UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS

Curso de Graduação em Engenharia Civil

JEOVANI RODRIGUES JACQUES

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRAÚDO EM CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Ijuí/RS

2013

JEOVANI RODRIGUES JACQUES

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRAÚDO EM CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Bóris Casanova Sokolovicz

Ijuí/RS

2013

JEOVANI RODRIGUES JACQUES

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRAÚDO EM CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo membro da banca examinadora

Banca examinadora

_____

Prof. Bóris Casanova Sokolovicz, Msc - Orientador

_____

Prof. Eder Claro Pedrozo, Msc

Ijuí, 26 de NOVEMBRO de 2013.

DEDICATÓRIA

Para meu pai Irani que me ensinou o sentido de caráter e honestidade, para minha amada Aline que quando a vida estava sem rumo me mostrou o norte e principalmente para meu filho que está a caminho, amo vocês.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus, por ter me dado à graça da vida, e ter me guiado pelo caminho da fé e da sabedoria.

Agradeço a meu pai Irani pela bondade e pelos conselhos durante essa jornada, a minha amada esposa Aline, que foi minha amiga, amante, confidente, conselheira, durante esses cinco anos de graduação, amo você.

Ao professor e amigo Boris Sokolovicz, que “comprou” a ideia deste trabalho desde o primeiro dia e até o final não mediu esforços para a realização do mesmo.

A meu grande amigo e colega Jonas Fuhr, que desde o primeiro ensaio até a ultima revisão deste trabalho esteve comigo, valeu irmão.

Ao Guto, meu patrão a mais de 15 anos, pelas folgas, pelas saídas mais cedo do trabalho, enfim por acreditar em mim.

Ao senhor Jandir Tabile, pela disponibilidade em britar o Agregado Reciclado, ao Felipe Demari, pela doação do Agregado Graúdo Natural, aos laboratoristas Luiz Donato e Tulio, a secretária do curso Cassiana.

Aos meus colegas e amigos, Ana, André Lottermann, Candida, Gracieli, Eduardo Pasche, Fernando Zamim, Leonardo Donatti, Matheus Sperotto, Rodrigo Sphor, Maisa, Pamela, Tâmela, Natália, Luis Paulo, Thiago Hermes, Osmar, Cayto, Liliane, Lilian, Lucas Pufal, Roque, Fausto, Sandro, Monir, Nardeli, Marcio Bruxel, Hatus, Wagner.

A todos os demais colegas e professores que estiveram comigo durante estes cinco anos da graduação.

Valeu galera.

Obrigado por tudo, de coração!!!

JEOVANI R. JACQUES

RESUMO

Atualmente o tema sustentabilidade tem sido muito discutido por diversos pesquisadores em todas as áreas da engenharia. Neste contexto, o concreto de cimento Portland é abordado com muita intensidade. Sabe-se que o cimento é o segundo material mais utilizado pelo homem e que o processo de fabricação do mesmo promove um grande lançamento de CO_2 na atmosfera. Outro ponto relevante em relação ao concreto é que a exploração dos agregados também promove um considerável impacto ambiental. Assim, tem-se que partir para soluções sustentáveis na utilização do concreto de cimento Portland, onde os resíduos tem-se mostrado uma alternativa viável. Esses resíduos substituem parcialmente tanto o material aglomerante como os materiais inertes. O presente trabalho realiza o estudo da viabilidade técnica da utilização de resíduos de concreto na produção de concretos. Foram utilizados os corpos de prova provenientes do controle tecnológico que o Laboratório de Engenharia Civil da UNIJUÍ realiza junto à comunidade. Foram elaborados três traços com substituição de agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado, nos teores de 30%, 50% e 100% e foi comparado com o traço de referência contendo 100% de agregado natural. Foram realizados os ensaios de resistência à compressão axial, resistência à tração na compressão diametral e água quimicamente combinada. Os resultados demonstram a viabilidade dessas substituições para todas as misturas, onde para o ensaio de resistência à compressão axial a mistura com 100% de agregado reciclado atingiu os maiores níveis de resistência.

Palavras-chave: Concreto, resíduos de construção e demolição, resistência.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Unidade recicladora de concreto fresco 22
Figura 2: Vista em corte britador de mandíbula 24
Figura 3: Britador cônico 24
Figura 4: Curva granulométrica do agregado miúdo 32
Figura 5: Aspecto visual do agregado miúdo 32
Figura 6: Curva granulométrica do agregado graúdo natural 33
Figura 7: Aspecto visual do agregado graúdo natural 34
Figura 8: Curva granulométrica do agregado graúdo reciclado de concreto 36
Figura 9: Corpos de prova utilizados como matéria prima do AGRC 37
Figura 10: Aspecto visual do agregado graúdo reciclado de concreto 37
Figura 11: Slump Test 40
Figura 12: Moldagem dos corpos de prova 41
Figura 13: Ensaio de resistência a compressão axial 42
Figura 14: Ensaio de resistência a tração na compressão diametral 43
Figura 15: Amostra sendo misturada no agitador eletromagnético 44
Figura 16: Mufla à temperatura de 550°C 45
Figura 17: Gráfico resistência (MPa) x Idade (dias) 48
Figura 18: Acrescimo de resistência (MPa) x Idade (dias) 49
Figura 19: Resistência à Tração na Compressão Diametral 50
Figura 20: Relação entre AC (%) e Evolução do teor AC 51
Figura 21: Acréscimo AC (%) x Idade (dias) 53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Eficiência da execução de um plano de gestão de resíduos em uma obra..... 21
Tabela 2: Características físicas do cimento CP IV 32..... 30
Tabela 3: Características físicas do agregado miúdo..... 31
Tabela 5: Curva granulométrica do agregado graúdo natural..... 33
Tabela 6: Características físicas do agregado graúdo reciclado de concreto 35
Tabela 7: Valores do abatimento do tronco de cone e fator a/c final 40
Tabela 8: Resultado da Resistência à Compressão (MPa) e Evolução das Resistências (%) .. 46
Tabela 9: Teor de AC e Evolução do Teor..... 51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tipos de cimento e suas composições 16
Quadro 2: Classificação do agregado miúdo quanto à dimensão das partículas 17
Quadro 3: divisão das britas de acordo com o tamanho das partículas 18
Quadro 4: Idades de rompimento dos corpos de prova 29
Quadro 5: Composição granulométrica do agregado miúdo 31
Quadro 6: Composição granulométrica do agregado graúdo natural 34
Quadro 7: Composição Granulométrica do agregado graúdo reciclado de concreto 36
Quadro 8: Desvio padrão a ser adotado em função das condições de preparo do concreto 38
Quadro 9: Consumo de materiais por traço 39
Quadro:10: Tolerâncias admitidas para consistência do concreto através do abatimento do tronco de cone 39

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland
ABESC – Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC – Água Quimicamente Combinada
a/c – Fator Água Cimento
AGRC – Agregado Graúdo Reciclado de Concreto
ARC – Agregado Graúdo de Concreto
ARM – Agregado Graúdo Misto
CCP – Concreto de Cimento Portland
C-H – Hidróxido de Cálcio
C-S-H – Silicato de Cálcio Hidratado
CONAMA – Conselho Nacional do Meio ambiente
CO_2 – Dióxido de Carbono
CP – Corpo de Prova
CP IV 32 – Cimento Composto Com Adição de Pozolana
Fck – Resistência característica do concreto a compressão
Fcj – Resistência à compressão do concreto prevista para a idade de "j" dias, em Mpa
Kg/dm^3 – Quilograma por decímetro cúbico
Kg/m^3 – Quilograma por metro cúbico
LEC – Laboratório de Engenharia Civil
m^2 – Metro quadrado
m^3 – Metro Cubico
mm – Milímetro
MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura
MF – Módulo de Finura
MPa – Megapascals
NBR – Norma Brasileira Regulamentadora
RCD – Resíduo de Construção e Demolição
RCS – Resistência à Compressão Simples
RTCD – Resistência a Tração Através da Compressão Diametral
t – Tonelada
TR – Traço de Referência
TAR 30 – Traço com 30% de Agregado Graúdo Reciclado
TAR 50 – Traço com 50% de Agregado Graúdo Reciclado
TAR 100 – Traço com 100% de Agregado Graúdo Reciclado

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 12

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 14

1.1 CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND 14
1.1.1.Materiais que compõem o Concreto de Cimento Portland 14
2 CIMENTO PORTLAND 15
3 AGREGADOS MINERAIS 16
3.1 AGREGADOS MIÚDOS - AREIA 17
3.2 AGREGADOS GRAÚDOS 18
3.2.1 Resíduos de Construção e Demolição RCD 19
3.2.2 Agregado Reciclado de Concreto 21
3.2.2.1 Propriedades do agregado reciclado de concreto 25

2 METODOLOGIA 28

2.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA 28
2.2 PLANEJAMENTO DA PESQUISA 28
2.3MATERIAIS UTILIZADOS 29
2.3.1 Aglomerante 29
2.3.1.1 Cimento Portland 29
2.3.2 Agregados 30
2.3.2.1 Agregado Miúdo 30
2.3.3 Agregado Graúdo Natural 32
2.3.3.1 Agregado Graúdo Reciclado de Concreto 35
2.3.4 Água 37
2.4 PROCEDIMENTOS LABORATÓRIAIS 38
2.4.1 Dosagem dos traços 38
2.4.2 Ensaio de Resistencia à Compressão Axial 41
2.4.3 Ensaio de Resistencia à Tração Através da Compressão Diametral 42
2.4.4 Água Quimicamente Combinada 43

3 RESULTADOS 46

3.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL 46
3.1.1 Evolução das resistências 48
3.2 RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA COMPRESSÃO DIAMETRAL 50
3.3 ÁGUA QUIMICAMENTE COMBINADA 51
3.3.1 Evolução do teor de Água quimicamente combinada 53

CONCLUSÃO 55

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 58

ANEXO A: 63

INTRODUÇÃO

O conceito de desenvolvimento sustentável, afirma que devemos ser capazes de suprirmos as necessidades de desenvolvimento atuais, sem comprometermos as demandas por recursos naturais das gerações vindouras, ou seja, desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que não esgota os recursos para o futuro. Portando para que isso seja possível devemos reduzir a exploração de matérias primas, reutilizar os recursos disponíveis e reduzir a emissão de poluentes, promovendo assim um menor impacto ambiental na produção de insumos. Nesse contexto, de acordo com Sokolovicz (2013), o concreto é hoje o segundo material mais consumido pela humanidade, perdendo apenas para a água. Mehta (apud Sokolovicz, 2013) estima o consumo anual de concreto seja da ordem de 5,5 bilhões de toneladas/ano. Segundo Sokolovicz (2013), entre os principais fatores que justificam essa demanda pelo concreto estão: o alto desempenho do concreto, aliado com baixo custo de fabricação, a ampla gama de utilização do concreto principalmente quando utilizado em conjunto com o aço, facilidade de emprego, entre outras. O concreto de cimento Portland, quando dosado de forma correta, permite a execução de estruturas nos mais variados ambientes agressivos, suportando as solicitações de projeto, com eficácia.

Durante a realização desta pesquisa, buscou-se abordar o uso de agregado graúdo reciclado de concreto, em substituição do agregado graúdo natural, segundo Valverde (2001) no Brasil os agregados para a construção civil são provenientes de um segmento do setor mineral que produz matéria-prima mineral bruta ou beneficiada de emprego imediato na indústria da construção civil, basicamente areia e a rocha britada. De acordo com dados da FIPE Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas da Universidade de São Paulo (apud, Valverde 2001), para a construção de uma, uma unidade básica habitacional de 35m², são consumidas 21 toneladas de agregados; em habitações populares, uma unidade básica de 50 m² consome 68 t; um edifício público de 1.000 m², 1.360 t; escola padrão de 1.120 m²,1.675 t. Ainda segundo Valverde (2001) por se tratarem de produtos de baixo valor final e constituírem recursos minerais dos mais acessíveis à população, a possibilidade de substituição da areia e brita por outros produtos naturais ou industrializados é quase nula. Ele afirma que nos últimos anos, a necessidade de reciclar os entulhos da construção civil criou a possibilidade de que parte dos produtos resultantes desse processo viesse a substituir o agregado natural.

Segundo Angulo et al., (2011), os resíduos de construção e demolição (RCD), são de maneira geral uma preocupação relativamente recente no Brasil, diferente da realidade de outros países como EUA, Alemanha e Holanda, onde já existem politicas que privilegiam a compra de produtos ambientalmente sustentáveis. Portanto sabedores que a construção civil é uma atividade geradora de grande quantidade de resíduos sólidos, devemos buscar alternativas para o reaproveitamento dos mesmos, e a consequente diminuição dos impactos ambientais e econômicos das atividades de engenharia civil. De acordo com Buttler (2003), é inevitável a geração de resíduos em um processo de fabricação. Quando não há um conhecimento da tecnologia apropriada para a reciclagem de um resíduo, certamente será depositado na natureza, resultando em inúmeros problemas ambientais. Ele, afirma que entre os resíduos gerados pela construção civil, os resíduos de concreto tem alto potencial de utilização, devido ao conhecimento de suas propriedades básicas (fc, idade, etc) e, seu menor grau de contaminação por outros materiais quando comparado com outros resíduos da construção. Geralmente os resíduos de concreto não tem destinação correta e não tem tratamento especifico o que proporciona degradação do meio ambiente. Segundo Buttler (2003) ao utilizarmos resíduos de concreto como agregado para execução de novas misturas resultará em redução dos custos envolvidos com a exploração e transporte dos agregados naturais e, além disso, reduzirá substancialmente o volume de resíduos despejados no meio-ambiente.

