



Ministério da Educação
Universidade Federal da Integração Latino-Americana
Instituto Latino-Americano de Tecnologia,
Infraestrutura e Território

Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura
Engenharia Civil de Infraestrutura

UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONCRETO NA FABRICAÇÃO DE TUBOS DE CONCRETO

FERNANDO SOUZA DAVIES

Foz do Iguaçu, PR
Dezembro de 2016



Ministério da Educação
Universidade Federal da Integração Latino-Americana
Instituto Latino-Americano de Tecnologia,
Infraestrutura e Território

Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura
Engenharia Civil de Infraestrutura

UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONCRETO NA FABRICAÇÃO DE TUBOS DE CONCRETO

FERNANDO SOUZA DAVIES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Banca Examinadora do Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da UNILA, como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof^o. Dra^o. Ana Carolina Parapinski dos Santos

Foz do Iguaçu, PR
Dezembro de 2016



ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ao(s) dia(s) 13 do mês de DEZEMBRO do ano de 2016 realizou-se a apresentação pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso, intitulado UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONCRETO NA FABRICAÇÃO DE TUBOS DE CONCRETO apresentado pelo discente FERNANDO SOUZA DAVIES, do curso ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURAS. Os trabalhos foram iniciados às 9 h 00, pelo(a) docente orientador(a) ANA CAROLINA PARAPINSKI DOS SANTOS presidente da banca examinadora, juntamente com o(a) docente AREF KZAM, e o(a) docente RODRIGO DE NEVO LAMEIRAS.

Observações da Banca Examinadora:

- PEQUENAS CORREÇÕES NO TEXTO
- INCLUSÃO DE UMA SEÇÃO ESCLARECENDO O RESÍDUO
- ESCLARECIMENTO DOS TIPOS DE RESÍDUO DE CONCRETO
- INCLUIR DESVIO PADRÃO NO GRÁFICO

A Banca Examinadora, ao término da apresentação oral e da arguição do acadêmico, encerrou os trabalhos às 10 h 05. Os examinadores atribuíram as seguintes notas:

| | | | |
|---------------|-------------|--------------|----------------------------|
| orientador(a) | nota final: | <u>10,00</u> | Média final: <u>9,3</u> |
| docente | nota final: | <u>9,00</u> | |
| docente | nota final: | <u>9,00</u> | |

Proclamado o resultado pelo presidente da banca examinadora, encerraram-se os trabalhos e, para constar, eu ANA CAROLINA PARAPINSKI DOS SANTOS lavrei a presente Ata que assino juntamente com os demais membros da banca.

Foz do Iguaçu, 13 de DEZEMBRO de 2016.

Assinaturas: Ana Carolina P. Santos

Rodrigo Lameiras



Universidade Federal da Integração Latino-Americana

ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA
FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO – BANCA FINAL TCCII – 2º Semestre/ 2016

DATA: 13/12/2016 HORÁRIO: 9:00 hrs

TEMA: UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONCRETO NA FABRICAÇÃO DE TUBOS DE CONCRETO

ASSINATURAS:

| | |
|--|-------------------------|
| ALUNO: <u>FERNANDO SOUZA DAVIES</u> | <u>Fernando Davies</u> |
| ORIENTADOR: <u>ANA CAROLINA P. DOS SANTOS</u> | <u>[Signature]</u> |
| EXAMINADOR INTERNO 01: <u>AREF KZAM</u> | <u>[Signature]</u> |
| EXAMINADOR 02: <u>RODRIGO DE MELO LAMEIRAS</u> | <u>Rodrigo Lameiras</u> |

OBSERVAÇÕES:

- REVISAR A FORMA DAS BIBLIOGRAFIAS → "APUD"
- MELHORAR A FORMA DE APRESENTAÇÃO DAS FIGURAS
- PEQUENAS CORREÇÕES NO TEXTO

CONSIDERAÇÕES FINAIS:

BANCA FINAL DE TCC:

Aprovado Reprovado ()

NOTA: 9,3

DEDICATÓRIA

À minha família, amigos e professores.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Aldir e Adira, meus tios Adelar e Érika, Irmãos Fábio e Felipe, Nonna Inês, minha amada Vanessa e toda a família pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

A minha orientadora Ana Carolina Parapinski dos Santos, pelo suporte, correções e incentivos.

A esta universidade por tudo que aprendi.

Aos professores que me ajudaram ao longo do curso.

Aos meus colegas Aclésio, Adriano, Jakson, Luis, Natanael e Adelar por tudo que aprendi no estágio e pela ajuda nas atividades desenvolvidas nesse trabalho de conclusão de curso.

A todos os meus amigos do Intercâmbio na Itália, especialmente o Bruno, Pedro, Wellington, Yuri.

Aos engenheiros e professores da Università di Pisa, especialmente o Diego Lo Presti, Tommasso, Maria Ceccine e Antonio Pratelli.

Ao Dário e Sr. Antônio Trenta da via Liguria 25.

A todos meus amigos da faculdade.

A todos os colegas e alunos do cursinho ingressa.

Ao Laboratório de Concreto de Itaipu e todos que me ajudaram nos ensaios.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Resistência à compressão em função da relação água/cimento (OLIVEIRA, 2004)... | 17 |
| Figura 2: Concreto seco | 17 |
| Figura 3: Moldagem dos corpos de prova com molde tripartido (FRASSON, 2000). | 19 |
| Figura 4: Equipamento para compactação de corpos de prova (OLIVEIRA, 2004)..... | 19 |
| Figura 5: Corpo de prova de concreto seco..... | 20 |
| Figura 6: Tubos de concreto simples e do tipo de encaixe macho e fêmea. | 21 |
| Figura 7: Métodos de ensaio de tubos, de três cutelos (a), de dois cutelos (b), colchão de areia (c) e o de Minnesota (d) (ZAIDLER, 1983 apud CHAMA NETO, 2002) | 22 |
| Figura 8: (a) Fôrma interna, (b) fôrma externa..... | 22 |
| Figura 9: Agregado reciclado de peças pré-moldadas de concreto. | 26 |
| Figura 10: Sequência de atividades realizadas no desenvolvimento da pesquisa. | 28 |
| Figura 11: Conjunto de peneiras maiores (a) e o conjunto de peneiras menores (b). | 30 |
| Figura 12: Haste de compactação e tronco de cone..... | 31 |
| Figura 13: Jerica usada na dosagem..... | 32 |
| Figura 14: Caçamba móvel para transportar o material (a). Betoneira (b). Moldagem de um tubo de concreto macho e fêmea (c). | 33 |
| Figura 15: Compactação do corpo de prova na mesa vibratória. | 35 |
| Figura 16: Arrasamento de corpos de prova..... | 35 |
| Figura 17: Corpos de prova após desmoldagem (a). Corpos de prova em cura (b)..... | 36 |
| Figura 18: Ensaio de compressão axial (a). Ensaio de módulo de elasticidade (b)..... | 38 |
| Figura 19: Ensaio de compressão diametral..... | 39 |
| Figura 20: Ensaio de compressão diametral em tubo de concreto. | 39 |
| Figura 21: Extratora de testemunhos (a). Testemunhos recém cortados (b). | 40 |
| Figura 22: Curva granulométrica dos agregados. | 43 |
| Figura 23: Resultados das moldagens dos corpos de prova com diferentes meios de compactação..... | 45 |
| Figura 24: Resistência à compressão axial dos corpos de prova. | 46 |
| Figura 25: Resistência à compressão diametral dos corpos de prova. | 48 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Resistência necessária a tubos de concreto | 23 |
| Tabela 2: Massa mínima da amostra | 29 |
| Tabela 3: Dimensões das peneiras..... | 29 |
| Tabela 4: Traços que foram utilizados na fabricação dos tubos e corpos de prova..... | 32 |
| Tabela 5: Quantidade de corpos de prova que foram moldados | 35 |
| Tabela 6: Granulometria dos agregados..... | 42 |
| Tabela 7: Massas específicas dos agregados. | 43 |
| Tabela 8: Absorção dos agregados. | 44 |
| Tabela 9: Resultados de resistência à compressão das moldagens com diferentes meios de compactação..... | 44 |
| Tabela 10: Resultados de resistência à compressão axial dos corpos de prova com agregados convencionais..... | 45 |
| Tabela 11: Resultados de resistência à compressão axial dos corpos de prova com agregados reciclados. | 46 |
| Tabela 12: Compressão diametral dos corpos de prova com agregados convencionais..... | 47 |
| Tabela 13: Compressão diametral dos corpos de prova com agregados reciclados. | 47 |
| Tabela 14: Módulos de elasticidade dos corpos de prova..... | 48 |
| Tabela 15: Resultados da compressão diametral dos tubos. | 49 |
| Tabela 16: Resultados da compressão axial dos testemunhos..... | 49 |
| Tabela 17: Massa específica dos corpos de prova e testemunhos. | 50 |

RESUMO

A utilização de agregado reciclado de concreto na fabricação de peças pré-moldadas de concreto reduz custos de fabricação e oferece um destino apropriado aos resíduos. Para viabilizar esta reutilização do concreto como resíduo, as novas peças de concreto devem atingir valores de resistências apropriadas à utilização. A adição de agregado reciclado no traço do concreto pode modificá-lo, sendo necessário reavaliar a resistência das peças. Neste trabalho será realizado um estudo de comparação do concreto com e sem agregado reciclado, analisando sua resistência através de testes de laboratório em corpos de prova, testemunhos e tubos. A primeira etapa da metodologia consiste no estudo da granulometria do material reciclado para definir as dimensões dos corpos de prova. A moldagem do corpo de prova de concreto seco será feita simulando as condições da concretagem das peças pré-moldadas, pois as condições de compactação influenciam diretamente na resistência final do concreto. A concretagem foi executada em uma empresa que já utiliza o agregado reciclado em tubos de grandes dimensões. O rompimento das peças e os ensaios em testemunhos e corpos de prova foram realizados em prensa mecânica no Laboratório de Tecnologia do Concreto de Itaipu. Também foram analisados ensaios de rompimento por compressão axial e diametral, módulo de elasticidade para corpos de prova, compressão axial para testemunhos e compressão diametral para tubos. O concreto feito com agregado reciclado apresenta resistência ligeiramente inferior a dos concretos com agregado natural, entretanto a resistência é adequada para a utilização em peças pré-moldadas de concreto.

Palavras-chave: Agregado reciclado. Concreto seco. Pré-moldados. Tubos de concreto.

ABSTRACT

The use of recycled concrete aggregate in the manufacture of precast concrete parts reduces manufacturing costs and provides a correct destination for the waste. To make possible the reuse of concrete as waste, the new concrete parts must achieve adequate resistance values. The addition of recycled aggregate in the concrete mix should change it, and it is necessary to evaluate the resistance of the parts. It will be held this work to concrete comparison with and without recycled aggregate, analyzing their resistances through laboratory tests on specimens, cast cylinders and pipes. The first step on the methodology is the study of the particle size of the recycled material to define the dimensions of the test specimens. The molding of the dry concrete specimen needs to be done simulating the concrete conditions of the precast parts, the compression conditions directly influence on the final resistance of the concrete. The concreting was held at a company that already use recycled aggregate in large pipes and the breakdown of parts; the tests on specimens and cast cylinders were made on mechanical press at Itaipu's Concrete Technology Laboratory. Splitting tensile strength, compressive strength and modulus of elasticity were carried out in cast specimens and diametrical compressions were carried out for pipes. The concrete made by recycled aggregate showed inferior strength than the concrete made with natural aggregate, but the result was sufficient for use in pre-cast concrete parts.

Keywords: Recycled aggregate. Dry concrete. Precast. Concrete pipes.

