos resíduos de construção, ajuda de forma a incentivar a reciclagem e uma possível conscientização ambiental e sustentável (BARROS; FUCALE,2016).

Para se utilizar o desenvolvimento sustentável, necessita de uma otimização das técnicas construtivas, ou seja, utilizando-se de pequenas quantidades de matérias quando possível e substituir as matérias – primas por resíduos reciclados, assim o planeta pode se desenvolver de modo sustentável, dispensando a extração de recursos naturais como matéria prima, logo solucionando o grande problema que envolve a destinação de resíduos (ATHAYDE, 2018).

A grande geração de entulhos causados pela construção civil é caracterizada pelas elevadas quantidades de desperdícios de materiais, além da falta de arrojo técnico, e em determinados países á conhecimentos reduzidos em relação a como se fazer o reaproveitamento adequado para resíduos, e ainda tem a exploração desenfreada de recursos naturais, que era considerado infinito há algumas décadas atrás (ATHAYDE, 2018). Zangeski *et al* (2018) explica que para mudar esse cenário o agregado reciclado irá minimizar os impactos ambientais com sua utilização nas obras de construção, sendo usadas em diversas aplicações como: *materiais de pavimentos rodoviários, subhábitos, estabilização do solo, melhoria do sub-terreno, e na produção de concreto de muitas categorias.*

2.2. Agregados naturais

Através dos processos de intemperismo e abrasão de rochas matriz, se originam os agregados naturais, e por meio desses processos podem-se obter as propriedades como a composição química, dureza, massa específica, resistência, dependendo da composição da rocha matriz. E as propriedades

que exercem influência direta na qualidade do concreto, que são a forma e dimensão das partículas, textura e absorção dos grãos, estão relacionados a rocha matriz (ATHAYDE, 2018).

Segundo Soares (2017), os agregados são de suma importância, pois ela constitui $\frac{3}{4}$ do volume total do concreto, e diferente do cimento que adicionado a água forma um ligante hidráulico, os agregados não são constituídos com a água, assim formando um produto complexo de hidratação, além de possuírem um baixo custo, assim sendo, quanto maior seu emprego, menor será o seu custo. Para a classificação dos agregados, o fator determinante seria o tamanho das partículas, sendo divididas em agregados graúdos e miúdos.

De acordo com a NBR 7211 (2009), os agregados graúdos (pedra britas) são *“Agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm”*, e os agregados miúdos (areia): *“Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μ m”*, ambos em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1, (NBR 7211, p. 03, 2009).

Para Athayde (2018), a principal razão para se adicionar os agregados no concreto, é o resultado benéfico sobre a retração e resistência a tração que se obtém, além das propriedades dos agregados melhorarem a estabilidade dimensional e durabilidade do concreto.

2.3. Agregados reciclados

Araújo *et al.*, (2015) explica que os agregados reciclados têm características que precisa ser definido valores e limites para poder ser aplicados em argamassas e concretos, assim garantindo qualidade, mas é necessários procedimentos sistematizados para a sua utilização na construção civil.

Para haver uma reciclagem dos materiais formados nas obras das construções civis, é necessário levar em consideração a viabilidade econômica para evitar uma remoção e destinação precipitada. Os agregados reciclados

que são formados através dos blocos de concretos ou cerâmicos parcialmente danificados estariam reduzindo o consumo energético dos recursos naturais, além de reduzir os custos por causa do descarte dos materiais e os impactos negativos no meio ambiente (NUNES *et al.*, 2017).

Athayde (2018) apresenta dois tipos de resíduos para se obter agregados reciclados: resíduos de concretos (RC) e lama residuais de concretos usinados (LRCU). Os RC apresentam ser bastante homogêneos, assim se destacando por propiciar seu emprego em concretos estruturais e elementos pré-moldados, já o LRCU apresenta uma quantidade limitada de impurezas em relação a outros resíduos a serem aplicados como agregados. Mas para o uso desses dois resíduos requer uma cautela, pois dependendo o percentual de substituição de agregados naturais por agregados reciclados pode acarretar em aumento significativo da absorção de água, redução da coesão e aumento da retração por secagem do concreto.