A presente pesquisa buscou responder se: ”é tecnicamente viável a utilização de concreto reciclado como agregado graúdo em concretos de cimento Portland?” O trabalho tem como objetivo analisar através de dosagem experimental a influência da substituição do agregado graúdo natural AGN, por agregado graúdo reciclado de concreto AGRC, nas seguintes proporções 100%, 50% e 30%, com idades de 7, 28 e 56 dias. Para isso foram realizados para todos os traços, ensaios de resistência à compressão axial para todas as idades, resistência à tração na compressão diametral para a idade de 28 dias e água quimicamente combinada para todas as idades, com a finalidade de observar os desempenhos das variáveis relacionadas com a resistência mecânica e de microestrutura do concreto.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND

Atualmente o concreto de cimento Portland é o mais importante material estrutural e de construção civil utilizado no mundo. Mesmo sendo o mais recente dos materiais de construção utilizado para a construção de estruturas, o concreto de cimento Portland pode ser considerado como uma das descobertas mais interessantes da história do desenvolvimento da humanidade (HELENE, et al,2010).

Segundo Metha (1994 apud Kelm 2011), estima-se que o consumo mundial de concreto seja da ordem de 5,5 bilhões de toneladas por ano, sendo a cadeia da indústria do concreto a maior consumidora de reservas naturais não renováveis devendo, portanto a mesma buscar a incorporação de novas tecnologias com o intuito de reduzir os problemas ambientais gerados por ela.

> O concreto hidráulico é um material de construção que se compõe como uma mistura de um aglomerante com um ou mais materiais inertes e água. Logo que misturado, deve proporcionar condições de plasticidade que permitam operações de manuseio que são fundamentais no lançamento nas fôrmas, adquirindo, com o tempo, pelas reações que então se processarem entre aglomerante e água, coesão e resistência. (PETRUCCI, 1968, P. 5 apud Benetti, 2007)

1.1.1. Materiais que compõem o concreto de cimento Portland.

A composição básica dos concretos de cimento Portland utilizados em aplicações de engenharia civil é: Cimento+ Agregado miúdo+ Agregado graúdo+ Água.

> O concreto de Cimento Portland deve conter cimento, água e agregados, além da possibilidade de contar com aditivos, pigmentos, fibras, agregados especiais e adições minerais, cujos empregos tornam-se cada vez mais frequentes nos concretos atuais. A proporção entre os diversos constituintes é buscada pela tecnologia do concreto, para atender simultaneamente as propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade requeridas para o concreto, além das características de trabalhabilidade necessárias para o transporte, lançamento e adensamento, condições estas que variam caso a caso. (HELENE et al, 2010,p. 920).

Basicamente o cimento e a água são os elementos ligantes do concreto, e os agregados por serem considerados materiais inertes por função dar volume para o concreto, segundo Andolfato (2002), as propriedades ligantes da pasta de concreto são produzidas através de reações químicas envolvendo o cimento e a água, ele afirma que a quantidade de água

necessária para a realização das reações é pequena, mas devido ao fato de o concreto necessitar ter trabalhabilidade, é utilizada uma quantidade maior de água para a fabricação do mesmo, o que vai alterar as propriedades mecânicas do concreto, mais notadamente sua resistência, por isso faz-se necessário adotar uma proporção adequada de água e cimento para garantirmos a resistência adequada do concreto segundo as normas regulamentadoras vigentes.

2 CIMENTO PORTLAND

O cimento Portland é um material de origem mineral, constituído basicamente de silicatos hidráulicos de cálcio, com certa proporção de sulfato de cálcio natural proveniente da moagem e mistura de rochas calcárias, que em contato com água tem propriedades aglomerantes. Segundo Foguesatto (2007) a composição química do cimento Portland pode ser modificada com a adição de novos compostos, criando assim algumas derivações do cimento que agregarão ou melhorarão algumas características do mesmo, dentre os compostos mais comuns estão as adições de filler calcáreo, pozolanas e escória de alto-forno. Bauer (2000) diz que a importância do conhecimento das proporções dos compostos constituintes do cimento reside na correlação entre estes e as propriedades finais do cimento e também do concreto. Foguesatto (2007) descreve que a característica mais destacada do cimento Portland á a finura, pois ela será a responsável pela velocidade de hidratação do composto e tem influencia comprovada em muitas qualidades do concreto. Segundo Bauer (2000) o aumento da finura melhora a resistência, particularmente a resistência da primeira idade, diminui a exsudação e outros tipos de segregação, aumenta a impermeabilidade, a trabalhabilidade e a coesão dos concretos e diminui a expansão em autoclave.

De acordo com Sokolovicz (2013), a cadeia produtiva do cimento é a maior emissora de Dióxido de Carbono (CO2) na atmosfera, onde Neville (apud Sokolovicz 2013) afirma que a fabricação de uma tonelada de cimento resulta no lançamento de uma tonelada de CO2 na atmosfera, ainda segundo Sokolovicz (2013), de acordo com dados da Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, em 2008 o Brasil apresentou a taxa de emissão de 560 Kg de CO2 por tonelada de cimento, sendo a menor taxa em relação a todos os países.

Quadro 1: tipos de cimento e suas composições

Cimento	Tipo	Clínquer+ Gesso(%)	Escória Siderúrgica (%)	Material Pozolânico(%)	Calcário (%)
CP I	Comum	100	-	-	-
CP I – S	Comum	95-99	1-5	1-5	1-5
CP II – E	Composto	56-94	6-34	-	0-10
CP II – Z	Composto	76-94	-	6-14	0-10
CP II – F	Composto	90-94	-	-	6-10
CP III	Alto-forno	25-65	35-70	-	0-5
CP IV	Pozolânico	45-85	-	15-50	0-5
CP V – ARI	Alta resistência inicial	95-100	-	-	0-5

Fonte: www.wikipédia.com.br (acesso em 3 abril 2013).

3 AGREGADOS MINERAIS

Conforme Bauer (2000):

> Agregado é o material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos. O termo “agregado” é de uso generalizado na tecnologia do concreto; nos outros ramos da construção é conhecido, conforme cada caso, pelo nome especifico : fíler, pedra britada, bica-corrida, rachão etc. (BAUER, 2000, p. 63).

Segundo La Serna e Rezende (2009), os agregados utilizados em aplicações de engenharia civil, são materiais granulares, que não possuem forma e volume definidos, tais como, a pedra britada, o cascalho e as areias naturais ou obtidas por moagem de rocha. De acordo com Bauer (2000) os agregados são um componente importante na fabricação do concreto, sendo responsável por cerca de 80% do peso e 20% dos custos de fabricação de concretos estruturais sem a incorporação de aditivos. As características dos agregados podem variar de acordo com as regiões de sua exploração. Mehta (1994, apud Foguesatto 2007) afirma que 90% dos agregados usados em CCP são de origem mineral, sendo considerados materiais de baixo custo, que não entram em reações químicas complexas com a água, sendo assim os agregados são tratados como enchimento inerte ao concreto. De acordo com Mehta (1994, apud Foguesatto 2007) as características mais importantes para os agregados no processo de fabricação do CCP são: a porosidade, composição granulométrica, absorção de água, forma e textura superficial das partículas, resistência à compressão, modulo de

elasticidade e os tipos de substâncias deletérias presentes. Bauer (2000) adverte que durante o processo de fabricação do CCP, devemos excluir os agregados oriundos de rochas macias, ou de baixa resistência à compressão, bem como as que contenham pirita, gesso e componentes ferrosos. Os agregados não devem possuir argila e matéria orgânica em sua composição assim como outros materiais que prejudiquem a sua aderência à argamassa ou que venham a interferir na pega e no endurecimento do CCP.

Os agregados minerais para usados em construção civil são divididos em:

- Agregados Miúdos: as areias;
- Agregados Graúdos: os cascalhos e as britas.

3.1 AGREGADOS MIÚDOS - AREIA

O termo Areia é segundo o Sumário Mineral (Dnpm, 2012), usado para identificar um tipo de recurso mineral granular, com tamanho em um intervalo definido (2 a 0,06 mm), de composição silicática, em geral com predominância do mineral quartzo. Atualmente, compreende, além dos materiais naturais, a chamada areia artificial, produto da britagem de rochas, normalmente subproduto da indústria de rochas britadas.

Na construção civil a areia é considerada como agregado miúdo, sendo a mesma um produto natural que tem origem da fragmentação das rochas devido a condicionantes ambientais, tais como erosão das rochas, ação dos ventos, ação da água. A norma NBR 7211/83 define areia ou agregado miúdo como areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 0,075 mm.

Quadro 2: Classificação do agregado miúdo quanto à dimensão das partículas

Tipo de areia	**Tamanho nominal (mm)**		**Módulo de finura (MF)**
	Mínima	**Máxima**	
Muito fina	0,15	0,6	MF < 2,0
Fina	0,6	1,2	2,0 < MF < 2,4
Média	1,2	2,4	2,4 < MF < 3,2
Grossa	2,4	4,8	MF > 3,2

Fonte: adaptado da NBR 7211

3.2 AGREGADOS GRAÚDOS

Segundo Mehta (1994 apud Foguesatto 2007) o termo agregado graúdo refere às partículas de agregados maiores do que 4,8 mm (peneira nº4). Já a NBR 7211/83 define agregado graúdo como pedregulho ou brita proveniente de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 4,8 mm Pedra brita é o produto da extração de rochas em pedreiras e posterior britagem da mesma em equipamentos adequados que vão definir sua forma e dimensões. De acordo com Bauer (2000) a pedra brita é dividida em faixas granulométricas de graduação de 0 a 4, e é encontrada no comércio com a denominação de pedrisco e pedras de 1 a 4. Sendo que a maior demanda por pedra brita ocorre no processo de fabricação de concreto, onde são empregados principalmente o pedrisco e as britas 1 e 2, sendo que para a execução de concreto ciclópico usa-se brita 4 e rachão.

Segundo Valverde (apud, Sumário Mineral, 2012), a produção de brita no Brasil é dividida por tipos de rochas, na seguinte escala 85% de rochas granitóides (granito, gnaisse, riolito e outras), 10% de rochas calcárias (calcário e dolomito) e 5% de basalto e diabásio. A produção de brita no Brasil ocorre em todos os estados da federação com exceção do Acre. E de acordo com o Sumário Mineral (DNPM, 2012), os principais municípios produtores de brita, com mais de 3 milhões de toneladas em 2011, podem-se citar Contagem (MG), Jaboatão dos Guararapes (PE), Balsa Nova (PR), Seropédica (RJ), Portão (RS), Barueri (SP), Icem (SP), Santa Isabel (SP) e São Paulo (SP), este último tendo produzido mais de 7 milhões de toneladas no ano em questão.

Quadro 3: divisão das britas de acordo com o tamanho das partículas

Quadro 1: Pedra brita numerada	(NBR 7211/ NBR 7225)		COMERCIAL	
	TAMANHO NOMINAL			
Número	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
Brita 0			4,8	9,5
Brita 1	4,8	12,5	9,5	19,0
Brita 2	12,5	25,0	19,0	38,0
Brita 3	25,0	50,0	38,0	50,0
Brita 4	50,0	76,0	50,0	76,0
Brita 5	76,0	100,0		
Obs: para efeito de dosagem pode-se utilizar dmax= 25 mm para uma mistura de brita 1 + brita 2.			> 76 mm considerado pedra de mão	

Fonte: adaptado de Duart (2009)

3.2.1 Resíduos de Construção e Demolição RCD

Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Resíduos de Construção e Demolição (RCD), são os materiais oriundos da construção, reforma e demolição de obras de construção civil, tais como edificações, rodovias, barragens, bem como da preparação e escavação do solo. Entre os resíduos mais comumente encontrados estão: tijolos, concreto em geral, solos, rochas, madeiras, vidros, plásticos, entre outros, esses resíduos recebem o nome de entulho de obra, caliça ou metralha.

A resolução Conama 307/2002 classifica os resíduos em quatro categorias que são:

Classe A - resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: argamassa, concreto, tijolos, telhas etc.
Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;
Classe D: são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Degani (apud, Delongui 2012) ressalta que a indústria da construção civil ainda não está preparada para evoluir de forma sustentável, que é a união entre progresso social e crescimento econômico, aliado à preservação do meio ambiente, pois ainda é marcante a despreocupação da indústria da construção civil, com o grande volume de resíduos gerado, seu manejo e destinação final. De acordo com dados de Pinto (apud, Delongui 2012), o volume de RCD gerado pela indústria da construção civil representa cerca de dois terços da massa total de resíduos sólidos gerados nas cidades.

> Um dos grandes problemas enfrentados atualmente pela indústria da construção civil é o desperdício de materiais, gerando volume de entulho que é quase o dobro do volume de resíduos sólidos urbanos. Este entulho quando reciclado pode gerar agregados com propriedades adequadas e custos inferiores aos preços médios de mercado. Vários estudos realizados têm comprovado a viabilidade no aproveitamento destes resíduos na própria construção civil, desde que se estabeleça uma metodologia adequada. (OLIVEIRA et al, 2006,p. 30).

Segundo VAN ACKER (apud, Buttler 2003), a União Europeia gera em torno de 170 milhões de toneladas anuais de resíduos de construção. Sendo que esse resíduo pode ser dividido nas seguintes parcelas: concreto - 41%, alvenaria - 40%, asfalto - 12%, cerâmica e azulejos - 7%. Ao analisarmos esses dados, podemos notar que os resíduos de concreto representam um volume torno de 68 milhões de toneladas/ano. Segundo (Buttler 2003) na Alemanha o volume de resíduos produzidos é de cerca de 45 milhões de toneladas, sendo que cerca de 25% do volume total é composto de resíduos de concreto, no Japão a reciclagem de resíduos de construção chega a 57% do volume total produzido; sendo que aproximadamente 73% desse volume são representados pelo concreto proveniente de demolição de estruturas e pavimentos de concreto. Segundo AJDUKIEWICZ & KLISZCZEWICZ (apud, Buttler 2003) no Leste Europeu está ocorrendo um programa intensivo de modernização e reconstrução de rodovias e pontes desde o início da década de 90. Esse processo esta ocasionando a geração de grande quantidade de resíduos provenientes de estruturas de concreto armado e protendido os quais, depois de reciclados, apresentarão um grande potencial para serem reutilizados como agregados.