SUMÁRIO

| | |
|--|------|
| LISTA DE FIGURAS | vii |
| LISTA DE TABELAS | viii |
| RESUMO | ix |
| ABSTRACT | x |
| 1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA | 13 |
| 2. OBJETIVOS | 15 |
| 2.1. OBJETIVO GERAL | 15 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 15 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 16 |
| 3.1. CONCRETO | 16 |
| 3.2. CONCRETO SECO | 16 |
| 3.3. MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA DE CONCRETO SECO | 18 |
| 3.4. TUBOS DE CONCRETO | 20 |
| 3.5. UTILIZAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO EM CONCRETO NÃO ESTRUTURAL | 24 |
| 4. METODOLOGIA | 28 |
| 4.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 28 |
| 4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS | 28 |
| 4.2.1. COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA | 29 |
| 4.2.2. MASSA ESPECÍFICA | 30 |
| 4.2.3. ABSORÇÃO DO AGREGADO MIÚDO | 31 |
| 4.2.4. ABSORÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO | 32 |
| 4.3. DEFINIÇÃO DO TRAÇO | 32 |
| 4.4. CONCRETAGEM DAS PEÇAS | 33 |
| 4.5. ESTUDO DO MÉTODO DE COMPACTAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA | 33 |
| 4.6. MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA | 34 |
| 4.7. DESMOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA | 36 |
| 4.8. ENSAIOS NOS CORPOS DE PROVA | 36 |
| 4.8.1. COMPRESSÃO AXIAL | 36 |
| 4.8.2. MÓDULO DE ELASTICIDADE | 37 |
| 4.8.3. COMPRESSÃO DIAMETRAL | 38 |
| 4.9. ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAMETRAL NOS TUBOS | 39 |
| 4.10. EXTRAÇÃO DE TESTEMUNHOS | 39 |

| | | |
|--------|---|----|
| 4.11. | ENSAIOS EM TESTEMUNHOS | 40 |
| 4.12. | MASSA ESPECÍFICA DOS CORPOS DE PROVA E TESTEMUNHOS..... | 41 |
| 5. | RESULTADOS | 42 |
| 5.1. | CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS..... | 42 |
| 5.1.1. | GRANULOMETRIA; | 42 |
| 5.1.2. | MASSA ESPECÍFICA | 43 |
| 5.1.3. | ABSORÇÃO | 44 |
| 5.2. | MÉTODO DE COMPACTAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA | 44 |
| 5.3. | RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL | 45 |
| 5.4. | RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DIAMETRAL | 47 |
| 5.5. | MÓDULO DE ELASTICIDADE..... | 48 |
| 5.6. | ROMPIMENTO DOS TUBOS..... | 49 |
| 5.7. | TESTEMUNHOS | 49 |
| 5.8. | MASSA ESPECÍFICA DOS CORPOS DE PROVA E TESTEMUNHOS..... | 49 |
| 6. | CONCLUSÕES..... | 51 |
| 7. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 52 |

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Muitos problemas ambientais são provenientes de resíduos da construção civil depositados na natureza, alguns desses problemas podem ser evitados com a reutilização desses resíduos como agregados para concreto. Nesses resíduos existem vários materiais, o que dificulta a utilização, porém se classificados podem ter aplicações até em funções estruturais, principalmente os agregados provenientes de pavimentação, construção, demolição de peças pré-moldadas de concreto e reparos de edificações que são classificados como classe A (ABNT, 2004).

Conforme Pinto e Gonzáles (2005) a reciclagem do resíduo da construção civil Classe A processa por trituração e peneiração os resíduos de concreto, alvenaria, argamassas e outros, para produzir os agregados reciclados. Os resíduos da construção civil podem ter origem em obras de pequenas, grandes e demolições de estruturas, gerando uma grande quantidade de material, que pode ser utilizado na própria obra ou comercializado para diversos fins. Os usos mais comuns são a aplicação na pavimentação de estradas e reutilização em concreto.

O uso de resíduos como agregados na indústria dos pré-moldados é frequente. As peças que quebram, ou que por um traço inadequado se desmancham, são logo trituradas, processadas e reutilizadas na fabricação de novas peças, diminuindo as perdas e oferecendo um destino ecologicamente correto aos resíduos, entretanto, é importante verificar se as resistências das peças pré-moldadas, produzidas com esse material, são compatíveis com as cargas solicitantes das suas utilizações (MONTEIRO, 2001).

As peças pré-moldadas de concreto precisam de um certo controle de resistência, e ao utilizar agregado reciclado no traço do concreto espera-se que sua resistência diminua. Para saber qual a perda de resistência é necessário realizar ensaios de compressão e compressão diametral nos corpos de prova do concreto feito com e sem agregado reciclado. Para realizar os ensaios encontra-se a problemática da moldagem dos corpos de prova, pois é necessário que o corpo de prova tenha compactação representativa da utilizada na peça pré-moldada. Podem ser utilizados diferentes meios de compactação para melhorar o adensamento do concreto, de modo a simular o adensamento dos tubos de concreto, porém, dificilmente será obtida uma compactação perfeita (ABNT, 2003).

Com a dificuldade de ter corpos de prova com as mesmas resistências das peças pré-moldadas de concreto, extrair os testemunhos torna-se um dado adicional muito importante para verificar a relevância das resistências obtidas nos corpos de prova (ABNT, 2015).

Ao comparar as resistências dos corpos de prova, testemunhos e das peças pré-moldadas, verifica-se se o agregado é ou não adequado à resistência da peça. Caso a resistência seja inferior à exigida por norma, deve-se estabelecer uma porcentagem de agregado reciclado que será adicionado ao traço do concreto tradicional da peça, de modo a atender às limitações impostas pela norma (MARCHIONI, 2012).

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Estudar o efeito da adição de agregados reciclados de peças pré-moldadas em concreto na fabricação de tubos de concreto.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para o desenvolvimento do presente estudo foi necessário cumprir os seguintes objetivos específicos:

- Estudar os procedimentos para a fabricação dos corpos de prova de concreto seco, verificando a influência do procedimento na resistência à compressão;
- Realizar uma campanha experimental de ensaios comparando dosagens com e sem utilização de agregados reciclados;
- Analisar os resultados obtidos experimentalmente e verificar a aplicabilidade do agregado reciclado para a fabricação de tubos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. CONCRETO

O concreto de cimento Portland surgiu no final do século XIX e se tornou o material estrutural da atualidade mais usado e importante do mundo, com isso conseguiu o posto de segundo material mais consumido pelo homem, perde somente pra água (HELENE; TIBÉRIO, 2007).

O concreto é muito utilizado na construção por ser moldável na forma necessária e de menor custo que outros materiais disponíveis. Sua resistência à compressão proporciona seu uso em funções estruturais (ALVES, 2000).

Na composição do concreto, a relação água/cimento é importante para avaliar a resistência, pois uma maior demanda de água para se obter a trabalhabilidade desejada nos concretos, resulta em perda de resistência, por causa do aumento da porosidade (TRIGO, 2008).

3.2. CONCRETO SECO

O concreto seco contém pouca umidade, e a água desempenha a função prioritária participando das reações de hidratação do cimento. Essa relação deve ser controlada com rigor, para garantir uma desmoldagem rápida da peça e não diminuir sua resistência. No concreto plástico a pasta ocupa os espaços vazios deixados pelos agregados, diferentemente do concreto seco que tem uma grande presença de ar pela baixa quantidade de água (TANGO, 1994).

Os concretos secos são caracterizados pelo alto consumo de cimento, em torno de 350 kg/m³ e baixa quantidade de finos em relação a concretos plásticos. O teor de cimento está relacionado à compactação das peças. Aquelas que são mais compactadas necessitam de uma quantidade inferior de cimento (HÜSKEN, 2007 apud MARCHIONI, 2012).

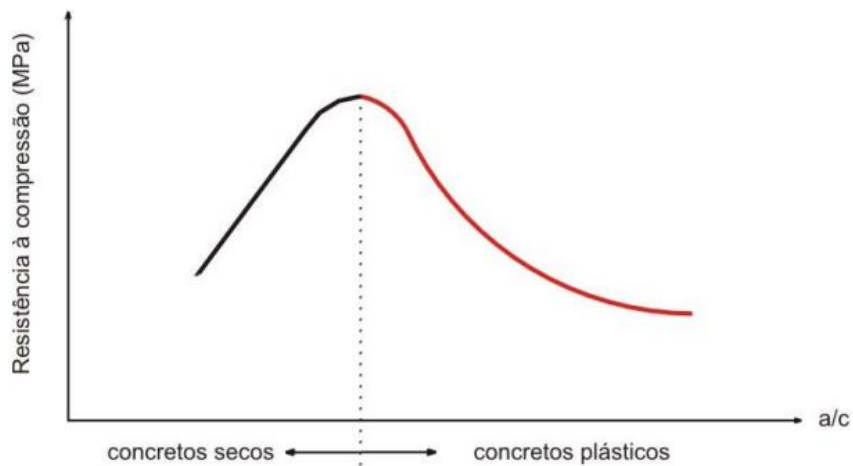
A trabalhabilidade do concreto seco, propriedade que determina o esforço mínimo para manipular certa quantidade de concreto, depende da umidade, do formato e da textura dos agregados, além do empacotamento das partículas. Já a coesão está relacionada à resistência dos agregados, à segregação e à exsudação (MEHTA, MONTEIRO, 1994).

Para os concretos secos existem metodologias de dosagem propostas para o alcance de resistências características. Geralmente os traços não satisfazem as

resistências estabelecidas, sendo necessários ajustes grosseiros no traço durante a betonagem (FRASSON, 2000).

As propriedades mecânicas dos concretos secos geralmente não condizem com as do concreto plástico. As reduções na relação água/cimento não melhoram a resistência à compressão e a baixa quantidade afeta a porosidade das peças. Busca-se a relação água/cimento ideal para um traço fixo, que varia somente a quantidade de água adicionada (OLIVEIRA, 2004). A Figura 1 apresenta resistência à compressão em função da relação água/cimento.

Figura 1: Resistência à compressão em função da relação água/cimento (OLIVEIRA, 2004).



Para concreto seco, a coesão apresenta valores baixos por causa da insuficiente quantidade de água para hidratar o cimento. A baixa coesão pode fazer com que a peça quebre durante a moldagem, por isso é adequado aumentar o teor de finos para aumentar a coesão. Outra mudança no concreto seco para aumentar a coesão pode ser a utilização de aditivos (DOWNSON, 1980 apud MARCHIONI, 2012). Na Figura 2 observa-se concreto seco, que tem baixa quantidade de água e baixa trabalhabilidade.

Figura 2: Concreto seco



De acordo com NBR NM 248 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2003) é essencial conhecer a curva granulométrica dos agregados para estabelecer um traço de concreto seco. E para gerar essa curva granulométrica, geralmente se usa o peneiramento. Determina-se a distribuição granulométrica dos agregados utilizando uma série de peneiras, uma colocada sobre a outra em ordem decrescente de tamanhos. Após o peneiramento se calcula a porcentagem do agregado retido em cada peneira e com isso se tem as dimensões dos agregados.

Além da curva granulométrica dos agregados é necessário conhecer a massa específica dos agregados, que é a relação entre a massa seca do agregado e seu volume, sem contar os poros permeáveis. Estes dados são usados nas dosagens de concreto (ABNT, 2009).

Após gerar a curva granulométrica, os agregados são classificados como grãos, quando os grãos passam pela peneira de abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira de abertura de malha 4,75mm e miúdos quando passam na peneira de abertura de malha 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm (ABNT, 2009).

Tango (1994) apresentou um roteiro para dosagem de concreto seco. Onde primeiramente se ajusta a proporção dos agregados e se estabelece a resistência desejada. Estima-se três traços, um rico, um médio e um pobre para diferentes teores de agregado/cimento e opta-se por aquele traço que apresente uma boa trabalhabilidade no estado fresco. A quantidade de água é a maior possível sem chegar ao ponto de haver aderência entre fôrma e concreto (MARCHIONI, 2012).

3.3. MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA DE CONCRETO SECO

Os concretos de consistência seca exigem um processo de adensamento enérgico para sua moldagem, com o objetivo de eliminar o ar aprisionado e, conseqüentemente, reduzir o valor do índice de absorção de água (CHAMA NETO 2004). Para ter um corpo de prova de concreto seco é necessário moldá-lo nas mesmas condições de fábrica para ter uma resistência representativa da peça de concreto produzida com uma vibroprensa (MARCHIONI, 2012).

