

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
MORGANA TAINARA HARTMANN

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM CONCRETO
NÃO ESTRUTURAL

CASCATEL - PR

2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
MORGANA TAINARA HARTMANN

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM CONCRETO
NÃO ESTRUTURAL

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Professora Orientadora: Mestre, Engenheira Civil,
Andréa Resende Souza

CASCADEL - PR

2017

ATA DE DEFESA

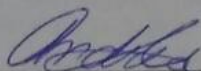
CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

MORGANA TAINARA HARTMANN

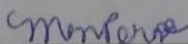
ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM CONCRETO NÃO ESTRUTURAL

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professor (a) **Mestre, Engenheira Civil Andréa Resende Souza**.

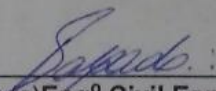
BANCA EXAMINADORA



Orientador (a) Prof.^a **Mestre, Eng^a Civil Andréa Resende Souza**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Civil



Professor (a) **Mestre, Eng^a Civil Maria Vania Nogueira do Nascimento Peres**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Civil



Professor (a) **Eng^o Civil Esp. Lincoln Salgado**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil

Cascavel, 13 de dezembro de 2017.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, irmãos e meu namorado,
pelo amor desmedido e compreensão.

AGRADECIMENTOS

A todos os professores que participaram ao longo da minha formação acadêmica, em especial a professora Andréa, por me aceitar como orientanda neste trabalho e por toda ajuda, sabedoria, tempo, atenção e disposição a mim dedicados.

Aos meus pais, José e Leonides, do fundo de meu coração, pela educação, ensinamentos e princípios que me proporcionaram, por todo amor e toda paciência que sempre tiveram durante minha vida, por sempre lutarem para me proporcionar a oportunidade de uma formação superior.

Aos meus irmãos, Ana Paula e Paulo, pelo carinho, pela força e por todo pensamento positivo a mim transmitido, e por acreditarem no meu potencial.

Às minhas amigas, que sempre me ajudaram ao longo da faculdade, dividindo as alegrias e as dificuldades da graduação.

A meu namorado Rony, por todo cuidado, atenção, amor e tempo dedicados a mim, por todo incentivo mesmo distante e principalmente pela paciência durante os períodos mais difíceis ao longo da execução deste estudo.

RESUMO

Trata-se de um estudo de análise da resistência à compressão e módulo de elasticidade do concreto não estrutural, com a utilização de agregados reciclados, para se alcançar uma resistência de até 15 MPa. O estudo foi realizado no laboratório localizado no Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, onde foram moldados 10 corpos de prova para o ensaio de tração a compressão diametral, 10 cp's para compressão simples ensaiados com 7 e 28 dias de cura, 5 cp's para absorção e 5 cp's para ensaio de módulo de elasticidade realizados aos 28 dias de cura, totalizando 45 corpos de prova de dimensão 10 x 20 cm para cada traço. O traço utilizado no estudo foi elaborado por Neta (2016), 1;1,84;1,99: 0,5 (cimento: areia: brita 1: água), para uma substituição de 25%, 50% e 100% dos agregados naturais por agregados reciclados, sendo eles graúdo, miúdo, cerâmicos e de concreto. Os dados foram obtidos através de ensaios de tronco de cone, compressão simples, tração por compressão diametral e ensaio de módulo de elasticidade. Os concretos apresentaram uma boa trabalhabilidade e uma moderada absorção de água, sendo mais elevada no traço de 100% com agregado reciclado, por obter mais índice de material fino nos agregados naturais, podendo assim ser utilizado como concreto não estrutural. Os traços de 25% e 50% também podem ser empregados como concreto estrutural devido a resistência atingida ser acima de 20 MPa.

Palavras Chave: Concreto, Agregado Reciclado, Resistência mecânica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Percentual de material inerte e não-inerte no RCD.	18
Figura 2: Faixa granulométrica dos agregados graúdos.	29
Figura 3: Faixa granulométrica dos agregados miúdos.	31
Figura 4: Slump Test	33
Figura 5: Ensaio de compressão diametral.....	34
Figura 6: Representação esquemática do carregamento para a determinação do módulo de elasticidade	35
Figura 7: Ensaio módulo de elasticidade.....	36
Figura 8: Resultados do Slump Test.	39
Figura 9: Slump test – traço 50%+AD sem aditivo.	39
Figura 10: Slump test – traço 50%+AD com aditivo.	40
Figura 11: Slump test – traço 25%.	41
Figura 12: Slump test – traço 50%.	41
Figura 13: Slump test – traço 100%.	42
Figura 14: Ensaio de absorção por imersão.	42
Figura 15: Ensaio de resistência a compressão simples.	43
Figura 16: Ensaio de resistência a tração por compressão diametral.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Sistema de classificação do RCD proposto por Lima (1999).....	19
Tabela 2: Classificação segundo a NBR 7211 (2005) - Faixa granulométrica do agregado miúdo.....	21
Tabela 3: Tabela de variáveis	27
Tabela 4: Caracterização dos agregados graúdos.....	30
Tabela 5: Caracterização dos agregados miúdos.....	31
Tabela 6: Traços utilizados.....	38
Tabela 7: Dados obtidos do ensaio de Slump Test.....	52
Tabela 8: Dados do ensaio de absorção.....	53
Tabela 9: Dados do ensaio de resistência a compressão com 07 dias	54
Tabela 10: Dados do ensaio de resistência a compressão com 28 dias	54
Tabela 11: Dados do ensaio de resistência diametral com 07 dias.....	55
Tabela 12: Dados do ensaio de resistência diametral com 28 dias.....	55
Tabela 13: Dados do ensaio de módulo de elasticidade	56

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	29
Equação 2	30
Equação 3	33
Equação 4	34
Equação 5	36
Equação 6	37

LISTA DE SIGLAS

AGR – Agregado reciclado;

cm – Centímetros;

CP-II Z – Cimento Portland composto com pozolana;

CP's – Corpos-de-prova;

ECI – Módulo de elasticidade tangente inicial

fc – Resistência a compressão

g – Gramas

g/cm³ – Grama por centímetros;

Kg – Quilograma;

Kg/m³ – Quilograma por metro cúbico;

Min. – Minutos;

mm – Milímetros,

mm/m – Milímetros por metro;

MPa – Mega pascal;

NBR – Norma brasileira;

RCD – Resíduos de construção e demolição;

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	13
1.1 INTRODUÇÃO	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
1.3 JUSTIFICATIVA	14
1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	15
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE	15
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	16
CAPÍTULO 2	17
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1.1 Resíduo de construção e demolição (RCD)	17
2.1.1.1 Classificação e separação quanto à composição	18
2.1.2 Concreto	19
2.1.2.1 Materiais utilizados	21
2.1.2.1.1 Cimento	22
2.1.2.2 Tipos de agregados	23
2.1.2.2.1 Distribuição granulométrica	23
2.1.3 Propriedades dos agregados reciclados	24
2.1.3.1 Absorção dos agregados reciclados	25
2.1.3.2 Massa específica dos agregados	26
2.1.3.3 Módulo de elasticidade	26
CAPÍTULO 3	27
3.1 METODOLOGIA	27
3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa	27
3.1.2 Caracterização da amostra	27
3.1.2.1 Caracterização dos agregados	28
3.1.2.2 Agregados graúdos	28
3.1.2.3 Agregados miúdos	30
3.1.3 Confeção das misturas	31
3.1.3.1 Mistura do concreto	31
3.1.3.2 Moldagem dos corpos de prova	32
3.1.4 Coleta de dados	32
3.1.4.1 Abatimento de tronco de cone	32
3.1.4.2 Ensaio de compressão simples	33
3.1.4.3 Ensaio de tração por compressão diametral	34
3.1.4.4 Ensaio de Módulo de elasticidade	35
3.1.4.5 Ensaio de absorção de água por imersão	37
3.1.5 Análise de dados	37
CAPÍTULO 4	38
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1.1 Resultado do slump test	38
4.1.2 Ensaio de absorção por imersão	42
4.1.3 Ensaio de resistência à compressão simples	43
4.1.4 Ensaio de resistência à tração por compressão diametral	44
4.1.5 Ensaio de módulo de elasticidade	45

CAPÍTULO 5.....	47
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
CAPÍTULO 6.....	48
6.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	48
REFERÊNCIAS	49
APÊNDICE A- RESULTADOS DOS ENSAIOS DE SLUMP TEST	52
APÊNDICE B- RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ABSORÇÃO POR IMERSÃO.....	53
APÊNDICE C- RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES.....	54
APÊNDICE D- RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	55
APÊNDICE E- RESULTADOS DOS ENSAIOS DE MÓDULO DE ELÁSTICIDADE	56

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Atualmente, frente a tantas inovações tecnológicas, grandes obras, construções magníficas e grandiosas, nos faz refletir sobre o caminho promissor que estamos seguindo, no entanto, ao caminhar em alguns locais nas cidades, podemos tropeçar em entulhos que são retirados de canteiros de obras, e despejados, muitas vezes, de maneira desordenada e irregular em ambientes inapropriados, causando grande impacto ambiental (JACOBI e BESEN, 2011).

John (2000) apresenta, seguindo os conceitos de sustentabilidade para a construção civil, condições e métodos multidisciplinares de pesquisa para a reutilização dos resíduos de construção e demolição na forma de agregado reciclado (AGR) atuando como componente em novos concretos e/ou argamassas, sendo essa, provavelmente, uma alternativa viável para diminuir o consumo de matérias-primas naturais e reduzir a quantidade de resíduos dispostos.

Segundo Wedler e Hummel (1946), a primeira aplicação significativa de entulho reciclado, foi registrada após o final da 2ª Guerra Mundial, na reconstrução das cidades europeias, que tiveram seus edifícios totalmente demolidos. O escombros ou entulho resultante foi britado para a produção de agregados visando atender à demanda da época. Assim também ocorreu no processo de reconstrução da Alemanha e desde então, pesquisadores de diversos países têm desenvolvido trabalhos com o intuito de aprimorar as propriedades de entulho reciclado como matéria prima em novos concretos.

Buttler (2005), afirma que os agregados recicláveis provenientes da britagem de resíduos da construção civil, a partir da demolição destes, são bastante heterogêneos, dificultando assim o processo de classificação e ainda, dificultando o seu reuso. Porém, podem ser classificados como agregados graúdos e miúdos, por meio da utilização de peneiras com granulometria adequada.