Soares (2017) especifica etapas para se obter os agregados reciclados:

- Na primeira etapa utiliza-se de processo de separação onde os resíduos são separados para se obter os resíduos oriundos de concreto, retirando madeiras, vidros, aços, papeis, plásticos e contaminantes.
- Na segunda etapa o processo de britagem onde os resíduos passaram por processos iguais a de britas convencionais, e também a separação dos agregados naturais da pasta de cimento através de tratamento térmico e moagem, logo se realizam a separação magnética, retirando os resíduos de aços presentes.

Em algumas recicladoras europeias, há processos ainda mais sofisticados de separação, onde é quase por completo feito a remoção de materiais indesejáveis, ficando apenas 0,5% de resíduos presentes (SOARES, 2017).

2.4. Resíduos de construção e demolição – (RCD)

Os resíduos de construção e demolição, de modo mais simplificado, podem ser definidos como um resíduo proveniente de construção, reparos, reformas, e demolições de estruturas e estradas (CONAMA, 2002).

Os RCDs são compostos por diversos materiais, por exemplo, tijolos, concretos, blocos, madeira, entre outros. Esses resíduos podem ser classificados em 4 classes, sendo de A à D, que vai desde os que podem ser reutilizados na própria obra, até os que são considerados perigosos à saúde humana e ao meio ambiente (CONAMA, 2002). Sendo:

- Classe A - Resíduos que são derivados de obras de construção, reforma, ampliação, demolição, e até obras que corresponde a infraestrutura;
- Classe B – Resíduos que podem ser reciclados, com finalidade oposta da classe citada anteriormente, por exemplo, papéis, vidros, gesso, entre outros;
- Classe C – Resíduos que não existem tecnologias ou recursos econômicos viáveis, que não podem ser reciclados ou reutilizados;
- Classe D - Correspondem aos resíduos perigosos, por exemplo, solvente, tinta, entre outros, e ainda, os resíduos que são nocivos à saúde.

Os resíduos de concretos gerados nas obras de construção civil são compostos por argamassas e agregados naturais, e podem ser obtidos por meio da separação dos RCD'S. Separando a fração concreta, ela passa por um processo de reciclagem que envolve britagem, esmagamento, peneiramento a seco e meios de remoção de matérias contaminantes, para a produção dos agregados reciclados (ATHAYDE, 2018).

Para Cordeiro *et al.*, (2017) os resíduos gerados nas obras das construções são verdadeiras jazidas a serem exploradas, pelo fato de serem consideradas matérias primas para o agregado reciclado, ela representa a maior fração dos resíduos sólidos gerados no mundo. Por esse motivo para

Barros e Fucale (2016) são considerados uma problemática por trazer graves impactos no meio ambiente, por muitas das vezes serem despejados irregularmente, causando problemas de contaminação dos solos e da água subterrânea.

De acordo com a norma NBR 10004 (2004), uma norma que trata da classificação dos resíduos sólidos, os resíduos devem ser classificados do ponto de vista do risco ambiental, para que tenha um despejo correto. Os RCDs, de acordo com essa norma, são classificados como resíduos de classe III – inertes, pelo fato de não conter componentes minerais não poluentes e ser inerte quimicamente. Mas Cordeiro *et al.* (2017), mostram que esse fato pode não ser verdadeiro, pois podem conter nos resíduos de construção e demolição materiais pesados e de grande volume, além de materiais de pinturas, que se depositado em local inadequado pode gerar contaminação do solo, prejudicando o meio ambiente.

A construção civil acaba sendo a grande responsável pela geração de RCD, que são despejados de forma precária em locais indevidos, comprometendo a paisagem e a qualidade de vida, além do desperdício nas obras, que consomem recursos naturais sem reaproveitar os resíduos gerados nessas obras (NUNES *et al.*, 2017).

2.5. Características dos agregados reciclados

Para agregados em concretos, existem características muito importantes a serem estudadas para sua utilização, como a granulométrica, a forma e a estrutura, a absorção de água, o módulo de elasticidade, a resistência a compressão e os tipos de substâncias deletérias. Todas essas características devem ser consideradas, pois a viabilidade de sua utilização dependerá do total conhecimento do seu comportamento na estrutura (Zangeski *et al.*, 2017).

Já Soares (2017) explica que existe certa predominância para tipos de materiais em agregados resultantes de reciclagem, assim mudando sua composição e tornando suas características muito diferentes, colocando a absorção e a porosidade como fatores determinantes para determinar sua qualidade, e quanto menores os índices, melhor seu emprego. O autor ainda

coloca em pauta que matérias de resíduos cerâmicos, são mais porosas que materiais convencionais.