De acordo com a American Society for Testing Materials (ASTM, 2003), a moldagem de corpos de concreto seco pode ser realizada utilizando a vibração, o processo deve ser realizado por camadas e a duração de cada vibração é determinada visualmente, o processo ocorre até parar de sair grandes bolhas de ar do concreto, atingindo a consolidação desejada.

Frasson (2000) utilizou um molde tripartido 50x130 mm para a moldagem dos corpos de prova de concreto seco. O molde de 130 mm de altura facilitou a moldagem, pois o concreto seco apresenta um volume mais expressivo no estado solto e pode ser desmoldado logo após a compactação.

A compactação foi realizada por camadas, composta por quatro camadas equivalentes no corpo de prova. Para cada camada colocada dentro do molde, foram aplicados vinte golpes utilizando um soquete compactador. A força aplicada nos golpes foi uniformemente distribuída em todas as camadas (FRASSON, 2000).

A Figura 3 apresenta o equipamento utilizado por Frasson.

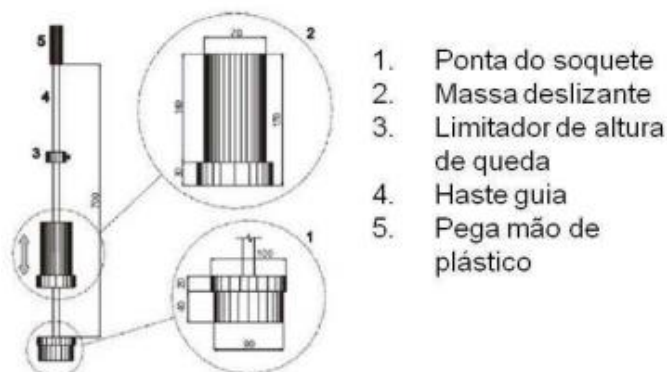
Figura 3: Moldagem dos corpos de prova com molde tripartido (FRASSON, 2000).



A moldagem dos corpos de prova deste trabalho seguiu o procedimento de Frasson, alterando apenas as dimensões do molde, foi utilizado molde de 100x200 mm.

Oliveira (2004) desenvolveu equipamento para moldar corpos de prova de concreto seco, que utiliza um soquete de massa deslizante de 5,8kg e queda útil de 53 cm, excluindo uma possível interferência do operador na compactação dos corpos de prova. A Figura 4 apresenta o equipamento utilizado por Oliveira.

Figura 4: Equipamento para compactação de corpos de prova (OLIVEIRA, 2004).



Na Figura 5 observa-se um corpo de prova de concreto seco recém moldado e desmoldado, o mesmo não apresenta abatimento e por isso a norma de moldagem de corpos de prova de concreto convencional não se aplica, sendo necessário então buscar formas de adensamento para que apresente compactação igual ou semelhante a da peça pré-moldada.

Figura 5: Corpo de prova de concreto seco



Os corpos de prova para concreto seco são moldados com um adensamento feito por meio da utilização de um núcleo vibratório e posteriormente são desmoldados e colocados em cura (TRENTIN, 2014). A resistência à compressão dos corpos de prova é determinada através de ensaios em laboratório do rompimento por compressão em uma prensa mecânica e posteriormente se faz uma avaliação estatística de desempenho do ensaio (ABNT, 2007).

3.4. TUBOS DE CONCRETO

Os tubos de concreto foram desenvolvidos para atender sistemas de esgotos sanitários. Atualmente também são utilizados no sistema de drenagem urbana, em obras destinadas ao controle das águas pluviais excessivas devido à urbanização não planejada (GEBARA, 2004 apud QUEIRÓZ, 2012).

A fabricação dos tubos de concreto inicia-se com a seleção dos materiais utilizados no concreto e a dosagem para determinação das quantidades dos materiais que irão compor o traço. O concreto é levado à fôrma por meio de esteiras rolantes, com ponte rolante ou manualmente com pás. A definição do traço depende da consistência e trabalhabilidade desejada, os tubos precisam de consistência seca, na qual a forma de adensamento interfere nas propriedades requeridas do concreto. O concreto seco utilizado

na produção dos tubos exige um processo de adensamento energético para a sua moldagem. Esse processo aumenta a compactação do concreto, permitindo uma característica fundamental da indústria de pré-moldados, que é a grande produção proporcionada pela desmoldagem rápida das peças (CHAMA NETO, 2004).

De acordo com a NBR 8890, item 4, o traço do concreto utilizado para fabricação de tubos de concreto deve ter relação água/cimento, em litros de água por quilograma de cimento, de no máximo de 0,50 para tubos destinados a águas pluviais e 0,45 para tubos destinados a esgotos sanitários. Os agregados devem ter sua dimensão máxima característica limitada ao menor valor entre um terço da espessura da parede do tubo.

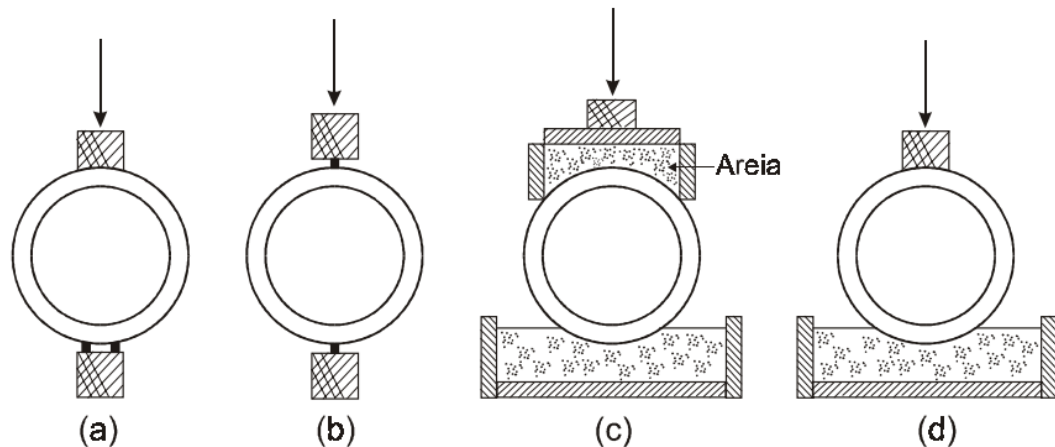
Os tubos de concreto são usados para o transporte de água pluvial e de esgoto, são fabricados em vários diâmetros e geralmente com 1 metro de comprimento. São armados ou simples e podem ser de dois tipos de encaixe, ponta e bolsa ou macho e fêmea (ABNT, 2008). A Figura 6 mostra dois tubos de concreto, ambos simples e do tipo de encaixe macho e fêmea.

Figura 6: Tubos de concreto simples e do tipo de encaixe macho e fêmea.



Existem vários métodos de ensaio destinados à determinação da resistência à compressão diametral de um tubo, os mais conhecidos são: o de três cutelos, o de dois cutelos, o do colchão de areia e o de Minnesota. O método que apresenta maior facilidade em ser executado e é o mais utilizado no Brasil é o de três cutelos, entretanto o que consegue simular com proximidade as condições reais de uso é o ensaio do colchão de areia, pois tem uma distribuição mais realista das cargas (CHAMA NETO, 2002). Na Figura 7 apresentam-se os principais métodos de ensaios em tubos de concreto.

Figura 7: Métodos de ensaio de tubos, de três cutelos (a), de dois cutelos (b), colchão de areia (c) e o de Minnesota (d) (ZAILLER, 1983 apud CHAMA NETO, 2002)



O concreto utilizado para a fabricação de tubos tem consistência seca, isso proporciona a possibilidade de retirar o tubo da forma logo após a fabricação. A fôrma é composta por uma parte interna, outra externa e o anel de fechamento, que serve para fazer o encaixe do tubo. A fôrma interna é o núcleo vibratório e a fôrma externa é uma chapa circular desmontável de aço, com a forma do tubo. Terminado o processo de montagem o tubo é desmoldado e levado para curar em uma superfície plana para não se deformar (GUIMARÃES; RECENA; PEREIRA, 2007 apud QUEIROZ, 2012). A Figura 8 mostra as fôrmas, interna e externa, que são utilizadas na produção de tubos de concreto.

Figura 8: (a) Fôrma interna, (b) fôrma externa.



(a)



(b)

A compactação do concreto na produção dos tubos pode ser realizada com vibração simples, vibração com prensagem e centrifugação radial. O procedimento de prensagem simples é utilizado para a fabricação de tubos de diâmetros menores, geralmente menos de 400 mm, sem armadura. No processo de vibração, os vibradores podem ser colocados na fôrma externa, na fôrma interna ou base vibratória. No adensamento por centrifugação radial, o núcleo interno se move em um eixo com uma excentricidade, e esse processo comprime o concreto contra a fôrma externa (FUGII, 2008).

De acordo com a NBR 8890, os tubos de concreto devem obedecer às classes de resistência à compressão diametral em KN/m estabelecidas na Tabela 1, conforme sejam simples ou armados e de acordo com o diâmetro do tubo.

Tabela 1: Resistência necessária a tubos de concreto

| Diâmetro do tubo (cm) | Carga mínima kN/m | | | |
|-----------------------|-------------------|------------|------------|------------|
| | Água pluvial | | Esgoto | |
| | Simple PS1 | Armado CA1 | Simple ES1 | Armado CE2 |
| 20 | 16 | - | 36 | - |
| 30 | 16 | 18 | 36 | 27 |
| 40 | 16 | 24 | 36 | 36 |
| 50 | 20 | 30 | 45 | 45 |
| 60 | 24 | 36 | 54 | 54 |
| 80 | 32 | 48 | 72 | 72 |

Fonte: Adaptado de ABNT, 2008.

Tubos de concreto simples e tubos de concreto armado com baixas taxas de armadura apresentam a carga de fissuração corresponde à carga última da tubulação, apresentando ruptura frágil (HAKTANIR et. al, 2006 apud TRENTIN, 2014).

Os tubos fabricados com a reutilização de resíduos em misturas à base de cimento contribuem para a reciclagem de resíduos prejudiciais ao meio ambiente. No caso da adição de borracha de pneu ao concreto, pode-se melhorar o desempenho com relação ao comportamento frágil que os concretos em geral apresentam. A adição de borracha ao concreto diminui a resistência mecânica à compressão, entretanto aumenta a capacidade de deformação, reduzindo assim o nível de fissuras no tubo (FAZZAN, 2011 apud QUEIROZ, 2012).

Queiroz (2012) utilizou resíduos de borracha de pneu em tubos de concreto e que implicou em uma menor trabalhabilidade, entretanto não dificultou a moldagem das peças. A utilização de resíduos de borracha não funcionou como fibras na resistência à tração do

concreto e verificou-se que quanto mais resíduos foram adicionados, menor foi a resistência do concreto.

3.5. UTILIZAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO EM CONCRETO NÃO ESTRUTURAL

Agregados reciclados são provenientes da britagem de resíduos de concreto e quando reutilizados formam o concreto reciclado, podendo existir alguma fração de agregados naturais. Os agregados reciclados já vêm sendo reutilizados em obras civis desde o Império Romano. Em 1860 foram utilizadas sobras de blocos de concreto na produção de artefatos de concreto na Alemanha. Entretanto, somente a partir de 1928 começaram as pesquisas para avaliar o efeito do consumo de cimento, da quantidade de água e da granulometria dos agregados e da resistência do concreto reciclado (LEVY, 1997 apud CARVALHO PORTO; SILVA 2008).

As propriedades mecânicas de um concreto convencional, avaliadas e comparadas com um concreto reciclado, foram estudadas em trabalhos desenvolvidos por Yannas (1977). O concreto reciclado apresenta um comportamento mecânico mais parecido com o concreto convencional quando os agregados reciclados possuem maior parte de grãos do que de finos (LATTERZA, 1998).