De acordo com o Balanço Mineral Brasileiro (2001), nos últimos anos a necessidade de reciclar os entulhos da construção civil criou a possibilidade de que parte dos produtos resultantes desse processo viesse a substituir o agregado de origem natural, sendo que na Europa e nos Estados Unidos, a utilização de produtos reciclados na construção civil ainda é limitada, mas vem crescendo de forma continua. No Brasil atualmente, a geração de resíduos pela indústria da construção civil é um dos grandes problemas enfrentados pela sociedade. Segundo Buttler (2003) de acordo com dados da ABESC – Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem, a região metropolitana de São Paulo produz um volume de resíduo de concreto mensal de cerca de 3500 m^3 a 7000 m^3.

Segundo Mariano (2008) a grande quantidade de perdas de materiais e, por conseguinte, geração de resíduos no processo construtivo é fruto da falta de eficiência da indústria da construção civil em preparar e aplicar nos canteiros de obras um plano de gestão

de resíduos. Como forma de avaliar a eficiência do plano de gestão de resíduos, Mariano propõe fazermos a comparação entre a quantidade de material adquirido e a quantidade de resíduos produzidos no fim da obra.

Tabela 1: Eficiência da execução de um plano de gestão de resíduos em uma obra

Material	Quantidade Adquirida (t)	Quantidade Desperdiçada (t)	Eficiência (%)
Concreto	2175,38	40,54	98,14
Cerâmica	508,72	11,38	97,96
Argamassa	629,78	13,07	97,92
Fibrocimento	27,55	2,81	89,8
Madeira	88,34	75,1	14,98
Total	3429,77	142,9	95,83

Fonte: Mariano (2008)

3.2.2 Agregado Reciclado de Concreto

Os resíduos de concreto são classificados como classe A e basicamente encontram-se de duas formas: rejeitos de concreto no estado fresco e rejeitos de concreto no estado endurecido**.**

Segundo Grubba (2009), o processo de reciclagem dos RCD de classe A, é feito basicamente através das operações de triagem, britagem e peneiramento. Feito isso os RCD são classificados basicamente em dois grupos: agregados reciclados de concreto e agregados reciclados mistos. Por sua natureza mais homogênea, os agregados reciclados de concreto podem ser usados na fabricação de argamassas, elementos pré-moldados, calçadas, bem como em pavimentação, tal como agregado para a massa asfáltica ou como base ou sub-base de pavimentos.

A NBR 15116/2004 define os parâmetros para tipos de agregado proveniente de resíduos de classe A como:

Agregado de resíduo de concreto (ARC): É o agregado obtido do beneficiamento de resíduo de classe A, composto na sua fração graúda, de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas.

Agregado de resíduo misto (ARM): É o agregado obtido do beneficiamento de resíduo de classe A, composto na sua fração graúda com menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas.

Com relação aos resíduos de concreto, existem inúmeros processos que podem ser aplicados na sua reciclagem. Nas usinas de concreto pré-misturado e fábricas de elementos pré-moldados têm-se basicamente dois tipos de resíduos: rejeitos de concreto no estado fresco e rejeitos de concreto no estado endurecido.

Segundo Rezende et al. (1996) um dos métodos existentes para a reciclagem de concreto no estado fresco, consiste na separação dos agregados da água de lavagem (partículas de cimento + finos em suspensão), isso pode ser feito com o uso de um separador mecânico. Os resíduos de concreto fresco são depositados num funil alimentador, que conduz os materiais para a primeira seção do equipamento, onde é introduzida água permanentemente auxiliando a decantação dos agregados, de modo que o aglomerante existente (cimento) permaneça em suspensão. Essa água é recolhida quando transborda pelo mesmo ponto de alimentação por onde são introduzidas as sobras de concreto, já os agregados são recolhidos na calha de descarga.

Figura 1: Unidade recicladora de concreto fresco

Fonte: schwingstetter (2013)

Segundo Buttler (2003) os resíduos de concreto no estado endurecido geralmente são reciclados visando a sua reutilização como agregados em novas misturas ou para confecção de sub-bases e bases de rodovias. Conforme o referido autor, devido a algumas propriedades prejudiciais dos materiais reciclados, alguns pesquisadores propõem métodos alternativos

para a reciclagem do concreto visando melhorar as propriedades desse material. Dentre alguns desses métodos destaca-se o proposto por RASHWAN & ABOURISK (apud, Buttler 2003) para utilização em uma central produtora de concreto pré-misturado. Este método baseia-se na passagem do concreto no estado plástico para o estado endurecido por um curto período de tempo, depois do qual o concreto poderia ser reciclado para ser utilizado como agregado em novas misturas.

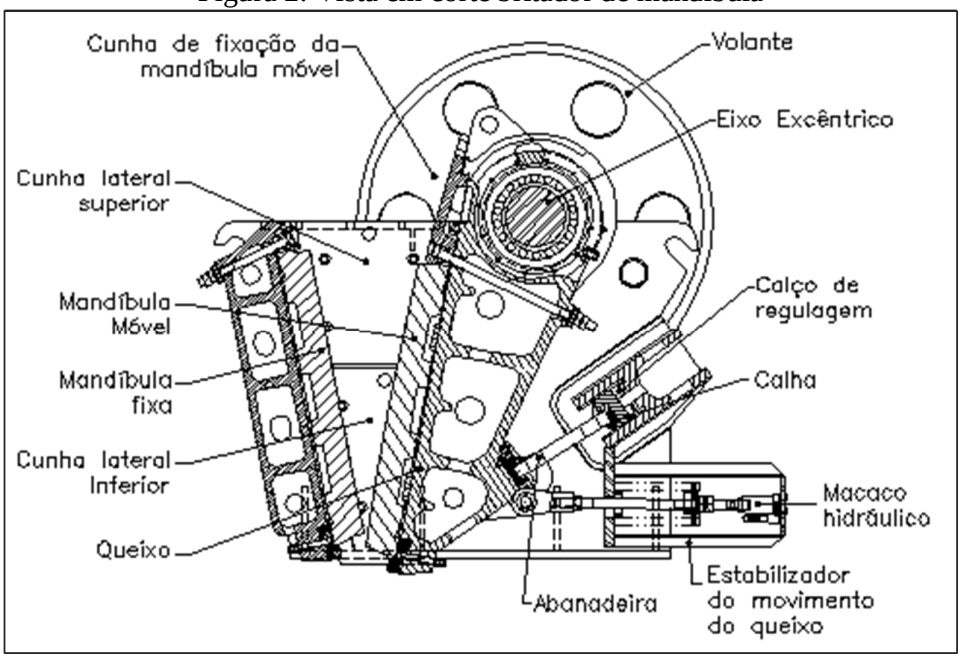
Esse processo apresenta algumas vantagens:

- Nesse processo, a quantidade de resíduos a serem reciclados é pequena, uma vez que a britagem é feita logo após o concreto ser desperdiçado. Com isso, o processo de reciclagem do concreto pode ser feito com a utilização de pequenos britadores móveis, eliminando os custos de transporte;
- O material reciclado é produzido sob condições controladas. Isso inclui o conhecimento do nível de maturidade do concreto original que será reciclado;
- Espera-se que as partículas de cimento não hidratadas, presentes nos agregados reciclados, contribuam para aumentar a quantidade de cimento nos concretos reciclados.

Outro processo é a britagem de rejeitos de concreto com idades mais avançadas, esses rejeitos são oriundos da demolição de estruturas de concreto. A dificuldade encontrada nesse processo é desconhecimento das propriedades do concreto a ser reciclado, tais como idade, resistência de projeto, entre outras.

Segundo Buttler (2003), a escolha do britador a ser utilizado na reciclagem do concreto aperfeiçoará os resultados e proporcionará agregados com a granulometria e forma de partículas desejadas. Conforme HANSEN (apud, Buttler 2003), o britador de mandíbula fornece uma melhor distribuição granulométrica do agregado reciclado para a produção de concreto, já o britador de cones é adequado para ser utilizado como um britador secundário.

Figura 2: Vista em corte britador de mandíbula



Fonte: Redução sólidos (2008)

Figura 3: Britador cônico

Fonte: hmtcomercial (2013)

3.2.2.1 Propriedades do agregado reciclado de concreto.

De acordo com Buttler (2003) as pesquisas relacionadas ao estudo de agregados reciclados de concreto atestam que o material tem grande potencial de utilização. No Brasil, os estudos estão concentrados basicamente no tratamento das sobras de concreto em centrais dosadoras, e ao reaproveitamento de resíduos de construção e demolição. Segundo ele as principais diferenças apontadas na literatura entre agregados naturais e agregados reciclados de concreto, destacam-se, para os agregados reciclados, a menor massa específica, maior absorção de água e principalmente a quantidade de argamassa aderida à superfície dos agregados que influência desde as propriedades do agregado, até as do concreto confeccionado com ele, seja no estado fresco ou endurecido.

De acordo com FRONDISTOU-YANNAS (apud Buttler 2003) durante a realização de seu estudo promoveu a substituição dos agregados graúdos naturais por agregados graúdos reciclados provenientes de uma laje de concreto com dois anos de idade, que após um processo de britagem e peneiramento apresentou um diâmetro máximo de 25,4mm. Com relação aos resultados obtidos, a pesquisadora pode estabelecer as seguintes conclusões:

- A resistência à compressão do concreto reciclado ficou de 4% a 14% inferior à do concreto natural (referência) com as mesmas características.
- O efeito mais significativo da utilização de agregado reciclado foi a redução do valor do módulo de elasticidade em cerca de 40% se comparado com o concreto de referência. Esse fato já era esperado, uma vez que o agregado reciclado apresenta módulo de elasticidade inferior ao módulo do agregado convencional, sendo que o módulo de elasticidade do concreto depende significativamente do módulo de elasticidade do agregado.

Já HANSEN (apud Buttler 2003) realizou um estudo onde analisou várias propriedades dos agregados reciclados e dos concretos que incorporam esses agregados, dentre as conclusões fundamentais podemos enumerar as seguintes:

- Aproximadamente 30% de argamassa encontram-se aderida aos agregados graúdos reciclados que apresentam dimensão máxima característica situada entre 16 e 32mm. Para agregados graúdos com dimensão situada entre 8 e 16mm, esse valor é de 40% e para agregados com dimensão entre 4 e 8mm chega-se ao índice de 60%.

- Devido à grande quantidade de argamassa aderida ao material reciclado, a massa específica do agregado de concreto reciclado é cerca de 5 a 10% menor que a massa específica do agregado original.
- A resistência à compressão e a resistência à tração na flexão do concreto de agregados reciclados podem ser iguais ou até superiores aos valores obtidos para o concreto original desde que se utilize uma relação água/cimento menor. De maneira geral, a resistência à compressão de concretos com agregados reciclados é cerca de 5 a 10% menor que a resistência dos concretos originais.
- A utilização de agregados graúdos e miúdos reciclados pode acarretar numa redução de 15% na resistência de aderência e uma diminuição de cerca de 30% na resistência última de flexão quando comparado com o concreto original.
- O módulo de deformação do concreto com agregados reciclados é menor que o módulo do concreto original, devido a grande quantidade de argamassa aderida à superfície do agregado. Essa redução situa-se entre 15 e 40%, sendo que os menores valores foram encontrados quando se utilizou a fração miúda e a graúda reciclada.
- Devido à grande quantidade de argamassa aderida à superfície do agregado, a retração por secagem do concreto com agregados reciclados apresentou-se sempre maior do que a do concreto original. Esse aumento situa-se entre 40 e 80%, sendo que os maiores valores foram encontrados quando se utilizou a fração miúda e a graúda reciclada.
- Nenhuma influência foi observada nas propriedades do concreto, quando esse concreto com agregados graúdos reciclados foi produzido utilizando-se agentes retardadores, plastificantes e incorporadores de ar na mistura.
- Os concretos com agregados reciclados apresentam maior probabilidade de corrosão nas armaduras devido à maior permeabilidade e à maior taxa de carbonatação quando comparado com os concretos com agregados naturais.

Já os pesquisadores TOPÇU & GUNÇAN (apud, Buttler 2003) realizaram o estudo de algumas propriedades físicas e mecânicas do concreto com agregado graúdo reciclado. Durante o estudo eles utilizaram agregado graúdo reciclado proveniente de um concreto com resistência de 16 MPa aos 28 dias; e foi feita a substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado em porcentagens iguais a 0%, 30%, 50%, 70% e 100% e a relação água/cimento utilizada nas dosagens foi 0,60.

As principais conclusões chegadas pelos pesquisadores com relação ao emprego de concretos com agregados reciclados foram:

- A trabalhabilidade dos concretos com agregados graúdos reciclados é menor que a trabalhabilidade do concreto natural e, isso pode ser explicado pela alta absorção do agregado reciclado;
- O módulo de elasticidade do concreto reciclado é menor que do concreto natural; para substituição total do agregado natural pelo agregado graúdo reciclado, esse valor fica em torno de 80% do encontrado para um concreto natural.

2 **METODOLOGIA**

2.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa pode ser classificada como DESCRITIVA, pois descreve procedimentos e métodos aplicados na sua realização,

Quanto aos procedimentos é uma pesquisa BIBLIOGRÁFICA e EXPERIMENTAL, devido ao fato de que a pesquisa foi baseada em experiências já existentes embasadas em ensaios laboratoriais que demonstram a viabilidade ou não da mesma.