Souza (2017) cita em seus estudos que certos tipos de agregados possuem composição variada, e isso determina a qualidade do concreto, por exemplo, materiais com predominância de resíduos cerâmicos têm uma alta porosidade comparada a materiais oriundos de concreto, o que pode acarretar em uma quantidade maior de água absorvida. Athayde (2018) complementa que certos tipos de impurezas podem comprometer o desempenho, e por isso devem ser identificadas, quantificadas e quando possíveis eliminadas.

2.6. Classificação dos agregados

2.6.1 Granulometria, Forma e Textura

Os agregados podem ser divididos em gráúdo e miúdo, onde de acordo com a norma NBR 7211 (2005), grãos entre 76 mm e 4.8 mm são considerados agregados gráudos, como por exemplo, a brita e o cascalho. Os grãos entre 4,8 mm e 0,15 mm são considerados agregados miúdos, como por exemplo, a areia lavada e a areia artificial.

A norma responsável pela caracterização da composição granulométrica, no Brasil, é a NBR NM 248 (ABNT, 2003), enquanto a NBR 7809 (ABNT 2006) é responsável pela normatização dos ensaios da forma e textura específica.

De acordo com Athayde (2018) composição granulométrica dos agregados reciclados se mostra um pouco mais grossa que os agregados naturais, e isso resultam em um módulo de finura maior, exercendo certa influência sobre a trabalhabilidade dos concretos, até então no estado fresco. Possíveis causas para a finura ser maior do que o normal é relacionado à origem dos agregados, britagem ou esmagamento utilizado.

A forma do grão é determinada muitas das vezes pelo equipamento de britagem, e é um influenciador direto na resistência do concreto, onde partículas alongadas de agregados reciclados exigem uma grande quantidade de água e areia, além de uma quantidade excessiva de cimento reciclado, e isso diminui a trabalhabilidade do concreto (CORDEIRO *et al.*, 2017).

A classificação da textura é definida através do grau que a superfície do agregado é considerada lisa ou áspera. Pode ser observado que os agregados mais ásperos, durante as primeiras idades, têm sua resistência afetada, tornando a formação de aderência física entre a pasta do cimento e o agregado mais forte (KRUGER *et al.* 2017).

2.6.2 Massa específica e massa unitária

Existem normas que prescreve o processo de determinação da massa específica dos agregados graúdos e miúdos, como a NBR NM 52:2002 (2002). Através dessas normas também se obtém a massa específica aparente e da absorção de água dos agregados graúdos, na condição saturados superfície seca, destinados ao uso em concreto. A massa unitária é caracterizada através da norma regulamentadora NBR NM 45 (2006).

Com a utilização das normas é possível separar a massa específica em leves, médios e pesados, sendo:

- Leves – Vermiculita expandida, argila expandida.
- Médios – Brita e areia.
- Pesados – Hermatita, Magnetita

A massa específica pode ser definida como sendo a relação entre a massa do agregado seco e o seu volume, enquanto a massa unitária que está relacionada diretamente com a granulometria é determinada pela a massa real suficiente para o preenchimento de um recipiente de volume unitário (ATHAYDE, 2018). É normal que a massa específica e massa unitária dos agregados reciclados apresentem valores menores que os agregados naturais utilizados na produção de concreto.

2.6.3 Porosidade e absorção de água

Normalmente a taxa de absorção de água, para agregados convencionais, não exerce muita influência nas misturas de concreto, pois á uma porcentagem muito pequena de agregados que apresentam porosidade. Mas quando na produção de concretos se utiliza agregadosreciclados, já se tem uma maior preocupação, pois a influência deste material apresenta mais

alto de absorção de água em comparação com os convencionais (KRUGER *et al.*, 2017).

Para Soares (2017) a quantidade de água que o material reciclado pode absorver, depende de vários fatores, como a condição inicial de umidade do agregado, o tempo de permanência do material com a água, e isso dificulta no cálculo do real fator a/c , devido ao grande consumo por parte dos resíduos devido a sua maior porosidade. Para resolver esse problema, é citado pelo Soares (2017), que a pré-saturação melhora a consistência do concreto no estado fresco sem uso de aditivos, mas em determinadas porcentagens, se usado em 100% os resultados serão inferiores do que quando usados sem a saturação, sendo a melhor utilização aos 80%, assim a utilização da pré-saturação não deve ser levada em consideração no fator a/c , pois ficaria muito acima se comparado ao agregado convencional.