As pesquisas sobre a resistência de concreto feito a partir de agregados reciclados começaram a se aprofundar com Hansen e Narud (1983). Yoda et al. (1988), apresentaram trabalhos sobre o tema no Simpósio Internacional sobre Demolição e Reuso de Concreto e Alvenaria, em Tokyo, Japão. O assunto começou a ser pesquisado no Brasil na mesma época com Pinto (1986). Posteriormente Levy e Helene (1995 e 1996) apresentaram trabalhos sobre a reciclagem de entulho na produção de argamassas (ZORDAN, 1997).

Os agregados reciclados possuem uma porcentagem de 40 a 50% do seu volume de argamassa, podendo causar um mau desempenho do concreto produzido com a reutilização do agregado reciclado (CABRAL, 2007). No caso de agregados grãos, a sua utilização apresenta resultados satisfatórios, o fator água cimento apresenta valor bastante baixo, resultando um concreto com características mais densas, entretanto a sua utilização apresenta deficiência referente à resistência à compressão, a abrasão e a permeabilidade (SCOTT HOOD, 2006).

O processo da determinação da resistência à compressão em concretos com agregados reciclados pode ser realizado através da aplicação e medição de forças em corpos de prova e artefatos de concreto, avaliando como os mesmos estão se comportando diante do carregamento. Comparando as resistências entre concreto

reciclado e convencional, pode-se dizer que o concreto reciclado tem valores inferiores aos do que é estabelecido para o concreto convencional (CARRIJO, 2005).

A abrasão dos materiais é a capacidade do agregado em se fragmentar quando colocado em contato com outro material. Os agregados reciclados apresentam resistência menor ao desgaste por abrasão quando comparado aos convencionais (LEITE, 2001). A abrasão em agregados reciclados chega a ser o triplo em relação a agregados naturais, (TENORIO, 2007).

Os resíduos de concreto podem ser utilizados para diversos fins de reutilização, após serem britados e peneirados encontram-se aplicações como enchimentos em geral, sub-base ou base para construção rodoviária, e agregados para novos concretos (HANSEN, 1992 apud CARVALHO PORTO; SILVA, 2008).

Na construção civil são gerados resíduos constantemente, e se não reutilizados são depositados na natureza. A reutilização de resíduos pode ser feita em concretos sem funções estruturais. No Brasil se produz, aproximadamente, 300 kg/m² de resíduos da construção e demolição, 3 vezes mais do que a média produzida em outros países, sendo assim importante e necessária a reutilização desses resíduos para reduzir custos e não depositá-los na natureza (MONTEIRO, 2001).

Os resíduos de concreto se apresentam em forma sólida, com características físicas variadas, podendo apresentar-se em dimensões e geometrias já conhecidas ou em formatos e dimensões irregulares, geralmente necessitando do processo de britagem (ZORDAN, 1997).

Os resíduos de processo de preparo e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto são classificados na classe A dos agregados recicláveis. Em concreto sem função estrutural, admite-se utilizar agregado reciclado classe A, substituindo parcial ou totalmente os agregados convencionais (ABNT, 2009).

Os principais geradores de resíduos de concreto são: as fábricas de pré-moldados, usinas de concreto, demolições de construções e de pavimentos rodoviários de concreto. É possível utilizar os resíduos de concreto como agregado reciclado para produção de concreto, entretanto eles possuem algumas diferenças entre suas propriedades e a dos agregados naturais, principalmente relacionadas à argamassa do concreto original aderida à superfície dos mesmos. Esta camada de argamassa influencia nas propriedades do agregado e nas do concreto feito com ele, seja no estado fresco ou endurecido (GONÇALVES, 2001).

A Figura 9 apresenta o agregado reciclado de concreto, classe A, que será utilizado neste trabalho para a fabricação de tubos de concreto.

Figura 9: Agregado reciclado de peças pré-moldadas de concreto.



O agregado reciclado é obtido com uma melhor qualidade quando se faz um processo seletivo do resíduo dentro do próprio canteiro de obra, separando o material a ser aproveitado do material descartável. Outro modo de se conseguir boa qualidade dos agregados é pelo dismantelamento seletivo, os materiais a serem reciclados são retirados de acordo com o tamanho, processo construtivo e tipo de material (SILVA, 2004).

A reciclagem de resíduos de concreto pode ser realizada por um processo de beneficiamento. Primeiro se faz a coleta, o transporte e a estocagem dos mesmos. Os resíduos são levados à usina de reciclagem, que deve ficar o mais próximo possível das fontes geradoras de resíduos e dos locais de uso (LIMA, 1999).

Uma usina recicladora não deve ficar próxima a áreas residenciais para que o pó e ruído produzidos por ela não atinja cidades, é necessária a implantação de cercas vivas no entorno da usina para conter a poeira e o ruído. Outras medidas de utilização da usina devem acontecer, como utilizar o material reciclado como piso da usina e reduzir a altura de descarga dos materiais para evitar a ascensão da poeira (BRITO FILHO, 1999 apud SILVA, 2004).

Os agregados reciclados possuem uma menor densidade e uma maior absorção de água que os convencionais, pois existe uma quantidade de argamassa do concreto original aderida na superfície dos agregados naturais, cerca de 30% do agregado reciclado é argamassa. A resistência do concreto feito com esse agregado vai depender da resistência do concreto original (GONÇALVES, 2001).

A densidade do agregado reciclado é menor, assim o concreto feito com estes agregados tem menor densidade. A absorção de água para o agregado graúdo reciclado tem aumento em relação ao material natural e assim a utilização desses agregados geram uma grande perda de trabalhabilidade, além disso, o módulo de elasticidade do concreto reciclado diminui em relação ao do concreto natural (HANSEN, 1985 apud GONÇALVES, 2001).

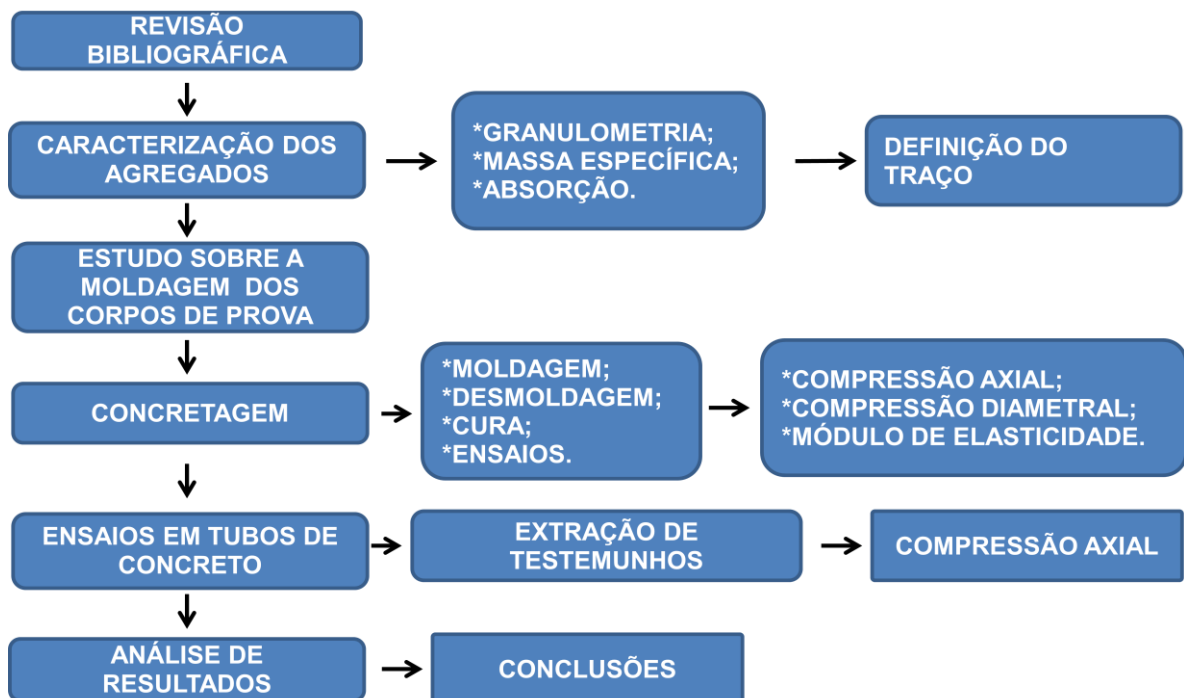
O uso de agregado reciclado é adequado para a produção de concreto não estrutural, porém, é possível usar esse tipo de agregado em dosagens estruturais sem nenhum risco, desde que seja utilizado até 10% de agregado graúdo reciclado, pois algumas das propriedades do concreto não são muito influenciadas. Na fração miúda é recomendado uso de 5% e ainda necessita ser melhor estudada (GONÇALVES, 2001).

Para a utilização de material reciclado em concreto existe uma recomendação internacional, quanto a porcentagem entre agregados reciclados e naturais, recomenda-se que os agregados graúdos sejam pelo menos 80 % naturais (RILEM, 1994).

4. METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada a metodologia a ser adotada para cumprir os objetivos propostos no presente trabalho. Inicialmente serão apresentados os materiais constituintes dos concretos utilizados, bem como suas propriedades determinadas no LTCI (Laboratório de Tecnologia do Concreto de Itaipu). Posteriormente serão apresentados os procedimentos para realização de cada ensaio. Na Figura 10 apresenta-se a sequência das atividades realizadas no desenvolvimento da pesquisa.

Figura 10: Sequência de atividades realizadas no desenvolvimento da pesquisa.



4.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na revisão bibliográfica foram utilizados livros, teses, dissertações e normas técnicas para estabelecer os procedimentos utilizados no decorrer do trabalho.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram utilizados como agregados a brita 1, brita 0, areia de rio lavada e agregado reciclado de concreto classe A. Para a caracterização dos agregados foram realizados os seguintes ensaios:

4.2.1. COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

O ensaio de determinação da composição granulométrica seguiu as diretrizes da NBR - NM 248 (ABNT, 2003). Primeiramente foram separadas as amostras de acordo com o tamanho máximo característico do agregado, conforme se indica na Tabela 2.

Tabela 2: Massa mínima da amostra

| Dimensão máxima do agregado (mm) | Massa mínima da amostra (kg) |
|----------------------------------|------------------------------|
| < 4,75 | 0,3 |
| 9,5 | 1 |
| 12,5 | 2 |
| 19 | 5 |

Fonte: Adaptado de ABNT, 2003.

Foram utilizados como agregados graúdos a brita 1, brita 0 e o agregado reciclado de concreto, sendo necessário ter uma amostra de 5 kg para cada um desses agregados. Para a areia foi necessária uma amostra seca de 0,3 kg (ABNT, 2003).

Após determinar o tamanho das amostras, as mesmas foram secas em estufa, e determinaram-se as massas de cada amostra, para passá-las no conjunto de peneiras. Na Tabela 3 apresentam-se as dimensões das peneiras utilizadas nos ensaios.

Tabela 3: Dimensões das peneiras.

| Série normal (mm) | Série intermediária (mm) |
|-------------------|--------------------------|
| 19 | - |
| - | 12,5 |
| 9,5 | - |
| - | 6,3 |
| 4,8 | - |
| 2,4 | - |
| 1,2 | - |
| 0,6 | - |
| 0,3 | - |
| 0,15 | - |

Fonte: Adaptado de ABNT, 2003.

A Figura 11 apresenta o conjunto de peneiras maiores de 4,8 à 19 mm (a) e o conjunto de peneiras menores de 0,15 a 4,8 mm (b) que foram utilizadas nos ensaios.

Figura 11: Conjunto de peneiras maiores (a) e o conjunto de peneiras menores (b).



(a)



(b)

Como resultado destes ensaios obtém-se as curvas granulométricas de cada agregado.