2.2 PLANEJAMENTO DA PESQUISA

Inicialmente realizou-se uma revisão bibliográfica para suporte de informações necessárias para o entendimento da pesquisa.

Após foram realizados ensaios de caracterização dos materiais, importante para o processo de dosagem do concreto, tais como: ensaio de granulometria, massa específica, massa unitária, módulo de finura etc.

Como forma de avaliação da viabilidade da adição de concreto reciclado como agregado graúdo em CCP foi feita a dosagem pelo método da ABCP, de três traços de concreto com AGRC que serão comparados com um traço de referência, sendo:

- Traço de referencia (TR): Composto de 100% de agregado graúdo natural;
- Traço agregado reciclado 100 (TAR 100): Composto de 100% de agregado graúdo reciclado de concreto;
- Traço agregado reciclado 50 (TAR 50): Composto de 50% de agregado graúdo reciclado de concreto e 50% de agregado graúdo natural;
- Traço agregado reciclado 30 (TAR 30): Composto de 30% de agregado graúdo reciclado de concreto e 70% agregado graúdo natural.

Para cada traço foram moldados 9 CP’s, com dimensões 150x300 mm, que foram rompidos com as idades de 7, 28 e 56 dias conforme quadro 4.

.

Quadro 4: Idades de rompimento dos corpos de prova

Idade CP	N° CP Rompidos por Traço	N° Total de rompimentos	Tipo de Ensaio Realizado
7 Dias	3	12	Ensaio de Resistencia à Compressão Simples
28 Dias	2	8	Ensaio de Resistencia à Compressão Simples
28 Dias	1	4	Ensaio de Resistencia à Tração na Compressão Diametral
56 Dias	3	12	Ensaio de Resistencia à Compressão Simples

Fonte: Próprio autor

2.3 MATERIAIS UTILIZADOS

2.3.1 Aglomerante

Podemos definir aglomerante como sendo o material ativo, ligante, em geral pulverulento, que tem por finalidade promover a união entre os grãos dos agregados na fabricação de argamassas e concretos.

O aglomerante utilizado para a realização da pesquisa foi o cimento Portland, sendo que o mesmo é classificado como um aglomerante hidráulico devido á ser reagente a ação da água.

2.3.1.1 Cimento Portland

O cimento Portland é um material de origem mineral, constituído basicamente de silicatos hidráulicos de cálcio, com certa proporção de sulfato de cálcio natural proveniente da moagem e mistura de rochas calcárias, que em contato com água tem propriedades aglomerantes.

O cimento utilizado da pesquisa foi o CP IV 32, da marca Votoran, que tem por característica a adição de pozolana no teor que varia de 15% a 50% em massa. Este cimento

foi utilizado em função de ser o cimento mais comum no mercado. Como o estudo é realizado para verificar o aproveitamento de concreto como agregado graúdo, a pozolana presente no referido cimento não irá mascarar os resultados. O alto teor de pozolana do CP IV confere a este cimento uma alta impermeabilidade e consequentemente maior durabilidade. Segundo a ABCP, o concreto fabricado com o cimento CP IV se torna mais impermeável, apresenta resistência mecânica à compressão superior ao concreto de cimento Portland comum à longo prazo. Devido ao seu baixo calor de hidratação o cimento CP IV é indicado para aplicações em obras que necessitem grande volume de concreto.

Durante a realização da pesquisa foi feita a caracterização física do cimento (Tabela 2), para isso, foram realizados ensaios no LEC da UNIJUÍ, na qual foram utilizadas as seguintes normas:

- Finura #0,075m – NBR 11579
- Massa específica – NBR NM 23

Tabela 2: Características físicas do cimento CP IV 32

Propriedade	Resultado
Massa Especifica	2,889 g/cm³
Finura # 0,075	1,00%

Fonte: Próprio autor

2.3.2 Agregados

Segundo La Serna e Rezende (2009), os agregados utilizados em aplicações de engenharia civil, são materiais granulares, que não possuem forma e volume definidos, tais como, a pedra britada, o cascalho e as areias naturais ou obtidas por moagem de rocha.

2.3.2.1 Agregado Miúdo

O agregado miúdo utilizado durante a realização da pesquisa é Areia Média proveniente da região de Santa Maria - RS, o mesmo foi submetido, nas dependências do LEC, pelo autor aos seguintes ensaios de caracterização:

- Composição Granulométrica – NBR 7217

- Massa específica do agregado miúdo – NBR 9776
- Massa unitária solta – NBR 7251

Os resultados são apresentados na tabela 3, no quadro 5 e na figura 4.

Tabela 3: Características físicas do agregado miúdo

Propriedade	**Resultado**
Massa Especifica	2,58 g/cm³
Massa Unitária Solta	1,486 kg/dm³
Dmáx. Característico	1,2mm
Módulo de Finura	1,56

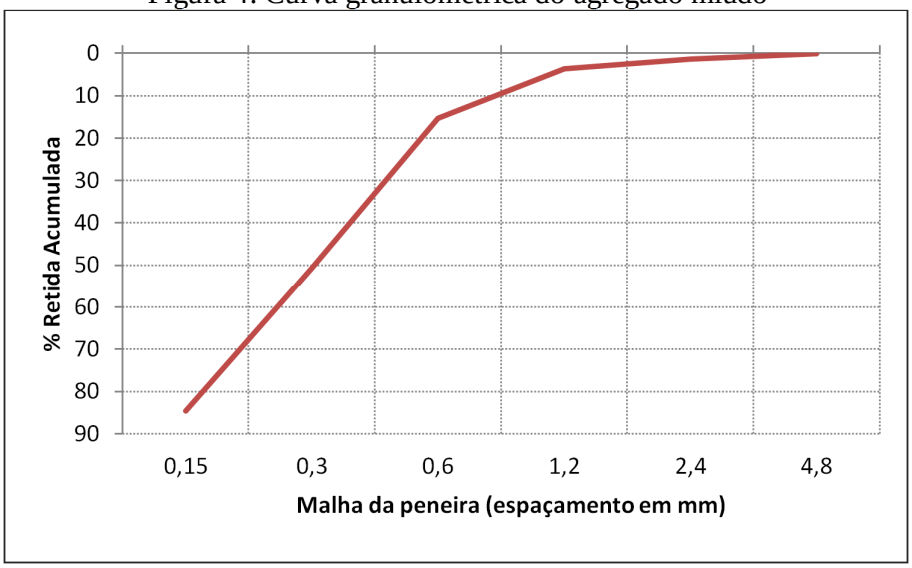
Fonte: Próprio autor

Quadro 5: Composição granulométrica do agregado miúdo

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA- NBR NM 248-2003								
PENEIRAS		1° determinação		2° determinação		% retida média	% retida acumulada	
n°	mm	Peso retido g	% retida	Peso retido g	% retida			
3/8"	9,5							
1/4"	6,3							
4	4,8	10,58	0,727748	9,48	0,6364	0,6820	0,6820	
8	2,4	11,09	0,762828	11,37	0,7632	0,7630	1,4451	
16	1,2	27,31	1,878525	35,63	2,3919	2,1352	3,5803	
30	0,6	170,21	11,70794	175,57	11,786	11,7471	15,3275	
50	0,3	514,63	35,39895	527,79	35,4316	35,4153	50,7428	
100	0,15	523,3	35,99532	469,82	31,5400	33,7676	84,5105	
fundo	<0,15	196,68	13,52868	259,94	17,4503	15,4895		
total		1453,8	100	1489,6	100	100	100	
Diametro Máximo: 1,2mm # 16				Módulo de Finura: 1,56				

Fonte: Próprio autor

Figura 4: Curva granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Próprio autor

Figura 5: Aspecto visual do agregado miúdo

Fonte: Próprio autor.

2.3.3 Agregado Graúdo Natural

O Agregado Graúdo Natural- AGN utilizado na pesquisa foi a Brita 01, proveniente da pedreira Tabile localizada no município de Coronel Barros – RS, e o mesmo foi submetido, nas dependências do LEC, pelo autor aos seguintes ensaios de caracterização:

- Composição Granulométrica – NBR 7217/ NM 248-2003
- Massa específica e absorção do agregado graúdo – NBR 9937
- Massa unitária solta – NBR 7251

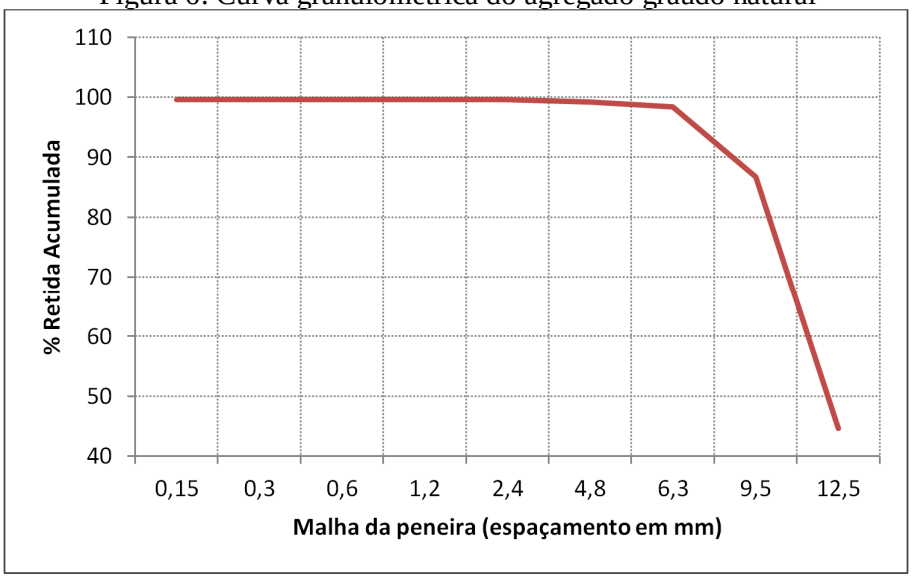
Os resultados são apresentados na tabela 4, na figura 6 e no quadro 6.

Tabela 4: Curva granulométrica do agregado graúdo natural

Propriedade	**Resultado**
Massa Especifica	2,795 g/cm³
Massa Unitária Solta	1,60 kg/dm³
Absorção	1,12%
Dmáx. Característico	19 mm
Módulo de Finura	6,84

Fonte: Próprio autor

Figura 6: Curva granulométrica do agregado graúdo natural



Fonte: Próprio autor

Quadro 6: Composição granulométrica do agregado graúdo natural

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA- NBR NM 248-2003								
PENEIRAS		1° determinação		2° determinação		% retida média	% retida acumulada	
n°	mm	Peso retido g	% retida	Peso retido g	% retida			
3"	76							
2 1/2"	54							
2"	50							
1 1/2"	38							
1 1/4"	32							
1"	25							
3/4"	19							
1/2"	12,5	1331	44,2597	1352	44,9560	44,6078		44,6078
3/8"	9,5	1248,35	41,5113	1284	42,6949	42,1031	86,7110	
1/4"	6,3	384,22	12,7764	317	10,5407	11,6585		98,3696
4	4,8	25,78	0,8572	26,25	0,87285	0,8650	99,2347	
8	2,4	6	0,1995	15,89	0,52836	0,36394	99,5986	
16	1,2	0,39	0,01296	0,78	0,02593	0,01945	99,6181	
30	0,6	0,2	0,00665	0,27	0,00897	0,00781	99,6259	
50	0,3	0,32	0,01064	0,28	0,00931	0,00997	99,6358	
100	0,15	0,67	0,02227	0,49	0,01629	0,01928	99,6551	
fundo	<0,15	10,32	0,34317	10,42	0,34648	0,34482		
total		3007,25	100	3007,38	100	100	100	
Diametro Máximo: 19 mm				Módulo de Finura:				

Fonte: Próprio autor

Figura 7: Aspecto visual do agregado graúdo natural

Fonte: Próprio autor

2.3.3.1 Agregado Graúdo Reciclado de Concreto

O Agregado Graúdo Reciclado de Concreto – AGRC, utilizado na pesquisa foi proveniente do processo de britagem de Corpos de Provas de concreto já submetido a ensaios, e que se encontravam de posse do LEC, (figura 17), esse processo foi realizado nas dependências da Tabile, localizada no município de Coronel Barros – RS, o processo de britagem deu-se primeiramente através da passagem dos CP's por um britador de mandíbula e posteriormente por um britador tipo cone, sendo que de um total de 10260 kg de material original, foi separado pelo autor, para ser utilizado durante a realização da pesquisa de aproximadamente 1500 kg de AGRC referente à parcela com características granulométricas semelhante à Brita 1, como forma de diferenciação visual, pode-se ver pela figura 18, que o AGRC é praticamente branco, isso deve-se a resquícios de pasta de concreto que encontra-se aderido ao AGN natural do concreto que foi reciclado, o AGRC foi submetido nas dependências do LEC, pelo autor aos seguintes ensaios de caracterização:

- Composição Granulométrica – NBR 7217/ NM 248-2003
- Massa específica e absorção do agregado graúdo – NBR 9937
- Massa unitária solta – NBR 7251

Os resultados são apresentados na tabela 5, no quadro 7 e na figura 8.