Athayde (2018) mostra que a quantidade de água absorvida está diretamente relacionada à porosidade, assim como o tamanho das partículas influencia na taxa de absorção, além da argamassa antiga aderida às partículas também aumentar a taxa de absorção, resultando na hora da mistura de concreto uma grande quantidade de água.

2.6.4 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade pode ser considerada uma das mais importantes dentre as propriedades do concreto no estado fresco, uma vez que a mesma exerce grande influência sobre as propriedades do concreto no estado endurecido.

Por causa da alta taxa de absorção do agregado reciclado, há uma considerável diminuição na trabalhabilidade do concreto, levando em conta que o RCD cerâmico irá exigir uma demanda maior de água para se manter a consistência, diferente dos RCD de concreto que não teve alteração significativa (KRUGER *et al.*, 2017). Soares (2017) mostra também que sem a pré-saturação a perda da consistência ocorre de forma mais rápida, devido a maior porosidade dos resíduos.

Uma das soluções mostrada para o fator água/cimento(a/c) na trabalhabilidade do concreto seria a pré-saturação para reduzir o grande consumo de água e o uso de aditivos no concreto (SOARES, 2017). Athayde (2018) também afirma q o uso de da pré-umidificação dos agregados antes da mistura da produção de concreto resolveria o problema, além disso, pode-se fazer uso de aditivos plastificantes ou superplastificantes, mas o uso desses aditivos pode reduzir qualquer vantagem econômica oferecida pelo concreto reciclado.

2.7 Resistências mecânicas do concreto

De acordo com Soares *et al.*, (2017, p.31, apud ANDRADE e TUTIKIAN, 2011, p. 616) defina-se como resistência mecânica do concreto: “a capacidade do material de suportar as cargas aplicadas sobre ele, sem que o mesmo entre em ruína. De forma prática, considera-se a resistência do concreto como a carga máxima aplicada sobre um corpo-de-prova”.

Athayde (2018) mostra que as resistências dos concretos podem ser influenciadas por relação a/c, que diminui dependendo da quantidade adicionada na mistura, a relação entre a porosidade também e um fator importante a ser estudado, pois quanto maior a porosidade, maior a absorção de água, assim aumentando a relação a/c.

2.7.1 Resistências a compressão

De acordo com a NBR 5739 (2018) a realização dos ensaios de resistência a compressão é feita através de uma prensa, onde a resistência dos corpos de provas é determinada nas idades de 7, 28, 56 e 91 dias. Como um parâmetro para avaliação de qualidade, a resistência a compressão é considerada a propriedade mais importante a ser considerada, apesar de que em alguns casos as características como durabilidade e a permeabilidade ser também consideradas importantes para se prever a vida útil da estrutura (ATHAYDE, 2018).

Normalmente a resistência, por esta diretamente ligada á estruturas da pasta de cimento, permite uma noção melhor da qualidade do concreto (ZANGESKI *et al.*, 2017). Em estudos realizados por Barros e Fucale (2017) onde mostrou que os concretos com a adição dos agregados reciclados, que foram feitos sem adição de água inicial, apresentaram uma resistência a compressão acima das misturas de referências (REF) utilizadas. Enquanto a adição de água inicial nos concretos feitos com teor de agregados reciclados aumentou sua relação a/c, assim reduzindo sua resistência.

2.7.2 Resistências a tração por compressão diametral

Esse ensaio é feito utilizando da mesma prensa da resistência de compressão, porém com a mudança na utilização de suas chapas de aço, que são colocadas na face superior e inferior do corpo de prova, e é através desse ensaio que se determina a resistência a tração nas idades de 7, 28, 56 e 91 dias (NBR 7222, 2011).

É usado para se saber qual o limite que o corpo de prova pode ser submetido a esforços de tração, onde começa a aparecer microfissuras à medida que se aplica maiores tensões (SOARES *et al.*, 2017).

2.7.3 Módulos de elasticidade

É um dos parâmetros mecânicos utilizados para se obter uma medida de rigidez de um material sólido, e é de extrema importância, pois dependendo da composição química, microestruturas e defeitos (poros e trincas), que pode ser realizado através da relação entre tensão exercida e a deformação sofrida pelo material (SOARES *et al.*, 2017). Athayde (2018) mostra que é de extrema importância, pois ao se descobrir o módulo de elasticidade é possível calcular as flechas máximas admissíveis, que faz parte do cálculo estrutural.

A norma responsável pela determinação dos módulos estáticos de elasticidades e de deformação à compressão do concreto endurecido, em corpos de prova cilíndricos é a norma ABNT NBR 8522:2017.

3. METODOLOGIA

Foi utilizada como estratégia metodológica a revisão bibliográfica, a qual possibilita o estudo de casos de autores que já pesquisaram sobre o assunto. Foi levantada uma revisão de literatura nacional, cujo tema a ser abordado: A utilização de resíduos de construção e demolição na substituição do agregado da construção civil, de forma a analisar as considerações obtidas pelos diferentes pesquisadores a partir do tema de interesse.

Para uma pesquisa melhor elaborada, foram utilizados como instrumento de coleta de dados, artigos encontrados nas bases de dados, Google acadêmico, além de consultar normatizações específicas sobre o tema, que tinha como os seguintes descritores: agregados reciclados, resíduos de construção e demolição, propriedades do concreto.

Logo após a escolha do tema e do tipo de coleta de material, foi feita a leitura do material, assim podendo elaborar informações para o referencial teórico, além de ampliar o conhecimento e estabelecer uma melhor compreensão sobre o tema.

Foram selecionados 8 artigos onde se pode obter ensaios relacionados às características e propriedades dos concretos reciclados, assim obtendo os resultados em relação a influência do uso de agregados reciclados no concreto. Os artigos escolhidos, publicados no período de 2015 a 2019 tiveram uma análise crítica das principais considerações dos autores especificados nas Tabelas 1.1 e 1.2.

4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Com toda a vantagem que os agregados reciclados podem proporcionar ao meio ambiente, onde, diferente dos agregados naturais, mostram que suas características e propriedades se diferenciam, limitando o seu uso regular. Com a utilização da Tabela 1.1 e 1.2 pode-se observar as peculiaridades dos

estudos e os resultados em relação às propriedades adquiridas pelos concretos e as características dos agregados reciclados dos estudos realizados pelos autores analisados.

De acordo com o Cordeiro *et al.* (2017) um dos fatores que causa um aumento na absorção de água em concretos de agregados reciclados, são os percentuais de porosidadesaltos e a dimensão de poros elevadas. Barros e Fucale (2016) mostram que após um teste que colocava o agregado miúdo imerso por 24h apresentou uma absorção de água de 10%, enquanto o agregado natural apresentou absorção de água igual 0,2%, ou seja, os ARC apresentam uma grande porosidade em relação aos agregados naturais. Amario *et al.*, (2018), Fonseca *et al.*, (2018) e Damario *et al.*, (2018) concordam que as propriedades dos concretos podem ser influenciadas pela condição de umidade, assim sendo a porosidade dos ARC por ser maior que as dos agregados naturais, causauma grande absorção por parte do mesmo.

Amario *et al.*, (2018) explica através dos seus resultados que as amostras de agregados reciclados de concreto (ARC) apresentam uma redução considerável nas resistências a compressão em comparação ao concreto com agregados naturais, isso devido a sua grande porosidade, fazendo com que haja uma redução no comportamento mecânico dos concretos. Cordeiro *et al.*, (2017), Araújo *et al.*, (2015), Barros e Fucale (2016) , Soares (2017) e Amario *et al.*, (2018) mostram que os ARC produzidos sem saturação, fez com que houvesse um desempenho inferior, assim como relata o Domenico *et al.*, (2018) que a capacidade de absorção de água determina o potencial que o concreto possui em adquirir certas manifestações patológicas, já que a água possui uma capacidade de deterioração grande, fazendo que quanto maior a absorção, maior será a exposição a entrada de matérias indesejáveis.

Tabela 1.1 - Peculiaridades dos estudos em concretos com agregados reciclados

Pesquisador	Ano	Cimento Portland	a/c	Condição de umidade dos agregados	ARC/ LRCU	Granulometria dos agregados reciclados (mm)	Taxas de substituição (%)
Zangeskiet <i>al.</i>	2017	CP II F-32	-	Com saturação prévia	ARC	0 - 4,75 4,75 - 20	0 e 100
Cordeiro <i>et al.</i>	2017	CPV - ARI	0,61	Sem saturação prévia	ARC	6,3 - 19	100
Araújo <i>et al.</i>	2015	CP-II Z 32	0,45	Sem saturação prévia	ARC	4,75 - 19	0, 19, 43, 75 e 100
Barros e Fucale	2016	Indeterminado	0,6	Com e sem saturação prévia	ARC	0 – 4,75	0, 50 e 100
Soares	2017	CP-II Z 32	-	Sem saturação prévia	ARC	0 – 4,8	0,10 e 20
Amario <i>et al.</i>	2018	CPV - ARI	0,53	Sem saturação prévia	ARC	4,75 – 9 9,5 - 19	0, 50 e 100
Fonseca <i>et al.</i>	2018	CP Z 32	0,50	Com saturação prévia	ARC	0 – 2,40 4,75-7,20	0, 15, 30 e 100
Domenico <i>et al.</i>	2018	CPII E32	0,51	Sem saturação prévia	ARC	0 – 2,36	0, 15, 25

Tabela 1.2- Características dos agregados reciclados estudados em relação aos agregados naturais

Pesquisador	Ano	Resistência à compressão	Resistência à tração	Módulo de elasticidade	Porosidade	Granulometria, Forma e textura	Absorção de água
Zangeskiet <i>et al.</i>	2017	↓	-	-	↑	≈	↑
Cordeiro <i>et al.</i>	2017	≈	-	-	↑	↑	↑
Araújo <i>et al.</i>	2015	≈	≈	↓	↑	≈	↑
Barros e Fucale.	2016	≈	↓	-	↑	↑	↑
Soares.	2017	≈	≈	-	↑	↑	↑
Amario <i>et al.</i>	2018	↓	-	-	↑	↑	↑
Fonseca <i>et al.</i>	2018	≈	≈	≈	↑	≈	↑
Domenico <i>et al.</i>	2018	↑	-	-	↑	↑	↑

Domenicon *et al.*, (2018) concordam com o Zangeski *et al.*, (2017), Cordeiro *et al.*, (2017), Araújo *et al.*, (2015), Barros e Fucale (2017), Soares (2017), Amario *et al.*, (2018) e o Fonseca *et al.* (2018) quando afirmam que os agregados apresentam como característica um aumento na absorção de água e baixa densidade. Para garantir um melhor controle sobre a/c ideal para mistura do concreto, a prévia saturação se faz necessária, para resultado de desempenho mais satisfatórios. Barros e Fucale (2017) mostraram em seus estudos, que os concretos com agregados miúdos reciclados com pré-umedecimento não obteve resultados melhores que os concretos com agregados miúdos não saturados, e isso se devem ao fato do aumento da relação água/cimento, com a adição da água, ocasionando uma baixa resistência.

Ao realizar ensaios de resistência mecânica, Zangeski *et al.*, (2017) obteve um resultado muito menor utilizando ARG em comparação aos agregados naturais, isso se deve o fato da composição do resíduo, devendo se dar atenção à existência de impurezas e contaminantes, ocasionando efeitos negativos nas propriedades do concreto reciclado, como risco de fissuras, retração, redução de aderência, assim reduzindo sua resistência a compressão. Enquanto o Cordeiro *et al.*, (2017) através de sua pesquisa, mostra que se pode obter resistência a compressão axial distintos ao se utilizar equipamentos de produção de concreto diferentes. Nos seus estudos utiliza de dois equipamentos para calcular sua resistência mecânica, o misturador de eixo vertical que ao longo do processo da produção do concreto, que em função de sua potência, causou uma desagregação dos agregados reciclados mais porosos e houve uma geração de resíduos mais finos que causou um resultado superior a da betoneira de eixo inclinado, que foi outro equipamento utilizado, que não teve alteração nenhuma se comparado com a granulométrica inicial. Cordeiro *et al.*, (2017) mostra que em ambos se obteve a resistência à compressão axial de projeto, sendo que o mais eficiente foi no misturado de eixo vertical, e se comparado ao Zangeski *et al.*, (2017) que teve uma queda bem grande na sua compressão, a utilização do misturador poderia lhe trazer algum benefício.

Araújo *et al.*, (2015) e Fonseca *et al.*, (2018) em seus estudos com vários teores de substituição de agregados naturais por agregados reciclados,

obtiveram respostas positivas em relação ao seu uso em concretos com fins estruturais com até 100% de substituição, isso se deve ao fato de suas propriedades se assemelharem, e as massas específicas dos ARC ficaram próximas aos traços de referência utilizados por eles, se observado a Tabela 1.2 à semelhanças entre os dois, apesar da diferença de queda da elasticidade, que de acordo com Araujo *et al.*, (2015) ocorreu por influência da substituição dos agregados naturais pelo reciclado que variou de 6% a 12%, sendo uma influencia pouco significativa. Para se chegar nesse resultado, tanto o Araújo *et al.*, (2015) e o Fonseca *et al.*, (2018) fizeram abatimento dos corpos de provas com 7 e 28 dias, para se obter um resultado mais exato, e com isso chegaram a valores favoráveis com até 43% de substituição, onde se encontraram maiores desempenhos em concretos, e com valores mais altos de substituição é normal a diminuição de resistência, mesmo com os valores acima do mínimo apresentados nos estudos.

Observa-se nos estudos realizados pelos autores, que os concretos onde foram aplicados ARC graúdos podem resultar em propriedades melhores que os ARC miúdos, isso ocorre pelo fato de ser submetida a processos de tratamentos onde os resíduos são esmagados e triturados, e aqueles que não resultarem em partículas menores se tornam mais resistentes. Apesar de haver casos em que o agregado graúdo possa ser menos eficiente que o agregado miúdo.

Amario *et al.*, (2018), no entanto, encontraram valores de resistência mecânica abaixo dos valores de sua referência, utilizando apenas substituição de agregados graúdos obtiveram dados através de ensaios de abatimentos de tronco de cone realizados em um equipamento de pratos paralelos, chamado reômetro BTRHEOM, que teve como resultado um aumento na trabalhabilidade do concreto, causado pelo excesso de água na mistura e uma redução na resistência a compressão, causado pelo aumento da porosidade, que foi maior nos agregados com 100% de substituição, e por esse motivo aumentou ainda mais a adição de água na mistura.

Barros e Fucale (2016) apresentaram um aumento significativo nos valores de resistência mecânica em relação ao seu referencial, e nesse estudo se utiliza apenas de agregados miúdos, onde na substituição de 50% apresentou uma resistência axial superior 10,7% e resistência a compressão

diametral inferior 9,55% em relação ao concreto convencional, enquanto na de 100% se conseguia um valor maior na resistência a compressão axial e diametral, utilizando agregados secos, já com agregados pré-umedecidos apresentaram dados inferiores ao referencial, se deve ao fato de ter um aumento na relação a/c que causou uma diminuição na resistência.

A utilização de agregados reciclados com baixo teor de substituição pode acabar se obtendo os mesmos resultados de resistências mecânicas em comparação com os concretos com agregados naturais, isso se confirma nos estudos de Soares *et al.*, (2017) e Dominico *et al.*, (2018), que de acordo com a Tabela 1.1, utilizaram pequenas porcentagens de substituição de ARC, e não houve uma grande mudança nas propriedades dos concretos.

Dominico *et al.*, (2018) teve como objetivo em seu projeto, utilizar apenas agregados miúdos para se obter a análise quanto à sua resistência a compressão e permeabilidade, onde também foi analisada os resultados finais para saber se com as mudanças de granulometria seria possível a utilização de agregados reciclados em concretos com função estrutural. No final de seus estudos, os valores encontrados foram satisfatórios, e que era possível a utilização de agregados reciclados miúdos para peças estruturais, com determinada padronização da granulometria e percentual de teor na mistura, mas consequentemente houve um grande aumento na sua absorção de água.

Em comparação com Soares *et al.*, (2018), a utilização de agregados miúdos também teve resultados favoráveis, tanto na resistência a compressão quanto na tração, apesar de que na resistência a tração houve um mal funcionamento da prensa de rompimento, e mesmo assim se obteve resultados favoráveis. Em relação aos agregados reciclados, aconteceu de ter uma variação média de 5% dentre os traços, concluindo que todos as substituições obtiveram resultados estatisticamente iguais aos traços que utilizam agregados naturais.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Visando a redução dos entulhos gerados pela construção civil, este trabalho tinha como objetivo mostrar a importância de buscar a solução para os problemas de descarte de resíduos da construção civil, através da reutilização dos resíduos como agregados recicláveis na produção de concretos, assim reduzindo a quantidade de entulho gerado.

O uso de agregados reciclados na confecção de concretos, em proporções adequadas, se torna viável, pois nem sempre afeta a resistência a compressão e a tração, em certos casos é até melhorado. No entanto a total substituição do concreto com ambos agregados ou apenas um tipo de agregado pode diminuir o desempenho do concreto em função da resistência. Estudos afirmam, que o concreto com baixos percentuais de substituição de 10% a 30% de agregados naturais pelo reciclado é possível como função estrutural, pois sua qualidade e propriedades quase não seriam afetadas, a utilização de 100% também seria viável, porém para sua utilização necessita de mais estudos sobre o tema e um maior aprofundamento sobre o comportamento dos resíduos. O uso do agregado também pode ser feita através de sua utilização em subprodutos na produção de blocos e pavimentação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amario, Mayara. *et al.* Influência de agregados reciclados de concreto na reologia do concreto. In:HAC2018 – V CONGRESSO IBERO-AMERICANO SOBRE BETÃO AUTO-COMPACTÁVEL E BETÕES ESPECIAIS, 5 e 6 de Março de 2018, Valência. **Anais eletrônicos...** Editorial universidade politècnica de València, 2018. Disponível em <<https://riunet.upv.es/handle/10251/101363>>.

Araújo, Daniel Lima. *et al.,* Influência dos agregados reciclados de resíduos de construção nas propriedades mecânica do concreto. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v.11, n.1, p.17-33, 2015. Disponível em: <<https://revistas.ufg.br/index.php/reec/index>>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados - Determinação da composição granulométrica**:NBR NM 248. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados para concreto - Especificação**: NBR 7211. Rio de janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos**. NBR 7222. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concretos: Ensaio de compressão de corpos de provas cilíndricos**: NBR 5739. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação da massa específica e massa específica aparente**: NBR NM 52:2002. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação da massa unitária**:NBR NM 45:2006. Rio de Janeiro, 2006.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão – deformação**: NBR 8522. Rio de Janeiro, 2008.

Athayde, Priscylla Botelho. **Influencia do uso de agregados reciclados nas propriedades dos concretos**. 2018. Monografia apresentada ao Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

Barros, Emilia Xavier do Rêgo; Fucale, Stela. O uso de resíduos da construção civil como agregados na produção de concreto. **Revista de engenharia e Pesquisa Aplicada**, v.2, n.1, p. 252-258, 2016.

Cordeiro, Luciana de Nazaré Pinheiro *et al.* Avaliação de processos de misturas de concretos com agregados graúdos reciclados. **Ambiente Construído**, v.17, n.3, p.255-265, 2017.

Domenico, Paulo Di *et al.* Influência do agregado miúdo reciclado na resistência à compressão e porosidade do concreto. **Revista Internacional de Ciências**, v. 8, n.1, p. 129-147, 2018.

Fonseca, Thales Daniel do Santos *et al.* Análise da viabilidade técnica da incorporação de agregados reciclados em concreto. **HolosEnvironment**, v.18, n.1, p. 1-12, 2018. Disponível em: <<https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/ric/article/view/33254>>.

GESTÃO DE RESÍDUOS E PRODUTOS PERIGOSOS. **Resolução CONAMA Nº 307**, n.136, seção 1, p. 95-96, 2002.

Kruguer, Patrícia *et al.*, Influência do agregado reciclado na durabilidade do concreto: uma revisão da bibliografia. **Revista Técnico – Científica do Crea-PR**, 2º edição, capa, p.1-18, 2017.

Nunes, Amanda. Aparecida *et al.* Abordagem teórica dos métodos de reutilização e reciclagem dos resíduos de construção e demolição. **Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico**, v. 1, n.3, p. 124 – 137, 2017.

Silva, Luan Domingues da *et al.* Um estudo da viabilidade técnica do uso de agregados reciclados provenientes de resíduos da construção civil para confecção de blocos de vedação. **Percorso Acadêmico**, v.7, n.13, p.33-41, 2017

SOARES, Felipe Dalla Nora. **Desempenho mecânico e durabilidade de concretos com uso de resíduos da construção civil (RCC) na substituição parcial dos agregados graúdo e miúdo**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2017.

Zangeski, Dhajane dos Santos Oliveira *et al.* Estudo Comparativo Entre a Resistência à Compressão do Concreto com Agregado Convencional Calcário e com Agregados Recicláveis. **Ensaio Ciência Biológicas Agrárias e da Saúde**, v.21, n.2, p. 64-69, 2017.