4.2.2. MASSA ESPECÍFICA

Massa específica é a relação entre a massa do agregado seco em estufa e seu volume, excluindo os poros permeáveis. Para realizar o ensaio de acordo com a NBR – NM 52 (ABNT, 2009), pesa-se a amostra seca, coloca-se em um frasco com volumetria graduada e posteriormente preenche-se o frasco com água até a da marca de 500 ml. Movimenta-se o frasco de forma a eliminar as bolhas de ar. Após 1 h completa-se com água até a marca de 500 ml. Posteriormente o agregado é retirado do frasco, secado em estufa e pesado. O valor da massa específica é dado pela equação 4.1 (ABNT, 2009).

$$\rho = \frac{m}{V - V_a} \quad (4.1)$$

Sendo:

- ρ é a massa específica do agregado seco, em g/cm³;
- m é a massa da amostra seca em estufa, em gramas;
- V é o volume do frasco, em cm³;
- V_a é o volume de água adicionada ao frasco, cm³ (ABNT, 2009).

A amostragem foi obtida pelo método do quarteamento para reduzir de maneira correta o volume da amostra no laboratório (ABNT, 2001).

4.2.3. ABSORÇÃO DO AGREGADO MIÚDO

Absorção é o processo no qual um líquido é conduzido para ocupar os poros permeáveis de um corpo sólido poroso. Para esse ensaio, as amostras dos agregados foram de 1 kg cada, obtidas por quarteamento prévio (ABNT, 2001).

Para realizar o ensaio segundo a NBR - NM 30 (ABNT, 2001), primeiramente coloca-se a amostra para secar em estufa até que a diferença massa (m) seja menor do que 0,1 g, em duas determinações consecutivas. Após secagem a mesma é pesada (m). Posteriormente cobre-se a amostra com água e deixa descansar por 24 h. Passadas 24 h, o agregado é colocado em um molde cônico, e nele aplicado, suavemente em sua superfície, 25 golpes com a haste de compactação, depois levanta-se verticalmente o molde. Se houver umidade superficial, o agregado vai ficar com a forma do molde, caso isso ocorra, será dada continuidade a secagem, até que o cone de agregado desmorone ao ser retirado o molde. Nesse momento o agregado estará na condição de saturado em superfície seca, determina-se então a massa (m_s) (ABNT, 2001). A Figura 12 apresenta o molde de tronco de cone e a haste de compactação utilizada no ensaio.

Figura 12: Haste de compactação e tronco de cone.



A porcentagem de absorção do agregado é calculada de acordo com a Equação 4.2.

$$A = \frac{m_s - m}{m} * 100 \quad (4.2)$$

Sendo:

- A é a absorção de água, em porcentagem;

- m_s é a massa da amostra saturada e em superfície seca, em gramas;
- m é a massa da amostra seca em estufa, em gramas (ABNT, 2001).

4.2.4. ABSORÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO

Para os agregados graúdos se utilizou a mesma equação 4.2 para determinar a porcentagem de absorção da água, entretanto a massa da amostra saturada em superfície seca é medida com um processo diferente quando comparado aos agregados miúdos (ABNT, 2003). Os agregados graúdos são submersos na água por 24 horas, posteriormente retirados, envolvidos em um pano e determina-se a massa dos agregados, sendo essa a massa da amostra saturada em superfície seca (ABNT, 2003).

4.3. DEFINIÇÃO DO TRAÇO

Para o estudo da influência do agregado reciclado se decidiu utilizar um traço já empregado na fábrica Matté Indústria e Comércio de Pré-moldados em Concreto. Este traço é utilizado para a fabricação de tubos de concreto simples macho e fêmea. Na Tabela 4 apresentam-se os traços dos tubos sem agregado reciclado (Tubo 1) e com o agregado reciclado (Tubo 2).

Tabela 4: Traços que foram utilizados na fabricação dos tubos e corpos de prova.

| Traço | Cimento (Sacos 50 kg) | Brita 1 | Brita 0 | Areia | Agregado Reciclado | Água (L) |
|--------|-----------------------|---------|---------|-------|--------------------|----------|
| Tubo 1 | 1 | 3,5 M | 1,5 M | 4 M | - | 20 |
| Tubo 2 | 1 | 1,5 M | 1 M | 3,5 M | 3 M | 20 |

A medida M corresponde ao valor de 37L, e é medida com uma jERICA graduada. Na Figura 13 mostra-se a jERICA utilizada.

Figura 13: Jerica usada na dosagem.



4.4. CONCRETAGEM DAS PEÇAS

O preparo do concreto requer uma qualidade de armazenamento dos materiais, de sua medida e mistura, bem como na verificação do traço. Os componentes do concreto seco devem ser misturados até formar uma massa uniforme. O equipamento de mistura utilizado para este fim, uma betoneira industrial CSM de 600 L, com tempo mínimo de mistura de 60 s, sendo que o tempo mínimo de mistura pode ser diminuído somente mediante comprovação da uniformidade (ABNT, 1996).

Para a concretagem dos tubos, primeiramente são colocados os agregados graúdos e miúdos, e o cimento em uma caçamba, como apresenta a Figura 14 (a), essa caçamba é erguida e despeja-se todo o material na betoneira. A betoneira (Figura 14-b) mistura os materiais juntamente com a água. Após passar pela betoneira, o concreto é lançado em outra caçamba em formato de tronco de pirâmide, e essa caçamba é içada até ficar sobre o molde do tubo. O operador da caçamba libera aos poucos concreto (Figura 14-c), que desmorona por gravidade no interior do molde, e é adensado pela base vibratória do molde. A Figura 14 mostra esse processo de concretagem.

Figura 14: Caçamba móvel para transportar o material (a). Betoneira (b). Moldagem de um tubo de concreto macho e fêmea (c).



(a)



(b)



(c)

4.5. ESTUDO DO MÉTODO DE COMPACTAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Para estabelecer o melhor método de compactação dos corpos de prova foi realizado um estudo prático com três tipos de compactação, utilizando um traço de

concreto seco de um meio-fio. Foi realizada a concretagem do meio-fio sobre mesa vibratória e foram moldados corpos de prova de acordo com as seguintes configurações:

- com a compactação referente à norma NBR 5738 – item 7 (ABNT, 2003), utilizando haste de compactação, onde foram aplicados 12 golpes por camada, sendo executadas 3 camadas de concreto em cada corpo de prova;
- com a compactação referente à norma ASTM C 31/C 31M – 03a (ASTM, 2003), utilizando somente a vibração, sobre mesa vibratória, simulando a mesma condição de adensamento do meio-fio;
- com a combinação entre as duas compactações anteriores, compactação com haste seguida de vibração em mesa vibratória.

Seguindo o procedimento estabelecido na NBR 5738 - item 7 (ABNT, 2003), foram moldados 9 corpos de prova para cada tipo de compactação. Foram necessários 3 corpos para cada idade de ensaio, 3, 7 e 28 dias, totalizando 27 corpos de prova.

O meio-fio e os corpos de prova foram mantidos em câmara úmida até as idades de ensaio para obterem as mesmas condições de cura, seguindo a NBR 5738 – item 8 (ABNT, 2003).

Foram extraídos testemunhos do meio-fio, seguindo a NBR 7680-1, item 4 (ABNT, 2015), para verificar qual tipo de compactação se aproxima mais da compactação real do meio-fio. Os corpos de prova e testemunhos foram ensaiados à compressão axial, seguindo a NBR 5739 - item 5 (ABNT, 2007).

4.6. MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Os moldes dos corpos de prova devem ter altura igual ao dobro do diâmetro. O diâmetro deve ser de 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm ou 45 cm. A escolha do diâmetro é de acordo com o tamanho máximo dos agregados, e deve ser no mínimo quatro vezes maior que a dimensão nominal máxima do agregado graúdo do concreto. Neste trabalho foram utilizados corpos de prova de 10x20 cm (ABNT, 2003).

Para o adensamento do concreto seguiu-se o procedimento estabelecido na NBR 5738 - item 7 (ABNT, 2003), no qual se utilizou haste de aço de 60 cm de comprimento e 16 mm de diâmetro e mesa vibratória para melhorar o adensamento do concreto, de modo a simular o adensamento dos tubos de concreto. Cabe recordar que para um adensamento satisfatório, o concreto seco necessita de uma maior energia de compactação. Os corpos de prova foram moldados com 12 golpes por camada, seguidos de 30 segundos de vibração por camada em uma mesa vibratória (ABNT, 2003).

Na Figura 15 pode-se observar a disposição dos corpos de prova sobre mesa vibratória, utilizada durante o processo de adensamento.

Figura 15: Compactação do corpo de prova na mesa vibratória.

A quantidade de corpos de prova que foram moldados para realizar todos os ensaios é apresentada na Tabela 4.4.

Tabela 5: Quantidade de corpos de prova que foram moldados

| Ensaio | Traço do tubo 1 | | | Traço do tubo 2 | | |
|------------------------|-----------------|--------|---------|-----------------|--------|---------|
| | 3 dias | 7 dias | 28 dias | 3 dias | 7 dias | 28 dias |
| Compressão Axial | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Compressão Diametral | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Módulo de Elasticidade | - | 5 | 5 | - | 5 | 5 |

Foi necessário moldar 28 corpos de prova para cada traço de concreto. No ensaio de módulo de elasticidade, aos 7 e 28 dias, foram necessários 5 corpos de prova para cada traço.

A moldagem dos corpos de prova é finalizada com o arrasamento da superfície com a borda do molde. Foi empregada para tal fim uma colher de pedreiro adequada (ABNT, 2003). A Figura 16 apresenta o arrasamento de corpos de prova de concreto seco.

Figura 16: Arrasamento de corpos de prova.

4.7. DESMOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA

Após o rasamento os corpos de prova foram levados até o local onde permaneceram durante a cura inicial por 1 dia, e posteriormente foram transportados, em condições adequadas para evitar trepidações, até uma câmara úmida, onde permaneceram em cura até serem ensaiados conforme indica a NBR 5738 – item 8 (ABNT, 2003). Na Figura 17 mostram-se os corpos de prova após a desmoldagem (a) e corpos de prova em cura na câmara úmida (b).

Figura 17: Corpos de prova após desmoldagem (a). Corpos de prova em cura (b).



(a)

(b)

4.8. ENSAIOS NOS CORPOS DE PROVA

Foram realizados os seguintes ensaios nos corpos de prova:

4.8.1. COMPRESSÃO AXIAL

O procedimento de ensaio seguiu a NBR 5739 - item 5 (ABNT, 2007). Os corpos de prova foram mantidos em processo de cura úmida até a idade do ensaio. Antes da execução do ensaio, foram preparadas as bases, que precisavam passar pela retífica. Após a preparação das bases, foi realizada a medição do diâmetro, utilizado para o cálculo da área da seção transversal, e da altura do corpo de prova (ABNT, 2007).

Para iniciar o ensaio, as faces dos pratos e do corpo de prova foram limpas e colocados na posição do ensaio. O carregamento de ensaio foi aplicado continuamente e sem choques, com a velocidade de carregamento de 0,5 MPa/s. O carregamento ocorre até que uma queda de força indique a ruptura (ABNT, 2007). Os resultados do ensaio de compressão axial estão apresentados na Figura 18-a.

O cálculo da resistência à compressão axial dos corpos de prova é realizado por meio da equação 4.3.

$$F_c = \frac{4F}{\pi * D^2} \quad (4.3)$$

Sendo:

- F_c é a resistência à compressão, em megapascals (MPa);
- F é a força máxima alcançada, em newtons(N);
- D é o diâmetro, em milímetros (mm) (ABNT, 2007).

4.8.2. MÓDULO DE ELASTICIDADE

O procedimento do ensaio segundo a NBR 8522 - item 6 (ABNT, 2008) é o mesmo do ensaio de compressão axial até inserir o corpo de prova na prensa. Porém, é necessário instalar medidores de deformações no corpo de prova para medir sua deformação, um de cada lado de acordo com a Figura 18-b. Para iniciar o ensaio é necessário ter o valor da resistência à compressão axial de dois corpos de prova para fazer uma média e usar 30% desse valor no ensaio de módulo de elasticidade. O ensaio se inicia com a aplicação de uma carga de 0,5 MPa/s e chegando aos 30%, essa carga deve ser mantida por 1 minuto, depois se descarrega a tensão e deixa a 0,5 MPa/s por 1 minuto, o ciclo se repete por 3 vezes, e na quarta vez registra-se o valor da deformação do corpo de prova (ABNT, 2008).