Tabela 5: Características físicas do agregado graúdo reciclado de concreto

Propriedade	Resultado
Massa Especifica	2,44 g/cm³
Massa Unitária Solta	1,475 kg/dm³
Absorção	4,30%
Dmáx. Caracteristico	19 mm
Módulo de Finura	6,87

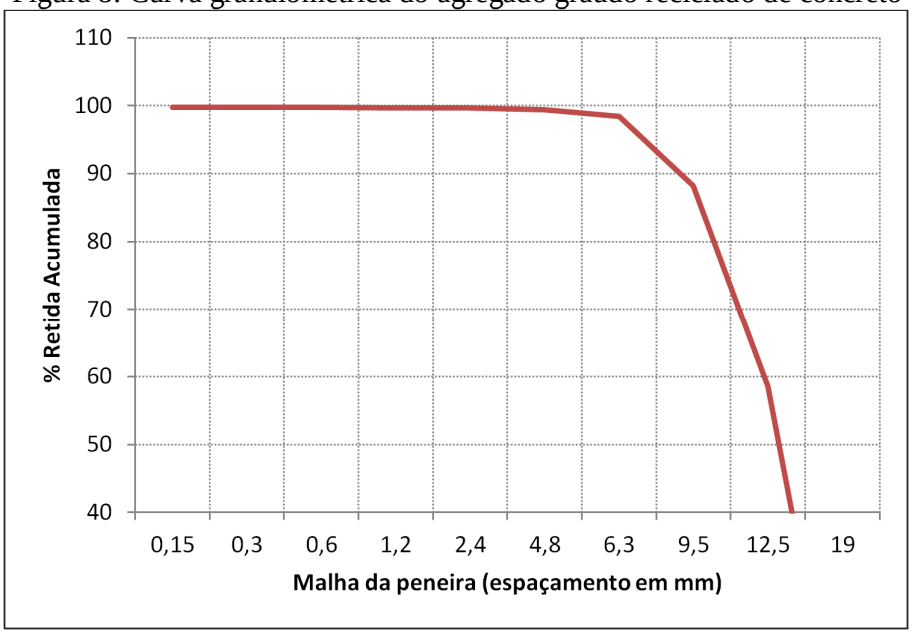
Fonte: Próprio autor

Quadro 7: Composição Granulométrica do agregado graúdo reciclado de concreto

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA- NBR NM 248-2003								
PENEIRAS		1° determinação		2° determinação		% retida média	% retida acumulada	
n°	mm	Peso retido g	% retida	Peso retido g	% retida			
3"	76							
2 1/2"	54							
2"	50							
1 1/2"	38							
1 1/4"	32							
1"	25							
3/4"	19			62,77	2,1015	1,0507	1,0507	
1/2"	12,5	1618	53,95	1826	61,1342	57,5421		58,5929
3/8"	9,5	931	31,0429	841	29,5997	29,5997	88,1926	
1/4"	6,3	378	12,6039	236	7,9012	10,2525		98,4452
4	4,8	45,89	1,5301	10,40	0,34819	0,9391	99,3844	
8	2,4	15,65	0,5218	1,79	0,05992	0,29087	99,6752	
16	1,2	1,02	0,0340	0,66	0,022097	0,02805	99,7033	
30	0,6	0,73	0,0243	0,71	0,023771	0,02405	99,7274	
50	0,3	1,22	0,0406	1,37	0,045867	0,04327	99,7706	
100	0,15	1,24	0,0413	1,31	0,043859	0,042602	99,8132	
fundo	<0,15	6,32	0,2107	4,86	0,162712	0,18672		
total		2999,07	100	2986,87	100	100	100	
Diametro Máximo: 19 mm				Módulo de Finura:				

Fonte: Próprio autor

Figura 8: Curva granulométrica do agregado graúdo reciclado de concreto



Fonte: Próprio autor

Figura 9: Corpos de prova utilizados como matéria prima do AGRC

Fonte: Próprio autor

Figura 10: Aspecto visual do agregado graúdo reciclado de concreto

Fonte: Próprio autor

2.3.4 Água

Para a produção dos traços foi utilizada água proveniente de poço artesiano que abastece o LEC – Laboratório de Engenharia Civil da UNIJUÍ.

2.4 PROCEDIMENTOS LABORATÓRIAIS

2.4.1 Dosagem dos traços

Durante a realização da pesquisa foi adotado o Método de Dosagem da ABCP, ver anexo A, aonde de acordo com as características físicas dos materiais chegamos à determinação do traço para a resistência desejada. Para isso primeiramente foi determinado como padrão para a pesquisa que a Resistência Característica do Concreto a Compressão - Fck deveria ser de 25 Mpa aos 28 dias de fabricação, e de acordo com a norma NBR 12655/96 a resistência média do concreto à compressão Fcj, foi obtida através da equação 1:

$$Fcj = Fck + 1.65.sd \qquad \textbf{(Equação 1)}$$

$$Fcj = 25 + 1{,}65.4$$

$$Fcj = 29{,}96\ MPa$$

Onde:

Fcj: resistência à compressão do concreto prevista para a idade de “j” dias, em MPa;

Fck: resistência à compressão do concreto característica, em MPa;

Sd: desvio-padrão de dosagem, em Mpa.

Quadro 8: Desvio padrão a ser adotado em função das condições de preparo do concreto

Condição	Sd (MPa)	Materiais
A aplicável as classes C 10 a C 80	4,0	Todos os componentes do concreto medidos em massa, corrigindo as quantidades de água e de agregado miúdo, em função da umidade do agregado miúdo.
B aplicável às classes C 10 a C 25	5,5	Cimento medido em massa e agregados em volume, com correção do volume de agregado miúdo e da quantidade de água em função da umidade do agregado miúdo.
C aplicável às classes C 10 e C 15	7,0	Cimento medido em massa e agregados em volume, corrigindo a quantidade de água por simples estimativa.

Fonte: adaptado da NBR 12655.

Então de posse do valor do Fcj e dos resultados dos ensaios de caracterização dos materiais foi calculado os traços TR e TAR 100, sendo que os traços TAR 50 e TAR 30 foram

executados fazendo à substituição em massa dos agregados graúdos em relação ao TR. depois de calculada a quantidade de material necessária para a fabricação de cada traço (aprox.0,055m³) ver (quadro 6), o mesmo foi pesado e separado por traço.

Quadro 9: Consumo de materiais por traço

TRAÇO	Consumo cimento	Consumo areia	Consumo Brita Natural	Consumo Brita Reciclada	Consumo água	Fator a/c
TR	23,64 kg	33,60 kg	73,92 kg	X	12,30 kg	0,52
TAR 100	23,64 kg	29,88 kg	X	68,12 kg	12,30 kg	0,52
TAR 50	23,64 kg	33,60 kg	36,96 kg	36,96 kg	12,30 kg	0,52
TAR 30	23,64 kg	33,60 kg	36,96 kg	36,96 kg	12,30 kg	0,52

Fonte: Próprio autor

Depois disso partiu-se para a mistura dos traços em betoneira, na seguinte ordem no primeiro dia de moldagem TR; TAR 100, no segundo dia de moldagem TAR 50; TAR 30. O teor de argamassa ideal foi determinado através da NBR 7223/NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone método de ensaio, também conhecido como *Slump Test*, na qual se estabeleceu que o concreto tivesse uma consistência plástica, sendo então adotado o abatimento do tronco de cone de 90±10mm , (quadro 7) e (figura 19), os valores do abatimento e fator a/c e da massa especifica do concreto são mostrados na (figura 20). Ao atingir-se a trabalhabilidade desejada para cada traço, moldaram-se os CP para ensaios do concreto endurecido. Os CP nas dimensões 15x30 cm foram moldados de acordo com a NBR 5738/03- Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova, e após desmoldagem foram acondicionados na câmera úmida do LEC para cura e posterior rompimento.

Quadro:10: Tolerâncias admitidas para consistência do concreto através do abatimento do tronco de cone

Consistência	Abatimento (mm)	Tolerâncias (mm)
Seca	0 a 20	± 5
Medianamente plástica	30 a 50	± 10
Plástica	60 a 90	± 10
Fluida	100 a 150	± 20
Líquida	≥ 160	± 30

Fonte: NBR 7223

Figura 11: Slump Test

Fonte: Próprio autor

Tabela 6: Valores do abatimento do tronco de cone e fator a/c final

TRAÇO	Abatimento mm	Consumo real de H2O	Fator a/c corrigido	Peso específico do Concreto
TR	83	11,8	0,50	2770,0 kg/m³
TAR 100	80	12,5	0,53	2702,5 kg/m³
TAR 50	82	12,3	0,52	2730,0 kg/m³
TAR 30	90	12	0,51	2745,0 kg/m³

Fonte: Próprio autor

Figura 12: Moldagem dos corpos de prova

Fonte: Próprio autor

2.4.2 Ensaio de Resistencia à Compressão Axial

A resistência à compressão axial dos concretos foi avaliada por meio do rompimento de corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 15 cm de diâmetro com 30 cm de altura. O ensaio para a determinação da resistência foi feito no LEC da Unijuí, em prensa normatizada, para as idades de 7, 28 e 56 dias a partir da moldagem, conforme a NBR 5739/07, onde segundo a referida norma do seu item 3.1.1.4 “o corpo-de-prova cilíndrico deve ser posicionado de modo que, quando estiver centrado, seu eixo coincida com o da maquina, fazendo que a resultante das forças passe pelo centro”, a Figura 22 ilustra o ensaio sendo realizado.

Segundo a NBR 5739, a resistência à compressão deve ser calculada pela equação 2:

$$fc = \frac{4F}{\pi \, x \, D^2} \qquad \textbf{(Equação 2)}$$

Onde:

FC: é a resistência à compressão, em MPa;

F: é a força máxima alcançada, em Newtons;

π: Pi;

D: é o diâmetro do corpo-de-prova em mm.

Figura 13: Ensaio de resistência a compressão axial

Fonte: Próprio autor

2.4.3 Ensaio de Resistencia à Tração Através da Compressão Diametral

A resistência à tração dos concretos foi avaliada, através da compressão diametral, por meio de corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 15 cm de diâmetro com 30 cm de altura. O ensaio para a determinação da resistência foi feito no LEC da UNIJUÍ, em prensa, na idade de 28 dias a partir da moldagem, conforme a NBR 7222(2008), a montagem do ensaio está mostrada na figura 23, onde, entre os pratos (chapas de aço) foram colocadas ripas de madeira, de comprimento igual ao do corpo de prova. Após o ajuste do corpo de prova e as demais peças na máquina aplicou-se uma carga com velocidade constante de aproximadamente 0,05 MPa/s até a ruptura do corpo de prova.

A resistência à tração por compressão diametral é dada pela equação 3

:

$$ft, D = \frac{2\ x\ F}{\pi\ x\ d\ x\ L} \qquad \textbf{(Equação 3)}$$

Onde ***ft,D*** é a resistência à tração por compressão diametral expressa em Mpa;

F é a carga máxima obtida no ensaio (kN);

π: Pi;

d é o diâmetro do corpo de prova (mm);

L é a altura do corpo de prova (mm).

Figura 14: Ensaio de resistência a tração na compressão diametral

Fonte: Próprio autor

2.4.4 Água Quimicamente Combinada

O ensaio de água quimicamente combinada foi realizado nas idades de 7, 28 e 56 dias após a moldagem, primeiramente foi feita a coleta de material e a preparação da amostra, que ocorreu da seguinte forma, após o rompimento dos CP's foi retirado com o uso de furadeira de bancada, aproximadamente 70 gramas de pó de concreto passante na #200, depois disso esse pó de concreto foi misturado em partes iguais com álcool isopropílico com o uso de um agitador eletromagnético (figura 24), essa mistura tem por objetivo parar as reações de hidratação dos compostos do concreto, feito isso a mistura foi colocada por 24hrs em

estufa com temperatura aproximada de 105 °C. Feito isso para a realização do ensaio AC, foi separada uma amostra de material com 20 gramas, a referida amostra foi colocada em estufa com temperatura de 105 °C, por 20 minutos e foi novamente pesada ao atingirmos uma diferença de peso da ordem de 0,01 gramas, que chamamos de P105, depois disso a amostra foi levada a uma mufla na temperatura de 550 °C (figura 25) por 1 hora, após ser retirada da mufla a amostra é pesada novamente e levada para o dessecador à vácuo por 20 mim, novamente pesada até atingir uma diferença de peso da ordem de 0,01 gramas que chamamos de P550.

O teor de AC é dado pela expressão:

$$AC = \frac{P105 - P550}{P105} \qquad \textbf{(Equação 4)}$$

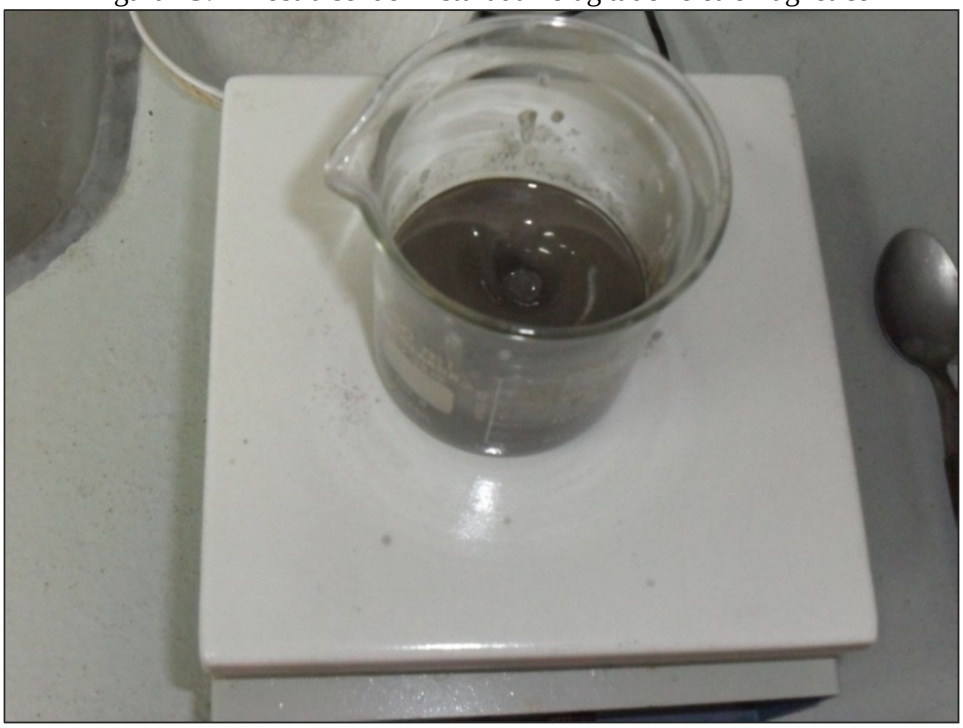
Onde :

AC= teor de Água Quimicamente Combinada

P105= peso da amostra à temperatura de 105 °C, em g;

P550= peso da amostra à temperatura ambiente, após 1 hora à 550 °C, em g.