O uso de agregados reciclados na confecção de concreto pode reduzir custos e diminuir o impacto ambiental causado pelo descarte incorreto desse material. No entanto, há uma preocupação relacionada à qualidade do concreto produzido, devido à grande variabilidade de materiais presentes nos resíduos de construção e demolição (RCD) (JACQUES, 2013).

Partindo do exposto, o presente trabalho visa o estudo das propriedades do concreto não estrutural e a influência da adição de material reciclado na resistência à compressão e módulo de elasticidade.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar o comportamento do concreto não estrutural com a composição de agregados reciclados.

1.2.2 Objetivos específicos

Analisar a resistência à compressão e módulo de elasticidade do concreto não estrutural com a substituição de 25%, 50% e 100% dos agregados naturais por agregados reciclados.

Avaliar a absorção de água e trabalhabilidade dos diferentes concretos.

Comparar os comportamentos do traço com agregado reciclado e com o traço de referência.

1.3 JUSTIFICATIVA

As construções geram muitos resíduos e na maioria dos casos, possuem uma grande potencialidade para serem reutilizados como matéria prima. Infelizmente, ainda não existem procedimentos nacionais para sua utilização, devido a isto, no Brasil, os resíduos são, na maioria das vezes, despejados no meio ambiente. A falta de informação e estudo sobre estes materiais leva a um desperdício econômico enorme, pois os resíduos descartados possuem grande possibilidade de reaproveitamento (GONÇALVES, 2001).

Uma das maiores dificuldades para a aplicação de agregados reciclados é a sua grande variabilidade. A tecnologia de controle de qualidade sistemática ainda é pouco

conhecida no Brasil, ocorrendo o emprego de agregados reciclados principalmente em pavimentação. Os principais adversários à reciclagem de resíduos da construção são decorrentes da falta de políticas sistemáticas e da dificuldade de mudar os hábitos das pessoas envolvidas na construção civil (GONÇALVES, 2001).

Uma possível solução para o problema dos resíduos da construção civil é a valorização do material como matéria prima, aliado ao uso de uma tecnologia confiável e segura para ser reaproveitado (GONÇALVES, 2001). Desse modo, tem-se uma definição mais moderna para o termo “entulho” como, por exemplo: resíduos minerais de construção civil, sendo material de valor, útil para produção de agregados graúdos e miúdos utilizados em concreto e argamassas de revestimentos (LEVY, 2001).

Com base nisso, a justificativa para elaboração deste trabalho acadêmico está no fato que será possível adquirir conhecimento tecnológico necessário para a produção de concreto durável, utilizando material reciclado e adequado às necessidades da maioria das obras usualmente executadas no território nacional. Assim, a importância deste trabalho está na tentativa de alterar o pensamento vigente na cultura brasileira, uma vez que o termo “entulho” é conferido a um material inútil, o qual as pessoas procuram se desfazer.

1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Quais as alterações do concreto não estrutural quando utilizado 100% dos agregados reciclados em sua produção?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

Por se tratar de um agregado com grande absorção de água, espera-se que seja um bom material para ser utilizado em concretos não estruturais de 15 MPa de resistência, visto que nesse tipo de concreto pode haver um consumo mais elevado de água na mistura.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa buscou analisar a resistência à compressão e módulo de elasticidade do concreto não estrutural, com a utilização de materiais cerâmicos e concreto.

Para a análise dos resultados foram elaborados 3 diferentes tipos de concreto utilizando como base o traço definido através do TCC da aluna Alayde da Cruz Laércio Neta (2016) 1:1,84:1,99: 0,5 (cimento: areia: brita 1: água) para elaboração dos ensaios, sendo com uso de 25%, 50% e 100% de agregado graúdo e miúdo reciclado.

Os ensaios *slump test* foram realizados para determinar a trabalhabilidade e moldados 26 corpos de prova cilíndrico de 10x20 cm para rompimento. 10 corpos de prova rompidos aos 7 dias por compressão e aos 28 dias foram rompidos 16 corpos de prova (sendo 5 rompidos por tração a compressão diametral e 5 por compressão simples), 3 corpos de prova para determinação do módulo de elasticidade e 3 para análise da absorção de água por imersão.

Todos os ensaios foram realizados no laboratório do Centro Universitário Assis Gurgacz e os materiais foram adquiridos em lojas de materiais de construção.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Resíduo de construção e demolição (RCD)

A importância do uso dos resíduos de construção, só foi perceptível após o fim da segunda Guerra Mundial, no processo de reconstrução da Alemanha, onde os resíduos eram como substitutos totais ou parciais dos agregados em materiais cimentícios. Desde então, pesquisadores de diversos países têm desenvolvido trabalhos com o intuito de aprimorar as propriedades desse material como constituinte em novos concretos.

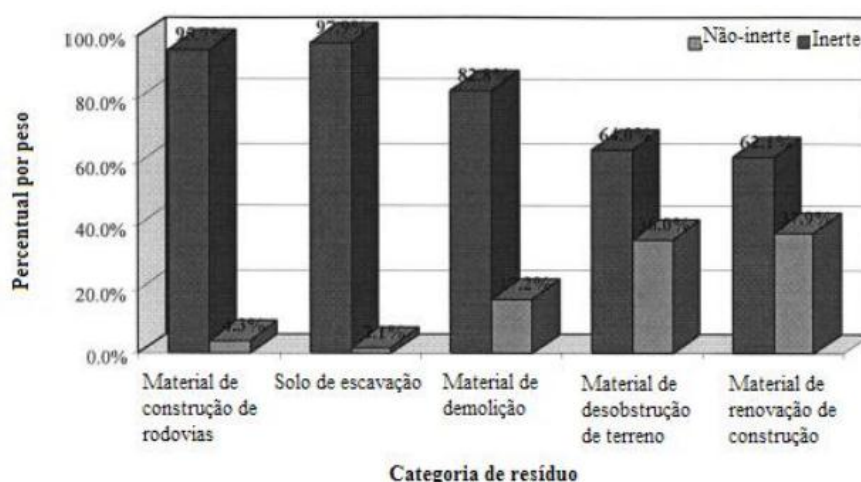
Segundo Trankler e Dohmann (1996), a partir de 1950, houve um aumento significativo de modificações na indústria de construção civil. Devido ao elevado número da utilização do concreto, os agregados passaram a ser substituídos por materiais cerâmicos, compostos leves e materiais isolantes, que geram dificuldade no processamento.

Atualmente, há um grande interesse em pesquisas sobre o resíduo de construção e demolição, desde estudos das propriedades do material analisando a sua aplicabilidade no desenvolvimento de políticas públicas, passando pela diminuição de emissão do resíduo a partir de um melhor planejamento das construções (CASTRO, 2012).

Durante o processo de construção e demolição, o resíduo gerado pode ser classificado em categorias, sendo elas: material de construção de rodovias, solo escavado, resíduo de demolição, resíduo de desobstrução de terreno e resíduo de renovação (POON, 2001).

Segundo Poon (2001), as três primeiras categorias citadas na figura 1, consistem de altos percentuais de material inerte. Ao contrário, os resíduos gerados das atividades de desobstrução de terreno e do trabalho de renovação, trazem escombros e muitos contaminantes orgânicos.

Figura 1: Percentual de material inerte e não-inerte no RCD.



Fonte: Adaptado de POON *et al.* (2001).

Os materiais gerados na etapa de construção são os resíduos da estrutura e do acabamento, concreto das fundações, pisos. Na categoria do processo de construção utilizam-se fragmentos de concreto, pedaços de madeira e barras de aço, já nas demolições, os materiais são os mesmos que os de construção. Os resíduos provenientes das etapas de acabamento possuem uma faixa bem mais ampla de materiais constituintes. Outros materiais como vidro, papel, plástico e outros, aparecem com um baixo percentual de material inerte (POON, 2001).

2.1.1.1 Classificação e separação quanto à composição

Consiste em separar o resíduo em classes que englobem materiais com um mesmo atributo (recicláveis ou não, recicláveis para um mesmo fim, natureza, propriedade etc.) e em geral, é realizada por análise visual.

No Brasil, a resolução nº 307 (2002) do CONAMA estabelece quatro categorias, de A à D, em que deve ser classificado o RCD, sendo as duas primeiras recicláveis. Essa classificação, em termos gerais, distingue apenas os materiais quanto ao fato de serem recicláveis ou não e se servem para um mesmo fim ou não.

Lima (1999) propõe uma classificação para o RCD (Tabela 1) distinguindo os materiais quanto à natureza e origem, indicando seu campo de aplicação de uma forma mais detalhada. Pode-se perceber que nessa classificação está atrelada a resistência potencial com a natureza de cada fase. Dessa forma, os materiais são tidos como mais resistentes na seguinte ordem decrescente: concreto, argamassa e cerâmica (classes 1, 2 e 3, respectivamente).

Tabela 1: Sistema de classificação do RCD proposto por Lima (1999).

Classe	Composição	Aplicação
1	resíduo de concreto sem impurezas	concretos estruturais ou fabricação de pré-moldados, entre outros serviços
2	resíduo de alvenaria sem impurezas	concretos e argamassas, entre outros serviços
3	resíduo de alvenaria sem materiais cerâmicos e sem impurezas	produção de concretos e pré-moldados de concreto
4	resíduo de alvenaria com presença de terra e vegetação	pavimentos asfálticos (base e sub-base) ou cobertura simples de vias não pavimentadas
5	resíduo composto por terra e vegetação	cobertura de aterros, regularização de terrenos e outros serviços
6	resíduo com predominância de material asfáltico	serviços de pavimentação

Fonte: Bauer (2000).

2.1.2 Concreto

O material mais utilizado na construção civil é o concreto, que é a mistura adequada de materiais como: cimento, água e agregados. No princípio não existia uma dosagem correta, apenas se utilizava os traços já existentes e que proporcionassem o resultado, mas com o passar dos tempos foram surgindo técnicas de cálculo, resultando em progressos notáveis e maior qualidade (MEHTA e MONTEIRO, 1994; RODRIGUES, 1998).

Segundo Rodrigues (1998), a utilização do concreto como material de construção remonta desde a época dos romanos, quando era utilizado um material semelhante, tendo como aglomerante uma mistura de cal e cinza vulcânica (pozolana natural).