O valor do módulo de elasticidade (E_{ci}) em GPa é obtido pela equação 4.4.

$$E_{ci} = \frac{\sigma_b - 0,5}{\epsilon_b - \epsilon_a} * 10^{-3} \quad (4.4)$$

Sendo:

- σ_b é 30% da tensão média de ruptura, em MPa;
- ϵ_b é a deformação média específica dos corpos de prova a 30 % da tensão de ruptura;
- ϵ_a é a deformação média específica dos corpos de prova a 0,5 MPa/s (ABNT, 2008).

A Figura 18 mostra o ensaio de compressão axial (a) e o de módulo de elasticidade (b).

Figura 18: Ensaio de compressão axial (a). Ensaio de módulo de elasticidade (b).



4.8.3. COMPRESSÃO DIAMETRAL

O procedimento de ensaio seguiu a NBR 7222 - item 4.2 (ABNT, 1994). Os corpos de prova foram mantidos em processo de cura úmida até a idade do ensaio. Para a realização do mesmo, posicionou-se o corpo de prova de modo que ficasse em repouso ao longo de uma geratriz, sobre o prato da prensa. Foram colocadas duas tiras de chapa de fibra de madeira, de comprimento igual ao do corpo de prova (ABNT, 1994).

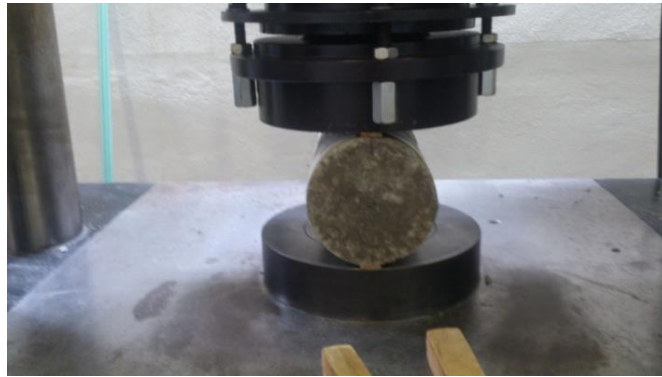
A carga foi aplicada continuamente a uma velocidade de 0,05 MPa/s, até a ruptura. Através do ensaio de compressão diametral determina-se a resistência à tração do concreto. A resistência à tração por compressão diametral é calculada pela equação 4.5.

$$F_t = \frac{2F}{\pi * D * L} \quad (4.5)$$

Sendo:

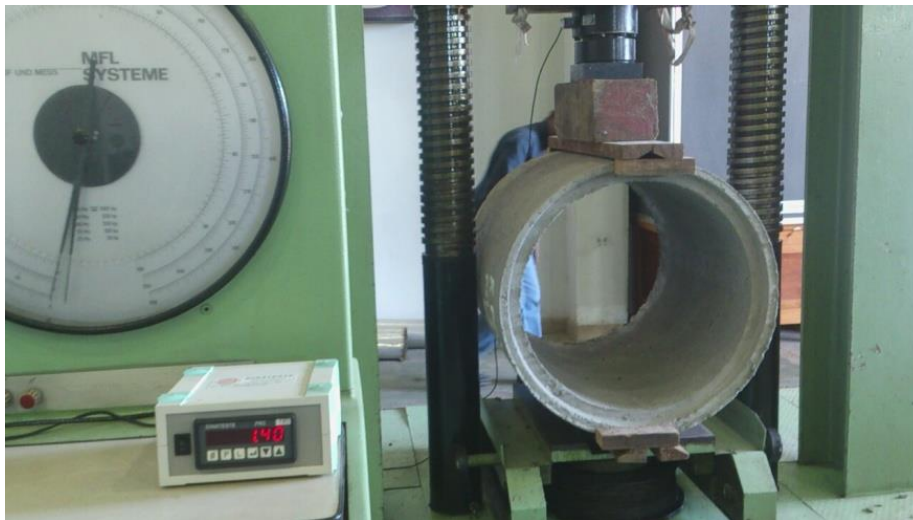
- F_t é resistência à tração por compressão diametral, em MPa;
- F = carga máxima no ensaio, em N;
- D é o diâmetro, em mm;
- L é a altura do corpo de prova, em mm (ABNT, 1994).

A Figura 19 apresenta o ensaio de compressão diametral, onde observa-se, nas partes superior e inferior, duas tiras madeira para a distribuição da carga diametral ao longo do comprimento do corpo de prova.

Figura 19: Ensaio de compressão diametral.

4.9. ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAMETRAL NOS TUBOS

O procedimento de ensaio seguiu a NBR 8890 - anexo B3 (ABNT, 2008). Para iniciar o ensaio posicionou-se o tubo deitado sobre apoios planos horizontais, dispostos paralela e simetricamente em relação ao seu eixo, esses apoios foram caibros de madeira. Na parte superior foi aplicada uma carga uniformemente distribuída ao longo do tubo. A carga foi aplicada entre 5 kN/min e 35 kN/min, por metro linear de tubo, até atingir a ruptura (ABNT, 2008). A Figura 20 mostra o ensaio de rompimento de um tubo de concreto pelo método três cutelos.

Figura 20: Ensaio de compressão diametral em tubo de concreto.

4.10. EXTRAÇÃO DE TESTEMUNHOS

A extração dos testemunhos seguiu a NBR 7680-1, item 4 (ABNT, 2015). O equipamento utilizado para extrair testemunhos homogêneos e íntegros do concreto foi uma extratora serra copo Hilti modelo DD 200, provida de cálice e material abrasivo, que

possibilitou realizar o corte dos testemunhos com as dimensões estabelecidas (ABNT, 2015). A Figura 21 apresenta o equipamento extrator de testemunhos (a) e testemunhos recém cortados com o equipamento (b).

Figura 21: Extratora de testemunhos (a). Testemunhos recém cortados (b).



(a)



(b)

4.11. ENSAIOS EM TESTEMUNHOS

A preparação dos testemunhos para serem ensaiados seguiu a NBR 7680-1, item 4.5 (ABNT, 2015). Foram preparadas as bases dos testemunhos, que precisavam passar pela retífica e posteriormente realizados os ensaios de compressão axial (ABNT, 2015).

Para iniciar o ensaio, as faces dos pratos e do testemunho foram limpas e colocadas em posição de ensaio. O carregamento de ensaio foi aplicado continuamente e sem choques, com a velocidade de carregamento de 0,5 MPa/s. O carregamento foi até que uma queda de força indicou a ruptura (ABNT, 2015). O cálculo da resistência à compressão axial foi realizado por meio da equação 4.3.

4.12. MASSA ESPECÍFICA DOS CORPOS DE PROVA E TESTEMUNHOS

Para ter o conhecimento sobre a compactação real dos corpos de prova e testemunhos dos tubos, determinaram-se as massas específicas conforme a NBR 9778 - item 6 (ABNT, 1987). Para a realização do ensaio, determinaram-se as dimensões e as massas dos corpos de prova e testemunhos após permanecerem por 24 horas na estufa (ABNT, 1987). O cálculo da massa específica foi realizado por meio da equação 4.6:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (4.6)$$

Sendo:

- ρ é a massa específica do corpo de prova ou testemunho seco, em g/cm³;
- m é a massa do corpo de prova ou testemunho seca em estufa, em gramas;
- V é o volume do corpo de prova ou testemunho, em cm³.

5. RESULTADOS

5.1. CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

5.1.1. GRANULOMETRIA;

O resultado do ensaio de granulometria dos agregados, realizado segundo a NBR - NM 248 – item 5 (ABNT, 2003) são apresentados na Tabela 6.

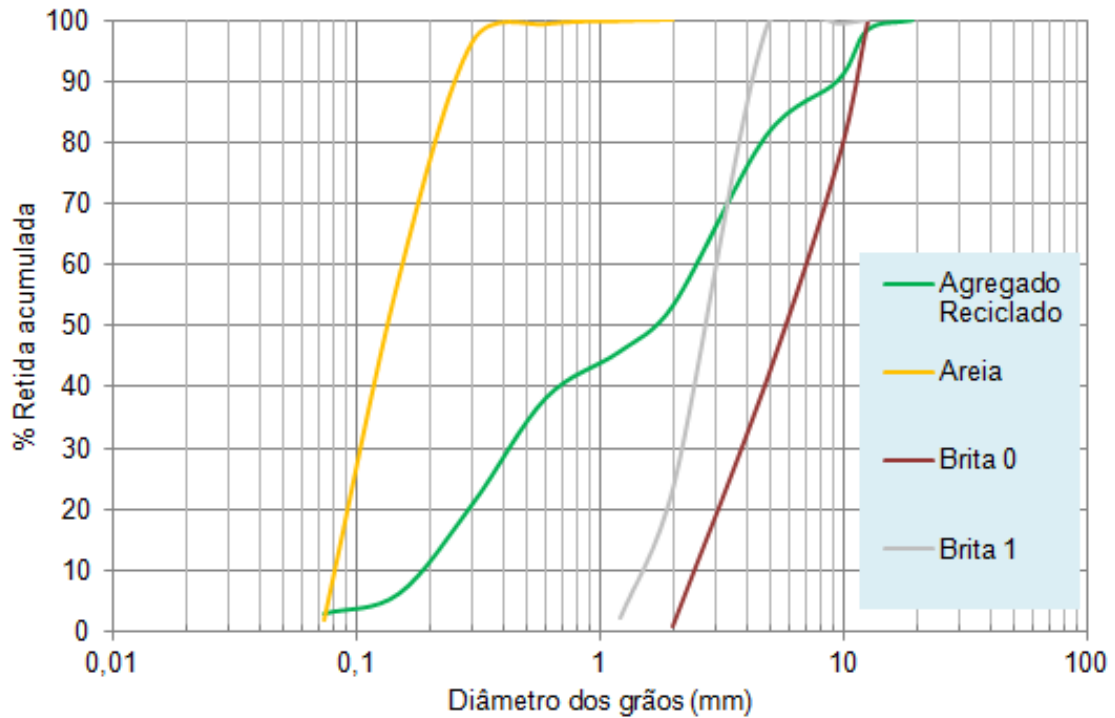
Tabela 6: Granulometria dos agregados.

| Diâmetro dos grãos (mm) | Areia | Brita 0 | Brita 1 | Agregado reciclado |
|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | % Retida acumulada | % Retida acumulada | % Retida acumulada | % Retida acumulada |
| 19,1 | - | - | - | 100 |
| 12,5 | - | 100 | 100 | 98,4 |
| 9,5 | - | 77,4 | 99,3 | 90,2 |
| 4,8 | - | 40,6 | 98,8 | 81,1 |
| 2 | 100 | 0,7 | 24,2 | 53,4 |
| 1,2 | 99,8 | - | 2,2 | 45,8 |
| 0,6 | 99,3 | - | - | 38,2 |
| 0,3 | 96,3 | - | - | 20,9 |
| 0,15 | 57,9 | - | - | 6,3 |
| 0,074 | 2,0 | - | - | 3,0 |
| Fundo | 0,1 | - | - | 0,6 |

A areia apresentou granulometria característica de areia fina, com maior parte dos grãos tendo menos de 0,3 mm de diâmetro. As britas 0 e 1 apresentaram granulometria uniforme, sendo que ambas apresentaram diâmetro máximo de 12,5 mm. A brita 1 apresentou-se em maior quantidade entre 1,2 e 4,8 mm de diâmetro e a brita 0 entre 2 e 9,5 mm de diâmetro.

O agregado reciclado apresentou uma granulometria menos uniforme, bem graduado, que é explicada pelo fato de o agregado reciclado ser composto pelos outros agregados: brita 0, brita 1 e areia.

Na Figura 22 apresenta-se a curva granulométrica dos agregados, onde é possível observar a pouca uniformidade do agregado reciclado, e grande uniformidade dos demais agregados.

Figura 22: Curva granulométrica dos agregados.

5.1.2. MASSA ESPECÍFICA

O resultado dos ensaios de massas específicas dos agregados, realizados segundo a NBR - NM 52 – item 7 (ABNT, 2009) e NBR - NM 53 – item 6 (ABNT, 2009), é apresentado na Tabela 7.

Tabela 7: Massas específicas dos agregados.

| Agregado | Massa seca (g) | Volume frasco (cm ³) | Água adicionada (cm ³) | Massa Específica (g/cm ³) |
|--------------------|----------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| Brita 0 | 479,32 | 500 | 315 | 2,59 |
| Brita 1 | 420,86 | 500 | 330 | 2,48 |
| Areia | 354,79 | 500 | 360 | 2,53 |
| Agregado reciclado | 541,4 | 500 | 285 | 2,52 |

Observou-se que os agregados obtiveram valores de massas específicas semelhantes e que o agregado reciclado de concreto apresentou massa específica média entre os agregados, isso devido ao agregado reciclado de concreto ser uma composição dos outros.

5.1.3. ABSORÇÃO

O resultado do ensaio de absorção dos agregados graúdos e miúdos realizados segundo a NBR – NM 53 - item 6 (ABNT, 2009) e NBR - NM 30 – item 6 (ABNT, 2001), são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Absorção dos agregados.

| Agregado | Massa seca (g) | Massa saturada em superfície seca (g) | Absorção (%) |
|--------------------|----------------|---------------------------------------|--------------|
| Agregado Reciclado | 1096,61 | 1174,42 | 7,10 |
| Brita 0 | 1305,12 | 1357,91 | 4,04 |
| Brita 1 | 1232,51 | 1296,37 | 5,18 |
| Areia | 814,01 | 864,32 | 6,18 |

Observou-se que o agregado reciclado de concreto apresentou maior porcentagem de absorção em relação aos demais agregados. Essa diferença ocorre devido a sua composição granulométrica apresentar grande quantidade de partes finas e maior porosidade (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

5.2. MÉTODO DE COMPACTAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

O resultado dos ensaios de resistência à compressão axial, dos corpos de prova moldados com as diferentes maneiras de compactação, realizados segundo a NBR 5738 - item 5 (ABNT, 2003), é apresentado na Tabela 9.

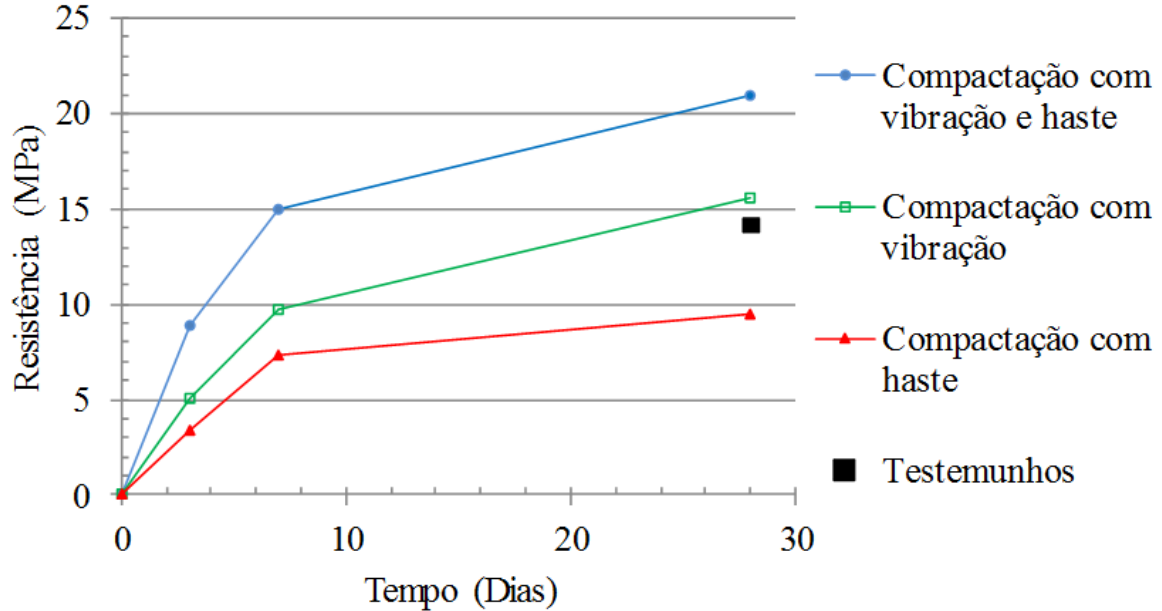
Tabela 9: Resultados de resistência à compressão das moldagens com diferentes meios de compactação

| Corpos de prova com diferentes maneiras de compactação | | | |
|--|------|-------|-------|
| Idade (dias) | 3 | 7 | 28 |
| Compactação NBR 5738 (MPa) | 3,35 | 7,36 | 9,45 |
| Compactação com vibração, (MPa) | 5,09 | 9,67 | 15,63 |
| Compactação com vibração e haste (MPa) | 8,87 | 15,02 | 20,96 |
| Testemunhos (MPa) | - | - | 14,15 |

Os testemunhos obtiveram resistência à compressão axial, aos 28 dias, de 14,15 MPa. Na Tabela 9 mostra-se que os corpos de prova moldados com a compactação referente à norma ASTM C 31/C 31M – 03a (ASTM, 2003), utilizando somente a vibração, simulou a mesma condição de adensamento do meio-fio, sendo a moldagem que obteve a

melhor compactação. Na Figura 23 apresentam-se os resultados das três diferentes moldagens dos corpos de prova.

Figura 23: Resultados das moldagens dos corpos de prova com diferentes meios de compactação.



A Figura 23 mostra que a curva de resistência dos corpos de prova, com compactação utilizando somente vibração e simulando a mesma condição de compactação das peças, ficou entre as demais curvas em todas as idades de ensaios, sendo esta a que apresentou maior semelhança ao resultado obtido com a os ensaios nos testemunhos. Devido a isto adotou-se este procedimento para a moldagem dos demais corpos de prova deste trabalho.

5.3. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

O resultado dos ensaios de resistência à compressão axial dos corpos de prova com agregados convencionais, realizados segundo a NBR 5739 - item 5 (ABNT, 2007), é apresentado na Tabela 10.

Tabela 10: Resultados de resistência à compressão axial dos corpos de prova com agregados convencionais.

| Corpos de prova com agregados convencionais | | | |
|---|-------|-------|-------|
| Idade (Dias) | 3 | 7 | 28 |
| Média (MPa) | 12,36 | 16,73 | 19,52 |
| Desvio Padrão (MPa) | 1,26 | 0,49 | 0,33 |

Pode-se observar na Tabela 10 que os corpos de prova feitos com agregados convencionais apresentaram resistência média à compressão axial, aos 28 dias, de 19,52 MPa.

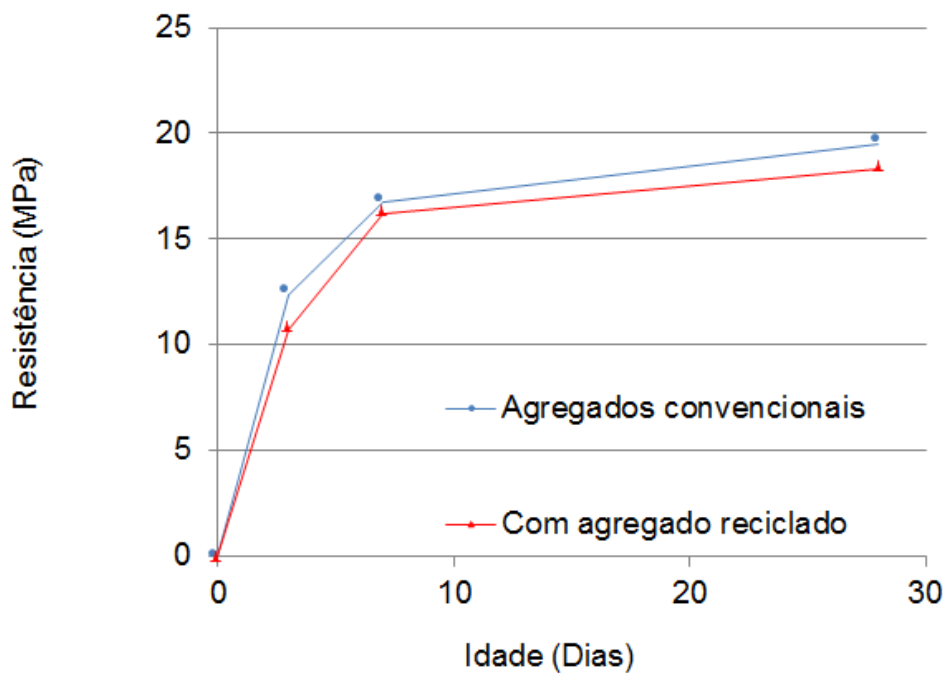
A Tabela 11 apresenta os resultados dos corpos de prova de concreto com agregados reciclados.

Tabela 11: Resultados de resistência à compressão axial dos corpos de prova com agregados reciclados.

| Corpos de prova com agregados reciclados | | | |
|--|-------|-------|-------|
| Idade (Dias) | 3 | 7 | 28 |
| Média (MPa) | 10,70 | 16,23 | 18,28 |
| Desvio Padrão (MPa) | 1,51 | 1,28 | 0,11 |

Pode-se observar na tabela 11 que a resistência dos corpos de prova de concreto com agregado reciclado, aos 28 dias, foi de 18,28 MPa, uma redução 6,6% quanto a resistência dos corpos de prova com agregados convencionais. A Figura 24 apresenta graficamente essa pequena diferença, um pouco maior que o desvio padrão, entre as resistências à compressão axial.

Figura 24: Resistência à compressão axial dos corpos de prova.



Na Figura 24 observa-se que os corpos de prova de concreto com agregados reciclados têm resistências à compressão axial menores em todas as idades dos ensaios, 3, 7 e 28 dias, caracterizando assim a redução da resistência no concreto quando adicionado o agregado reciclado no traço.

5.4. RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DIAMETRAL

O resultado dos ensaios de resistência à compressão diametral, dos corpos de prova de concreto com agregados convencionais, realizados segundo a NBR 7222 - item 4.2 (ABNT, 1994) é apresentado na Tabela 12.

Tabela 12: Compressão diametral dos corpos de prova com agregados convencionais.

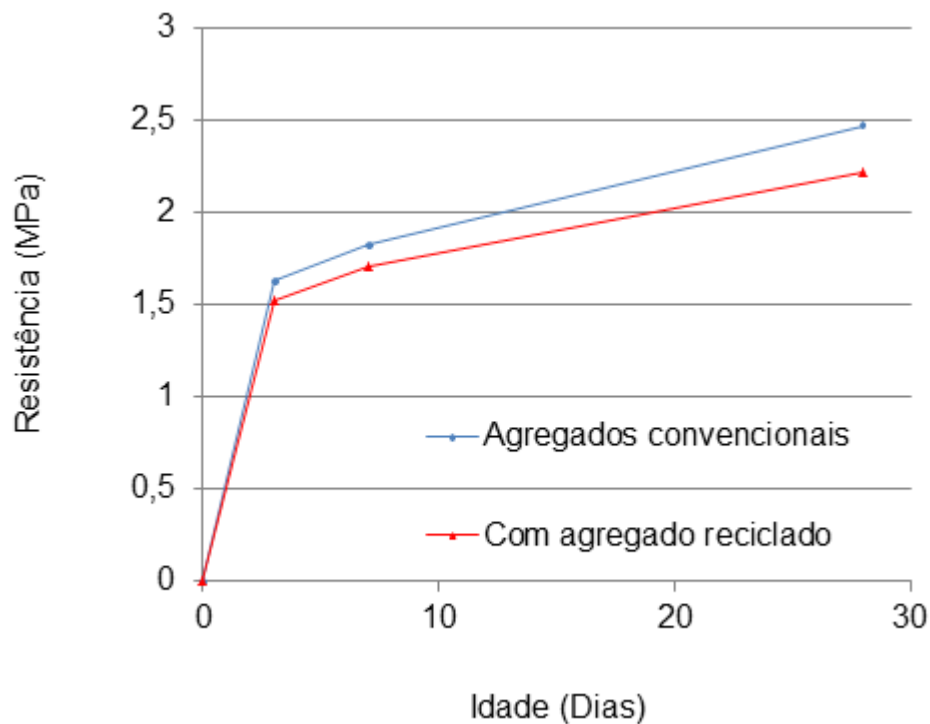
| Corpos de prova com agregados convencionais | | | |
|---|------|------|------|
| Idade (Dias) | 3 | 7 | 28 |
| Média (MPa) | 1,63 | 1,82 | 2,47 |
| Desvio Padrão (MPa) | 0,09 | 0,17 | 0,06 |

Verificou-se que os corpos de prova com agregados convencionais obtiveram resistência média a tração de 2,47 MPa. A Tabela 13 apresenta os resultados dos corpos de prova de concreto com agregados reciclados.