Figura 15: Amostra sendo misturada no agitador eletromagnético



Fonte: Próprio autor

Figura 16: Mufla à temperatura de 550°C

Fonte: Próprio autor

3 RESULTADOS

3.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Os valores obtidos para o ensaio de resistência a compressão axial estão apresentados na tabela 7 e nas figuras 17 e 18.

Tabela 7: Resultado da Resistência à Compressão (MPa) e Evolução das Resistências (%)

Traço	a/ac	Resistência a compressão (Mpa)			Aumento	Aumento	Aumento
		7 dias	28 dias	56 dias	7-28 dias	28-56 dias	7-56 dias
TR	0,50	24,01	32,65	39,99	35,99%	22,48%	66,56%
TAR 100	0,53	24,45	34,66	41,78	41,76%	20,54%	70,88%
TAR 50	0,52	19,91	29,31	37,72	47,21%	28,69%	89,45%
TAR 30	0,51	20,65	32,44	38,32	57,09%	18,13%	85,57%

Fonte: Próprio autor

De acordo com a tabela, observa-se que os maiores níveis de resistência foram os apresentados pela mistura TAR 100, ou seja, com 100% de agregado graúdo reciclado, conforme HANSEN (apud Buttler 2003) abordado na Revisão da Literatura. Os valores ficaram ligeiramente superiores ao da mistura referência TR, com 100% de agregado graúdo natural. Uma possível explicação para esse resultado é o efeito da hidratação avançada dos compostos cimentícios presentes no AGRC. Como foi adicionado um teor maior de água para essa mistura, possivelmente houve um complemento de hidratação para esse AGRC, visto que no ensaio de absorção esse agregado apresentou os maiores percentuais de absorção.

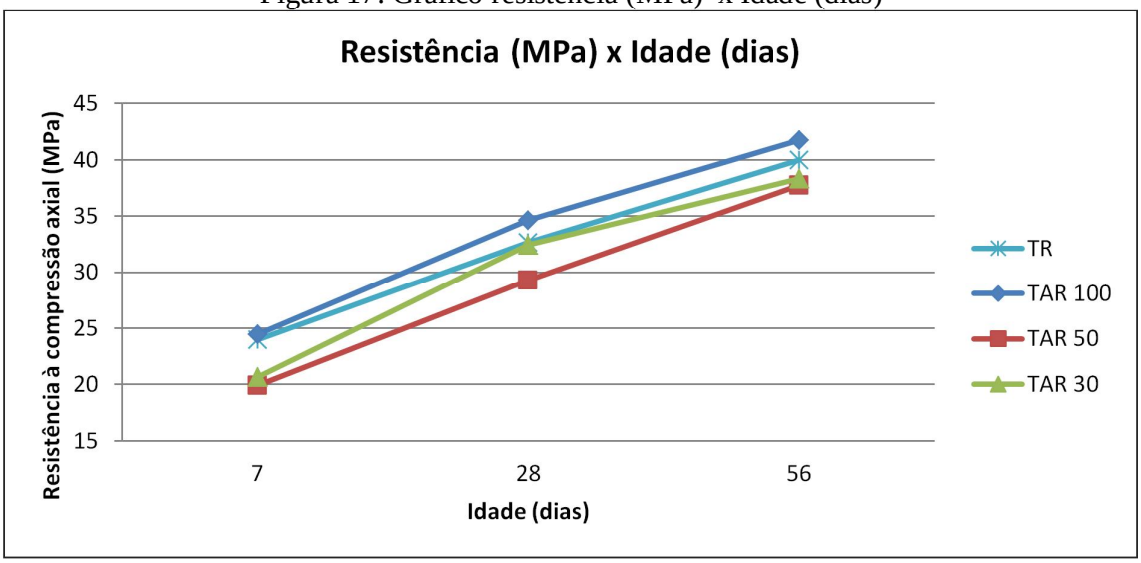
Para as demais misturas com agregado reciclado os níveis de resistência mantiveram-se menores, mais muito próximos do traço de referência. Isso mostra a viabilidade da utilização de AGRC em diferentes teores de substituição em relação ao agregado natural. Como o AGRC foi obtido através da britagem dos corpos de prova provenientes do LEC do Campus Ijuí, tem-se amostras com várias idades e resistências, podendo isso afetar o resultado final. Porém como o objetivo da pesquisa foi verificar a viabilidade da utilização de AGRC, os resultados mostraram-se satisfatórios, visto que foi mantido o abatimento do tronco de cone 90 ± 10 mm como referência de trabalhabilidade para todas as misturas. Assim, procurou-se simular as condições reais de dosagem em um canteiro de obras.

Analisando-se individualmente os traços, verifica-se que para os 7 dias o traço TAR 100 apresentou uma resistência de 24,45 MPa, enquanto que o traço TR apresentou 24,01 MPa para a mesma idade. Observa-se o desempenho frente a esta variável muito semelhante. Já para as misturas com substituição parcial de AGN por AGRC, as mesmas apresentam resistências de 19,91 Mpa e 20,65 MPa, respectivamente, para as misturas TAR 50 E TAR 30. Nota-se que essas duas misturas ficaram abaixo da mistura referência, mas muito próximas entre si. Isso comprova a viabilidade desta substituição, embora os níveis de resistência tenham ficado inferiores a mistura TAR 100.

Já para a idade de 28 dias o traço TAR 100 apresentou uma resistência de 34,66 MPa, enquanto que o traço TR apresentou 32,65 MPa para a mesma idade. Observa-se o desempenho do TAR 100 obteve uma pequena melhora em relação ao TR da ordem de 2 Mpa. Já as misturas com substituição parcial de AGN por AGR, apresentam resistências de 29,31 Mpa e 32,44 MPa respectivamente, para as misturas TAR 50 E TAR 30, onde pode-se notar um ganho de resistência de 3,13 Mpa, da mistura TAR 30 em relação a mistura TAR 50. Nota-se que essas duas misturas ficaram abaixo da mistura referência, aonde a mistura TAR 30 aproxima-se muito da mistura TR e distancia-se da mistura TAR 50, mas ainda ficando as duas misturas com resistência abaixo da apresentada pela mistura TAR 100, para a mesma idade.

Para a idade de 56 dias o traço TAR 100 apresentou uma resistência de 41,78 MPa, enquanto que o traço TR apresentou 39,99 MPa para a mesma idade. Ainda observa-se um desempenho melhor do TAR 100 em relação ao TR da ordem de 1,79 MPa, com isso comprovando a coerência dos resultados, pois em todas as idades a mistura TAR 100 mostrou-se mais resistente à compressão axial do que a mistura TR. Para mesma idade de 56 dias as misturas com substituição parcial de AGN por AGRC, apresentam resistências de 37,72 MPa e 38,82 MPa respectivamente, para as misturas TAR 50 E TAR 30, onde novamente houve um ganho de resistência da ordem de 1,1 Mpa, da mistura TAR30 em relação a mistura TAR50. Nota-se que para essa idade o aumento da resistência relativa foi menor, mas ainda ficando as duas misturas abaixo da mistura TR, e consequentemente abaixo da mistura TAR100.

Figura 17: Gráfico resistência (MPa) x Idade (dias)



Fonte: Próprio autor

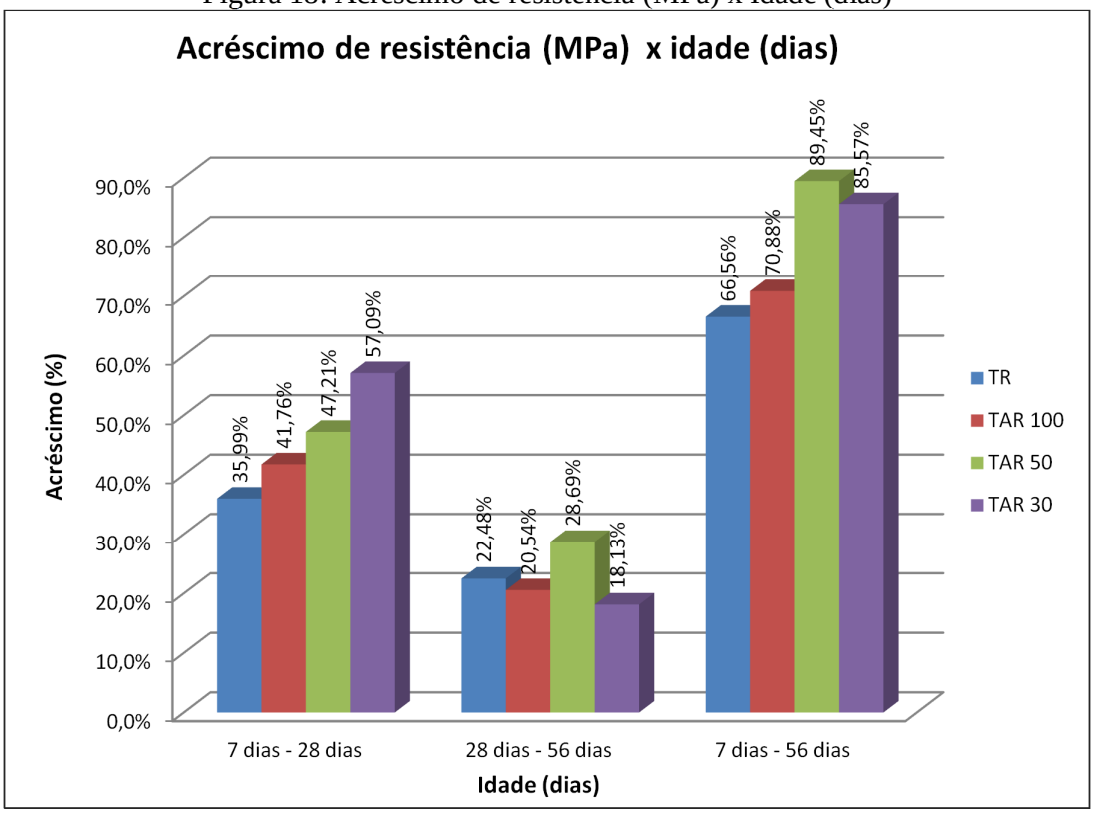
Analisando-se a (figura 17), constatou-se que a mistura TAR 100, obteve resistência final de 41,78 Mpa, valor esse superior ao apresentado pela mistura TR, que obteve resistência final da ordem de 39,99 Mpa, o que vem a mostrar a viabilidade de substituição do agregado graúdo natural por 100% de agregado graúdo reciclado a base de concreto. Já as misturas TAR 50 e TAR 30 apresentaram resistência final da ordem de 37,72 Mpa, e 38,82 Mpa respectivamente. Esses resultados também vêm comprovar a viabilidade da substituição parcial do agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado a base de concreto.

Outra constatação observada analisando-se a figura 17 foi a de que as misturas TR, TAR 100 e TAR 50, tiveram uma evolução constante da resistência à compressão axial para todas as idades, já a mistura TAR 30 teve um pico de evolução da resistência aos 28 dias e depois se manteve novamente constante até os 56 dias.

3.1.1 Evolução das resistências

Na figura 28 estão expostos os valores percentuais do acréscimo da resistência à compressão axial para as idades de 7, 28 e 56 dias, para todos os traços ensaiados.

Figura 18: Acrescimo de resistência (MPa) x Idade (dias)



Fonte: Próprio autor

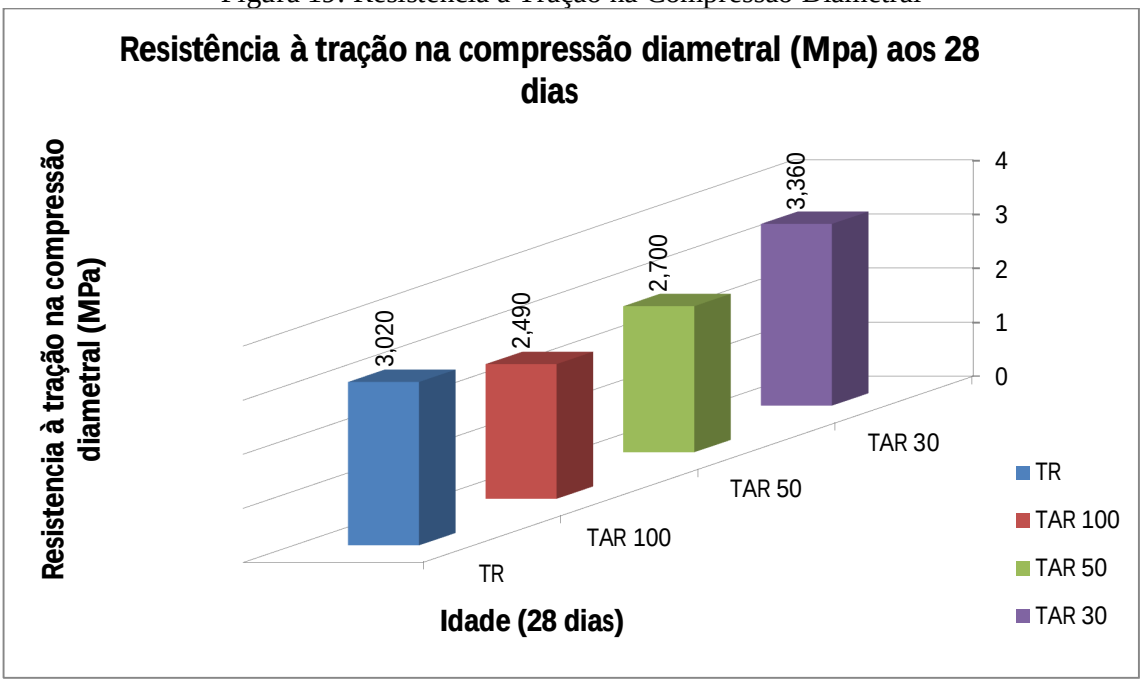
Analisando a figura 18, foi constatado que resistência à compressão das misturas teve maior evolução percentual dos 7 para os 28 dias, onde a mistura TR apresentou uma evolução de 35,99%, sendo essa a menor evolução individual entre todas as misturas, Já a mistura TAR 100 apresentou evolução de 41,76%, a mistura TAR 50 apresentou evolução de 47,21% e a mistura TAR 30 apresentou uma evolução da resistência à compressão de 57,09%, sendo essa a maior evolução individual entre todas as misturas.