Ao preparar o concreto, é necessário ter muito cuidado com a qualidade e a quantidade de água que será utilizada, sendo a água a responsável pela ativação química que

transforma o cimento em pasta aglomerante. Por isso a importância e a necessidade de utilizar a quantidade certa, pois se utilizarmos pouca água a reação será interrompida e se for maior que o necessário, diminuirá a resistência (PORTAL DO CONCRETO, S.D.). Além disso, observar a distribuição granulométrica do concreto, pois deverá preencher todos os vazios presentes, sendo que a porosidade influencia diretamente na permeabilidade e na resistência das estruturas de concreto (PORTAL DO CONCRETO, S.D.).

A mistura pode ser tanto manual quanto mecânica. A mistura manual é feita em pequenos volumes ou em obras de pequeno porte. Deverá ser feita em uma superfície plana, impermeável e resistente. Primeiro misturam-se os materiais secos, que são o cimento e os agregados até obter uma cor uniforme. Após, inserir água aos poucos até obter um aspecto uniforme. Será permitida a mistura de, no máximo, 100 kg de cimento por vez (BAUER, 2000).

As misturas mecânicas são feitas através de máquinas especiais conhecidas como betoneiras. O material será colocado em comum, geralmente coloca-se a água e, em seguida, o agregado graúdo, após, insere-se o cimento e, finalmente, o agregado miúdo. Tudo deverá ser misturado no tempo necessário, sem interrupção, até a mistura ficar homogênea (BAUER, 2000).

Segundo Rao (2007), o concreto feito de agregado reciclado, especialmente quando possui percentuais de substituição superior a 50 %, obtém uma trabalhabilidade menor que em concretos com agregados naturais. Entretanto, segundo Vieira e Dal Molin (2004), as propriedades do agregado reciclado, como a rugosidade, a granulometria contínua e a maior quantidade de finos acabam aumentando a resistência à segregação e melhorando o efeito de empacotamento das partículas.

Concretos feitos com agregados naturais possuem uma massa específica em torno de 2.400 kg/m^3 , enquanto que concretos produzidos com agregado reciclado permanecem em torno de 2.150 kg/m^3 , indiferente do tipo de cimento. Essa menor densidade é causada pela menor massa específica do agregado reciclado, o qual é dependente do tipo de concreto que foi utilizado para confeccioná-lo, além da influência da variação dos outros materiais presentes no resíduo (BAUER, 2000).

2.1.2.1 Materiais utilizados

Segundo Bauer (2000), uma das propriedades do cimento é a densidade: considerada $3,15\text{g/cm}^3$ podendo variar para valores inferiores. Na pasta de cimento, o valor da densidade varia com o tempo e aumenta na medida em que aumenta a hidratação, o que é conhecido como retração e ocorrem nas pastas, argamassas. Em 24 horas pode atingir cerca de 7 mm/m na pasta pura, 4,5 mm/m na argamassa padrão e 2mm/m em concretos dosados.

A finura é relacionada com o tamanho dos grãos do produto. Existem duas maneiras de definir: pelo tamanho do grão, pelo peso retido em peneiramento (quando há especificações) e pela soma das superfícies dos grãos.

A areia, como material de construção, é considerada como agregado miúdo e provém de rios, cavas, britagem, escória, praias e dunas. Segundo a NBR 7211 (2009), a areia é dividida em quatro faixas: muito fina, fina, média e grossa, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Classificação segundo a NBR 7211 (2005) - Faixa granulométrica do agregado miúdo.

Peneiras	Porcentagem retida			
	Faixa 1 (muito fina)	Faixa 2 (fina)	Faixa 3 (média)	Faixa 4 (grossa)
6,3	0 a 3	0 a 7	0 a 7	0 a 7
4,8	0 a 5	0 a 10	0 a 11	0 a 12
2,4	0 a 5	0 a 15	0 a 25	5 a 40
1,2	0 a 10	0 a 25	10 a 45	30 a 70
0,6	0 a 20	21 a 40	41 a 65	66 a 85
0,3	50 a 85	60 a 88	70 a 92	80 a 95
0,15	85 a 100	90 a 100	90 a 100	90 a 100

Fonte: Bauer (2000).

A areia de pedra é obtida através dos finos da britagem. A maior fonte consumidora da areia de brita é a técnica de preparo de concreto, permitindo ser utilizado o material vindo do processo elaborado a seco. A granulometria média da areia de brita é 0,15 a 4,8 mm (BAUER, 2000).

A finura é quem define a velocidade da reação de hidratação e quanto maior a finura, melhor a resistência de primeira idade, aumenta a impermeabilidade, a trabalhabilidade e a coesão, sendo definida naturalmente no processo de fabricação e também nos ensaios de recepção do cimento (BAUER, 2000).

São prescritos limites de retenção de material na peneira número 200, onde o cimento comum não deve ultrapassar 15% já para os cimentos de alta resistência inicial diminuem para 6% (BAUER, 2000).

A brita 1 utilizada como agregado graúdo é o material britado já no estado final da bica, tem granulometria segundo a NBR 7225 (1993) de 4,8 mm a 100,0 mm. Conforme a utilização da brita, ela tem várias subdivisões granulométricas e, segundo Bauer (2000), a pedra britada é dividida em cinco categorias: o pedrisco e as pedras de 1 a 4 (a numeração da brita diferencia de pedreira para pedreira).

A água é o material com que se deve tomar mais cuidado na hora da utilização, pois deve ser acrescentada aos poucos. Pode-se utilizar qualquer água que tenha pH entre 6 e 8, sem sabor salino ou salobra. A qualidade da água é importante, pois impurezas presentes nela podem interferir em sua pega, afetar sua resistência à corrosão e causar manchas externas.

2.1.2.1.1 Cimento

Segundo Neville e Brooks (2013), os antigos romanos foram, provavelmente, os primeiros a utilizarem um concreto baseado em cimento hidráulico, que é um material que endurece pela ação da água.

A mistura de argila, calcário, materiais silicosos, alumina e materiais que contenham óxido de ferro, intitulado cimento *Portland*. A mistura é queimada na temperatura de clinquerização. A produção consiste em moer a matéria prima crua, até a obtenção de um pó necessariamente muito fino, antes mesmo de fazer a queima, sendo necessário até 1.400 °C para a queima. A mistura pode ser feita tanto com a utilização de água quanto a seco (NEVILLE e BROOKS, 2013).

A mistura de cimento e da água pode ser conhecida também como tempo de pega (que é o enrijecimento da pasta de cimento). O início da pega é considerado por uma rápida elevação de temperatura e o fim de pega relaciona-se ao valor de 20° de temperatura. Devemos diferenciar o início e o fim de pega com a falsa pega, que na maioria das vezes ocorre após poucos minutos da mistura com a água. Na falsa pega não há liberação de calor, podendo assim remisturar o concreto sem a adição de água; já a pega instantânea que ocorre poucos minutos após a mistura com a água é caracterizada pela liberação de calor (NEVILLE e BROOKS, 2013).

A resistência é determinada através de vários ensaios: tração direta, compressão e flexão. Os ensaios de tração foram substituídos pelos ensaios de compressão (NEVILLE e BROOKS, 2013).

A resistência mecânica dos cimentos é determinada através da ruptura dos corpos de prova. Molda-se a argamassa em corpo de prova com base de 125 e 80 mm e com altura 65 mm sobre uma placa lisa utilizando a NBR NM 67 (1998) (BAUER, 2000).

2.1.2.2 Tipos de agregados

Segundo Bauer (2000), o termo agregado é de uso generalizado na tecnologia do concreto, nos outros ramos da construção é conhecido, conforme cada caso, pelo nome específico: fíler, pedra britada, bica-corrida, rachão, entre outros. Os agregados são classificados segundo sua origem, peso específico e as dimensões das partículas.

A origem pode ser natural, que são os que se encontram na natureza, como a areia e o cascalho, e os artificiais que são os que necessitam ser industrializados, sendo a matéria prima a rocha e o material obtido: pedra britada (BAUER, 2000).

Segundo a dimensão poderão ser classificados como miúdo que podem ser as areias ou qualquer material, segundo NBR 7211 (2005), passante na peneira 4,75mm e retido a 150 mm, e o graúdo que pode ser as pedras britadas de diferentes dimensões desde que, segundo NBR 7211 (2005), passem pela peneira 75 mm e fiquem retidos na peneira 4,75 mm (BAUER, 2000).

2.1.2.2.1 Distribuição granulométrica

A composição granulométrica dos agregados reciclados deve atender as mesmas exigências do que os agregados naturais. É uma propriedade muito importante porque podem influenciar na trabalhabilidade, resistência mecânica, permeabilidade e absorção de água (TOPÇU, 2004).

A composição granulométrica dos agregados reciclados graúdos ou finos, varia conforme o tipo de resíduo processado, os equipamentos utilizados e a dimensão do resíduo antes de ser processado (LIMA, 1999).

2.1.3 Propriedades dos agregados reciclados

Hansen (1985) realizou um estado da arte onde analisa várias propriedades dos agregados reciclados, algumas de suas conclusões são:

- a) A densidade do agregado reciclado é menor, assim o concreto feito com estes agregados possui também uma densidade menor do que um concreto natural. Isto também irá depender da composição de agregados usados e de suas características. A densidade do agregado gráúdo reciclado e do concreto reciclado possui um valor médio de noventa por cento do valor dos materiais naturais;
- b) Os valores de absorção de água para o agregado gráúdo reciclado tiveram uma grande dispersão, principalmente devido ao tipo de material do resíduo, no entanto, notou-se um grande aumento em relação ao material natural;
- c) A utilização dos agregados reciclados gera uma grande perda de trabalhabilidade na mistura, relacionada principalmente à sua maior absorção de água.

Os chamados concretos reciclados em que se utilizou uma substituição global, ou seja, a utilização de ambas frações do agregado reciclado, tanto o miúdo quanto o gráúdo, tiveram uma diminuição bastante acentuada da perda da trabalhabilidade, chegando-se a valores entre vinte e quarenta por cento do encontrado para o concreto natural (HANSEN, 1985).

Quanto o valor da resistência à compressão em relação ao concreto natural. Já para uma substituição parcial, onde existe na fração miúda uma composição de cinquenta por cento de material natural (areia) e cinquenta por cento de agregado reciclado, este valor ficou entre dez e vinte por cento (HANSEN, 1985).