Tabela 13: Compressão diametral dos corpos de prova com agregados reciclados.

| Corpos de prova com agregados reciclados | | | |
|--|------|------|------|
| Idade (Dias) | 3 | 7 | 28 |
| Média (MPa) | 1,52 | 1,70 | 2,21 |
| Desvio Padrão (MPa) | 0,18 | 0,12 | 0,14 |

A resistência à compressão diametral dos corpos de prova de concreto com agregado reciclado, aos 28 dias, foi de 2,21 MPa, uma redução de 10,3% quanto à resistência à compressão diametral dos corpos de prova com agregados convencionais. A Figura 25 apresenta graficamente essa pequena diferença, um pouco maior que o desvio padrão.

Figura 25: Resistência à compressão diametral dos corpos de prova.


Na Figura 25 observa-se que os corpos de prova de concreto com agregados reciclados têm resistências à compressão diametral menores em todas as idades dos ensaios, 3, 7 e 28 dias, caracterizando assim a redução da resistência no concreto quando adicionado o agregado reciclado no traço.

5.5. MÓDULO DE ELASTICIDADE

O resultado dos ensaios do módulo de elasticidade dos corpos de prova, aos 7 e 28 dias, realizados segundo a NBR 8522 - item 6 (ABNT, 2008), é apresentado na Tabela 14.

Tabela 14: Módulos de elasticidade dos corpos de prova.

| Corpos de prova | Módulo de elasticidade (GPa) | |
|-----------------------------|------------------------------|---------|
| | 7 dias | 28 dias |
| Com agregados convencionais | 26,77 | 28,53 |
| Com agregados reciclados | 22,18 | 24,89 |

Verificou-se que os corpos de prova de concreto com agregados reciclados obtiveram módulo de elasticidade 15% menor, isso é decorrente de possuírem uma resistência um pouco inferior aos corpos de prova com agregados convencionais.

5.6. ROMPIMENTO DOS TUBOS

O resultado dos ensaios de compressão diametral em tubos, segundo a NBR 8890, anexo B3 (ABNT, 2008), é apresentado na Tabela 15.

Tabela 15: Resultados da compressão diametral dos tubos.

| Tubo | Resistência (KN/m) |
|-----------------------------|--------------------|
| Com agregados convencionais | 41,20 |
| Com agregados reciclados | 32,27 |

O tubo fabricado com agregados reciclados obteve uma redução na resistência ao ensaio de compressão diametral de 21%, entretanto continua sendo utilizável à instalações de drenagem de águas pluviais, pois a resistência à compressão diametral mínima exigida para um tubo de diâmetro 80 cm é de 32 KN/m, de acordo com a Tabela 1.

5.7. TESTEMUNHOS

O resultado dos ensaios de compressão axial dos testemunhos, segundo a NBR 5739 - item 5 (ABNT, 2007), é apresentado na Tabela 16.

Tabela 16: Resultados da compressão axial dos testemunhos.

| Testemunhos | Testemunhos com agregados convencionais | Testemunhos com agregados reciclados |
|---------------------|---|--------------------------------------|
| Média (MPa) | 28,46 | 26,18 |
| Desvio Padrão (MPa) | 0,98 | 0,88 |

Os testemunhos do tubo com agregado reciclado apresentaram uma redução de 8% na resistência, indicando a redução na resistência constatada também nos ensaios de compressão axial nos corpos de prova.

5.8. MASSA ESPECÍFICA DOS CORPOS DE PROVA E TESTEMUNHOS

O resultado dos ensaios de massas específicas dos testemunhos e corpos de prova, segundo a NBR 9778 - item 6 (ABNT, 1987), é apresentado na Tabela 17.

Tabela 17: Massa específica dos corpos de prova e testemunhos.

| Corpo de prova - testemunho | Massa seca (g) | Volume (cm ³) | Massa Específica (g/cm ³) |
|----------------------------------|----------------|---------------------------|---------------------------------------|
| Cp. agregado convencional | 3565,19 | 1494,26 | 2,39 |
| Cp. agregado reciclado | 3724,33 | 1550,31 | 2,40 |
| Testemunho agregado convencional | 1697,32 | 662,62 | 2,56 |
| Testemunho agregado reciclado | 1712,76 | 664,37 | 2,58 |

Os corpos de prova apresentaram massas específicas ligeiramente inferiores às massas específicas dos testemunhos. Essa diferença entre massas específicas é referente à compactação, os corpos de prova foram menos compactados do que os tubos de concreto devido às dificuldades em simular a compactação real dos tubos de concreto.

6. CONCLUSÕES

A utilização dos agregados reciclados de concreto, provenientes de peças pré-moldadas de concreto, apresenta-se viável à produção de tubos de concreto. Os resíduos classe "A" podem ser reaproveitados ou reciclados como forma de minimizar os nocivos impactos ao meio ambiente.

Os agregados reciclados possuem menor massa específica do que os agregados naturais, maior absorção da água e sua granulometria se mostra bem graduada, o que é um fato positivo para esses agregados, pois possibilita um melhor arranjo entre as partículas. Assim como o agregado, o concreto reciclado possui menor massa específica, maior absorção e menor resistência que o concreto convencional.

De acordo com os resultados obtidos nos ensaios em corpos de prova, tubos, e testemunhos é possível afirmar que a adição de agregado reciclado no traço do concreto, substituindo 33% dos outros agregados, diminuiu em torno de 7% a resistência do concreto. Essa diminuição de resistência não afetou a qualidade do tubo fabricado, sendo ele utilizável em drenagem de água pluvial.

A utilização de agregado reciclado gerou economia na produção dos tubos de concreto, visto que 33% dos seus agregados seriam jogados no lixo, garantindo ainda um destino correto a esses agregados.

Verificou-se que a moldagem dos corpos de prova de concreto seco, precisa seguir um método de compactação que simule as condições de moldagem real da peça de concreto, sendo que nos tubos de concreto a compactação não foi totalmente eficiente, visto que a energia de compactação dos tubos foi maior, pois os testemunhos extraídos dos tubos apresentaram maiores massas específicas que os corpos de prova.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. F. **Estudo comparativo de métodos de dosagem para concreto de alta resistência**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS - ASTM. **Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field**. ASTM C 31/C 31M – 03a. In Annual Book of ASTM Standards, 2003.

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

_____. **Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório**. NBR - NM 27. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. NBR – NM 53. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **Agregado miúdo - Determinação da absorção de água**. NBR - NM 30. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. NBR - NM 52. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **Agregados para concreto – Especificação**. NBR 7211. Rio de Janeiro, 2009.

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

_____. **Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos**. NBR 7222. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica.** NBR 9778. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão.** NBR 8522. Rio de Janeiro, 2008.

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

_____. **Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto Parte 1: Resistência a compressão axial.** NBR 7680-1. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **Concreto - Preparo, controle e recebimento.** NBR 12655. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.** NBR 5738. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico.** NBR ISO 3310-1. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **Tubo de concreto de seção circular para águas pluviais e esgotos sanitários - Requisitos e métodos de ensaios.** NBR 8890. Rio de Janeiro, 2008.

CABRAL, A. E. B.. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do rcd.** Tese (Doutorado) - Escola de engenharia de são Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos 2007.

CARRIJO, P. M. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto.** Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, 2005

CARVALHO PORTO, M. E. H.; SILVA, S. V. **Reaproveitamento dos entulhos de concreto na construção de casas populares.** XXVIII Encontro nacional de engenharia de produção. Rio de Janeiro, RJ, 2008.

CHAMA NETO, P. J. **Avaliação de desempenho de tubos de concreto reforçados com fibras de aço.** Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

CHAMA NETO, P. J. **Tubos de concreto: projeto, dimensionamento, produção e execução de obras.** Jaraguá do Sul: Gráfica Régis, 2004.

FRASSON, A. J. **Metodologia de dosagem e processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

FUGII, A. P. **Avaliação de tubos de concreto reforçados com fibras de aço segundo a NBR 8890.** Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira - SP. 2008.

GONÇALVES, R. D. C. **Agregados reciclados de resíduos de Concreto - um novo material para Dosagens estruturais.** 2001. Dissertação - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

HANSEN, T. C., NARUD, H. **Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate.** Concrete International. Design and construction, 1983.

HELENE, P.; TIBÉRIO, A. **O concreto: da era clássica à contemporânea.** Materiais de construção civil: e princípios de ciência e engenharia de materiais. São Paulo: Ibracon, 2007.

LATTERZA, L. M. **Concreto com Agregado Graúdo Proveniente da Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição. Um Novo Material para Fabricação de Painéis Leves de Vedação.** Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos, 1998

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** Tese (Doutorado) - universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

LEVY, S. M., HELENE, P. R. L. **Propriedades mecânicas de argamassas produzidas com entulho de construção civil**. In: Seminário sobre reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção - USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 1996.

LIMA, J.A.R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

MARCHIONI, M. L. **Desenvolvimento de técnicas para caracterização de concreto seco para peças de concreto para pavimentação intertravada**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2012.

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

MONTEIRO, J. H. P. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, IBAM, 2001.

OLIVEIRA, A. L. **Contribuição para a dosagem e produção de peças de concreto para pavimentação**. Tese (doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

PINTO, T. P. **Utilização de resíduos de construção. Estudo do uso em argamassas**. São Carlos: Departamento de Arquitetura e Planejamento da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Dissertação (Mestrado), 1986.

PINTO, T.P.; GONZALES, J.L.R. **Manejo e gestão de resíduos da construção civil. Manual de orientação 1. Como implantar um sistema de manejo e gestão dos resíduos da construção civil nos municípios**. Brasília, 2005.

QUEIROZ, R. M. **Tubos de concreto com adição de resíduos de borracha de pneu**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas, 2012

RILEM - TC - 121 - DRG (1994). **Specifications for concrete with recycled aggregates. Material and Structures**, v.27, 1994.

SILVA, L. R. A. **UTILIZAÇÃO DO ENTULHO COMO AGREGADO PARA A PRODUÇÃO DE CONCRETO RECICLADO**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2004

SCOTT HOOD, R. S. **Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul. Programa de Pós – Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2006.

TANGO, C. E. S. **Fundamentos de dosagem de concreto para blocos estruturais**. 5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries. Florianópolis, Brasil, 1994.

TENÓRIO, J. J. L. **Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Alagoas. Alagoas, 2007.

TRENTIN, T. F. S. **Análise estrutural de tubos de concreto armado com resíduo de borracha de pneu**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2014.

TRIGO, A. P. M. **Estudo de lajes com adição de resíduo de pneu**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008.

YANNAS, F.S. **Waste concrete as aggregate for new concrete**. ACI Journal, v. 74, n. 37, 1977.

YODA, K. et al. Chapman and Hall. In: 2nd International RILEM **Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry**, 1988, Tokyo. Proceedings. Tokyo, 1988.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto**
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia
Civil. Campinas, SP, 1997.