Já para a relação entre os 28 e 56 dias, a mistura TR apresentou evolução de 22, 48%, a mistura TAR 100 apresentou evolução de 20,45% a mistura TAR 50 apresentou evolução de 28,69%, sendo essa a maior evolução individual para essa relação de idade e a mistura TAR 30 apresentou evolução de 18,13% sendo essa a menor evolução entre todos os traços para essa relação de idade, nota-se que a evolução percentual das resistências para a idade de 28-56 dias foram mais baixas para todos os traços, em relação à idade de 7-28 dias. Uma provável explicação para este fato é que após a hidratação o cimento apresenta um maior crescimento de resistência até os 28 dias, idade esta considerada para a resistência característica do concreto na elaboração de projetos. Após essa idade os compostos continuam em processo de hidratação, promovendo a evolução da resistência com menor intensidade.

3.2 RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA COMPRESSÃO DIAMETRAL

Os valores obtidos para o ensaio de resistência a tração na compressão diametral estão representados na figura 19.

Figura 19: Resistência à Tração na Compressão Diametral



Fonte: Próprio autor

A resistência à tração dos concretos geralmente é considerada característica mecânica secundária, visto que o concreto não se apresenta como bom material para resistir aos esforços de tração das estruturas. Porém, quando se faz um estudo criterioso das propriedades do concreto, principalmente quando são utilizados novos materiais, essa propriedade mecânica não pode ser desprezada.

O ensaio de resistência à tração na compressão diametral foi realizado com a idade de 28 dias para todos os traços. De acordo com a figura 29 pode-se observar que a mistura TAR 30, com 30% de agregado reciclado obteve uma resistência de 3,36 Mpa, sendo este o melhor resultado individual para a resistência à tração na compressão diametral. Observa-se que a mistura TR obteve uma resistência de 3,02 Mpa, resultado esse muito próximo do apresentado pela mistura TAR 30.

Já a mistura TAR 50 apresentou uma resistência de 2,70 Mpa e a mistura TAR 100 obteve a resistência de 2,49 Mpa. O melhor desempenho frente a esta variável foi o traço TAR 30. Fazendo-se uma integração entre os resultados, o traço TAR 100 apresentou para o ensaio de resistência à compressão axial o melhor resultado individual entre todos os traços. Porém, para o ensaio resistência à tração na compressão diametral, o mesmo apresentou o menor resultado. Uma explicação possível é que o agregado graúdo reciclado contém resquícios de argamassa aderida na superfície dos agregados graúdos originais, que pode enfraquecer a zona de transição do concreto.

Como todos os resultados ficaram muito próximos entre si, o que vem atestar a viabilidade da substituição total ou parcial do agregado graúdo natural AGN, por agregado graúdo reciclado de concreto AGRC.

3.3 ÁGUA QUIMICAMENTE COMBINADA

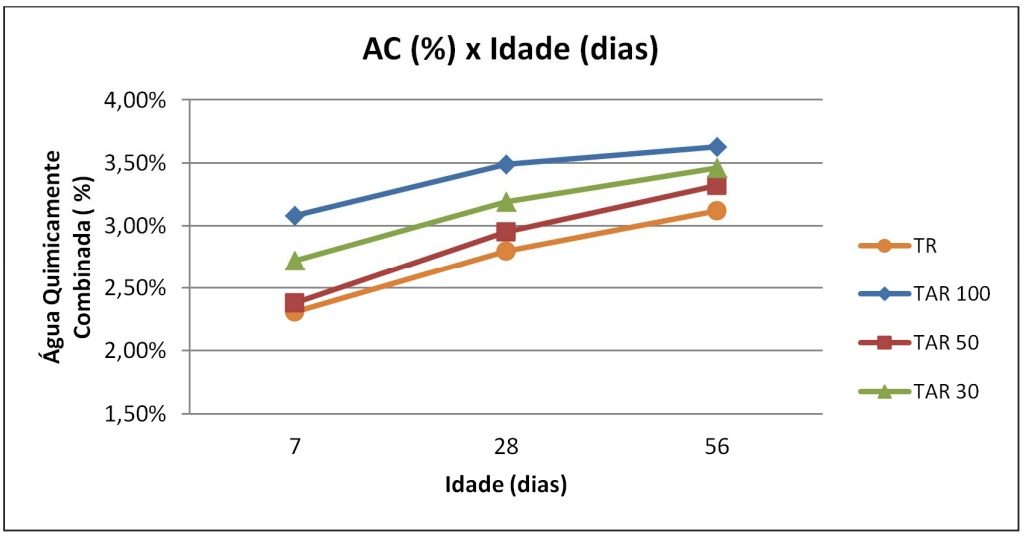
Os valores obtidos para o ensaio de Água Quimicamente Combinada, foram obtidos pelo Método de Sellevod e Justnes (apud Isaia 1995), e estão representados na tabela 8 e nas figuras 20 e 21.

Tabela 8: Teor de AC e Evolução do Teor

Traço	**a/ac**	**AC**			**Aumento**	**Aumento**	**Aumento**
		7 dias	**28 dias**	**56 dias**	**7-28 dias**	**28-56 dias**	**7-56 dias**
TR	0,50	2,31%	2,80%	3,12%	21,21%	11,43%	35,06%
TAR 100	0,53	3,08%	3,49%	3,63%	13,31%	4,01%	17,86%
TAR 50	0,52	2,38%	2,95%	3,32%	23,95%	12,54%	39,50%
TAR 30	0,51	2,72%	3,19%	3,46%	17,28%	8,46%	27,21%

Fonte: Próprio autor

Figura 20: Relação entre AC (%) e Evolução do teor AC



Fonte: Próprio autor

De acordo com a figura 20, observa-se que para todas as misturas o aumento na porcentagem de água quimicamente combinada foi progressiva com o aumento da idade da amostra.

Analisando-se individualmente os resultados, pode-se constatar que a mistura TAR 100 foi a que apresentou a maior proporção de AC variando de 3,08% aos 7 dias para 3,49% aos 28 dias e 3,63% aos 56 dias. Este comportamento pode ser explicado pelo fato que a referida mistura é a que apresentou a maior relação a/c, e utilizou-se na sua composição 100% de agregado graúdo reciclado AGR, que nos ensaios de caracterização dos materiais apresentou maior absorção de água frente ao agregado graúdo natural AGN. Esses dois fatores fazem com que o concreto apresente um espaço livre maior entre suas partículas, visto que para a mesma quantidade de aglomerante utilizada nas outras misturas, foi utilizado uma quantidade maior de água ocasionando dessa forma uma maior porosidade.

Desta forma como a hidratação dos silicatos se dá algumas horas após o início da hidratação do cimento, a hidratação do C_3S e C_2S origina silicatos de cálcio hidratados que possuem composição química muito variada e são representados genericamente por C-S-H e hidróxido de cálcio $Ca(OH)_2$, compostos que preenchem o espaço ocupado previamente pela água e pelas partículas de cimento em dissolução. Isso faz com que exista mais espaço para a formação dos compostos hidratados que são maiores, destacando-se principalmente o $Ca(OH)_2$ melhor conformado e com moléculas cerca de 100 vezes maiores que o C-S-H, que se apresenta em formato de placas hexagonais.

Já a mistura TR apresentou a menor proporção individual de AC, variando de 2,31% aos 7 dias para 2,80% aos 28 dias e 3,12% aos 56 dias, essa proporção menor de AC em

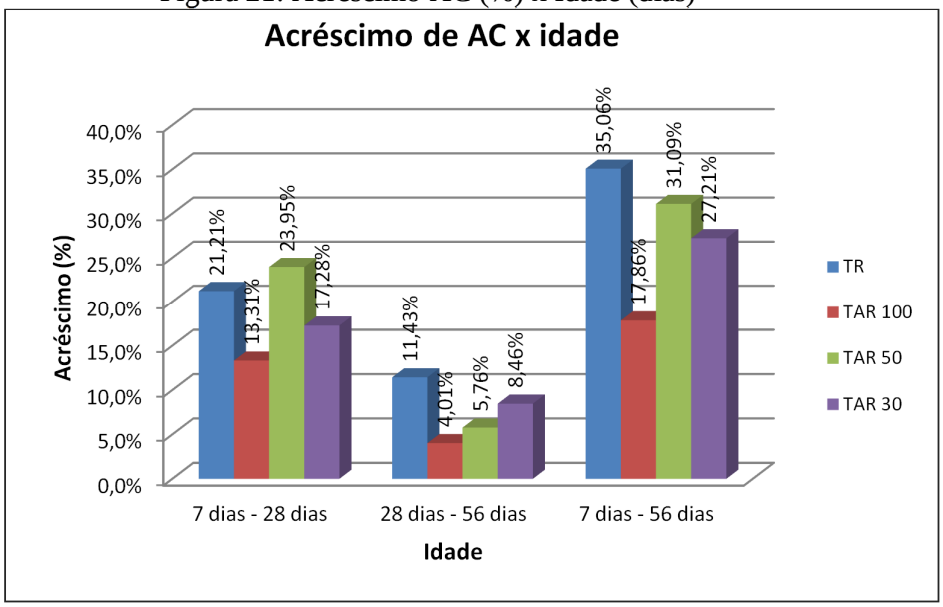
relação as outras misturas é explicada pela menor relação a/c apresentada pela mistura TR frente as outras misturas, portanto como os espaços livres são menores, os produtos hidratados se formam em tamanhos menores, mais compactos, acarretando um menor teor de água quimicamente combinada, porque a formação do C-S-H depende também, como subproduto, a formação de CH, que exige mais espaço por apresentar dimensões de pelo menos duas ordens de grandeza maior.

Já a mistura TAR 50 foi a que apresentou a segunda maior proporção de AC, variando de 2,38% aos 7 dias para 2,95% aos 28 dias e 3,32% aos 56 dias, isso explica-se pelo fator a/c utilizado para essa mistura ser maior que o da mistura TR, possivelmente ocasionado pela maior absorção apresentada pelo AGR que representa 50% do agregado graúdo utilizado na mesma, já a mistura TAR 30 obteve para a idade de 7 dias um teor de AC de 2,72%, para 28 dias 3,19% e para 56 dias 3,46%, ficando mais próxima da mistura TR. Isso pode ser explicado pelo menor fator a/c em relação as misturas TAR 100 e TAR 50, bem como pela menor proporção de AGR, e consequente diminuição da porosidade do concreto.

3.3.1 Evolução do teor de água quimicamente combinada

Na figura 21 estão expostos os valores percentuais do acréscimo do teor de Água Quimicamente Combinada para as idades de 7, 28 e 56 dias, para todos os traços ensaiados.

Figura 21: Acréscimo AC (%) x Idade (dias)



Fonte: Próprio autor

Analisando a figura 21, constata-se que o teor de AC das misturas teve maior evolução percentual dos 7 para os 28 dias, onde a mistura TAR 50 apresentou uma evolução de 23,95%, sendo essa a maior evolução individual entre todas as misturas, Já a mistura TR apresentou evolução de 21,21%, a mistura TAR 30 apresentou evolução de 17,28% e a mistura TAR 100 apresentou uma evolução do teor de AC de 13,31%, sendo essa a menor evolução individual entre todas as misturas.

Já para a relação entre os 28 e 56 dias, a evolução do teor de AC foi menor para todas as misturas, onde mistura TR apresentou evolução de 11,43% sendo essa a maior evolução individual, a mistura TAR 100 apresentou uma evolução de 4,01%,evolução essa que mostrou-se a menor entre todas as misturas durante o período, a mistura TAR 50 apresentou evolução de 5,76% e a mistura TAR 30 apresentou evolução de 8,46%.

Realizando-se a comparação dos 7 para os 56 dias, verificou-se que a mistura referência apresentou a maior evolução no teor de AC. Isso ocorre devido a hidratação do cimento, principalmente em função das reações envolvendo o C2S, que atua com maior intensidade após aos 28 dias.

CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou avaliar a substituição total e parcial do agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado de concreto em teores de 100%, 50% e 30%, com a trabalhabilidade sendo determinado pelo abatimento do tronco de cone, que foi fixado em 90 ± 10 mm, o que ocasionou diferentes relações a/c, analisando a resistência e a água quimicamente combinada em comparação ao concreto referência moldado somente com agregado graúdo natural.

Partindo-se do questionamento proposto para a realização desta pesquisa, pode-se concluir através dos dados obtidos, que a influência da substituição do agregado graúdo natural AGN por agregado graúdo reciclado de concreto AGRC dá-se da seguinte maneira:

Quanto à resistência a compressão axial

Mediante os resultados, constatou-se que aos 7 dias de idade o traço TAR 100 com 100% de AGRC, apresentou resistência maior que o traço TR com 100% agregado graúdo natural, nota-se que a diferença entre eles foi muito pequena, já os traços TAR 50 com substituição de 50% do AGN por AGRC e o traço TAR 30 com substituição parcial de 30% do AGN por AGRC apresentaram resistência menor que o traço TR.