A propriedade dos agregados, como a forma, tem maior influência na resistência à flexão, de que em ensaios de resistência à tração ou até mesmo compressão, devido à presença de um gradiente de tensões que retarda a fissuração que é o que leva o concreto à ruptura. Isso faz com que agregados angulosos tenham maior resistência à flexão que os agregados arredondados, principalmente em mistura com baixa relação de água/cimento. O agregado arredondado requer menor quantidade de água que o anguloso. Portanto, suas resistências serão semelhantes (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Os agregados têm como propriedades a massa específica, que é a massa que constitui o agregado. A determinação da massa específica é estabelecida conforme a NBR NM 52

(2002). Tem também a massa específica, que é a massa da unidade de volume do agregado, determinada também para agregados adensados, utilizando a NBR7810 (1983) (BAUER, 2000).

A porosidade também é uma das propriedades do agregado, é a relação entre o volume dos vazios existentes e o volume do agregado. A compacidade é a relação entre o volume total ocupado pelos grãos e o volume do agregado (no agregado a compacidade e a porosidade não são constantes). O índice de vazios é a diferença de volume de vazios e o volume total dos grãos; e o módulo de finura é a soma das porcentagens retidas em cada peneira e divididas por 100 (BAUER, 2000).

A granulometria dos agregados é considerada uma propriedade muito importante. É determinada através de peneiras e, segundo Bauer (2000):

Se um determinado agregado é retido em peneira (malhas quadradas) de abertura de dimensão a , e passa na peneira de abertura de dimensão b , pode ser denominado agregado a/b . Esta relação denomina-se graduação do agregado, recebendo as dimensões a e b o nome genérico de diâmetro (BAUER, 2000, p. 90).

A utilização da água é essencial. Deve ocorrer em quantidade correta, pois elevados teores de água podem comprometer sua resistência mecânica e quanto maior a quantidade de água, menor será a tensão de escoamento (MELO, 2005).

2.1.3.1 Absorção dos agregados reciclados

A absorção de água dos agregados reciclados em concretos interfere diretamente na relação a/c final das misturas. Além disso, se a absorção não for considerada, além da redução da relação a/c , haverá uma diminuição substancial da trabalhabilidade do material, deixando o concreto muito seco. Os valores de absorção do agregado reciclado dependem do tipo e forma de obtenção dos agregados.

De acordo com Tam (2006) normalmente, o agregado reciclado apresenta maior absorção do que o agregado natural. A absorção de água encontra-se aproximadamente entre 3 e 10 % para o agregado reciclado e menos de 1 até 5 % para os agregados naturais. Esses valores de absorção podem variar de acordo com o tipo de agregado utilizado e o tempo de ensaio da absorção dos agregados.

A norma que regulamenta o ensaio de absorção de água por imersão é a NBR 9778 (1987).

2.1.3.2 Massa específica dos agregados

A massa específica dos agregados reciclados é comumente menor à dos agregados naturais. Isto é devido principalmente à argamassa aderida às partículas, que possui uma massa específica menor do que o agregado.

Segundo Bazuco (1999), observou que os valores de massa específica dos reciclados são de 5 a 10% menores que os valores apresentados pelos agregados naturais. Cabe ressaltar que, os valores de massa específica podem variar um pouco, de acordo com a origem e a granulometria do material.

2.1.3.3 Módulo de elasticidade

Segundo Neville (1997), os dois componentes do concreto, isto é, a pasta de cimento e o agregado, apresentam uma curva tensão-deformação sensivelmente linear. A razão da não linearidade do concreto é a presença de interfaces entre o agregado e a pasta de cimento e o aparecimento de microfissuras nessas interfaces. O autor comenta que o aparecimento de microfissuras significa que a energia acumulada é transformada em energia de superfície das novas faces das fissuras.

O módulo de elasticidade de concretos com reciclados é em geral menor que o de concretos convencionais, mesmo que se utilize reciclado de concreto. Isto pode ser explicado pela presença de argamassa aderida no reciclado, que apresenta menor módulo de elasticidade e baixo módulo do concreto. Por isso, a aplicação da parcela miúda do reciclado é prejudicial, pelo seu maior teor de argamassa aderida (HANSEN, 1992).

O módulo de elasticidade de concretos com reciclado de concreto pode ser menor que o do concreto convencional de 15% a 40%, segundo resultados de várias pesquisas. Quando se substitui o reciclado miúdo por areia convencional, as reduções nos valores são menores (HANSEN, 1992).

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa

Trata-se de uma análise de pesquisa da resistência à compressão, tração, módulo de elasticidade e absorção do concreto não estrutural, com a utilização de materiais reciclados.

Fez-se a análise a partir dos ensaios dos corpos de prova e, após a coleta dos dados, foram averiguados os resultados obtidos e assim concluídos, se foi possível ou não, atingir a resistência desejada de 15 MPa para um concreto não estrutural, com amostras compostas por dosagens totais e parciais de agregados miúdos e graúdos reciclados.

Os dados coletados foram analisados e comparados entre si, através da planilha elaborada no Excel conforme Apêndices de A à C.

3.1.2 Caracterização da amostra

O estudo foi realizado no laboratório de Construção Civil localizado no Centro Universitário Assis Gurgacz, situado na cidade de Cascavel, Paraná.

O traço utilizado foi definido por Laércio Neta (2016), sendo a proporção em massa de 1:1,84:1,99:0,5 (cimento: areia: brita 1: água) e os agregados miúdo e graúdo foram substituídos 25%, 50% e 100% por agregados reciclados misto.

De modo a garantir a melhor análise dos resultados, os corpos de prova foram moldados e divididos conforme a porcentagem de agregados e confeccionados 26 copos de prova para cada amostra, segundo a Tabela 3.

Tabela 3: Tabela de variáveis

Concreto	Agregados	Corpos de prova (und.)
Traço 1	100% agregado graúdo e miúdo reciclado	26
Traço 2	50% agregado graúdo e miúdo reciclado	26
Traço 3	25% agregado graúdo e miúdo reciclado	26

Fonte: Autora (2017).

O cimento utilizado para a confecção dos corpos de prova seguiu a ABNT NBR 5738 (2015), sendo o cimento CP II-Z da Votoran, por se tratar do cimento mais comum na região de Cascavel-PR. É um cimento que pode ser utilizado em ambientes agressivos, como esgoto e chuva ácida e também em fundações e barragens. (EQUIPEDEOBRA, 2008).

Foram realizados ensaios com os materiais coletados para analisar a massa específica do material e para calcular a quantidade de material que foi utilizado em cada traço, foi aplicada a NBR NM 53 (2009) para determinar a massa específica do agregado graúdo, a norma rodoviária DNER – ME 093 (1994) para determinar a massa específica do agregado miúdo e a NBR 7211 (2009), que determina os agregados para o concreto utilizado no ensaio de granulometria do material.

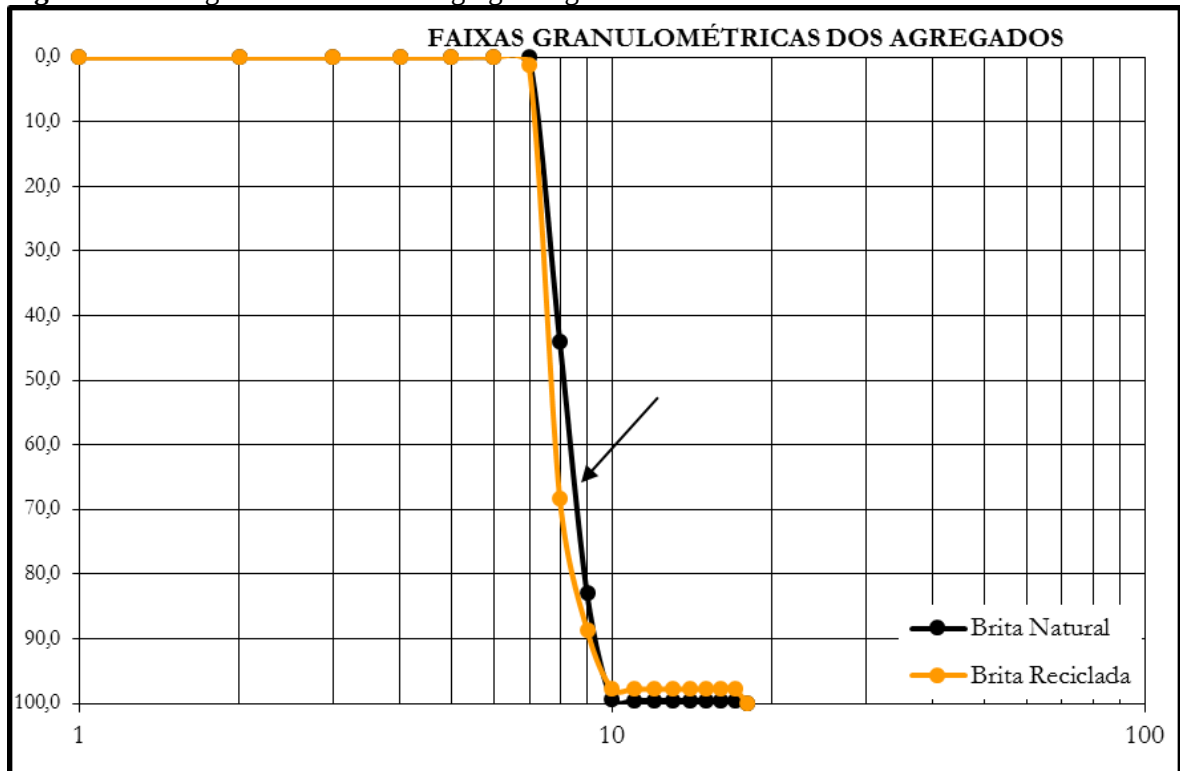
3.1.2.1 Caracterização dos agregados

Para a confecção do concreto utilizou-se agregados miúdo e graúdo naturais, que foram adquiridos em uma loja de construção civil e os agregados reciclados mistos (cimento e cerâmica) foram adquiridos em uma empresa recicladora de materiais de construção e demolição onde não foi realizado o processo de lavagem dos agregados para a separação do material pulverulento, mantendo os agregados em estado natural.

3.1.2.2 Agregados graúdos

A faixa granulométrica dos agregados graúdos, naturais e reciclados, foi definido de acordo com a NBR NM 248 (2003), conforme pode ser verificada na Figura 2.

Figura 2: Faixa granulométrica dos agregados graúdos.



Fonte: Autora (2017).

Para a determinação da massa específica dos agregados graúdos naturais e reciclados foi utilizada a NBR NM 53 (2009), o ensaio foi realizado separadamente para cada amostra, para obter a massa específica dos agregados foi utilizado a Equação 1.

$$d = \frac{m}{M_s - M_a}$$

1

Onde:

d: Densidade (g/cm³);

m: Peso do agregado (g);

M_s: Altura da água no recipiente com água e material (cm);

M_a: Altura da água no recipiente com água (cm).

Os dados obtidos dos ensaios de densidade dos agregados graúdo natural e reciclado, assim como as propriedades da granulometria são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4: Caracterização dos agregados graúdos.

Propriedade	Agregado natural	Agregado reciclado
Massa específica (g/cm ³)		
Dimensão máxima (mm)		
Dimensão mínima (mm)		
Módulo de finura		
Classificação NBR 7211		

Fonte: Autora (2017).

3.1.2.3 Agregados miúdos

A faixa granulométrica dos agregados miúdos, naturais e reciclados, foi definida pela NBR NM 248 (2003), conforme Figura 3.

Para a determinação da massa específica dos agregados miúdos naturais e reciclados, utilizou-se a norma rodoviária DNER – ME 093 (1994), onde, se fez o uso de um picnômetro, um funil, um bico de gás e a balança. O ensaio foi realizado separadamente para cada amostra. Com os resultados obtidos resolvemos a Equação 2.

$$d1 = \frac{M}{Pag - (Pcom - M)} \quad 2$$

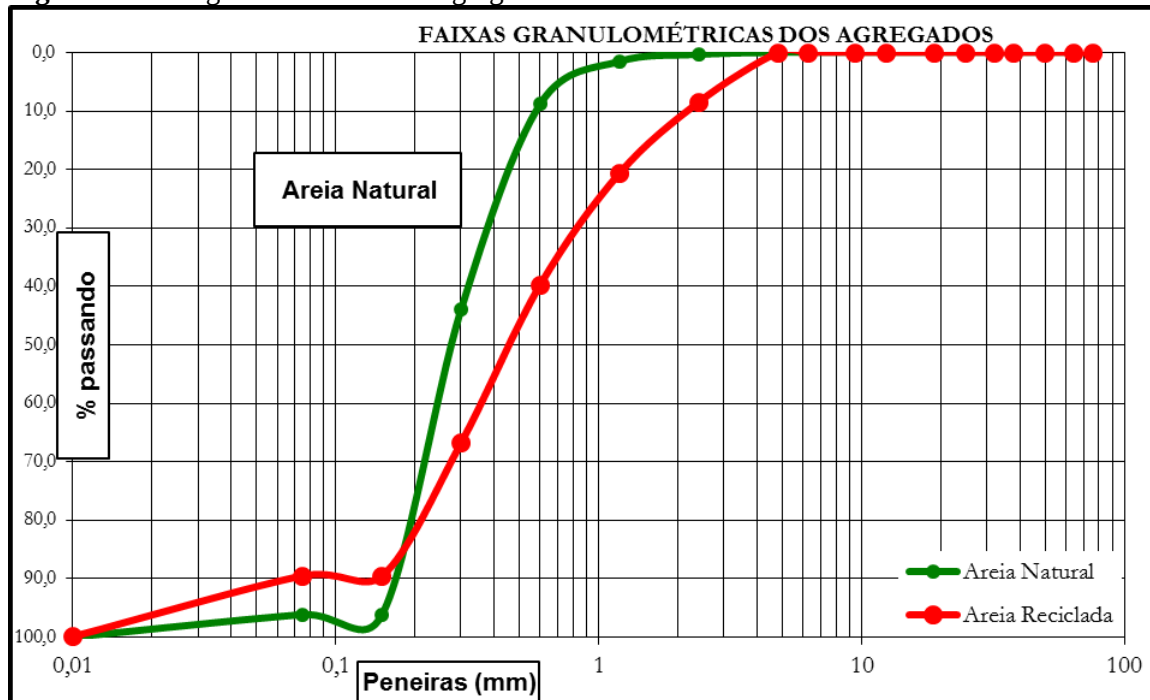
Onde:

d1: Densidade da areia natural/pedra (g/cm³);

M: Peso do agregado (g);

Pag: Peso do picnômetro com água (g);

Pcom: Peso do picnômetro com agregado e completo com água (g).

Figura 3: Faixa granulométrica dos agregados miúdos.

Fonte: Autora (2017).

Os dados obtidos dos ensaios de densidade dos agregados miúdo natural e reciclado, assim como as propriedades da granulometria são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5: Caracterização dos agregados miúdos.

Propriedade	Agregado natural	Agregado reciclado
Massa específica (g/cm^3)		
Dimensão máxima (mm)		
Dimensão mínima (mm)		
Módulo de finura		
Classificação NBR 7211		

Fonte: Autora (2017).

3.1.3 Confeção das misturas

3.1.3.1 Mistura do concreto

Na fabricação do concreto, os materiais foram inseridos manualmente na seguinte etapa:

- 1) Agregado graúdo;
- 2) 50% da água;
- 3) Cimento;
- 4) Agregado miúdo;
- 5) Restante da água.

O processo de mistura se repetiu para todas as amostras sendo o tempo de mistura de aproximadamente 2 minutos.

3.1.3.2 Moldagem dos corpos de prova

Foram feitos 26 corpos de prova conforme NBR 5738 (2004), para cada traço realizado, os corpos de prova são cilíndricos de dimensões 10 x 20 cm, e foram feitos para analisar a resistência à compressão, a tração, módulo de elasticidade e absorção de água.

Para a realização do processo de moldagem dos corpos de prova foi necessário preparar os moldes de corpo de prova passando em cada um dele uma camada fina de óleo desmoldante. Em seguida colocou-se duas camadas de concreto e em cada uma das camadas aplicou-se 12 golpes manuais para o adensamento do concreto.

Após a moldagem os corpos de prova permaneceram no laboratório por 24h sendo depois desmoldados e colocados em cura úmida até a idade dos ensaios.

3.1.4 Coleta de dados

3.1.4.1 Abatimento de tronco de cone

Realizou-se para cada traço um ensaio de abatimento do tronco de cone, utilizando a NBR NM 67 (1998), onde o cone e a base utilizados no ensaio são fabricados com metal não facilmente atacado pela pasta de cimento e a haste é feita de aço, o procedimento é simples, umedecer a placa e o molde, e preencher o molde com três camadas de aproximadamente um terço da altura do cone, para cada camada é necessário compactar com 25 golpes utilizando a haste de adensamento. Após o preenchimento do cone deve-se cuidadosamente na direção vertical, em um intervalo de 5 e 10 segundos, medir a altura do ponto mais alto com a altura

do eixo do corpo de prova, sendo essa altura considerada o valor do abatimento, conforme a Figura 4.

Figura 4: *Slump Test*



Fonte: Autora (2017).

3.1.4.2 Ensaio de compressão simples

Após o período de cura, foram realizados os ensaios de compressão nas idades de 07 e 28 dias de cura. Para o ensaio de compressão simples foram feitos 10 corpos de prova de cada traço, totalizando 30 corpos de prova para o ensaio.

A NBR 5739 (2007) foi utilizada para o processo de ruptura dos corpos de prova, sendo que todos foram capeados proporcionando uma superfície lisa e livre de ondulações e abaulamentos para aplicação de carga uniforme. Portanto, realizou-se a retificação dos corpos de prova através de uma máquina retífica de corpos de provas automática.

O resultado de resistência à compressão é dado pela Equação 3.

$$f_c = \frac{4F}{\pi \cdot D^2}$$

3

Onde:

f_c : Resistência à compressão (MPa);

F: Força máxima alcançada no ensaio (N);

D: Diâmetro do corpo de prova (mm).

3.1.4.3 Ensaio de tração por compressão diametral

Existem três formas de se obter a resistência por tração de um concreto sendo a tração direta, tração por compressão diametral e tração na flexão, sendo fornecidos diferentes valores nos ensaios citados. Realizou-se o ensaio de tração por compressão diametral, após o período de cura de 28 dias com 30 corpos de prova sendo 10 de cada amostra.

Utilizou-se a NBR 7222 (2011) para o processo de ruptura. Todos os corpos de prova foram posicionados de modo que ficará em repouso ao longo de uma geratriz sobre o prato da prensa. Foram colocadas duas pequenas chapas de metal entre os pratos da prensa e aplicou-se uma carga continuamente até o momento de ruptura do corpo de prova, conforme a Figura 5.

Figura 5: Ensaio de compressão diametral



Fonte: Autora (2017).

Os ensaios de tração por compressão diametral foram realizados em uma prensa hidráulica automática. O resultado esperado para o ensaio é cerca de 10% do valor obtido no ensaio de compressão simples. Onde a resistência à tração é definida pela Equação 4.

$$f_t = \frac{2F}{\pi \cdot D \cdot l}$$

Onde:

f_t : Resistência à tração (MPa);

F : Força máxima alcançada no ensaio (N);

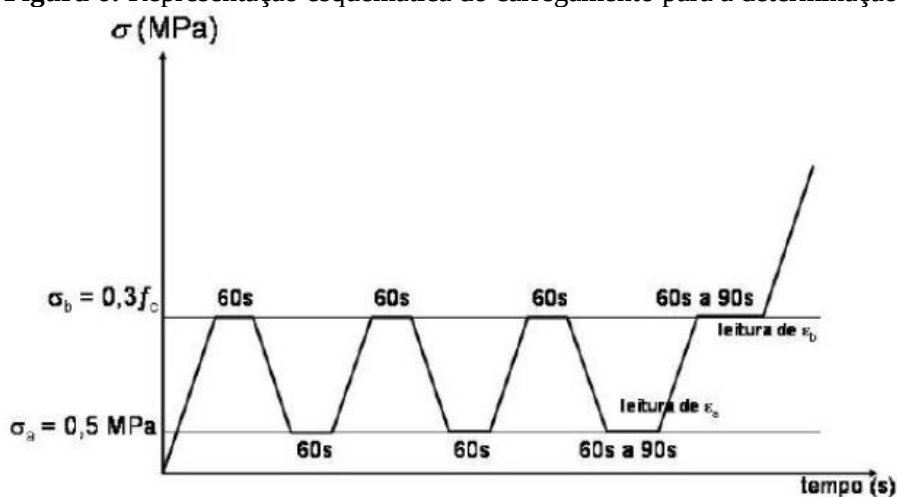
D : Diâmetro do corpo de prova (mm);

L : Altura do corpo de prova (mm).

3.1.4.4 Ensaio de Módulo de elasticidade

A norma ABNT NBR 8522(2008) prevê a determinação do módulo de elasticidade tangente inicial, E_{ci} . Para esta determinação os corpos de prova cilíndricos foram inicialmente posicionados no centro da prensa, submetidos primeiramente ao processo de escorvação, ou seja, três carregamentos e descarregamentos sucessivos até o limite de $0,3f_c$, quando então se anotou as medidas de deformação. Posteriormente, estes corpos de prova foram carregados até a sua ruptura, conforme Figura 6. Os carregamentos e descarregamentos obedeceram a velocidade de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s, as leituras foram feitas com um relógio analógico conforme Figura 7.

Figura 6: Representação esquemática do carregamento para a determinação do módulo de elasticidade



Fonte: NBR8522 (2008).

Figura 7: Ensaio módulo de elasticidade



Fonte: Autora (2017).

Usando os dados obtidos pelas leituras do ensaio de módulo de elasticidade o valor é definido pela Equação 5.

$$E_{ci} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_b - \sigma_a}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} 10^{-5} \quad 5$$

Onde:

E_{ci} : Módulo de elasticidade (GPa);

σ_b : Maior tensão ($\sigma_b = 0,3f_c$) (MPa);

σ_a : Tensão básica ($\sigma_a = 0,5$) (MPa);

ε_b : Deformação específica média dos corpos-de-prova ensaiados sob a tensão maior (mm);

ε_a : Deformação específica média dos corpos-de-prova ensaiados sob a tensão básica (mm).

3.1.4.5 Ensaio de absorção de água por imersão

O ensaio de absorção foi realizado de acordo com a NBR 9778 (2009), onde se utilizou três amostras cilíndricas para cada traço, de dimensão 10 x 20 cm para obter os dados. Após moldados os corpos de prova, os mesmos ficaram em cura por 28 dias na câmara úmida, na idade do ensaio os corpos de prova foram secados em estufa à temperatura de 110°C por 72 horas, após, resfriados em temperatura ambiente e registrada a massa dos cilindros.

Completada a secagem em estufa e determinada a massa, procedeu-se à imersão dos corpos de prova em água à temperatura de 23°C, durante 72 horas. Completada a etapa de saturação em água, foram retirados os corpos de prova da água, enxugando-os com um pano seco e realizando a pesagem novamente.

Usando as massas determinadas pelo ensaio de absorção, resolvemos a Equação 6.

$$A = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad 6$$

Onde:

A: Absorção (%);

M_{sat}: Massa do corpo de prova saturado (g);

M_s: Massa do corpo de prova seco em estufa (g).

3.1.5 Análise de dados

Após a realização dos ensaios, todas as variáveis foram analisadas e estratificadas em tabelas e gráficos para possibilitar a comparação do desempenho dos concretos (as proporções dos agregados reciclados em relação ao traço de referência) com 100% de agregado reciclado.

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através dos dados obtidos conforme os traços delimitados (Tabela 6), são apresentados e discutidos os resultados para todos os ensaios realizados.

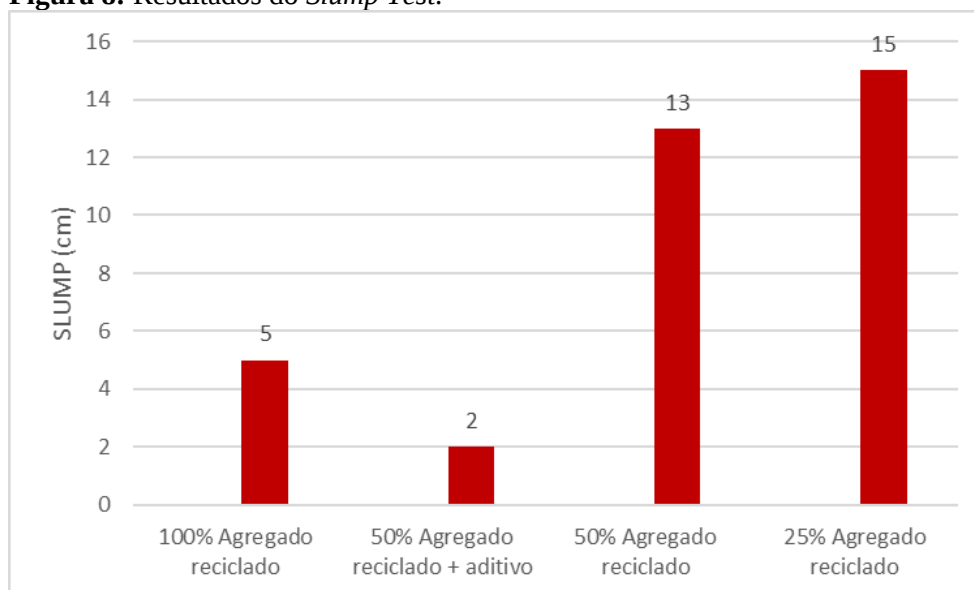
Tabela 6: Traços utilizados

Traços	Composição	Cimento	Areia Rec.	Brita Rec.	Areia Nat.	Brita Nat.	a/c
T1	100% Agregado reciclado	1	1,84	1,99	-	-	0,70
T2	50% Agregado reciclado + aditivo	1	0,92	0,99	0,92	0,99	0,5
T3	50% Agregado reciclado	1	0,92	0,99	0,92	0,99	0,65
T4	25% Agregado reciclado	1	0,46	0,49	1,38	0,49	0,56

Fonte: Autor (2017).

4.1.1 Resultado do *slump test*

Os valores apresentados no apêndice A, foram obtidos no abatimento de tronco de cone de cada traço, a variação entre eles foi devido a relação a/c de cada traço.

Figura 8: Resultados do *Slump Test*.

Fonte: Autora (2017).

Em relação ao fator água/cimento obteve-se uma alteração nos traços devido a proporção de agregado reciclado utilizado em cada traço, percebeu-se que nas composições quanto menor a quantidade de agregado reciclado utilizado, menor foi a quantidade de água no traço.

Para a moldagem dos corpos de prova foram feitas alterações na quantidade de água da mistura pelo fato de que o resultado do primeiro ensaio de composição 50% AGR+ AD, ficou muito seco, conforme Figura 9.

Figura 9: *Slump test* – traço 50%+AD sem aditivo.

Fonte: Autora (2017).

Não sendo possível realizar a moldagem dos CP's, devido a alta presença de finos gerando uma elevada absorção de água e pela textura dos agregados, utilizou-se 287,8 g de aditivo plastificante TECFLOW 7030 para atingir a consistência adequada do concreto, porém obteve-se um resultado de abatimento de 2 cm, Figura 10.

Figura 10: *Slump test* – traço 50%+AD com aditivo.



Fonte: Autora (2017).

Observa-se que a cada traço, com a composição de agregado reciclado no concreto aconteceram alterações no *slump* devido a necessidade de utilizar mais água para ser possível a moldagem dos CP's conforme as Figuras 11, 12 e 13, em que os traços de 25% e 50% obtiveram pouca diferença no abatimento de cone. Já no de 100% obteve-se um *slump* de 5 cm, por ser um traço puro de agregados reciclados.

Figura 11: *Slump test* – traço 25%.



Fonte: Autora (2017).

Figura 12: *Slump test* – traço 50%.



Fonte: Autora (2017).

Figura 13: Slump test – traço 100%.

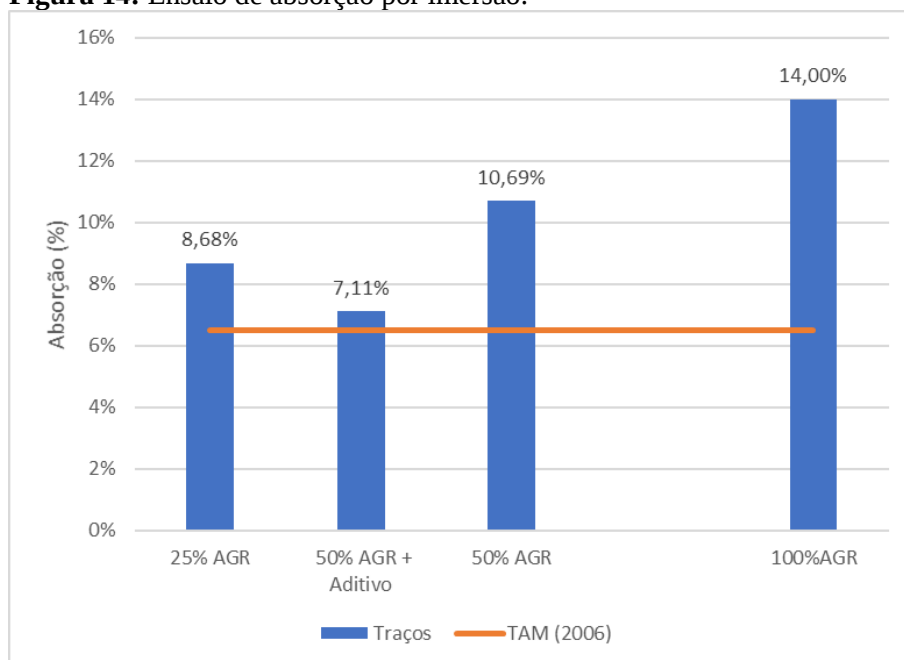


Fonte: Autora (2017).

4.1.2 Ensaio de absorção por imersão

Os resultados do ensaio de absorção são apresentados no apêndice B e ilustrados na Figura 14.

Figura 14: Ensaio de absorção por imersão.



Fonte: Autora (2017).

Pode-se observar na Figura 14 que a composição que teve menor absorção foi de 25% de agregado reciclado com 8,68% sem o uso de aditivos e o de maior absorção composto de 100% de agregado reciclado que apresentou 14% de absorção de água. Assim no traço com maior absorção há uma quantidade maior de material fino.

Segundo De Pauw et al. (1998) os agregados reciclados absorverão parte da água misturada, reduzindo a trabalhabilidade do concreto fresco, para minimizar este efeito, os autores recomendam a determinação dessa quantidade de água a ser absorvida através da realização de testes experimentais.

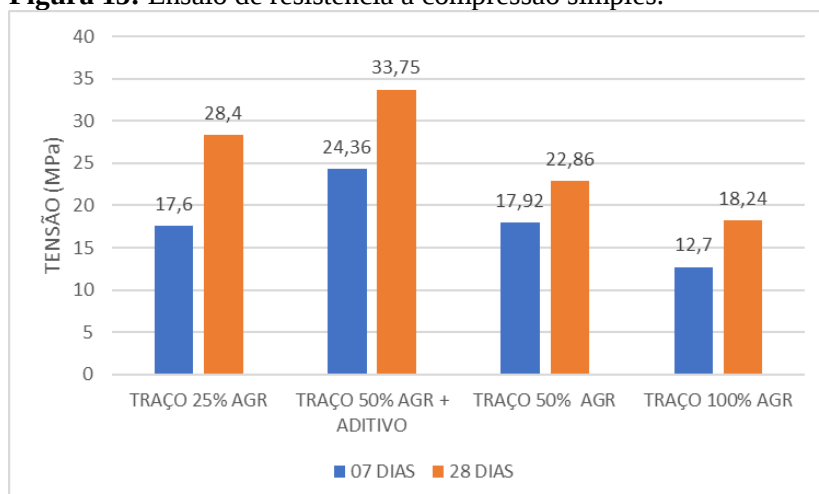
De acordo com Tam (2006), normalmente, a absorção de água encontra-se aproximadamente entre 3 e 10% para o agregado reciclado misto e menos de 1 até 5% para os agregados naturais.

4.1.3 Ensaio de resistência à compressão simples

Os resultados do ensaio dos corpos de prova de concreto conforme as tabelas 9 e 10 no apêndice C apresentam os dados com 07 e 28 dias de cura de 5 cp's de cada traço. O gráfico da Figura 15 apresenta a média para os traços ensaiados.

Os concretos obtiveram uma qualidade satisfatória em relação a composição de cada traço, devido ao uso de agregados reciclados que contribuem para uma resistência inferior ao do concreto com agregados naturais, pois possuem uma quantidade significativa de finos, gerados na britagem do material.

Figura 15: Ensaio de resistência a compressão simples.



Fonte: Autora (2017).

Com base na Figura 15 a resistência a compressão aos 28 dias obteve ganho de resistência final significativo, estando de acordo com o *slump* de cada traço, onde quanto menor a consistência do concreto maior foi a sua resistência.

Quando se trata de resistência à compressão, a resistência depende do fator água/cimento, assim como do tipo de cimento, pode-se dizer que para um mesmo tipo de cimento a resistência da pasta depende unicamente da fluidez e consistência.

Abrams (2000) demonstra, a partir de pesquisas de laboratórios, que a resistência do concreto dependia do fator água/cimento, isto é, quanto menor for este fator, maior será a resistência do concreto. Mas para dar trabalhabilidade ao concreto, deve-se ter um mínimo de água necessário para reagir com todo o cimento.

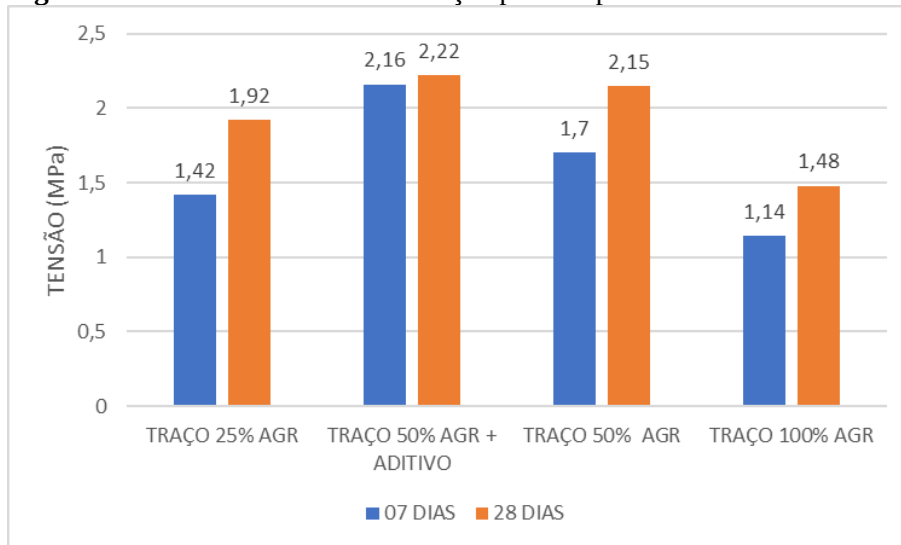
A resistência à compressão esperada do traço conforme o trabalho da Alayde, de 30 MPa, não foi atingida devido ao uso de agregado reciclado em sua composição.

Pode-se fazer o uso parcial de agregados reciclados no concreto, para ser utilizado como concreto estrutural, conforme os traços 25% e 50% que atingiram uma resistência superior a 20 MPa.

4.1.4 Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

A análise das resistências à tração por compressão diametral de cada traço, ilustradas nas Tabelas 11 e 12 do apêndice D apresentam valores da tensão de 5 corpos de prova ensaiados para cada traço, exceto o traço de 50% AGR que foram ensaiados apenas 4. A Figura 16 apresenta os resultados da média para os traços ensaiados.

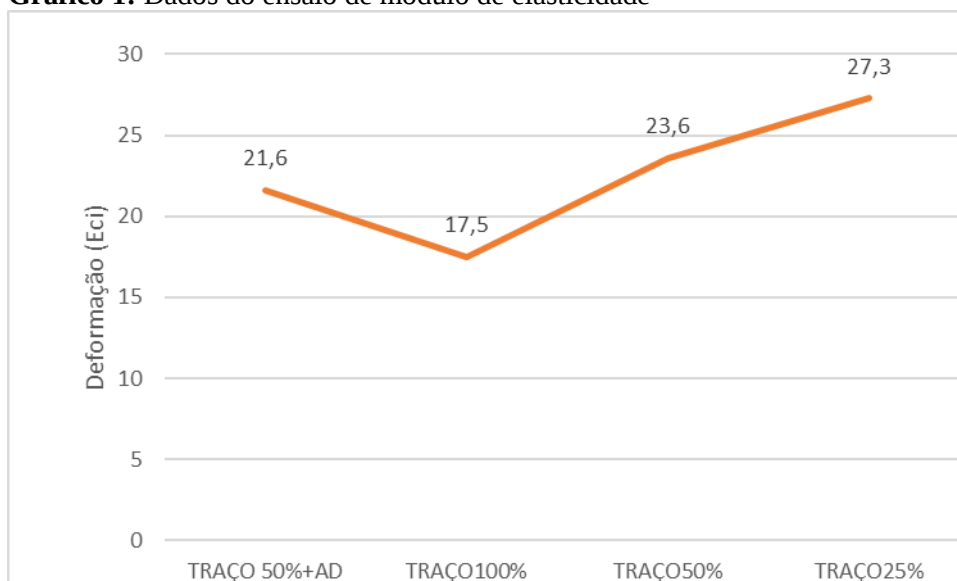
De acordo com a NBR 7222 (2011) o resultado esperado para o ensaio é cerca de 10% do valor obtido no ensaio de compressão simples, porém os agregados usados na composição dos traços são parte agregados reciclados. Devido a isso, as tensões apresentadas na Figura 16 são inferiores aos 10% dos valores obtidos no ensaio de compressão simples, atingindo em torno de 7% a 9%.

Figura 16: Ensaio de resistência a tração por compressão diametral.

Fonte: Autora (2017).

4.1.5 Ensaio de módulo de elasticidade

Os valores apresentados no apêndice E, foram obtidos no ensaio de módulo de elasticidade. O gráfico da Figura 16 apresenta os dados de deformação dos traços obtidos através do ensaio onde foram utilizados 3 corpos de prova de cada traço para o rompimento aos 28 dias de cura.

Gráfico 1: Dados do ensaio de módulo de elasticidade

Fonte: Autora (2017).

O módulo de elasticidade é a medida da rigidez do material. Quanto maior for o módulo, menor será a deformação elástica resultante da aplicação de uma tensão, e mais rígido será o material. Conforme o gráfico 7 o traço de 100 % AGR possuiu uma maior deformação elástica em relação aos outros traços analisados.

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a conclusão desta pesquisa, dos agregados reciclados de resíduos de construção e demolição, o concreto de 100% AGR apresentou maior absorção de água que os traços de 25% e 50% AGR, por se tratar de um traço de apenas agregados reciclados e o concreto apresenta mais poros abertos.

Os concretos de 25% e 50% AGR apresentaram uma boa trabalhabilidade no seu abatimento, já o concreto de 100% AGR necessita de uma quantidade maior de água para obter uma melhor trabalhabilidade.

O ensaio de compressão realizado nos traços de 100%, 50% e 25% AGR conseguiu atingir em torno de 22%, 52% e 89%, respectivamente, a mais do esperado da dosagem que seria de 15 MPa. Em relação à resistência de compressão simples e a resistência de tração por compressão diametral, os concretos com 25% e 50% AGR atingiram uma resistência superior a 20 MPa podendo ser utilizados como concreto estrutural, já o concreto de 100% AGR não alcançou a resistência de 20 MPa devido à falta de água no traço realizado.

Os resultados dos corpos de prova comprovam uma boa resistência nos concretos de parcialidade de agregado reciclado conforme o traço utilizado, porém o concreto com total uso de agregado reciclado resultou em uma resistência superior em relação aos concretos de 25% e 50% AGR. O concreto com 25% AGR apresentou uma resistência a compressão de 28,4 MPa aos 28 dias de cura, sendo 55% a mais do que a resistência do concreto com 100% AGR com uma resistência de 18,24 MPa, porém apresentou a menor deformação em relação aos outros concretos.

Podemos então utilizar agregados reciclados de construções e demolições para concretos não estruturais, com adição de 25% e 50% para concreto estrutural, por atingirem uma resistência superior a 20 MPa.

CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante dos resultados obtidos nesta pesquisa e da sua análise, notou-se que outros estudos podem dar prosseguimento e aprofundamento das questões aqui levantadas, dentre os quais:

- a) A realização de um estudo sobre o uso do agregado reciclado para um concreto estrutural;
- b) Avaliar de maneira qualitativa, os custos diretos e indiretos envolvidos na reciclagem e produção de agregados reciclados;
- c) Estudo da viabilidade econômica do uso de agregados reciclados no concreto não estrutural e estrutural.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 30: **Agregado miúdo - Determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2000.

_____. NBR NM 52: **Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2002.

_____. NBR 8: **Determinação da resistência à tração por compressão diametral**. Rio de Janeiro, 1994.

_____. NBR 7222: **Determinação da resistência à tração por compressão diametral**. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 5739: **Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 7211: **Agregados para concreto: especificações**. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR NM 53: **Agregado graúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2003.

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

_____. NBR 9781: **Peças de concreto para pavimentação. – Especificação e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2013.

BAUER, L.A. F. **Materiais de construção**. 5. ed. vol. 1. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

BAZUCO, R. S. **Utilização de agregados reciclados de concreto para a produção de novos concretos**. 100 p. **Dissertação (Mestrado)** – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

Castro, C. X. **Gestão de resíduos na construção civil**. Belo Horizonte, 2012.

CONCRETO:

Disponível

em:

<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/equipamentosusados.html>

Acesso em 22 de maio de 2017.

ESTUDO DA DIFERENÇA DO CIMENTO: Disponível em: <http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/16/materiais-cimento-nao-e-tudo-igualnao-76288-1.aspx> Acesso em 18 de maio de 2017.

GONÇALVES, R. D. C. **Agregados reciclados de resíduos de concreto – Um novo material para dosagens estruturais**. São Paulo, 2001.

HANSEN, T.C. **Reciclagem de concreto demolido e alvenaria**. Londres, 1992.

HANSEN, T. C. **Agregados reciclados e concreto de agregado reciclado, segundo desenvolvimento de relatórios de última geração**. RILEN Technial Committee -37- RDC. 1985.

JACOBI, P.R.; BESEN, G.R. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: Desafios da Sustentabilidade**. São Paulo, 2011.

JACQUES, J. R. **Estudo da viabilidade técnica da utilização de concreto reciclado como agregado graúdo em concreto de cimento Portland**. Rio Grande do Sul, 2013.

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

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para a produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassa e concretos**. Dissertação de Mestrado. EESC. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 1.ed. São Paulo: São Paulo, 1994.

MELO, K. A. **Contribuição á dosagem de concreto Auto-adensável com adição de filler calcário**. Dissertação submetida a Universidade Federal de Santa Catarina 2005.

NEVILLE, Adam Mathew. **Propriedades do Concreto**. Tradução: Salvador E. Giamusso, 2 ed. rev. Atual, São Paulo: Ed. PINI, 1997.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. São Paulo, 2001.

POON; C.S. et al. **Classificação no local de resíduos de construção e demolição em Hong Kong. Recursos, Conservação e Reciclagem**, volume 32, 2001.

RAO, A. **Uso de agregados de construção reciclada e resíduos de demolição em concreto. Recursos, Conservação e Reciclagem**, volume 50, 2007.

RODRIGUES, J. K. G. **Pressiômetros, Tensões e Deformações em Sub bases de Pavimentos Flexíveis**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP. 1998.

TAM, V.W.Y. **Nova abordagem na medição da absorção de água de agregados reciclados. Construção e Materiais de Construção**, 2006.

TRANKLER, J. O. V.; WALKER, I.; DOHMANN, M. **Impacto ambiental dos resíduos de demolição - Uma visão geral sobre 10 anos de pesquisa e experiência. Gestão de resíduos**. 1996.

VIEIRA, G. L.; DAL MOLIN, D. C. C. **Contribuição ao estudo e análise de viabilidade da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. II Seminário de patologia das edificações. Porto Alegre – RS. Novembro de 2004.

APÊNDICE A- RESULTADOS DOS ENSAIOS DE *SLUMP TEST*

Tabela 7: Dados obtidos do ensaio de *Slump Test*

Traços	Composição	Cimento	Areia Rec.	Brita Rec.	Areia Nat.	Brita Nat.	A/c	Slump Test (cm)
T1	100% Agregado reciclado	1	1,84	1,99	0	0	0,7	5
T2	50% Agregado reciclado + aditivo	1	0,92	0,995	0,92	0,995	0,5	13
T3	50% Agregado reciclado	1	0,92	0,995	0,92	0,995	0,65	2
T4	25% Agregado reciclado	1	0,46	0,497	1,38	0,497	0,56	15

Fonte: Autor (2017).

APÊNDICE B- RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ABSORÇÃO POR IMERSÃO

Tabela 8: Dados do ensaio de absorção

Ensaio de Absorção por Imersão- NBR 9778			
Traço 25% AGR			
Corpo de Prova	CP-I	CP-II	CP-III
Msat (g)	3554,6	3610,20	3617,50
Ms (g)	3267,5	3321,2	3332,4
A(%)	8,79	8,70	8,56
Média de Absorção (%)			8,68
Ensaio de Absorção por Imersão- NBR 9778			
Traço 50% AGR + Aditivo			
Corpo de Prova	CP-I	CP-II	CP-III
Msat (g)	3605,7	3564,6	3643,90
Ms (g)	3370,3	3326,2	3399,9
A(%)	6,98	7,17	7,18
Média de Absorção (%)			7,11

Ensaio de Absorção por Imersão- NBR 9778			
Traço 50% AGR			
Corpo de Prova	CP-I	CP-II	CP-III
Msat (g)	3461	3498,80	3511,40
Ms (g)	3116,5	3162,7	3181
A(%)	11,054	10,63	10,39
Média de Absorção (%)			10,69
Ensaio de Absorção por Imersão- NBR 9778			
Traço 100% AGR			
Corpo de Prova	CP-I	CP-II	CP-III
Msat (g)	3228,8	3230,60	3237,80
Ms (g)	2842,5	2829,2	2834,9
A(%)	13,59	14,19	14,21
Média de Absorção (%)			14,00

Fonte: Autor (2017).

APÊNDICE C- RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES

Tabela 9: Dados do ensaio de resistência a compressão com 07 dias

NBR 5739- ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES- TENSÃO MÁXIMA (Mpa)					
07 DIAS	C P	TRAÇO 25% AGR	TRAÇO 50% AGR + ADITIVO	TRAÇO 50% AGR	TRAÇO 100% AGR
	1	19,8	12,8	19,4	11,5
	2	15,6	27,4	19,9	14,3
	3	17,9	28,2	19,4	12,1
	4	16,1	26,4	18,2	15
	5	18,6	27	12,7	10,6
MÉDIA (Mpa)		17,6	24,36	17,92	12,7

Fonte: Autor (2017).

Tabela 10: Dados do ensaio de resistência a compressão com 28 dias

NBR 5739- ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES- TENSÃO MÁXIMA (Mpa)					
28 DIAS	CP	TRAÇO 25% AGR	TRAÇO 50% AGR + ADITIVO	TRAÇO 50% AGR	TRAÇO 100% AGR
	1	27,6	0	24,8	17,3
	2	29,5	34,3	19,6	18,1
	3	28,4	33,9	23,3	19
	4	29	34,3	23,6	18,6
	5	27,5	32,5	23	18,2
MÉDIA (Mpa)		28,4	33,75	22,86	18,24

Fonte: Autor (2017).

APÊNDICE D- RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Tabela 11: Dados do ensaio de resistência diametral com 07 dias.

NBR 5739- ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES- TENSÃO MÁXIMA (Mpa)					
07 DIAS	CP	TRAÇO 25% AGR	TRAÇO 50% AGR + ADITIV	TRAÇO 50% AGR	TRAÇO 100% AGR
	1	19,8	12,8	19,4	11,5
	2	15,6	27,4	19,9	14,3
	3	17,9	28,2	19,4	12,1
	4	16,1	26,4	18,2	15
	5	18,6	27	12,7	10,6
MÉDIA (Mpa)		17,6	24,36	17,92	12,7

Fonte: Autor (2017).

Tabela 12: Dados do ensaio de resistência diametral com 28 dias

NBR7222- ENSAIO DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL- TENSÃO MÁXIMA (Mpa)					
28 DIAS	C P	TRAÇO 25% AGR	TRAÇO 50% AGR + ADITIVO	TRAÇO 50% AGR	TRAÇO 100% AGR
	1	1,8	2,1	1,3	1,5
	2	1,8	2,5	1,3	1,9
	3	2	2	1,6	1,2
	4	2,1	2,2	2	1,2
	5	1,9	2,3	2,4	1,6
MÉDIA (Mpa)		1,92	2,22	2,15	1,48

Fonte: Autor (2017).

APÊNDICE E- RESULTADOS DOS ENSAIOS DE MÓDULO DE ELÁSTICIDADE

Tabela 13: Dados do ensaio de módulo de elasticidade

TRAÇO 50%+AD						
	R1	R2	MÉDIA (mm)	TENSÃO MAXIMA (MPa)	TENSÃO APLICADA (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)
CP1	24	21	22,5	27,8	33,75	27,3
	4	39	21,5	27,8	33,75	
CP2	4	28	16	24,1	33,75	23,6
	50	29	39,5	24,1	33,75	
CP3	11	41	26	14,3	33,75	13,8
	34	40	37	14,3	33,75	
Média						21,6
TRAÇO 100%						
	R1	R2	MÉDIA (mm)	TENSÃO MAXIMA (MPa)	TENSÃO APLICADA (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)
CP1	15	24	19,5	17,6	18,24	17,1
	20	17	18,5	17,6	18,24	
CP2	7	18	12,5	20,1	18,24	19,6
	19	40	29,5	20,1	18,24	
CP3	18	1	9,5	16,3	18,24	15,8
	34	19	26,5	16,3	18,24	
Média						17,5
TRAÇO 50%						
	R1	R2	MÉDIA (mm)	TENSÃO MAXIMA (MPa)	TENSÃO APLICADA (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)
CP1	19	5	12	26,7	22,86	26,2
	48	20	34	26,7	22,86	
CP2	10	5	7,5	23,7	22,86	23,2
	62	9	35,5	23,7	22,86	
CP3	3,5	6,5	5	24,1	22,86	21,5
	47	2,4	24,7	24,1	22,86	
Média						23,6
TRAÇO 25%						
	R1	R2	MÉDIA (mm)	TENSÃO MAXIMA (MPa)	TENSÃO APLICADA (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)
CP1	23	61	42	23,8	28,4	23,3
	10	60	35	23,8	28,4	
CP2	6,5	6	6,25	29,9	28,4	29,4
	5	62	33,5	29,9	28,4	
CP3	2,5	24	13,25	29,6	28,4	29,1
	1,5	16	8,75	29,6	28,4	
Média						27,3

Fonte: Autor (2017).