Com uma idade de cura mais avançada aos 28 dias, manteve-se a mesma relação de resistência apresentada para a idade de 7 dias, com o traço TAR 100 com 100% de AGRC, apresentou resistência maior que o traço TR com 100% agregado graúdo natural, nota-se que

a diferença entre eles foi muito pequena. Já os traços TAR 50 com substituição de 50% do AGN por AGRC e o traço TAR 30 com substituição parcial de 30% do AGN por AGRC apresentaram resistência menor que o traço TR.

Finalmente para a idade de 56 dias, a relação das resistências manteve-se a mesma, com o traço TAR 100 com 100% de AGRC, apresentou resistência maior que o traço TR com 100% agregado graúdo natural, nota-se que a diferença entre eles foi muito pequena. Já os traços TAR 50 com substituição de 50% do AGN por AGRC e o traço TAR 30 com substituição parcial de 30% do AGN por AGRC apresentaram resistência menor que o traço TR.

Analisando os resultados individualmente podemos afirmar que todos os traços apresentaram resistência à compressão axial, superiores a resistência à compressão do concreto prevista para a idade de “28” dias, que foi determinada pelo autor como sendo igual ou superior a 29,96 Mpa.

Quanto à resistência a tração na compressão diametral

Os resultados do ensaio de resistência à tração na compressão diametral foram realizados somente para a idade de 28 dias apresentou resultados muito próximos o que viabiliza a substituição total e parcial de AGN por AGRC.

Quanto à água quimicamente combinada (AC)

Os resultados para o ensaio de água quimicamente combinada indicaram que a substituição parcial de AGN por AGRC nos teores de 100%, 50% e 30% obtiveram os teores de AC aos 7 dias, em 3,08%, 2,38% e 2,72%, respectivamente, enquanto que à mistura referência obteve o teor de 2,31%. Já para a idade de 28 dias o traço TAR 100 apresentou um teor de AC de 3,49% , os traços TAR 50, TAR 30 e TR, apresentaram teor de AC aos 28 dias respectivamente de 2,80%, 3,32% e 3,46%. Finalmente para a idade de 56 dias o traço TAR 100 apresentou teor de AC de 3,63% e os traços TAR 50, TAR 30 apresentaram teores de 3,12%, 3,32% e 3,46% respectivamente.

Esses valores vêm de acordo com experimentos de outros autores, que comprovam que quanto maior for a relação a/c maior vai ser o teor de AC, devido ao maior espaçamento entre as partículas do concreto e possivelmente devido a maior taxa de absorção de água apresentada pelo agregado graúdo reciclado de concreto.

Dessa forma, conclui-se que a substituição de AGN por AGRC promoveu um aumento no teor de água quimicamente combinada, fato este devido às reações de hidratação do cimento. Assim, quanto maior for o teor de água quimicamente combinada, maior será a hidratação dos compostos cimentícios. Também se conclui a interdependência das variáveis estudadas, onde se verificou que à medida que a resistência à compressão axial aumenta, aumenta o teor de AC.

Portanto ao analisar-se todos os ensaios propostos conclui-se que os resultados obtidos vêm a comprovar a viabilidade da substituição total e parcial do Agregado Graúdo Natural, por Agregado Graúdo Reciclado de Concreto.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Dar continuidade a este trabalho analisando suas propriedades de resistência e microestrutura para idades maiores;
- Analisar o comportamento de concretos com substituição total e parcial de AGN por AGRC utilizando outros tipos de cimento no estudo;
- Avaliar a substituição total e parcial de AGN por AGRC, em igualdade de resistência.
- Avaliar a resistência à tração na compressão diametral para outras idades de cura;
- Verificar o a microestrutura do concreto com a realização do ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) com diafractograma;
- Analisar a permeabilidade do concreto com substituição total e parcial de AGN por AGRC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andolfato, Rodrigo Piernas. Controle tecnológico básico do concreto. **Neape Nucleo de ensino e pesquisa da alvenaria estrutural,** Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, SP, 2002. Disponivel em:< http://www.nepae.feis.unesp.br/Apostilas/Controle%20tecnologico%20basico%20do%20concreto.pdf>. Acesso em 28 set. 2013.

Angulo, C.S. et al. Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação / **Engenharia Sanitária e Ambienta**, [S,l], v16, n3, p.299-306,jul/ set 2011. Disponivel em:< http://www.scielo.br/pdf/esa/v16n3/v16n3a13.pdf>. Acesso em 18 jul. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **Agregados Para Concreto- Especificação** - 2.ed. Rio de Janeiro, 2004. 11 p. Disponível em: < http://www.grupoanpla.com.br/Infraestrutura/arquivos/nbr/Agregados_para_concreto_-_Especificacao_NBR_07211_-_2005.pdf>. Acesso em 09 abr. 2013.

_____. NBR 15116: **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos** - 1.ed. Rio de Janeiro, 2004. 17 p.

_____. NBR 9776**: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman** - 1.ed. Rio de Janeiro, 1987. 3 p. Disponível em: < http://www.ebah.com.br/content/ABAAABWIkAL/nbr-9776-agregados-determinacao-massa-especifica-chapman>. Acesso em 26 jul. 2013.

_____. NBR 7251**: Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária** - 1.ed. Rio de Janeiro, 1982. 6 p. Disponível em: < http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAxGkAJ/massa-unitaria-agregado-miudo>. Acesso em 26 jul. 2013.

_____. NBR 7217: **Agregados - Determinação da composição granulométrica** - 1.ed. Rio de Janeiro, 1987. 3 p. Disponível em:< http://pt.scribd.com/doc/71518448/NBR-7217>. Acesso em 26 jul. 2013.

_____. NBR NM 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**- 1.ed. Rio de Janeiro, 2003. 6 p. Disponível em:<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAArwsAF/nbr-nm-248-2003-agregados-determinacao-omposicao-granulometrica>. Acesso em 26 jul. 2013.

_____. NBR 9937: **Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**- 1.ed. Rio de Janeiro, 1990. 8 p. Disponível em:< http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAWQYAA/agregado-graudo-determinacao-massa-especifica-massa-especifica-aparente-absorcao-agua>. Acesso em 26 jul. 2013.

_____. NBR 11579 MB 3432: **Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)** - 1.ed. Rio de Janeiro, 1990. 3 p. Disponível em:< http://www.ebah.com.br/content/ABAAABUs4AH/nbr-11579-mb-3432-cimento-portland-determinacao-finura-por-meio-peneira-75-micrometros >. Acesso em 26 jul. 2013.

_____. NBR NM 23**: Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica** - 1.ed. Rio de Janeiro, 2000. 11 p. Disponível em: < http://www.ebah.com.br/content/ABAAABUr0AF/nbr-nm-23-2000-cimento-portland-outros-materiais-po-determinacao-massa-especifica>. Acesso em 26 jult. 2013.

_____. NBR 12655: **Concreto – preparo, controle e recebimento** - 1.ed. Rio de Janeiro, 1996. 7 p.

_____. NBR 7251**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova** - 1.ed. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

_____. NBR 7223 NM 67: **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone** 1.ed. Rio de Janeiro, 1998. 4 p. Disponível em:< http://pt.scribd.com/doc/115757251/nbr-nm-67-1998>. Acesso em 01 ago. 2013.

_____. NBR 9937: **Concreto ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos** - 1.ed. Rio de Janeiro, 2007. 8 p. Disponível em:< http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA-CUAJ/nbr-5739>. Acesso em 05 ago. 2013.

_____. NBR 9937: **Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos-** 1.ed. Rio de Janeiro, 1994. 3 p. Disponível em:< http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAV6cAG/abnt-nbr-7222-1994-argamassa-concreto>. Acesso em 05 ago. 2013.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Balanço Mineral Brasileiro 2012.** Agregados Para Construção Civil. Brasilia, [S.n], 18 p. Disponível em: <https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=7366 >. Acesso em 13 nov. 2013.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Balanço Mineral Brasileiro 2001.** Agregados Para Construção Civil. Brasilia, [S.n], 15 p. Disponível em: < http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/agregados.pdf>. Acesso em 17 abr. 2013.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão (Org), **Materiais de Construção**, 5°ed. Rio de Janeiro: editora LTC, 2000, V1, 471p.

BUTLER, A. M. **Concretos com agregados graúdos de concreto – Influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados.** 2003. 187p. dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: < http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/DissertacaoButtler%20-%20EESC.pdf>. Acesso em 18 mar. 2013.

CIMENTO. **Wikipédia a Enciclopédia Livre.** [Sl, Sd], disponível em:< http://pt.wikipedia.org/wiki/Cimento>. Acesso em 5 abr. 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE -CONAMA. **Resolução 307 (2002)**. Gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em:< http://www.mma.gov.br/port/conama/res02/res30702.html>. Acesso em 26 abr. 2013.

DELONGUI, Lucas. **Caracterização e Adequação dos Residuos da Construção Civil Produzidos no Municipio de Santa Maria-RS Para Aplicação em Pavimentação.** 2012. 220p. dissertação (Mestrado em Engenharia) – Centro de Tecnologia – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2013.Disponivelem:<http://w3.ufsm.br/ppgec/wpcontent/uploads/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Lucas%20Delongui.pdf>.Acesso em 19 nov. 2013.

DUART, Marcelo Adriano. **Estudo da Microestrutura do Concreto Com Adição de Cinza de Casca de Arroz Residual Sem Beneficiamento.** 2008. 134p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Centro de Tecnologia – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2008.

FOGUESATTO, André Frederico**. Estudo da Utilização de Areia Residual do Processo de Fundição Como Agregado Graúdo Para Concreto.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijui, 2007. Disponível em:< http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/2010/03/TCC-Andr%C3%A9-Frederico-Foguesatto.pdf>. Acesso em 20 mar.2013.

GRUBBA, David Christian Regis Pereira. **Estudo do Comportamento Mecânico de Um Agregado Graúdo Reciclado Para a Utilização na Construção Rodoviária.** 2009. 139p. dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: < www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/.../DCRPG_DISSERTACAO.pdf >. Acesso em 23 abr. 2013.

HELENE, Paulo; TIBÉRIO, Andrade. Concreto de Cimento Portland. In: Geraldo Cechella Isaia (org.). **Materiais de Construção Civil e Principios de Ciência e Engenharia de Materiais,** cap.29. São Paulo: Ibracon, 2010. Disponível em:<http://www.concretophd.com.br/imgs/files/ConcretoCap27Materiais2010.pdf >. Acesso em 18 mar. 2013.

ISAIA, G. C. **Efeito de misturas binárias e ternárias de pozolanas em concreto de elevado desempenho**: um estudo da durabilidade com vistas à corrosão da armadura. 1995. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

KELM, Tamile Antunes. **Análise da Resistência e Microestrutura em Concretos Com Substituição Parcial de Cimento Por Microssílica da Cinza de Casca de Arroz.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijui, 2011. Disponivel em:< http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wpcontent/uploads/tccs/2011/TCC_Tamile_Antunes_Kelm.pdf>. Acesso 20 mar.2013

MARIANO, Leila Seleme. **Gerenciamento de resíduos da construção civil com reaproveitamento estrutural: estudo de caso de uma obra com 4.000m² Curitiba.** 2008. 114p. dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade federal do Paraná, Curitiba, 2008. Disponível em: < http://www.ppgerha.ufpr.br/publicacoes/dissertacoes/files/147-Leila_Seleme_Mariano.pdf>. Acesso em 26 out. 2013.

OLIVEIRA, D.F. et al. Durabilidade de Compósitos de Concreto de Cimento Portland Produzidos com Agregados Reciclados da Construção Civil / **Revista Eletronica de Materiais e Processos**, Campina Grande, v1, n2, p.30-36, out. 2006. Disponivel em:< http://dema.ufcg.edu.br/revista/index.php/REMAP/article/viewFile/15/53>. Acesso em 18 mar. 2013.

REZENDE, L.; LEVY, S. M.; DJANIKIAN, J. G. (1996). Tratamento e Disposição de Concreto Residual em Centrais Dosadoras. IN: Reunião do Ibracon, 38, Ribeirão Preto, 1996. Anais, São Paulo, Ibracon, 1996, v.2, p. 499-506.

SERNA, Humberto Almeida de La, REZENDE, Márcio Marques. Agregados Para a Construção Civil. **Anepac- Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados Para a Construção Civil.** [Sl,2009], p. 602-635. Disponível em:< http://anepac.org.br/wp/wp-content/uploads/2011/07/DNPM2009.pdf> acesso em 10 abr. 2013.

SOKOLOVICZ, Boris Casanova. **Microestrutura e Durabilidade A Cloretos de Protótipos de Concreto Com Cinza de Casca de Arroz Com e Sem Moagem Previa.** 2013. 152p. dissertação (Mestrado em Engenharia) – Centro de Tecnologia – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2013.

Links:

Imagem britador de mandíbula

http://reducaosolidos.tripod.com/mandibulas.htm

Acesso em 19 novembro de 2013 as 21:42 hrs.

Imagem britador cônico

http://www.hmtcomercial.com.br/hmtnovo/index2.php?page=shop.product_details&product_id=3388&flypage=flypage.tpl&pop=1&option=com_virtuemart&Itemid=350

Acesso em 19 novembro de 2013 as 22:35 hrs.

Imagem unidade recicladora de concreto fresco

http://www.schwingstetter.com.br/?pag=detalhes&sec=7&prod=42

Acesso em 19 novembro de 2013 as 19:20 hrs

ANEXO A: