

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COECI - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

THIAGO VERONEZ PEITER

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO MECÂNICO DE CONCRETOS COM
SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO NATURAL POR RESÍDUO DE CORPO
DE PROVA DE CONCRETO (RCPC)**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO

2015

THIAGO VERONEZ PEITER

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO MECÂNICO DE CONCRETOS COM
SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO NATURAL POR RESÍDUO DE CORPO
DE PROVA DE CONCRETO (RCPC)**

Trabalho de Conclusão apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Elizabete Yukiko Nakanishi Bavastri

TOLEDO

2015



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Toledo
Coordenação do Curso de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 007

Avaliação do Desempenho Mecânico de Concretos com Substituição de Agregado Natural por Resíduo de Corpo de Prova de Concreto (RCPC)

por

Thiago Veronez Peiter

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 16:00 h do dia **11 de Junho de 2015** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Prof. MSc. Rodnny Jesus Mendoza Fakhye
(UTFPR – TD)

Prof. MSc. Marcelo Guimaraes Ribeiro
(UTFPR – TD)

Prof. MSc. Ricardo Schneider
(UTFPR – TD)

Prof^a. Dra. Elizabete Yukiko Nakanishi Bavastri
(UTFPR – TD)
Orientadora

Visto da Coordenação
Prof. Dr. Lucas Boabaid Ibrahim
Coordenador da COECI

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela fé, e por estar presente em todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais, e toda minha família pela dedicação e apoio durante todos esses anos, pois sem eles não seria possível atingir esse objetivo.

A profa. Dra. Elizabete Yukiko Nakanishi Bavastri por compartilhar seu conhecimento, sua dedicação durante todas as fases do trabalho, e pela disponibilidade apresentada.

A todos os professores por transmitir seus conhecimentos e experiências de vida, em especial aos professores da banca examinadora pela atenção e contribuição a este estudo.

Aos técnicos de laboratório Marcos Vinicius Schlichting e Claudia Regina Bernardi Baldin pelo auxílio durante os ensaios realizados no laboratório.

A todos meus amigos, colegas, e todos que contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

PEITER, Thiago V. Avaliação do desempenho mecânico de concretos com substituição de agregado natural por resíduo de corpos de prova de concreto (RCPC). 2015. 123 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2015.

A construção civil é uma das atividades de maior impacto na geração de resíduos, que normalmente são depositados inadequadamente na natureza, vindo a ocasionar inúmeros problemas, sobretudo, ao meio ambiente, portanto, a sua destinação correta traz grandes benefícios. Uma das maneiras sustentáveis é o reaproveitamento desses materiais como insumos na produção de um novo, nesse sentido, o presente trabalho trata da reutilização dos resíduos de corpos de prova de concreto (RCPC) como agregado miúdo (na produção de concreto). Inicialmente, realizou-se ensaios de caracterização dos materiais (agregados, aglomerantes, RCPC, entre outros), do concreto no estado fresco (densidade de massa, teor de ar, *slump test*) e, no concreto no estado endurecido (ensaios mecânicos, absorção, densidade de massa, teor de ar, absorção por capilaridade), com o objetivo de analisar o desempenho físico e mecânico do concreto sem e com RCPC. Dessa forma comparou-se o concreto padrão ou de referência (sem a substituição do RCPC, com resistência média mínima de 20 MPa), com o concreto com a substituição do agregado reciclado (com substituição de 25%, 50%, 75% e 100%), sendo que, concretos com a incorporação de 25% e 50% de RPCD obtiveram ganhos de resistência mecânica em comparação com o concreto padrão, e em contrapartida para percentuais superiores a esses, houve a redução da mesma.

Palavras-chave: Resíduo de corpo de prova de concreto. Substituição de agregado. Concreto com agregado reciclado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Agregado miúdo de RCD	23
Figura 2 – Agregado graúdo de RCD.....	23
Figura 3 – Moínho de esferas de aço para moagem do do RCPC.....	46
Figura 4 – Cominuição do RCPC no moinho de bolas. Início do ensaio (a); 20 minutos após o início (b); 40 minutos após o início (c); 60 minutos após o início (d)	47
Figura 5 – Material obtido após moagem	47
Figura 6 – Conjunto de peneiras: ensaio de granulometria	49
Figura 7 – Material retido nas peneiras: areia natural	49
Figura 8 – Material retido nas peneiras: brita	49
Figura 9 – Material retido nas peneiras: RCPC (resíduo de corpos de prova de concreto)	50
Figura 10 – Etapa de lavagem das amostras com água	51
Figura 11 – Comparação da água da areia na primeira lavagem (à direita), e após ela se tornar límpida (à esquerda)	51
Figura 12 – Comparação da água do RCD na primeira lavagem (à direita), e após ela se tornar límpida (à esquerda)	51
Figura 13 – Frasco de Chapman utilizado para o ensaio com a areia	53
Figura 14 – Frasco de Chapman utilizado para o ensaio com o RCPC	53
Figura 15 – Determinação da massa unitária compactada. Areia natural compactada (a); RCPC compactado (b)	54
Figura 16 – Pesagem da massa total do agregado graúdo com o recipiente	55
Figura 17 – Realização do ensaio para a areia natural	56
Figura 18 – Amostra do agregado graúdo submerso em água	57
Figura 19 – Areia natural que manteve a mesma forma que o molde.....	59
Figura 20 – Areia natural após a retirada do molde	59
Figura 21 – RCD após a retirada do molde.....	59

Figura 22 – Ensaio de determinação da massa específica: Frasco de Le Chatelier apenas com o líquido (à esquerda), e após inserido o cimento (à direita)	60
Figura 23 – Determinação da pasta de consistência normal.....	61
Figura 24 – Realização do ensaio de início de pega.....	62
Figura 25 – Marca deixada pela agulha para o ensaio de final de pega	63
Figura 26 – Aparência visual do concreto em seu traço padrão (a), e com 100% de substituição da areia natural por RCD (b)	65
Figura 27 – Corpos de prova dos concretos.....	67
Figura 28 – Retirada do molde, de forma firme e vertical.....	69
Figura 29 – Determinação do abatimento do concreto, através do “ <i>Slump Test</i> ”.....	70
Figura 30 – Ensaio para determinação da massa específica do concreto.	71
Figura 31 – Realização do ensaio de compressão axial simples.	72
Figura 32 – Realização do ensaio de tração por compressão diametral.....	73
Figura 33 – Ensaio de absorção de água por imersão: 1/3 do volume do corpo de prova imerso (à esquerda), e corpo de prova inteiro submerso (à direita).....	74
Figura 34 – Ensaio de absorção de água por capilaridade	75

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Usinas de reciclagem de RCD de classe A no país.....	26
Gráfico 2 – Comparação da resistência à compressão do concreto com a dimensão máxima do agregado.....	31
Gráfico 3 – Resistência à compressão do concreto devido ao teor de substituição do agregado miúdo reciclado utilizado	39
Gráfico 4 – Tração por compressão diametral do concreto para diferentes tipos de agregado e relação água/cimento	40
Gráfico 5 – Resistência à tração por compressão diametral pela resistência à compressão.....	41
Gráfico 6 – Distribuição granulométrica da areia natural versus RCPC	78
Gráfico 7 – Distribuição granulométrica da brita.....	79
Gráfico 8 – Inchamento da areia natural	85
Gráfico 9 – Inchamento do RCPC	86
Gráfico 10 – índice de vazios para cada traço produzido.....	96
Gráfico 11 – Teor de ar incorporado para cada traço produzido.....	97
Gráfico 12 – Resistências à compressão axial – Idades de 3 e 28 dias – relação a/c cte.	99
Gráfico 13 – Resistências aos 28 dias e seus respectivos traços.....	100
Gráfico 14 – Resistência à compressão axial simples, de acordo com relação a/c utilizada.	101
Gráfico 15 – Resistências aos 3 e 28 dias – Tração por compressão diametral	104
Gráfico 16 – Índice de Vazios (a/c cte).....	107
Gráfico 17 – Absorção de água por imersão (a/c cte)	107
Gráfico 18 – Índice de Vazios (a/c cte).....	109
Gráfico 19 – Absorção de água por imersão – slump cte.....	109
Gráfico 20 – Absorção de água por capilaridade – a/c cte.....	112
Gráfico 21 – Absorção de água por capilaridade – slump cte	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Material constituinte do resíduo.....	28
Tabela 2 – Resistência à compressão média (fc).....	28
Tabela 3 – Ensaio de resistência à abrasão.....	29
Tabela 4 – Ensaio de absorção de água	29
Tabela 5 – Tipo de obra e condições de adensamento e relação ao abatimento	36
Tabela 6 – Taxas de absorção de agregados reciclados de concreto	42
Tabela 7 – Quantidade de amostras para caracterização dos ensaios.....	64
Tabela 8 – Quantidade de corpos de prova por traço.	66
Tabela 9 – Composição granulométrica – Areia Natural	77
Tabela 10 – Composição granulométrica – RCPC.....	77
Tabela 11 – Composição granulométrica – Brita.....	78
Tabela 12 – Material Pulverulento – Areia Natural e RCPC.....	81
Tabela 13 – Massa específica absoluta – Areia Natural e RCPC	82
Tabela 14 – Massa unitária no estado solto: areia natural, RCPC e Brita.....	83
Tabela 15 – Massa unitária no estado compactado: Areia natural, RCPC e Brita	84
Tabela 16 – Taxa de absorção do agregado miúdo – Areia natural e RCPC.....	87
Tabela 17 – Massa específica da brita.....	89
Tabela 18 – Massa específica – Cimento Portland II Z 32.....	90
Tabela 19 – Determinação da pasta de consistência normal.....	90
Tabela 20 – Ensaio de pega (início e fim) – Cimento Portland II Z 32	91
Tabela 21 – Abatimento pelo tronco de cone	93
Tabela 22 – Quantidade de água para correção do abatimento	94
Tabela 23 – Quantidade de água para correção do abatimento	95
Tabela 24 – Quantidade de água para correção do abatimento	96
Tabela 25 – Resistências à compressão axial aos 3 dias –relação a/c cte.....	98
Tabela 26 – Resistências à compressão axial aos 28 dias –relação a/c cte.....	99
Tabela 27 – Resistências à compressão axial aos 28 dias – slump cte.....	100
Tabela 28 – Resistências à compressão aos 28 dias – slump cte	101
Tabela 29 – Resistências à tração por compressão diametral aos 3 dias.....	103
Tabela 30 – Resistências à tração por compressão diametral aos 28 dias.....	103

Tabela 31 – Índice de vazios e Absorção de água por imersão - relação a/c cte.....	106
Tabela 32 – Índice de Vazios e Absorção de água por imersão - slump cte.....	108
Tabela 33 – Absorção de água por capilaridade - a/c cte	111
Tabela 34 – Absorção de água por capilaridade - slump cte	113

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	Objetivo Geral.....	15
1.1.2	Objetivos Específicos	16
1.2	JUSTIFICATIVA	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1	CONSTRUÇÃO CIVIL	17
2.2	LEGISLAÇÃO.....	18
2.3	GERAÇÃO DE RESÍDUOS.....	21
2.4	CONCRETO	21
2.5	AGREGADOS	23
2.6	TRABALHOS TÉCNICOS COM A UTILIZAÇÃO DO RCD	25
2.6.1	A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. Artigo. Miranda et al. 2009.	25
2.6.2	Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural. Tese (Doutorado). Buttler, A. M. 2007.....	26
2.6.3	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). Hood, R. S. S. 2006.	28
2.7	ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO.....	30
2.7.1	Determinação da composição granulométrica	30
2.7.2	Determinação de finos que passam através da peneira 75 µm.....	32
2.7.3	Determinação da massa específica.....	32
2.7.4	Determinação da massa específica unitária solta e compactado.....	33
2.7.5	Determinação do Inchamento da areia natural e da areia reciclada de RCPC 33	
2.7.6	Determinação da Massa Específica e Absorção de água	34
2.7.7	Agregado fino: determinação da absorção de água	34
2.7.8	Determinação da Massa Específica - Cimento Portland e outros materiais em pó	35
2.7.9	Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal	35
2.8	ENSAIOS NO CONCRETO NO ESTADO FRESCO.....	35
2.8.1	Consistência pelo tronco de cone.....	36
2.8.2	Massa específica, rendimento e teor de ar pelo método gravimétrico.....	37

2.9	ENSAIOS NO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO.....	38
2.9.1	Ensaio de compressão simples ou axial.....	38
2.9.2	Determinação da resistência à tração por compressão diametral.....	40
2.9.3	Absorção de Água por Imersão.....	41
2.9.4	Absorção de Água por Capilaridade.....	42
3	METODOLOGIA	44
3.1	ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO.....	45
3.1.1	Obtenção do resíduo de corpos de prova de concreto (RCPC)	45
3.1.2	Granulometria.....	48
3.1.3	Determinação de finos que passam através da peneira 75 µm.....	50
3.1.4	Determinação da massa específica ou absoluto	52
3.1.5	Determinação da massa unitária	53
3.1.6	Determinação do inchamento da areia.....	55
3.1.7	Determinação da massa específica e absorção de água (agregado graúdo).....	56
3.1.8	Determinação da absorção de água (agregado miúdo)	58
3.1.9	Determinação da massa específica – Cimento Portland e outros materiais em pó	60
3.1.10	Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal	61
3.1.11	Tempo de início de pega e final de pega.....	61
3.2	PREPARAÇÃO INICIAL DOS CONCRETOS	63
3.2.1	Mistura dos materiais	64
3.2.2	Moldagem, adensamento, cura e capeamento dos corpos de prova	66
3.3	ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO.....	67
3.3.1	Ensaio de abatimento de tronco de cone	67
3.3.2	Massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico.....	70
3.4	ENSAIO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO	71
3.4.1	Resistência à compressão simples	72
3.4.2	Resistência à tração por compressão diametral.....	73
3.4.3	Absorção de água por imersão	74
3.4.4	Absorção de água por capilaridade	75
4	RESULTADOS E ANÁLISES	76
4.1	ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO.....	76
4.1.1	Determinação da composição granulométrica.....	76
4.1.2	Determinação de finos que passam através da peneira 75 µm.....	80
4.1.3	Massa específica absoluto de agregados miúdos	81

4.1.4	Massa específica unitária de agregados miúdos e graúdos.....	82
4.1.5	Massa específica unitária de agregados no estado compactado	83
4.1.6	Inchamento da areia.....	85
4.1.7	Determinação da massa específica e absorção de água de agregados miúdos 87	
4.1.8	Determinação da massa específica e absorção de água de agregado graúdo 88	
4.1.9	Massa específica do Cimento Portland (CP II Z 32).....	89
4.1.10	Determinação pasta de consistência normal.....	90
4.1.11	Início de pega e Fim de pega de cimento.....	91
4.2	ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO.....	92
4.2.1	Abatimento do tronco de cone.....	92
4.2.2	Massa específica pelo método gravimétrico.....	94
4.3	ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO.....	98
4.3.1	Resistência à compressão axial simples	98
4.3.2	Resistência à tração por compressão diametral.....	102
4.3.3	Absorção de água por imersão	104
4.3.4	Absorção de água por capilaridade	110
5	CONCLUSÃO	115
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	116
	REFERÊNCIAS.....	118

1 INTRODUÇÃO

Durante a história do desenvolvimento da humanidade, a visão do crescimento urbano estava atrelada ao uso e transformação da natureza. Desta maneira, os recursos naturais eram vistos de forma ilimitados, portanto, a preservação da natureza era vista de forma adversa ao desenvolvimento. Com o passar do tempo, essa visão foi dada como equívoca, e a poluição se tornou um assunto de diversos debates, sendo estabelecidas as legislações referentes ao manejo desses poluentes, tornando-se cada vez mais rigorosas.

A destinação do resíduo de construção é um dos importantes impactos ocasionados pelas atividades provenientes da construção civil. Este tipo de resíduo resulta em efeitos deteriorantes ao ambiente local, dentre eles pode-se citar: a alteração da paisagem, dificuldades impostas ao tráfego de pedestres e veículos, comprometimento da drenagem urbana, assoreamento de recursos hídricos, atração para a disposição de resíduos não-inertes e a multiplicação de vetores de doenças (HOOD, 2006).

Esses resíduos têm se tornado, ao longo dos anos, uma grande problemática para as administrações municipais, pois coletar, transportar e dispor esses resíduos sólidos têm se tornado cada vez mais difícil, isso devido à dificuldade de encontrar espaços adequados para sua destinação nos centros urbanos, sendo assim, as deposições dos resíduos elevam os custos de transporte devido as grandes distâncias para a correta destinação final.

A problemática em relação aos resíduos gerados através das atividades da construção civil é que geralmente não se tem conhecimento dos volumes gerados, e seus impactos, não recebendo a destinação adequada e causando problemas de saneamento nas áreas urbanas.

Desse modo, a reciclagem dos resíduos da construção civil surge como uma alternativa sustentável, tanto para suprir a demanda dos agregados como para a preservação do meio ambiente.

Neste contexto, a preservação do meio ambiente e a busca pelo desenvolvimento sustentável tem estimulado a realização de diversas pesquisas relacionadas ao uso de agregados reciclados, provenientes de resíduos sólidos, principalmente do meio da construção civil.

Portanto, neste trabalho fez-se a caracterização do resíduo de corpos de prova de concreto (RCPC) utilizando de forma experimental na produção de concreto em diferentes percentuais de adições, buscando-se compreender de forma científica o comportamento do concreto com reutilização desses materiais, avaliando portanto, a possibilidade de sua utilização na produção em escala comercial, sendo essa, uma forma alternativa e sustentável na destinação desses resíduos. O trabalho será dividido em cinco partes, sendo que na primeira fez-se à revisão bibliográfica sobre resíduos de construção civil, na segunda, a caracterização dos ensaios, na terceira a metodologia empregada, e na quarta etapa, obtenção e análises dos resultados, e por fim, as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo do presente trabalho é de analisar as propriedades mecânicas do concreto produzido através de agregados provenientes de Resíduo de Corpos de Prova de Concreto (RCPC).

1.1.2 Objetivos Específicos

Dentre os objetivos específicos a serem alcançados nesta pesquisa destacam-se:

- a) Estudar a influência do agregado miúdo advindos dos resíduos exclusivamente de corpos de prova de concreto (RCPC) sobre as propriedades mecânicas de um novo concreto dosado para 20 MPa;
- b) Determinar através dos ensaios qual a porcentagem que apresenta a maior viabilidade técnica da utilização de RCPC como agregado miúdo;
- c) Realizar ensaios de caracterização do concreto, no estado fresco e endurecido, comparando com os diferentes teores de substituição do agregado miúdo natural por RCPC.

1.2 JUSTIFICATIVA

O município de Toledo, localizado na região oeste do Paraná, em que se realizou o estudo, há grande dificuldade de obter areia grossa, pois nas jazidas disponíveis no município encontram-se disponíveis apenas areias com granulometria média e fina. Além disso, fez-se um levantamento nas lojas especializadas em materiais para construção civil e identificou-se que as mesmas não possuem areias grossas para pronta entrega, apenas sob encomenda. No entanto, é sabido que para a utilização de agregados (areia e brita) na produção de concreto, é recomendado a utilização de uma granulometria com distribuição contínua dos grãos, ocasionando melhor empacotamento granular. Em vista disso, busca-se a reutilização de resíduo advindos exclusivamente de Corpo de Prova de Concreto já utilizados em ensaios laboratoriais, denominados aqui com a sigla (RCPC) na substituição parcial e/ou total no agregado miúdo natural.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo Amadei (2011), após a explosão demográfica que aconteceu no início do século XX, houve o crescimento das construções civis nos centros urbanos, e, com isso, a geração de resíduos de construção também aumentou, tornando-se um grave problema socioambiental. Esses resíduos ganharam atenção após a 2ª Guerra Mundial, pois muitos países utilizaram esses materiais como base de matéria-prima para reconstrução.

Desde então, inúmeras pesquisas vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de aumentar o potencial da utilização do resíduo de construção. De acordo com isso, Levy e Helene (2000) consideram o ano de 1946 como o início do desenvolvimento da reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) na construção.

De acordo com Hood (2006), em grandes centros urbanos, as atividades da construção civil causam importantes impactos ao meio, sendo este a geração do resíduo de construção.

Hood (2006) cita que a indústria da construção civil requer uma grande quantidade de matérias-primas não-renováveis para executar as diversas atividades. A exploração de jazidas de areia, argila e material pétreo é essencial para a continuidade das obras necessárias ao desenvolvimento humano, mas produz um passivo ambiental que impede a sustentabilidade requerida pelas gerações futuras.

Segundo Fonseca (2006), uma das alternativas para suprir a demanda de agregados da construção civil é a reciclagem dos resíduos, sendo esta uma necessidade para a preservação do meio ambiente. Essa reciclagem apresenta vantagens ambientais e econômicas e vem recebendo grande impulso no Brasil com a implantação de recicladoras em municípios médios e grandes portes.

De acordo com Amadei (2011), esses resíduos podem ser utilizados em bases para pavimentação, argamassas, concretos, entre outros, reduzindo assim áreas

destinadas aos aterros, a diminuição da poluição e o menor consumo dos recursos naturais.

Assim há a necessidade de se conscientizar a população de que a matéria-prima é limitada, devendo ser utilizada de forma racional. Além disso, deve-se buscar fontes alternativas de materiais.

Portanto, a reciclagem do resíduo de construção e demolição é uma forma de aproximar o setor da construção civil da sustentabilidade, através da redução dos impactos gerados através dos resíduos e da geração de uma nova fonte de matéria a qual pode ser substituída pela natural (ÂNGULO *et al.*, 2002).

2.2 LEGISLAÇÃO

A Resolução nº 307 de 05/07/2002 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), classifica os resíduos provenientes da construção civil como Classe A, resíduos reutilizáveis ou recicláveis, indicando onde os mesmos podem ser dispostos. Estabelece também diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais.

Segundo Leite (2001), os resíduos devem ser classificados, do ponto de vista do risco ambiental, para que possam sofrer o correto destino e manuseio.

Segundo a Resolução nº 307 do CONAMA, os resíduos da construção civil (Classe A) deverão ser destinados da seguinte forma: reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduo classe A de reservação de material para usos futuros.

No art. 2 da mesma resolução, realiza-se uma conceituação de alguns termos que são importantes na gestão dos resíduos sólidos gerados pela construção civil:

"- Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros,

plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha;

- Agregado reciclado: é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia;

- Gerenciamento de resíduos: é o sistema de gestão que visa reduzir, reutilizar ou reciclar resíduos, incluindo planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e implementar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos;

- Reutilização: é o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo;

- Reciclagem: é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação;

No art. 3 desta mesma resolução classificam os resíduos de construção nas categorias A, B, C e D sendo que o resíduo da construção civil que serão utilizados no presente trabalho está classificado na categoria “A” a qual são apresentadas da seguinte maneira:

Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;”

A NBR 10004 (ASSOCIAÇÃO..., 2004) define três categorias de resíduos sólidos:

(a) Resíduos Perigosos – Classe I, categoria da qual exclui expressamente os resíduos dos tratamentos de esgotos, resíduos sólidos domiciliares e os resíduos da construção civil; (b) resíduos não inertes ou de classe II; (c) resíduos inertes, de classe III, definidos como aqueles que em ensaio de solubilização dos resíduos, após 7 dias, a água apresenta condições de potabilidade, exceto pela cor.

De acordo com a Lei 12.305 (BRASIL, 2010), de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, sendo esta, disposta sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. Também compreende os Resíduos da Construção Civil, sujeitando as empresas deste ramo às normas estabelecidas pelo Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), órgão este responsável pela proteção e melhoria na qualidade ambiental. Sendo assim, o plano de gerenciamento do resíduo abrange o poder público nos âmbitos federal, estadual e municipal, além dos geradores, para que a

gestão seja integrada, norteada por essa lei, de modo a minimizar os impactos no meio ambiente.

2.3 GERAÇÃO DE RESÍDUOS

Até a década de 90, pouco se conhecia sobre a intensidade da geração desses resíduos, limitando-se apenas ao que encontrava-se visivelmente acumulado nos ambientes urbanos. Também não havia quaisquer indicadores para a ocorrência de perdas na construção civil, sendo esses de suma relevância, haja vista a supremacia do entulho na composição dos Resíduos Sólidos Urbanos em cidades brasileiras de médio e grande porte.

Na indústria da construção civil, os resíduos são sempre gerados dentro do próprio meio, através dos processos da obra. Vieira (2003), afirma que há basicamente três fases nas quais o resíduo de construção é gerado: fase de construção, fase de manutenção ou reformas e a fase de demolição.

Segundo Pinto (1999), os resíduos que são gerados provenientes das atividades de construção civil não tem a correta disposição adequada, impactando dessa forma o ambiente urbano, criando problemas de saneamento e a proliferação de vetores de doenças. Ocorre que o gestor dos resíduos tem um profundo desconhecimento dos volumes gerados, de seus impactos, dos custos sociais e, das possibilidades da sua reciclagem.

O resíduo que é gerado através da fase de construção é proveniente das perdas que ocorrem nos processos construtivos. Grande parcela dessa perda permanece nas construções através de componentes cujas dimensões finais são superiores às de projeto. A outra parte não é aproveitada, que é o RCD propriamente dito (VIEIRA, 2003).

Na etapa de manutenção, John (2000) cita que, a geração de resíduos se deve ao processo de reformas para modernização ou para correção de patologias.

De acordo com Vieira (2003), durante a etapa de demolição, é gerado uma grande quantidade de resíduos, tornando essenciais algumas providências para a redução desses.

Os resíduos de Construção e Demolição se apresentam na forma sólida, nos mais diversos formatos e dimensões, possuindo características físicas bastante variáveis, pois são determinadas pelo seu processo gerador (ZORDAN, 1997).

Amadei (2011) cita que as características dos resíduos da construção civil são bastante heterogêneas, variando conforme a qualidade da mão-de-obra empregada, das técnicas construtivas utilizadas, da presença ou não de programas de qualidade, dos tipos de materiais aplicados, entre outros fatores.

De acordo com Miranda (2005), a areia reciclada através da utilização do resíduo de construção poderá ser uma alternativa para a utilização como agregado do concreto, pois obtêm-se qualidade compatível com a areia natural, que geralmente tem um elevado custo, pela dificuldade na sua obtenção.

2.4 CONCRETO

Petrucci (1998, p.1) define concreto como:

“ Material de construção constituído por mistura de um aglomerante com um ou mais materiais inertes e água. Quando recém misturado, deve oferecer condições tais de plasticidade que facilitem as operações de manuseio indispensáveis ao lançamento nas formas, adquirindo, com o tempo, pelas reações que então se processarem entre aglomerante e água, coesão e resistência.”

Segundo Amadei (2011), os concretos e argamassas são os produtos que mais consomem recursos naturais na construção. A tecnologia que vem sendo empregada nas centrais de reciclagem de RCD não confere aos agregados reciclados a qualidade necessária para que sejam utilizados em concretos conforme especificações internacionais.

De acordo com Basheer et al. (2001), a resistência, retração, durabilidade e permeabilidade do concreto sofrem influência do número, tamanho, tipo e distribuição dos poros presentes nos agregados, na pasta de cimento e na zona de transição. Mehta

e Monteiro (1994), citam que a massa unitária, módulo de elasticidade e a estabilidade dimensional do concreto dependem da densidade e resistência do agregado.

De acordo com Amadei (2006), para viabilizar o uso do entulho reciclado em concretos é necessário que o material atenda às solicitações, de maneira a se tornar competitivo com o convencional. As exigências gerais a que qualquer agregado deve atender são: de ser suficientemente resistente para o tipo de concreto em que for usado, ser dimensionalmente estável conforme as modificações de umidade, não reagir com o cimento ou com o aço usado nas armaduras, não conter impurezas reativas e ter formato de partículas e granulometria adequadas à produção de concreto com boa trabalhabilidade.

O comportamento dos concretos produzidos com agregado reciclado varia mais que o dos concretos convencionais, pois além das variações ligadas à relação água/cimento e ao consumo de aglomerantes, há ainda as mudanças determinadas por variações na composição e outras características físico-químicas dos resíduos reciclados. Destacam-se a maior absorção de água, a heterogeneidade na composição e a menor resistência mecânica dos grãos.

Em relação aos concretos utilizados proveniente de resíduos de construção, pode-se afirmar que o maior limitante da sua resistência é a porosidade apresentada, em razão dele ser o principal responsável pela “ introdução de porosidade” nesse sistema (TENÓRIO, 2007).

Leite (2001), ao avaliar criteriosamente as propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados miúdos e graúdos provenientes de entulho, concluiu que:

“ Uso de agregados reciclados é perfeitamente viável para produção de concretos, pelo menos do ponto de vista das propriedades mecânicas avaliadas. No entanto, é importante ressaltar que, para relações a/c baixas, a combinação das duas frações de agregados reciclados merece atenção especial, visto que foram observadas reduções das resistências mecânicas”.

Ainda descreve que para produção de concretos com altas relações água/cimento, o uso das duas frações de agregados reciclados é bastante satisfatório, devendo ser observados apenas cuidados com a trabalhabilidade.

2.5 AGREGADOS

Zordan (1997) avaliou a influência da variabilidade dos agregados reciclados em algumas propriedades do concreto (Figura 1 e Figura 2). A variação da composição dos agregados causou uma diferença entre 13,2% a 30% na resistência à compressão dos concretos em relação a concreto com agregados naturais utilizado como referência. Afeta ainda a durabilidade, devido à porosidade dos agregados reciclados que absorvem mais água, além da trabalhabilidade.



Figura 1 – Agregado miúdo de resíduo de construção.
Fonte: Zordan (1997).



Figura 2 – Agregado graúdo de resíduo de construção
Fonte: Zordan (1997).

Lima (1999) afirma que, o agregado miúdo reciclado através do resíduo de construção apresenta uma granulometria um pouco mais grossa que os agregados naturais, portanto, o seu módulo de finura é maior.

Em relação à massa unitária e à massa específica dos agregados miúdos utilizados através do RCD, geralmente apresentam valores menores em relação aos agregados naturais, porém, os valores encontrados na bibliografia são variáveis, principalmente pelo material ser bastante heterogêneo (LEITE, 2001).

Já para a utilização do resíduo de construção como agregado graúdo, Zordan (1997) concluiu que os concretos com a sua utilização obtêm menor resistência à compressão se comparado ao concreto de referência. Porém, o autor cita que após realizada análises referente a resistência à compressão, resistência à abrasão e permeabilidade dos concretos produzidos, o concreto com utilização de RCD poderia ser utilizado de forma não estrutural.

De acordo com Lima (1999), em face da possibilidade de atividade pozolânica dos agregados reciclados, a resistência à compressão é um parâmetro que é melhorado, principalmente em idades mais avançadas.

Desta forma, Leite (2001) concluiu que a presença de agregado natural produz maiores taxas de crescimento de resistência dos 28 aos 91 dias, apontando assim, a existência de atividade pozolânica da fração miúda do agregado reciclado. Khatib (2005) também afirmou o mesmo, e complementa que a agregados miúdos reciclados de material cerâmico, propiciam maiores resistências à compressão do concreto aos 90 dias, se comparado ao agregado miúdo reciclados de concreto.

Em relação a quantidade de água que é necessária ao concreto, Topçu e Sengel (2004) afirmam que se produzido com agregado reciclado de RCD, se evidencia uma taxa maior da sua utilização em relação aos concretos de referência, em virtude da alta taxa de absorção apresentada pelo material reciclado, e caso o RCD tenha em sua composição material cerâmico, a quantidade de água necessária torna-se ainda maior.

2.6 TRABALHOS TÉCNICOS COM A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO

O uso de resíduo de construção como substituto de agregados (miúdo e graúdo) natural já é difundido e utilizado, principalmente em grandes centros urbanos, pois as quantidades geradas de resíduos são enormes e as distancias para o bota-fora, também são cada vez maiores. Nesse sentido, abaixo, demonstra-se algumas revisões específicas no assunto abordado.

2.6.1 A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. Miranda et al. 2009.

Miranda et al. (2009) apresentam o panorama da reciclagem de RCD entre 1986 e 2008 no Brasil, evidenciando que essas atividades têm se intensificado nos últimos 5 anos. Inicialmente, realizou-se os primeiros estudos sobre o tema, iniciados por Pinto (1986) em argamassas, seguidos por Bodi (1997) em pavimentos, e posteriormente, Levy (1997) e Zordan (1997) estudaram sua utilização em concretos.

Em 2002, entrou a questão legislativa, onde a resolução CONAMA 302, definiu que grandes geradores públicos e privados são obrigados a desenvolver e a implantar um plano de gestão de RCD. Miranda et al. citam que após a resolução CONAMA 307, a quantidade de usinas de reciclagem cresceu, porém, o sistema de reciclagem é realizado ainda de forma simples.

Miranda et al. (2009) realizaram o levantamento do número de construtoras brasileiras que implantaram o sistema de gerenciamento de RCD em seus canteiros. Os resultados foram que apenas 1% do total das empresas com mais de cinco funcionários, implantaram o gerenciamento do resíduo, sendo estas em sua maioria empresas de médio e grande porte.

Os autores afirmam que esse número poderia ser maior, esse fator depende da implantação dos planos de gerenciamento do RCD juntamente com os planos de gerenciamento municipal.

Em relação as usinas de reciclagem (especificamente de resíduos de classe A), os autores evidenciam que há um significativo aumento no país (Gráfico 1).

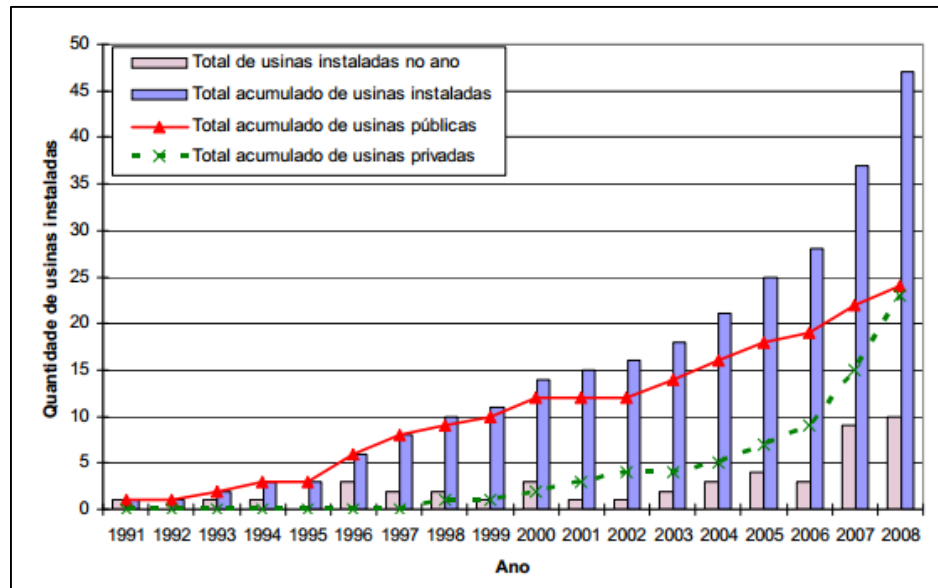


Gráfico 1 – Usinas de reciclagem de RCD de classe A no país
Fonte: Miranda et al. 2009.

Através da pesquisa feita pelo autor, evidencia-se que após a resolução do CONAMA 302, em 2002, houve um considerável aumento das usinas de reciclagem.

Por fim, os autores concluem que as normas não garantem a homogeneidade dos agregados reciclados, nem sua aceitação no mercado. O custo do controle de qualidade é baixo e precisa ser implantado com o intuito de se reduzir a variabilidade de melhorar a qualidade e a confiabilidade dos agregados reciclados.

2.6.2 Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural. Tese (Doutorado). Buttler, A. M. 2007.

O estudo teve como objetivo avaliar a incorporação de agregados reciclados de concreto em blocos estruturas de concreto, tendo diferença na classe de resistência (4,5 MPa, 8 MPa e 12 MPa).

Primeiramente, o autor analisou as propriedades físicas dos agregados miúdos e grãos reciclados, em seguida, analisou as propriedades físicas e mecânicas de corpos-de-prova produzidos através do agregado reciclado. Na etapa seguinte, avaliou-se a viabilidade técnica da produção de blocos com agregados reciclados, verificando suas propriedades físicas, mecânicas e sua viabilidade econômica. Segundo o autor, a viabilidade técnica foi satisfatória, pois independente da resistência avaliada, todas as unidades de agregado reciclado cumpriram os requisitos estabelecidos, e para o estudo econômico, a produção do concreto com agregado reciclado foi benéfica pois reduziu os custos de produção.

Quanto as propriedades físicas, Buttler (2007) constatou que houve um aumento significativo nos valores de absorção de água e índice de vazios e redução da massa específica proporcional à taxa de substituição de agregados naturais por reciclados, principalmente quando a substituição foi realizada através do agregado miúdo natural por reciclado. Em relação a coesão, o autor afirma que a inclusão de agregados oriundos de resíduos de baixa resistência, acarretam uma redução significativa, podendo isso, inviabilizar a produção de alguns traços com esses resíduos.

Quanto as propriedades mecânicas (resistência à compressão, à tração, e módulo e deformação), o autor afirma que traços com agregados de RCD com baixa resistência e com elevadas porcentagens de substituição do agregado natural por reciclado, obtêm-se os menores valores para as propriedades mecânicas.

Por fim, o autor conclui que, o agregado grão reciclado tem aspectos positivos que viabilizam sua utilização na produção de concreto, porém o agregado miúdo reciclado, têm aspectos negativos como elevada absorção de água e alto teor de finos, restringindo assim, seu emprego na produção de concreto.

2.6.3 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). Hood, R. S. S. 2006.

O trabalho realizado por Hood (2006) utilizou resíduo de construção, como agregado miúdo reciclado em substituição do agregado miúdo natural em blocos de concreto para pavimentação. Ele utilizou as substituições de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, para os ensaios de: resistência à compressão, resistência à abrasão e absorção de água. Após a coleta do entulho, Hood (2006) verificou a variabilidade de materiais que constituem o resíduo, assim, os resquícios (Tabela 1) obtidos por ele formam:

Tabela 1 – Material constituinte do resíduo

Material	Quantidade (%)
Argamassa	38,43
Concreto	26,58
Material Cerâmico	29,13
Rocha Natural	5,86
Total	100

Fonte: Hood, 2006.

O cimento utilizado na pesquisa de Hood, foi o CPV-ARI, pois o uso de cimentos de alta resistência inicial é particularmente interessante em pré-moldados de concreto. Para o ensaio de resistência à compressão, foram escolhidas 4 datas para realização das análises, sendo estes de 3, 7, 14 e 28 dias, Tabela 2:

Tabela 2 – Resistência à compressão média (fc)

Traço (% de substituição)	fc3 (MPa)	fc7 (MPa)	fc14 (MPa)	fc28 (MPa)
0	20,63	26,13	29,74	32,53
25	17,15	19,78	23,5	26,67
50	9,02	9,75	11,26	11,84
75	6,54	8,76	10,23	11,16
100	4,7	4,87	7,16	9,95

Fonte: Hood, 2006.

A conclusão tida pelo autor, foi de que quanto maior a porcentagem de substituição do agregado reciclado pela areia natural, menor foi resistência à compressão. Mesmo assim, o autor salienta que a utilização de RCD com substituição de 25% é interessante, mesmo obtendo diferenças na resistência. Além disso, Hood (2006) diz que a substituição é válida, pois contribuem para a redução da extração de materiais minerais da natureza (matéria prima), além de diminuir as áreas para a disposição final de resíduos da construção.

Já para o ensaio de resistência à abrasão, o autor realizou o ensaio aos 28 dias, e os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Ensaio de resistência à abrasão

Traço (% de substituição)	Índice de desgaste (mm)
0	6,17
25	10,63
50	12,8
75	14,65
100	11,98

Fonte: Hood, 2006.

Verifica-se que houve um aumento do índice de desgaste à abrasão quando da presença de agregado miúdo reciclado nos blocos de concreto. Segundo o autor, isso ocorre devido ao fato da presença de resíduos de material cerâmico e argamassa na composição do agregado reciclado. O ensaio de absorção de água foi realizado aos 28 dias. Os resultados encontrados pelo autor são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Ensaio de absorção de água

Traço (% de substituição)	Absorção (%)
0	6,73
25	7,39
50	10,14
75	12,25
100	10,27

Fonte: Hood, 2006.

De acordo com o Hood (2006), houve um aumento da absorção de água dos blocos a medida que o teor de substituição do agregado miúdo de resíduo reciclado por natural aumentava.

Por fim, o autor conclui que os teores de 50%, 75% e 100% não se mostraram satisfatórios por terem resistência aos 28 dias bem abaixo do concreto padrão, porém, o teor de 25% se mostrou satisfatório, podendo ser utilizado para produção de blocos de concreto para pavimentação, especialmente em situações de menor solicitação de tráfego de veículos.

2.7 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Abaixo, descreve-se os ensaios de caracterização a serem realizados nos materiais constituintes, a fim de compreender melhor seu comportamento e os efeitos nos resultados.

2.7.1 Determinação da composição granulométrica

Granulometria, graduação ou composição granulométrica de um agregado é a distribuição percentual dos seus diversos tamanhos de grãos, considerando a quantidade de material, em massa, retido nas peneiras da série normal. Através desses ensaios determina-se a curva de composição granulométrica, o módulo de finura e a dimensão máxima do agregado, de acordo com a NBR NM 248 (ASSOCIAÇÃO... 2003a).

Segundo Hewlett (1998) *apud* Neto (2006), caso a granulometria seja contínua, com as partículas distribuídas uniformemente, é possível obter um concreto compacto e resistente para um teor mínimo de cimento, reduzindo assim, o risco de segregação.

Normalmente, areias muito grossas influenciam na trabalhabilidade e produzem misturas de concreto ásperas, em contra partida, as areias muito finas aumentam o

consumo de água, e conseqüentemente, o consumo de cimento, sendo então antieconômicas (LODI, 2006).

De acordo com Sbrighi Neto (2005), uma granulometria equilibrada tem grande importância na trabalhabilidade do concreto e em sua economia, reduzindo o volume de vazios, e conseqüentemente, os espaços por onde podem penetrar os agentes agressivos ao concreto.

Souza Coutinho (1999) afirma que estudos experimentais demonstram que quanto maior o agregado graúdo, menor a resistência do concreto com as mesmas quantidades dos demais componentes. Conforme estudo de Illston e Spon (1994) *apud* Neto (2006), essa redução é mais significativa em concretos com relações menores de água/cimento e para agregados passantes da peneira 37,5mm (Gráfico 2).

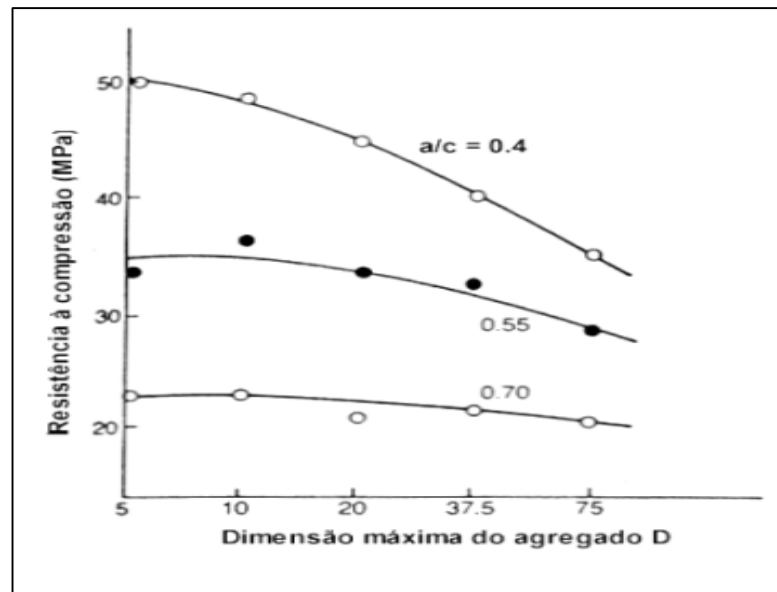


Gráfico 2 – Comparação da resistência à compressão do concreto com a dimensão máxima do agregado
 Fonte: Illston e Spon (1994) *apud* Neto (2006).

Verifica-se, portanto, que a resistência à compressão de concretos com relação água/cimento baixa, têm grande influência pela dimensão máxima do agregado.

Assim, este ensaio tem grande importância na determinação da granulometria do resíduo de construção coletado, que posteriormente será utilizado na substituição do agregado miúdo.

2.7.2 Determinação de finos que passam através da peneira 75 µm

Segundo definição de Petrucci (1998, p.58), material pulverulento:

“É constituído de partículas de argila (<0,002mm) e silte (0,002 a 0,06mm), principalmente argilas. O efeito real da argila depende, muito especialmente, da maneira como se apresenta e da proporção de vazios da areia. Depende, também, da perfeição da operação de mistura e da quantidade de água de amassamento utilizado na argamassa ou concreto.”

De acordo com Meier (2011), em geral, a presença desses finos diminui a aderência do agregado a massa, aumentando o consumo de água devido a maior superfície de contato, sendo indesejável pois prejudica de forma direta a resistência de concretos e argamassas.

Para Lodi (2006), após realizada a revisão da NBR 7211 (ASSOCIAÇÃO..., 2005a) em 2005, o interessante da atualização é que, a uma diferença nos limites permitidos, sendo que foi alterado de 3% para 10% em concreto submetido a desgaste superficial, e de 5% a 12%, caso o concreto seja protegido ao desgaste.

Portanto a determinação da quantidade de material pulverulento é importante, pois altos teores desse material prejudicam a trabalhabilidade do concreto, podendo causar danos indesejáveis.

2.7.3 Determinação da massa específica

De acordo com a NBR 9775 (ASSOCIAÇÃO..., 2011a), a determinação da massa específica pode ser realizada através do ensaio com Frasco de Chapman, o qual é inserido água no recipiente, e em seguida, a amostra do agregado. A leitura do nível atingido indica o volume de água deslocado pelo agregado, dessa forma, é obtido o dado para cálculo da massa específica.

Segundo Leite (2001), tanto a massa específica, quanto a massa unitária dos agregados reciclados normalmente tem valores menores que os apresentados por agregados naturais. Bazuco (1999) afirma que essa redução é da ordem de 5 a 10%, podendo variar de acordo com a origem a granulometria do material.

2.7.4 Determinação da massa específica unitária solta e compactado

De acordo com a NBR NM 45 (ASSOCIAÇÃO..., 2006), a massa unitária solta de um agregado, é definido através da relação entre a massa do agregado e seu volume, sem compacta-lo. Já a massa unitária compactada de um agregado pode ser determinada pela relação entre sua massa e volume compactado. Seu emprego auxilia principalmente para escolha da mistura dos agregados, buscando ser o mais compacto possível, pois assim, têm-se menor índice de vazios entre os agregados.

De acordo com Neville (1997), a massa unitária depende da forma das partículas e da distribuição do seu tamanho, ou seja, partículas com mesma granulometria podem ser adensadas até um certo limite, porém, se houver partículas menores incorporadas, preenchendo os vazios, ocorrerá um aumento da massa unitária do material adensado. Já para os materiais reciclados, como o RCD, há uma redução da massa unitária, comparando-se com o agregado natural, pelo fato da argamassa se aderir as partículas de agregado.

2.7.5 Determinação do Inchamento da areia natural e da areia reciclada de RCPC

O inchamento é considerado um fenômeno da variação do volume aparente, provado pela absorção de água livre pelos grãos e que índice sobre a sua massa unitária.

Lodi (2006) explica a realização da determinação gráfica do coeficiente de inchamento:

“Para a determinação gráfica da umidade crítica, traçamos uma tangente à curva paralela ao eixo das abscissas; traçamos uma nova tangente à curva, paralela à corda que une a origem ao ponto de tangência da reta anterior; a umidade correspondente ao ponto de interseção das duas tangentes é a umidade crítica. A média dos coeficientes de inchamento no ponto correspondente à umidade crítica e o coeficiente máximo observado, é definido como coeficiente médio de inchamento.”

Segundo Viero (2010), o inchamento depende da composição granulométrica e do grau de umidade da areia, portanto, quanto maior a superfície específica, maior será o inchamento. Geralmente o inchamento máximo ocorre em teores de umidade entre 4 e 6%.

2.7.6 Determinação da Massa Específica e Absorção de água

Carrijo (2005), afirma que a massa específica é um ensaio importante, pois permite calcular o consumo de materiais utilizados na produção das misturas. É calculada de acordo com a massa por unidade de volume, incluindo os vazios.

Em estudo realizado por Carrijo (2005), a massa específica dos agregados graúdos reciclados foi menor se comparado aos naturais, dessa forma, foi realizado uma compensação de massa de material reciclado a ser utilizada nas misturas de concreto. Fato esse também observado na absorção de água, que foi maior para os agregados reciclados em relação ao agregado natural, realizando-se outra compensação de água, para que não haja redução da relação água/cimento das misturas.

2.7.7 Agregado fino: determinação da absorção de água

De acordo com definição da NBR NM 30 (ASSOCIAÇÃO..., 2001a), absorção é o processo pelo qual um líquido é conduzido e tende a ocupar os poros permeáveis de um corpo sólido poroso. A norma recomenda a quantidade de 1kg aproximadamente, sendo obtida através de quarteamento prévio.

Segundo Leite (2001), ao realizar o estudo de concretos, esse ensaio se torna importante, pois essa taxa interfere na relação água/cimento final da mistura, e caso a absorção não seja considerada, haverá uma redução da relação a/c, conseqüentemente uma redução da trabalhabilidade do material.

2.7.8 Determinação da Massa Específica - Cimento Portland e outros materiais em pó

A massa específica desses materiais é obtida através do regulamentado pela norma NBR NM 23 (ASSOCIAÇÃO..., 2001b), com a utilização de frascos Le Chatelier. De acordo com a norma o procedimento do ensaio é descrito da seguinte forma: Inicialmente enche-se o frasco com quantidade pré-definida de líquido não reagente, e em seguida é colocado em banho de água para adequação de temperaturas. Em seguida, insere-se uma quantidade de cimento, termorregulando a temperatura novamente.

2.7.9 Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal

A determinação da pasta é realizada através das prescrições da NBR NM 43 (ASSOCIAÇÃO..., 2003b), sendo fundamental seu estudo para as propriedades dos cimentos Portland. É utilizada de forma a padronizar todos os ensaios de caracterização dos cimentos, tornando assim uniforme a metodologia de análise e evitando variações.

2.8 ENSAIOS NO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

De acordo com Aitcin (2000), o estado fresco do concreto é o período que a mistura apresenta consistência plástica, portanto, o autor ressalta que existem duas razões principais para controlar as propriedades do concreto neste estado. Ressalta

primeiramente que o concreto deve ser lançado com facilidade e também que quando as propriedades no estado fresco estão sob controle, provavelmente no estado endurecido as propriedades do material estarão de acordo com o desejado.

2.8.1 Consistência pelo tronco de cone

De acordo com Neville (1997), este método é de fácil uso tanto em canteiro quanto em laboratório, é rápido e prático, porém apresenta restrições quanto a concretos secos ou pobres. Também cita que o método não avalia a facilidade de adensamento do concreto, pois acaba não refletindo as condições da mistura se submetida a condições dinâmicas, como por exemplo, vibração, bombeamento ou acabamento. Porém o autor recomenda a utilização do método, já que o ensaio pode revelar variações na mistura, causadas por exemplo, por variações de materiais ou na relação água/materiais secos.

Tartuce (1990), através do abatimento, define a consistência do concreto, e indica o tipo de obra a ser utilizado, de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 – Tipo de obra e condições de adensamento e relação ao abatimento

Consistência	Abatimento (mm)	Tipo de obra e condições de adensamento
Extremamente seca	0	Pré-fabricação, condições especiais de adensamento
Muito seca	0	Grandes massas; Pavimentação. Vibração muito energética
Seca	0 a 20	Estrutura de concreto armado ou protendido. Vibração energética
Rija	20 a 50	Estruturas correntes. Vibração normal
Plástica	50 a 120	Estruturas correntes. Adensamento manual.

Fonte: Tartuce, 1990.

De acordo com Guimarães (2005), a consistência é afetada por diversos fatores:

- a) Consumo de água;
- b) Consumo de cimento;
- c) Relação água/cimento, relação agregado/cimento e consumo de cimento;
- d) Adições;

- e) Aditivos;
- f) Agregados.

Em estudo realizado por Leite (2001), a autora realizou a substituição parcial (igual ou superior a 50%) do agregado miúdo e graúdo natural, pelo agregado com resíduo de construção em ambos os casos, e observou que, o agregado graúdo reciclado teve efeito significativo sobre o abatimento do concreto, sendo que, quanto maior o seu valor, menor o valor do abatimento. Já para o concreto realizado com a substituição do agregado miúdo reciclado, o abatimento fora menos prejudicado.

2.8.2 Massa específica, rendimento e teor de ar pelo método gravimétrico

A massa específica é a razão entre a massa do agregado e o seu volume, sendo utilizado principalmente para transformação do traço em massa para obtenção do volume absoluto e cálculo do consumo de cimento. Assim, de acordo com Latterza e Machado Jr. (1999), a massa específica, o concreto convencional apresenta uma maior massa específica do que o concreto reciclado, isso devido a quantidade maior de vazios presente no concreto reciclado. De acordo com o autor, dessa forma, o concreto produzido com agregado reciclado fica situado no limite entre o concreto leve e o convencional.

Kikuchi et *al.* (1993) *apud* Leite (2001), relata que há uma redução da massa específica do concreto reciclado conforme o teor de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado aumenta. O autor também afirma que, à medida que o teor de substituição aumenta, o teor de ar também aumenta, colaborando, assim, para redução da massa específica. Da mesma forma, Levy (1997), estipula que há uma redução de 5% a 10% na massa específica do concreto reciclado em relação ao convencional, isso devido ao fato do total de ar incorporado em concretos com material reciclado.

Em experimento realizado por Neto (2006), após realização de ensaio de teor de ar incorporado, natural observou-se que os concretos com agregado miúdo britado apresentaram maiores taxas de ar incorporado comparado com o agregado miúdo

natural, e de acordo com o autor, isso foi devido ao fato de que o agregado miúdo britado tem visualmente aspecto mais angular em relação ao agregado natural, além de apresentar maior quantidade de finos totais (cimento + material pulverulento), sendo mais viscoso, e portanto retendo mais ar durante o adensamento.

2.9 ENSAIOS NO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

Segundo Mehta; Monteiro (1994), uma das escolhas do engenheiro é o material que será utilizado, sendo fundamental a análise da capacidade do material de resistir a uma força aplicada. A deformação proveniente das cargas aplicadas é expressada em deformação específica, sendo esta a mudança do comprimento por unidade de comprimento, já a carga é expressa em tensão, sendo esta a força por unidade de área.

2.9.1 Ensaio de compressão simples ou axial.

No estudo realizados por Hood (2006), ele salienta que esse ensaio é um dos mais importantes para o concreto endurecido, sendo este a principal referência utilizada para classificação de concreto, quanto as propriedades mecânicas.

Para Leite (2001), a resistência à compressão do concreto sofre significativas alterações devido aos seguintes fatores (por ordem de importância): Relação a/c; Teor de substituição do agregado graúdo, idade, teor de substituição do agregado miúdo, interação entre teor de substituição do agregado graúdo x relação a/c, interação idade x relação a/c, interação teor de substituição de agregado miúdo x idade e a interação teor de substituição do agregado graúdo x idade x relação a/c.

Em estudo realizado por Khatib (2005), observa-se que há uma redução na resistência à compressão do concreto quando se há o aumento do teor de substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado (Gráfico 3).

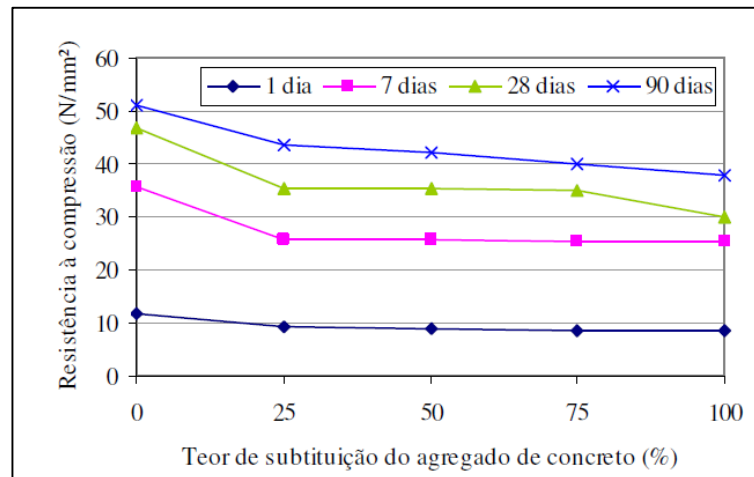


Gráfico 3 – Resistência à compressão do concreto devido ao teor de substituição do agregado miúdo reciclado utilizado

Fonte: Khatib (2005).

Já em estudo realizado por Leite (2001), após a substituição de 100% de agregado miúdo reciclado, porém com agregado graúdo natural, houve um crescimento de resistência entre 28 dias e 90 dias, efeito este atribuído à atividade pozolânica da fração miúda. Ainda segundo a autora, para concretos produzidos com altas relações água/cimento, a utilização conjunta de agregados graúdos e miúdos reciclados gerou concretos de maior resistência, sendo que, quanto maior o teor de substituição dos agregados, maior a resistência.

Em estudo realizado por Salem e Burdette (1998), a substituição do agregado graúdo natural por reciclado do concreto teve aumento da resistência à compressão, este fato foi atribuído à forma mais angular e à textura mais áspera do material reciclado, proporcionando assim melhor aderência, além disso, os autores citam que houve uma maior absorção de água apresentada pelo agregado reciclado, portanto, este fato pode ter reduzido a relação a/c do concreto.

De acordo com Leite (2001), há uma dificuldade em apontar qual comportamento observado para concretos produzidos com agregados reciclados é o mais correto, isso é atrelado ao fato que, há variações nos tipos de pesquisa desenvolvidos, tornando difícil a adoção de um estudo como parâmetro para se orientar quanto ao comportamento do material.

2.9.2 Determinação da resistência à tração por compressão diametral

Apesar do concreto não ser um material com boa resistência à tração, essa característica mecânica não deve ser desprezada quando se faz um estudo aprofundado das propriedades do concreto, principalmente quando há a utilização de novos materiais, como por exemplo a substituição do RCD nos agregados do concreto.

Em estudo realizado por Neto (2006), concluiu-se que fatores como relação água/cimento e tipo de agregado influenciam na resistência à tração por compressão diametral (Gráfico 4).

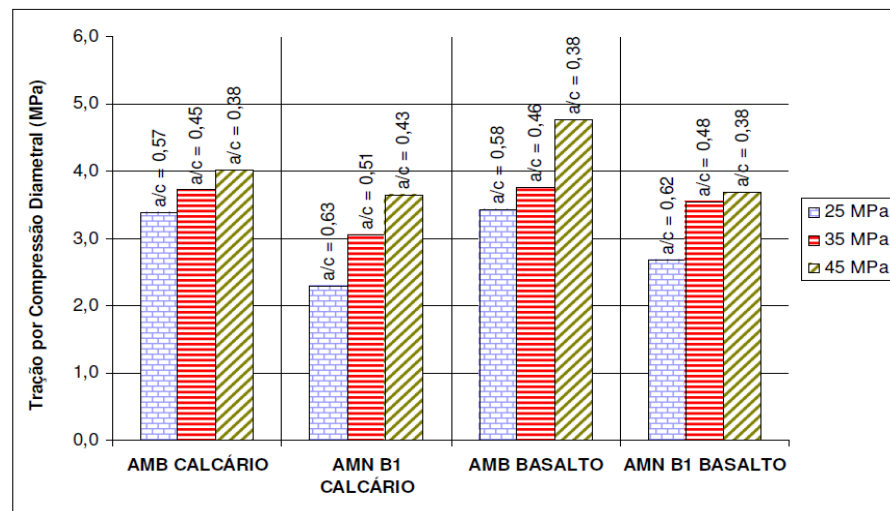


Gráfico 4 – Tração por compressão diametral do concreto para diferentes tipos de agregado e relação água/cimento

Fonte: Neto (2006).

Portanto, observa-se que para os traços contendo agregados miúdos britados atingiram maiores resistências, pelo fato da sua relação água/cimento ser menor.

Neville (1997), afirma que, quando há o aumento da resistência a compressão, também ocorre um aumento na resistência à tração (em uma taxa menor). Isso também foi observado no estudo realizado por Neto (2006), que também comparou a relação do aumento da resistência à compressão com a resistência à tração (Gráfico 5).

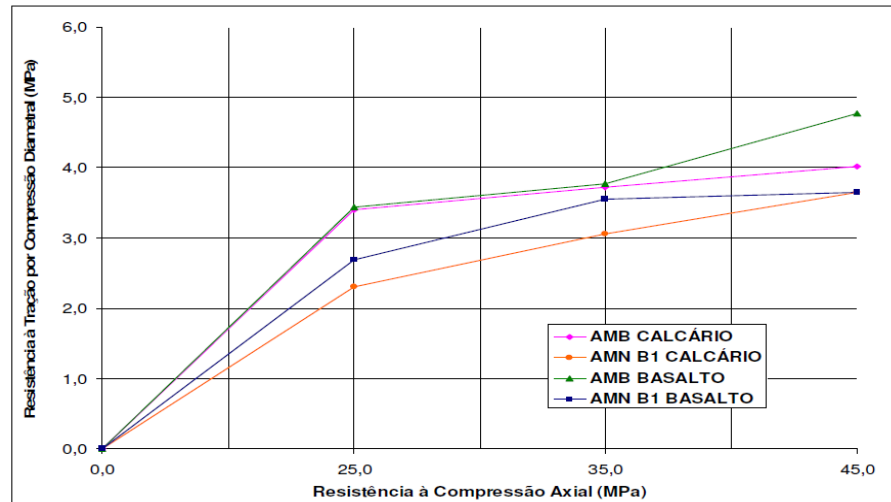


Gráfico 5 – Resistência à tração por compressão diametral pela resistência à compressão
Fonte: Neto (2006).

No experimento realizado pelo autor, concluiu-se que a relação entre a resistência à tração por compressão diametral e a resistência à compressão axial variou de 8,7% a 13,8%, tendo uma variação maiores para o traço de resistência à compressão fixada em 25 MPa, e a medida que a resistência à compressão era aumentada, a relação apresentou redução na sua variação entre as resistências.

Observou-se também, que este ensaio foi pouco realizado entre os diversos autores pesquisados, que estudaram sobre as características do concreto com substituição do RCD, portanto, com a realização deste ensaio, busca-se determinar se a substituição do agregado natural pelo reciclado nas diferentes faixas de substituição terão influência sobre a resistência à tração, lembrando que a relação água/cimento no estudo proposto, será mantida.

2.9.3 Absorção de Água por Imersão

De acordo com Carrijo (2005), este ensaio caracteriza com eficiência o volume dos poros, pois permite avaliar a quantidade total de água absorvida, e é importante para a escolha do procedimento de mistura e na quantificação do traço.

Em estudo feito por Maultzsch e Mellmann (1998) *apud* Leite (2001), concluíram que a taxa de absorção de agregados reciclados (granulometrias variadas) variavam de 4% a 10%, sendo que, após 10 minutos de imersão em água, os agregados absorveram de 70% a 95% do total de água absorvido.

Dessy et al. (1998) *apud* Leite (2001), também conseguiram porcentagens semelhantes de absorção, variando sua granulometria (Tabela 6).

Tabela 6 – Taxas de absorção de agregados reciclados de concreto

Frações	Absorção (%)
0 - 4 mm	8,15
4 - 7 mm	5,43
7 - 16mm	4,68

Fonte: Dessy et al. (1998).

De acordo com a NBR 9778 (ASSOCIAÇÃO..., 2005b), a absorção de água por imersão é medida através da inserção de corpos-de-prova secos em estufa dentro de tanques cheios de água, onde permanecerem por um tempo pré-determinado, imergidos. As amostras primeiramente se mantem com m terço do seu volume imerso nas primeiras 4 horas, em seguida em dois terços por mais quatro horas, e imerso por mais 64 horas no seu volume total. Além disso, os corpos-de-prova devem ser colocados em um recipiente e fervidos por 5 horas, em seguida, realiza-se os cálculos que fornecerão a porcentagem de absorção.

2.9.4 Absorção de Água por Capilaridade

Este ensaio é prescrito de acordo com o padronizado pela NBR 9779 (ASSOCIAÇÃO..., 2012). Segundo Neville (1997), a absorção capilar é um fenômeno que ocorre em estruturas porosas, e baseia-se na ação de forças de atração dos poros da estrutura sobre os líquidos que estão em contato com sua superfície.

A absorção capilar é considerada um dos mecanismos de transporte que mais afetam a durabilidade das edificações, especialmente, as expostas à chuva e ciclos de umedecimento e secagem. Além disso, este ensaio permite avaliar a permeabilidade de sólidos porosos, dessa forma, pode ser verificada a possibilidade de degradação pela entrada de agentes agressivos.

De acordo com Mehta e Monteiro (1994), quanto menor o diâmetro dos capilares, maiores as pressões, portanto, mais rápida a absorção de água pelo concreto. Quando há a ocorrência da água em pequenos capilares, se tem pressão hidrostática e sua remoção tende a induzir uma tensão de compressão sobre as paredes sólidas do poro capilar, causando também contração no sistema.

Portando, como estruturas de concreto externas estão sujeitas a ciclos de molhagem e secagem, se vê a importância de verificar a absorção capilar pois esta propriedade tem grande influência no transporte de água e de agentes agressivos para o interior do concreto.

3 METODOLOGIA

O procedimento metodológico empregado na realização deste trabalho foi de forma laboratorial, com a realização de variados ensaios e, todos seguiram as recomendações e procedimentos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Iniciou-se com os ensaios de caracterização dos materiais constituintes, como agregados, aglomerantes e dos resíduos de corpos de prova de concreto (RCPC) e, após, os ensaios no concreto, tanto no estado fresco como no endurecido.

Os materiais utilizados no concreto que servirá de referência (base de comparação com os concretos com RCPC) foram a areia, brita, cimento Portland e água para a moldagem de um concreto padrão (20 MPa). Os materiais, areia, brita e cimento Portland foram adquiridos no comércio local. Os resíduos foram coletados no local destinado a armazenamento de entulhos para descarte da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *câmpus* Toledo. Esses corpos de prova de concreto (RCPC) foram descartados após ensaios de resistência mecânica, realizados nas aulas de graduação da disciplina de Materiais de Construção Civil do curso de Engenharia Civil. Estes são normalmente dosados para atingirem uma resistência à compressão de 20 MPa aos 28 dias.

Adotou-se para o desenvolvimento do trabalho o traço para o concreto padrão de 1:3:3, que indica as proporções de cimento, areia e brita, respectivamente, em volume, com uma relação de água cimento de (a/c) 0,61 e abatimento, medido por *slump test* de 9 cm \pm 1 cm. Esse traço é de uso corrente em obras da cidade de Toledo-PR, por isso, faz-se essa adoção.

Para esse traço, definiu-se intervalos para substituição do agregado miúdo natural e o agregado miúdo reciclado (RCPC) em 0% (traço padrão, sem substituição), 25%, 50%, 75% e 100%, com objetivo de investigar qual o teor de substituição é o mais adequado. Para isso, avaliou-se vários concretos, para cada um dos percentuais de substituição, com a relação água/cimento (a/c) fixada em 0,61 e, em segundo momento, com o abatimento, medido pelo ensaio de tronco de cone (*slump test*), fixado em de 9 cm \pm 1 cm, variando, portanto, a relação a/c.

3.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

3.1.1 Obtenção do resíduo de corpos de prova de concreto (RCPC)

Utilizou-se o moinho de bolas para realizar a cominuição dos resíduos de corpos de prova de concreto. O moinho de bolas, em geral, é um equipamento com um cilindro horizontal e movido pelo acionamento do motor a uma velocidade de rotação baixa. O volume interno é de aproximadamente $1,50\text{m}^2$. No interior há uma palheta, que ao girar o cilindro, os materiais depositados com as bolas de aço entram em choque provocando a quebra por atritamento e redução em pequenas partículas.

Segundo Souza (2013) as esferas de aço em um moinho podem apresentar basicamente 4 (quatro movimentos) – Rotação: movimento de giro das bolas em torno de seu eixo, produzindo quebras por compressão, sendo este efeito pequeno dentro do moinho. Translação: é o movimento circular das bolas de acompanhamento da carcaça até uma certa altura, este movimento não promove nenhuma quebra, sendo responsável pelo gasto excessivo de energia na moagem. Deslizamento: é o movimento contrário ao movimento do moinho, as várias camadas de bolas deslizam umas sobre as outras e sobre a superfície interna do moinho, dando origem à quebra por atrito, o efeito é acentuado quando a velocidade de rotação do moinho é baixa. Quebra: movimento resultante das bolas pela força da gravidade e que origina a quebra por impacto, tendo efeito acentuado quando a velocidade é aumentada.

Os corpos de prova coletados, foram colocados no interior do moinho juntamente com as 11 esferas de aço, conforme Figura 3 (b), onde foram realizadas as moagens. A britagem foi feita no moinho de bolas, pois o laboratório não dispõe do britador de mandíbulas. É sabido que os britadores quebram os materiais em variados grãos, já o moinho, como o próprio nome diz, moem os materiais.



(a) Moinho de bolas



(b) Esferas de Aço

Figura 3 – (a) Moinho de bolas; (b) Bolas de aço

No processo de moagem, os corpos de prova colocados no moinho junto com as esferas de aço ficam por um período de até duas horas, onde, visualmente observa-se uma granulometria similar de uma areia. Então, este material moído é retirado e, em seguida novos RCPC são colocados para a moagem e, assim sucessivamente, até obter a quantidade necessária aos ensaios.

Durante este procedimento de moagem, verificou-se que alguns corpos de prova, após um determinado período no moinho em movimento de baixa rotação, permaneciam com pedaços grandes, em torno do volume da mão (Figura 4). Dessa forma, eram retirados do moinho apenas o material fino e os “pedaços” grandes não triturados eram novamente recolocados até a fragmentação.

Para ilustrar o procedimento de fragmentação, na Figura 4 apresenta-se quatro períodos de tempos (a, b, c e d) em que os corpos de prova foram triturados no interior do moinho de bolas, no início do processo, tempo de zero minutos, logo após a colocação dos RCPCs, 20 minutos, 40 minutos e 60 minutos, respectivamente.

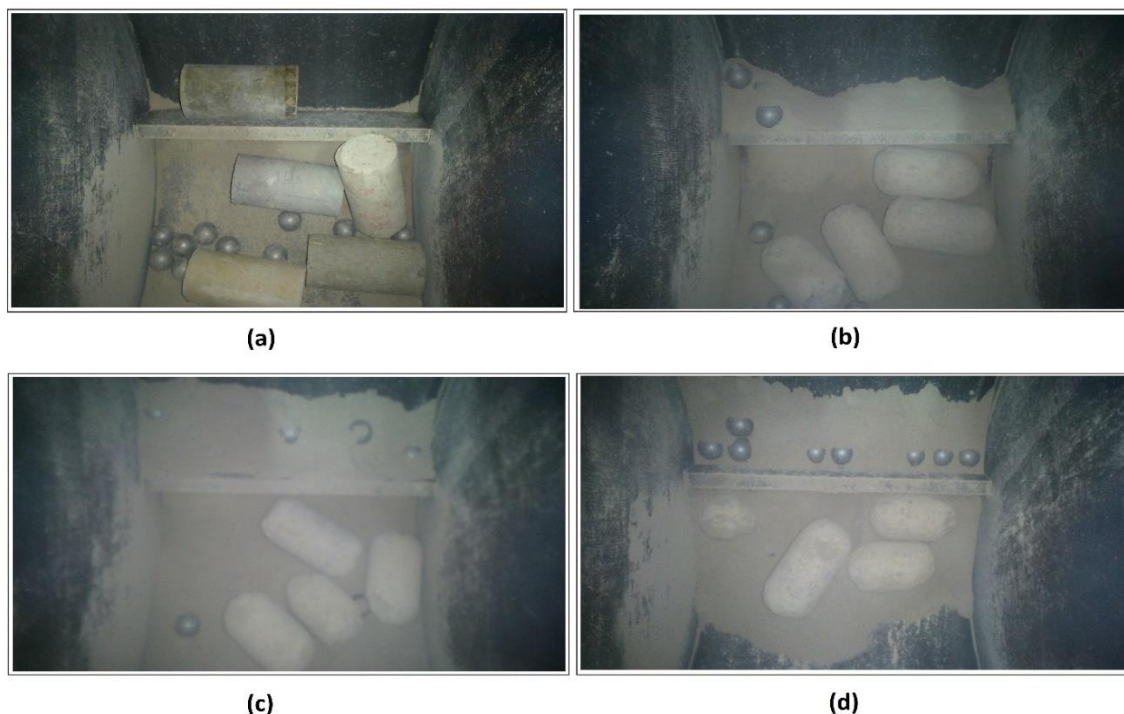


Figura 4 – Cominuição do RCPC no moinho de bolas. Início do ensaio (a); 20 minutos após o início (b); 40 minutos após o início (c); 60 minutos após o início (d)

O material retirado do moinho, como agregado miúdo, passa por um peneiramento inicial (peneira 4,76mm), pois verificou-se que haviam 2 tipos distintos de materiais resultantes desse processo, um material muito fino, quase pulverulento e, um outro material com granulometria maior. A Figura 5 (a) e (b) ilustra o material fino e o material grosso, respectivamente, resultantes da moagem.

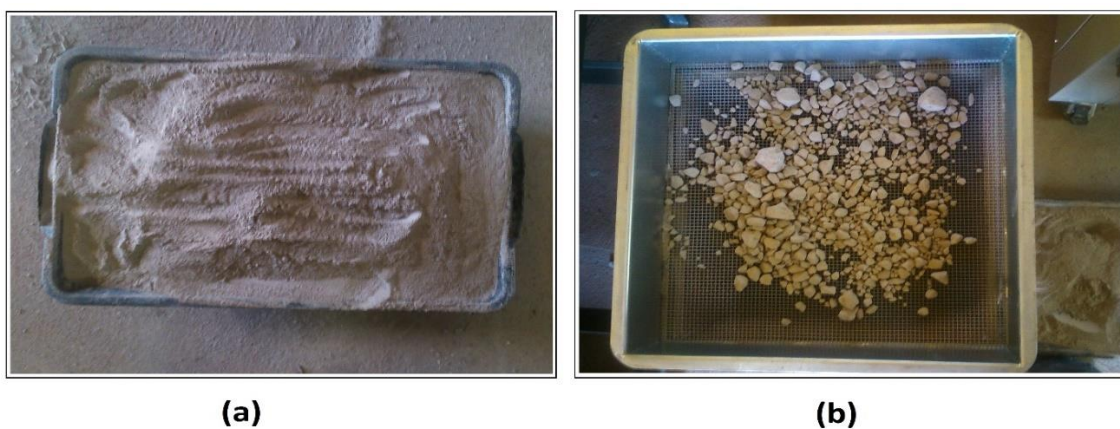


Figura 5 – Material obtido após moagem: RCCP com grãos finos (a); RCPC com grãos acima de 4,76mm (b)

Para os ensaios, utilizou-se apenas o material fino obtido na moagem, já os grãos grossos retidos na peneira de 4,76mm foram descartados.

3.1.2 Granulometria

De acordo com Petrucci (1998), a composição granulométrica é a proporção relativa dos diferentes tamanhos de grãos, e pode ser expressa pela quantidade de material que passa ou pelo material retido por peneira ou acumulado.

O ensaio de granulometria para areia natural, brita e RCPC (resíduo de corpos de prova de concreto) foi realizado de acordo com a NBR NM 248 (ASSOCIAÇÃO..., 2003) separando-se uma quantidade mínima de amostra seca de 300 g, utilizando-se as peneiras da série normal e intermediária:

- a) Primeiramente é retirada uma amostra de acordo com a NBR NM 26 (ASSOCIAÇÃO..., 2009b), e em seguida colocada para secagem em estufa a uma temperatura média de 105°C por um período de 24 horas, sendo resfriada a temperatura ambiente após esse tempo.
- b) Na sequência é posicionado as peneiras da série normal no agitador mecânico em que é adicionado uma parcela da amostra na peneira superior do conjunto, conforme Figura 6.
- c) Liga-se o agitador mecânico por um período de 15 minutos e após esse intervalo de tempo, retira-se do agitador o conjunto de peneiras e realiza-se agitação manual.

Retira-se o material retido de em cada uma das peneiras e fundo do conjunto e determina-se a massa retida. O ensaio é realizado duas vezes para cada amostra (areia natural, brita e RCPC). A Figura 7, Figura 8 e Figura 9 mostram os grãos retidos em cada peneira das amostras de areia natural, brita e RCPC, respectivamente.



Figura 6 – Conjunto de peneiras: ensaio de granulometria



Figura 7 – Material retido nas peneiras: areia natural



Figura 8 – Material retido nas peneiras: brita



Figura 9 – Material retido nas peneiras: RCPC (resíduo de corpos de prova de concreto)

3.1.3 Determinação de finos que passam através da peneira 75 μm

Este ensaio é realizado conforme a NBR NM 46 (ASSOCIAÇÃO..., 2003c) e tem por objetivo a determinação do teor de material pulverulento nos agregados miúdos, definido como o material que passa pela malha da peneira de 0,075 mm.

O ensaio consiste na separação de 500g de material (areia natural, RCPC), sendo estes anteriormente secos em estufa.

Em seguida, realizou-se o processo de lavagem com água, conforme ilustra a Figura 10. Promove-se a agitação da amostra em um recipiente com água até que o material pulverulento fique em suspensão e, assim, deixando escorrer a água de lavagem. Repete-se o processo até que a água da lavagem fique visualmente límpida.

A Figura 11 e Figura 12 mostram a água retida da lavagem da areia natural e do RCPC, respectivamente. Ambas as colorações são as águas de lavagem obtidas no processo. A amostra com coloração escura foi a água retida da primeira lavagem com as amostras e, a água de coloração mais clara é a última lavagem dada nas amostras.



(a) lavagem da areia natural



(b) lavagem do RCPC

Figura 10 – Etapa de lavagem das amostras com água



Figura 11 – Comparação da água da areia na primeira lavagem (à direita), e após ela se tornar límpida (à esquerda)



Figura 12 – Comparação da água do RCD na primeira lavagem (à direita), e após ela se tornar límpida (à esquerda)

Após esse processo de lavagem das amostras com água o material resultante é levado à estufa, onde permanece por 24 horas, exposto a uma temperatura de 105 °C, para então ser pesado, e assim obter a massa resultante de material retido na peneira de 0,075mm.

3.1.4 Determinação da massa específica ou absoluta

De acordo com Mehta e Monteiro (1994), este ensaio tem como importância a obtenção do volume ocupado pelas partículas do agregado, e define como sendo “a massa do material por unidade de volume, incluindo os poros internos das partículas”.

No momento que se propõe estudar o concreto, é necessário saber qual a massa específica de cada material, para dosar o consumo de cimento e dos materiais constituintes do concreto.

Neville (1997, p. 133) cita que:

“ as partículas de um tamanho único somente podem ser adensadas até certo limite, mas as partículas menores podem se juntar acomodando-se nos vazios entre as maiores, aumentando assim a massa unitária do material adensado”

Este ensaio é realizado de acordo com a prescrição da NBR 9775 (ASSOCIAÇÃO..., 2011), que tem como objetivo a determinação da massa específica dos agregados miúdos (areia natural e RCPC), através do uso do frasco de Chapman.

Insere-se 200cm³ de água no frasco de Chapman. Em seguida coloca-se 500g de agregado seco (areia natural ou RCPC).

Após a colocação de água e do agregado, promove-se a agitação para a saída de ar. E, em seguida, efetua-se a leitura da água deslocada na escala graduada contida no frasco. As Figuras 13 e 14 ilustram as amostras de areia natural e RCPC, respectivamente, no frasco de Chapman.



Figura 13 – Frasco de Chapman utilizado para o ensaio com a areia



Figura 14 – Frasco de Chapman utilizado para o ensaio com o RCPC
Fonte: Autoria própria.

3.1.5 Determinação da massa unitária

De acordo com a NBR NM 45 (ASSOCIAÇÃO..., 2006a), a massa unitária solta de um agregado é definido através da relação entre a massa do agregado e seu volume, sem compactá-lo. Já a massa unitária compactada de um agregado pode ser

determinada pela relação entre sua massa e volume compactado. Seu emprego auxilia principalmente para escolha da mistura dos agregados, buscando ser o mais compacto possível, pois assim, têm-se menor índice de vazios entre os agregados.

A determinação da massa unitária dos agregados (areia natural, RCPC e brita) foram realizados no estado solto, e compactado.

A determinação da massa unitária no estado solto para qualquer agregado é obtida pelo preenchimento de materias (areia natural, RCPC e brita) em um recipiente de volume conhecido. O preenchimento no recipiente deve ser de forma a não compacta-lo, sendo colocado com o auxílio de uma concha metálica, a uma altura do topo do recipiente de 15 cm. Faz-se o rasamento e então, o conjunto é pesado.

A determinação da massa unitária no estado compactado é obtida compactando o agregado no recipiente. A compactação para agregados miúdos dá-se pelo preenchimento do material no recipiente em 3 camadas e, cada camada recebe 25 golpes com uma haste metálica. A Figura 15 mostra a areia natural e o RCD, respectivamente, no recipiente já compactado.



Figura 15 – Determinação da massa unitária compactada. Areia natural compactada (a); RCPC compactado (b)

A compactação da brita foi realizada através do preenchimento de brita no recipiente de volume conhecido e compactado. Este é preenchido em 3 camadas, cada camada recebe 25 quedas do recipiente, a uma altura aproximada de 5 cm, de forma a

compactar o material. Este não recebe compactação com a haste, pois em agregados graúdos são de difíceis penetração da haste entre os grãos. A Figura 16 mostra a brita já compactada no recipiente de volume conhecido.



Figura 16 – Pesagem da massa total do agregado graúdo com o recipiente
Fonte: Autoria própria.

3.1.6 Determinação do inchamento da areia

Dá-se o nome de inchamento o aumento do volume que sofre a areia seca ao absorver água. Os grãos de agregados finos aderem a água formando uma película ao redor, fazendo com que ocorra um maior espaçamento entre eles, e então, o volume aparente é alterado.

O procedimento para a determinação do inchamento é em síntese: a amostra é previamente seca em estufa, sendo seus pesos específicos aparentes determinados para diversos teores de umidade. Para cada teor de umidade calcula-se o coeficiente de inchamento, isto é: a relação entre volume úmido do agregado com teor de umidade e o

volume do mesmo agregado quando seco. A NBR 6467 (ASSOCIAÇÃO..., 2006b) trata do método de ensaio de determinação do inchamento.

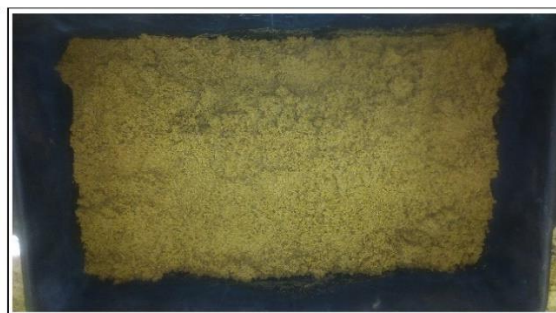
A determinação do inchamento para agregados miúdos (areia natural e RCPC) é determinada adicionando-se água no agregado inicialmente seco. A adição de água foi de 0,5%, 1%, 2%, 4%, 5%, 7%, 9% e 12%. Após adição dos teores de água nos agregados estes foram pesados. A Figura 17 mostra alguns teores de umidade acrescentados na amostra da areia inicialmente seca.



(a)



(b)



(c)

Figura 17 – Realização do ensaio para a areia natural. (a) areia em seu estado seco; (b) areia baixo teor de água; (c) areia com elevado teor de água
Fonte: Autoria própria

3.1.7 Determinação da massa específica e absorção de água (agregado gráudo)

Este ensaio é realizado de acordo com a NBR NM 53 (ASSOCIAÇÃO..., 2009a) seguindo-se os seguintes procedimentos:

- a) Coleta-se uma amostra conforme procedimento estabelecido pela NM 26 (ASSOCIAÇÃO..., 2009), sendo sua quantidade em função da máxima dimensão característica do agregado (37,5mm – 5kg);
- b) Em seguida, submerge-se o agregado em água à temperatura ambiente por um período de 24 ± 4 horas;
- c) Retira-se a amostra da água e a envolve em um pano para absorver toda água visivelmente aparente;
- d) Após enxuta, pesa-se a amostra (massa saturada com superfície seca);
- e) Insere-se a amostra no recipiente, e a submerge em água, fazendo-se em seguida pesagem da amostra (Figura 18);



Figura 18 – Amostra do agregado graúdo submerso em água
Fonte: Autoria própria.

- f) Seca-se a amostra, submetendo-a a temperatura de 105 ± 5 °C por aproximadamente 24 horas;
- g) Após deixar esfriar por cerca de 2 horas, pesa-se a amostra, obtendo-se assim a massa do agregado seco.

3.1.8 Determinação da absorção de água (agregado miúdo)

Este ensaio foi realizado de acordo com a NBR NM 30 (ASSOCIAÇÃO..., 2000), que define a absorção como sendo:

“ Processo pelo qual um líquido é conduzido e tende a ocupar os poros permeáveis de um corpo sólido poroso. É também o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido à penetração de um líquido em seus poros permeáveis, em relação a sua massa em estado seco”

Para este ensaio segue-se os seguintes procedimentos:

- a) Separa-se aproximadamente 1000g de amostra de agregado miúdo;
- b) Realiza-se a secagem da amostra em estufa a $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por um período de aproximadamente 24 horas, obtendo-se em seguida sua massa seca;
- c) Coloca-se a amostra submersa em água, deixando-a em repouso por 24 horas;
- d) Retira-se a amostra submersa e a estende sobre uma superfície plana, e em seguida aplica-se uma corrente de ar quente na amostra, tendo-se o cuidado de revolver a amostra para garantir uma secagem uniforme;
- e) Realizar a secagem até que, visualmente, os grãos do agregado miúdo não estejam muito aderido entre si;
- f) Insere-se o agregado em um molde, aplicando-se em sua superfície 25 golpes com a haste de compactação, e em seguida ergue-se verticalmente o molde.
- g) Caso o agregado se conserve com a mesma forma do molde (Figura 19) deve-se retornar a secagem do material, até o momento em que ao retirar-se o molde, o agregado desmanche parcialmente, conforme Figura 20 e Figura 21.

Assim, a Figura 20 e Figura 21 mostram a areia natural e o RCPC, respectivamente após a retirada do molde (mini tronco cônico), mostrando as formas parcialmente desmoronadas, indicando o estado saturado superfície seca da amostra.



Figura 19 – Areia natural que manteve a mesma forma que o molde
Fonte: Autoria própria.



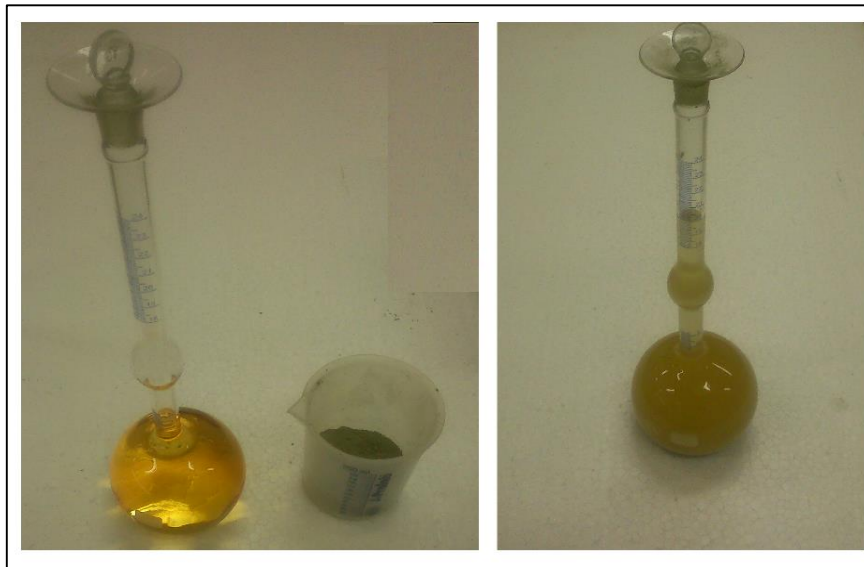
Figura 20 – Areia natural após a retirada do molde
Fonte: Autoria própria.



Figura 21 – RCD após a retirada do molde
Fonte: Autoria própria.

3.1.9 Determinação da massa específica – Cimento Portland e outros materiais em pó

Este ensaio seguiu as prescrições presente na norma NBR NM 23 (ASSOCIAÇÃO..., 2000b) e, tem-se por objetivo a determinação da massa específica do cimento Portland CP Z 32. Para tanto, utiliza-se um líquido que não reaja quimicamente com o material, no caso específico, utilizou-se gasolina, conforme Figura 22.



**Figura 22 – Ensaio de determinação da massa específica: Frasco de Le Chatelier apenas com o líquido (à esquerda), e após inserido o cimento (à direita)
Fonte: Autoria própria.**

Primeiramente, é adicionado no frasco de Le Chatelier a gasolina, e em seguida é submerso em um recipiente com água, por cerca de 30 minutos, até estabilização das temperaturas (aprox. 23 °C). Então, introduz 60g de cimento no frasco de Le Chatelier, tomando-se cuidado para não deixar as partículas do cimento aderir nas paredes internas deste. Após esse processo, registra-se a leitura do líquido deslocado na escala do frasco, determinando, assim, a sua massa específica.

3.1.10 Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal

O ensaio consiste em moldar um tronco cônico com pasta de cimento e colocá-lo sob o aparelho de Vicat, conforme Figura 23 e, após, solta-se a sonda de Tetmajer. A pasta é considerada de consistência normal quando a sonda parar a uma distância de 6 ± 1 mm da base.

O objetivo do ensaio é determinar a quantidade de água de amassamento da pasta de cimento, de modo que a sonda Tetmajer fique distante de 6 ± 1 mm da base, prescrito através da NBR NM 43 (ASSOCIAÇÃO..., 2003b).



Figura 23 – Determinação da pasta de consistência normal

3.1.11 Tempo de início de pega e final de pega

Após a determinação da pasta de consistência normal, é realizado o ensaio de início e final de pega, conforme prescrições da NBR NM 65 (ASSOCIAÇÃO..., 2003d).

O início de pega é determinado utilizando-se o mesmo aparelho de Vicat, utilizando-se a agulha de menor diâmetro de Vicat (conforme Figura 24). O início de pega é determinado quando a agulha ficar cerca de 4 ± 1 mm do fundo da base. Normalmente, realiza-se cerca de 2 horas após a colocação de água na pasta de cimento.



Figura 24 – Realização do ensaio de início de pega
Fonte: Autoria própria.

Para a determinação do final de pega, utiliza-se também o aparelho de Vicat. A agulha utilizada neste possui na base inferior um acessório anular para facilitar a leitura final. Inicia-se o ensaio, após o ensaio de início de pega, cerca de 3 horas após a colocação de água na pasta de cimento.

O fim de pega é determinado quando a agulha anular penetrar cerca de 0,5 mm de profundidade na pasta de cimento (Figura 25).



Figura 25 – Ensaio de final de pega
Fonte: Autoria própria.

Após a caracterização dos materiais constituintes, segue-se aos ensaios nos concretos produzidos, para o traço padrão e com as adições de RCPC.

3.2 PREPARAÇÃO INICIAL DOS CONCRETOS

Como exposto no início deste capítulo, decidiu-se pela realização de dois conjuntos de estudos com as substituições da areia natural por RCPC, sendo:

1º) manter a relação água/cimento (a/c) de 0,61 para todas as substituições (areia natural por RCPC). Para facilitar o entendimento, chamar-se-á de a/c cte, ou seja, a relação água/cimento mantém-se constante, porém, o valor do abatimento no ensaio slump test torna-se variável;

2º) variar a relação a/c , em função das substituições e, manter o *slump test* (abatimento de tronco de cone) de 9 ± 1 cm para todas as substituições. Da mesma forma, chamar-se-á de slump cte, ou seja, no ensaio de abatimento o valor numérico deve permanecer entre 9 ± 1 mm, enquanto que a relação de a/c é variável.

3º) O concreto feito com areia natural, brita, água e CP II Z, sem substituição por RCPD, identificado como Ref (0%), ou seja, neste concreto serão realizados todos os ensaios (fresco e endurecido). Os valores encontrados nestes servirão de base de comparações com os concretos com os vários teores de substituições de RCPC.

Os teores de substituições de areia natural por RCPC foram de 25%, 50% 75% e 100%. As quantidades de corpos de prova (CP's) nos ensaios de resistências (axial e diametral) foram de 4 CP's e, demais ensaios foram de 2 ou 3 CP's.

A seguir (vide Tabela 7), faz-se um resumo geral dos ensaios realizados no concreto, tanto no estado fresco como endurecido.

Tabela 7 – Quantidade de amostras para caracterização dos ensaios

Característica	Tipos de Ensaios	Idades		Subtotal	Qde. Traços	Total Amostras
		3 dias	28 dias			
Ref. (0%) Sem RCPD	Resistência a compressão simples	4	4	22	1	22
	Resistência a tração por compressão diametral	4	4			
	Absorção de água por imersão e capilaridade	-	6			
a/c cte RCPD (25, 50, 75, 100%)	Resistência a compressão simples	4	4	22	4	88
	Resistência a tração por compressão diametral	4	4			
	Absorção de água por imersão e capilaridade	-	6			
Slump cte RCPD (25, 50, 75, 100%)	Resistência a compressão simples	-	4	8	4	32
	Absorção de água por imersão e capilaridade	-	4			
TOTAL						142

3.2.1 Mistura dos materiais

Todas as moldagens dos corpos de prova (CP's) para os ensaios foram realizados na betoneira. Para todas as moldagens seguiu-se a mesma ordem de

colocação dos materiais nesta. Assim, após os cálculos das quantidades dos insumos, pesados e separados, iniciou-se sempre com a imprimação da betoneira. A ordem de colocação nesta foi toda a quantidade de água de amassamento, toda a brita, todo o cimento e toda a areia natural. Para as adições dos insumos na betoneira, a mesma encontrava-se ligada. Nos casos em que há adição de RCPC, este foi colocado após a areia natural.

A Figura 26 (a) e (b) apresenta a aparência do concreto de referência (sem RCPC) e o concreto com 100% de RCPC, respectivamente, sendo misturados na betoneira com todos os insumos já colocados.

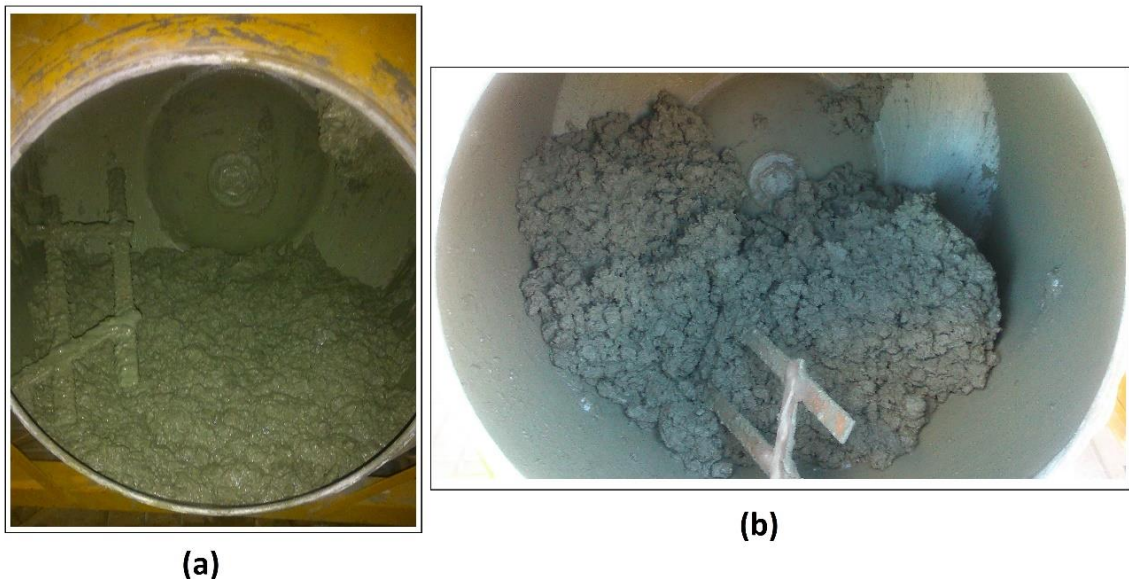


Figura 26 – Aparência visual do concreto em seu traço padrão (a), e com 100% de substituição da areia natural por RCD (b)
Fonte: Autoria própria.

Observa-se na Figura 26 (a), que o concreto de referência possui maior quantidade de umidade e plasticidade na massa do concreto. O concreto com 100% de RCPC Figura 26 (b) apresenta uma aparência mais rija do concreto, ou seja, muito mais áspero, com pouca plasticidade.

Observou-se claramente durante as moldagens dos concretos que a substituição da areia natural por RCPC altera a trabalhabilidade, ou seja, quanto maior era a substituição da areia natural por RCPC, maior também foi a aspereza da massa do concreto, apresentando um concreto “farofa” muito seco, com falta de água.

3.2.2 Moldagem, adensamento, cura e capeamento dos corpos de prova

A confecção dos corpos de prova (CP's) seguiram as recomendações da NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO..., 2008). Assim, as moldagens dos CP's após confecção do concreto na betoneira foram inicialmente aplicadas uma fina camada de óleo mineral (desmoldante) nas faces internas das fôrmas cilíndricas 10x20cm.

A Tabela 8 apresenta as quantidades de corpos de prova utilizadas para as realizações dos ensaios posteriores, bem como, os teores de substituições da areia natural por RCPC.

Tabela 8 – Quantidade de corpos de prova por traço.

Traço	Quantidade
Concreto de referência – Ref (0%)	22
25% da areia natural por RCPC, a/c cte	22
50% da areia natural por RCPC. a/c cte	22
75% da areia natural por RCPC, a/c cte /c	22
100% da areia natural por RCPC, a/c cte	22
25% da areia natural por RCPC, slump cte	8
50% da areia natural por RCPC, mantendo slump cte	8
75% da areia natural por RCPC, mantendo slump cte	8
100% da areia natural por RCPC, mantendo slump cte	8

O adensamento foi realizado de forma manual, utilizando-se uma haste metálica própria do ensaio. O preenchimento dos corpos de prova cilíndrico (10x20cm) com concreto dá-se em 2 camadas, e cada camada deve receber 12 golpes distribuídos uniformemente em toda a seção. Na primeira camada, a haste deve atravessar toda a altura da massa de concreto, e na segunda, a haste deve atingir cerca de 20mm da camada anterior. Assim, após o preenchimento das 2 camadas e adensadas com a haste, faz-se o arrasamento da borda superior com colher de pedreiro.

A Figura 27 (a) mostra os corpos de prova já adensados com a haste, ao qual permanecem nessas fôrmas metálicas por um período de 24 horas, em um local abrigado de umidade e insolação.



(a)



(b)

Figura 27 – Corpos de prova dos concretos.
Fonte: Autoria própria.

Transcorridas as 24 horas, o concreto já endurecido, são retirados das fôrmas cilíndrica (10x20 cm) e levadas para a cura, permanecendo nesta até a data de rompimento e/ou de ensaios. A cura dos corpos de prova foi realizada por imersão em tanque com água, Figura 27 (b).

3.3 ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

3.3.1 Ensaio de abatimento de tronco de cone

Este ensaio é realizado conforme NBR NM 67 (ASSOCIAÇÃO...,1998) para todos os tipos de concretos, ou seja, o concreto de referência - Ref (0%), concretos com as substituições de areia natural por RCPC, mantendo a relação água/cimento constante

(a/c cte) e, por fim, para os concretos com todas as substituições da areia natural por RCPC, mantendo o abatimento constante (slump cte).

O principal objetivo deste ensaio é analisar a “trabalhabilidade” do concreto, pois, de acordo com Neville (1982), é importante verificar se a consistência da mistura permite que o concreto possa ser lançado nas formas e adensado com relativa facilidade e sem segregação.

O equipamento utilizado para este ensaio consiste em um molde tronco cônico, de 10x20 cm e altura de 30 cm e, uma haste metálica para socamento, além de uma base metálica para apoio do concreto.

Seguindo os procedimentos impostos pela norma tem-se:

1. Primeiramente deve-se lavar a base para que ao se colocar concreto, não se perca água da mistura, e em seguida, apoia-se os pés sobre as abas inferiores do cone. Preenche-se 1/3 do volume do cone com a amostra de concreto, e em seguida, realizar 25 golpes com a haste de compactação, .
2. Preencher mais 1/3 do volume, e realizar novamente os 25 golpes, porém, não deve-se atravessar a primeira camada.
3. Preencher o restante do volume até transbordar, e golpear novamente mais 25 golpes, porém, não deve-se atravessar a segunda camada.
4. Arrasar o concreto no topo do cone com uma colher de pedreiro, removendo o excesso do concreto que transbordou, de modo que fique bem nivelado.
5. Imediatamente após arrasar o topo do cone, retirar o molde verticalmente, sem movimento lateral, segurando firme nas abas laterais do recipiente.

A Figura 28 mostra o momento da retirada do tronco conico, já preenchido com concreto e adensado.



Figura 28 – Ensaio do abatimento pelo tronco de cone (*slump test*)
Fonte: Autoria própria.

6. Posiciona-se a haste de forma horizontal, em cima do recipiente, conforme Figura 29, para então medir a distância entre a geratriz inferior da haste ao ponto central da amostra de concreto, sendo esta distância, o valor do abatimento.



**Figura 29 – Determinação do abatimento do concreto, através do “Slump Test”.
Fonte: Autoria própria.**

3.3.2 Massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico

O procedimento do ensaio seguiu as prescrições da NBR 9833 (ASSOCIAÇÃO..., 2008). A massa específica é determinada pela relação entre a massa de concreto e o seu volume após adensamento, incluindo neste volume o ar eventualmente retido ou propositalmente incorporado a ele. O teor de ar é calculado pela diferença entre o volume real de concreto (volume considerando ar) e o volume teórico (sem considerar o ar e calculado com base nas massas específicas dos componentes), expresso em porcentagem do volume real. A precisão do valor obtido irá depender da precisão dos valores de massa específica dos componentes, ITAMBÉ (2011).

De acordo com a NBR 9833 (ASSOCIAÇÃO..., 2008).o procedimento para o ensaio é o seguinte:

1. Preencher 1/3 do volume do recipiente com o concreto, e em seguida, efetuar 25 golpes (pois o volume do recipiente é inferior a 15 dm^3).
2. Preencher novamente o 2/3 do volume do recipiente e aplicar novamente 25 golpes.
3. Preencher todo o recipiente, e aplicar novamente 25 golpes.
4. Rasar o recipiente e pesar.

A Figura 30 mostra o recipiente de volume conhecido e o concreto sendo preenchido nesta fôrma, para então ser pesada o conjunto.

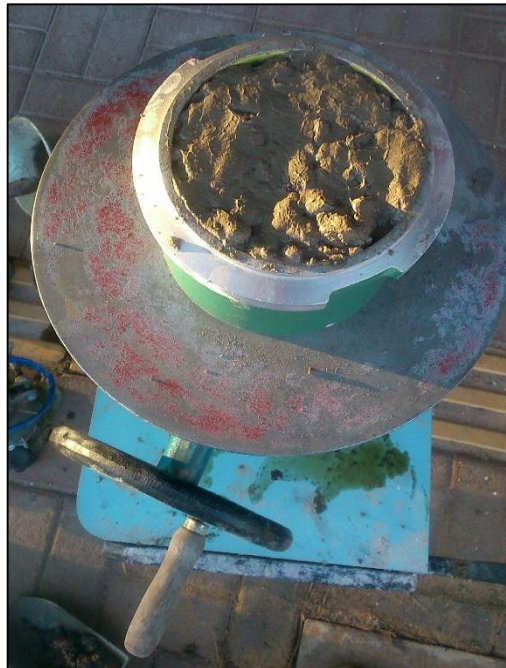


Figura 30 – Ensaio para determinação da massa específica do concreto.

Fonte: Autoria própria.

3.4 ENSAIO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

Conforme Tabela 7 os ensaios nos concretos no estado endurecido foram:

- a) Determinação da resistência à compressão simples, conforme procedimentos prescritos através da NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO..., 2007).

b) Determinação da resistência à tração por compressão diametral, estes executados através dos procedimentos da NBR 7222 (ASSOCIAÇÃO..., 2011b).

c) Determinação de absorção de água por imersão, prescrito através da NBR 9778 (ASSOCIAÇÃO..., 2005).

d) Determinação da absorção de água por capilaridade, prescrito através da NBR 9779 (ASSOCIAÇÃO..., 2012).

3.4.1 Resistência à compressão simples

A resistência à compressão simples é um dos ensaios mais significativos do concreto, pois, de acordo com Helene & Terzian (1992), a resistência à compressão é a propriedade do concreto que é utilizada como parâmetro principal para indicação da qualidade do concreto, pois está diretamente relacionada com a segurança da estrutura.

Para cada idade, foram ensaiados 4 corpos-de-prova por traço de concreto, utilizando-se corpos cilíndricos de 10x20 cm, sendo os mesmos curados em água, até um dia antes do rompimento, para a realização do capeamento. Após o capeamento foi realizado o ensaio de compressão axial (Figura 31).



Figura 31 – Realização do ensaio de compressão axial simples.

3.4.2 Resistência à tração por compressão diametral

O ensaio de tração por compressão diametral, também foi realizado em corpos-de-prova cilíndricos de 10x20cm. A Figura 32 mostra o CP fraturado na posição diametral

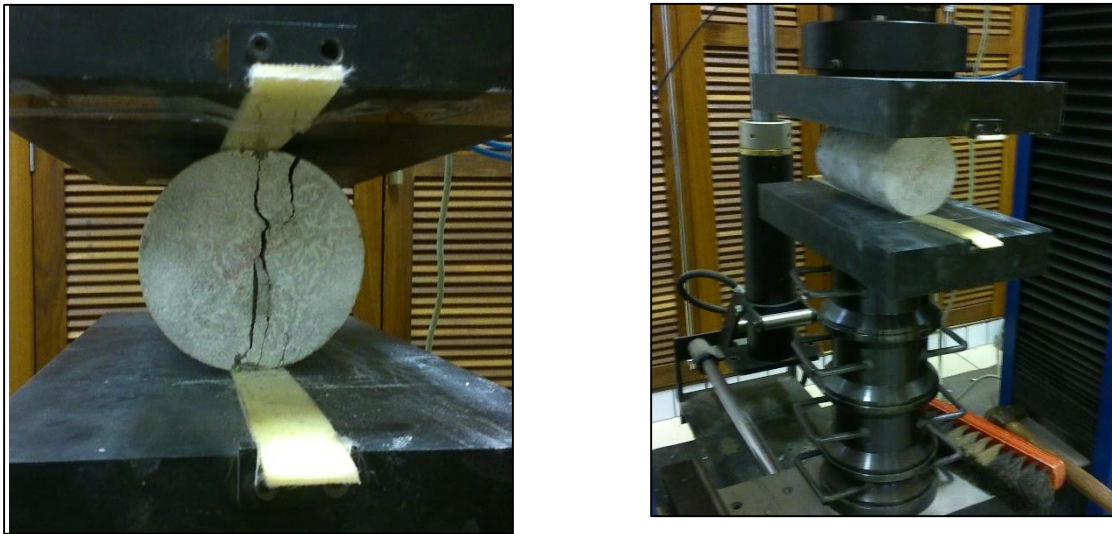


Figura 32 – Realização do ensaio de tração por compressão diametral.

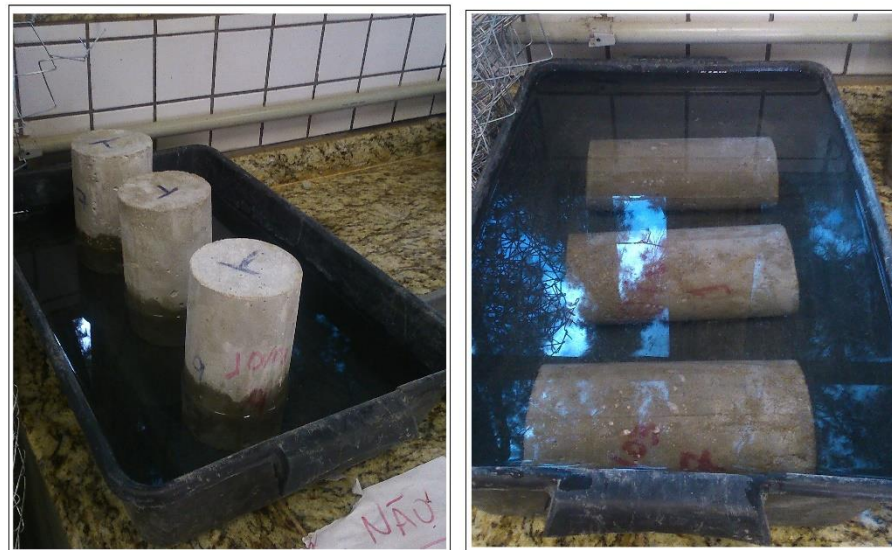
O procedimento para a realização do ensaio seguiu as prescrições da NBR 7222 (ASSOCIAÇÃO..., 2011):

1. Adaptar o dispositivo de compressão diametral na prensa.
2. Centralizar e alinhar o corpo-de-prova, colocando ripas de madeira nas faces de contato entre eles.
3. Selecionar a velocidade de compressão do carregamento, sendo este de $0,05 \text{ MPa/s} \pm 0,02 \text{ MPa/s}$.
4. Acionar o dispositivo de carregamento e anotar a carga máxima de ruptura.

3.4.3 Absorção de água por imersão

Para o estudo de absorção de água dos variados concretos, foram realizados de acordo com a NBR 9778 (ASSOCIAÇÃO...,2005). Os corpos de prova se mantiveram submersos em tanque (cura) até os 28 dias. Passado esse período, os corpos de prova foram levados a estufa, para secagem do material, permanecendo neste local por cerca de 24 horas (até a constância de massa). Após, retira-se os corpos de prova, e os deixa em repouso para atingir o equilíbrio com a temperatura ambiente. Então, pesa-se as amostras e, após estas são dispostas em um recipiente com 1/3 do seu volume preenchido por água, permanecendo por 4 horas. Então, faz-se novo preenchimento com água, até 2/3 do seu volume da amostra submersa e, após outras 4 horas, o corpo de prova foi totalmente submerso.

A Figura 33 (a) e (b), mostram o processo de saturação dos corpos de prova. O primeiro (a) onde os corpos de prova estão com 1/3 de seu volume coberto por água e em (b) totalmente submerso. As medições do peso dos corpos de prova saturados são realizados nos tempos de 24, 48 e 72 horas para posteriores análises.



(a)

(b)

Figura 33 – Ensaio de absorção de água por imersão: 1/3 do volume do corpo de prova imerso (a), e corpo de prova inteiro submerso (b)

3.4.4 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade é realizado de acordo com a NBR 9779 (ASSOCIAÇÃO..., 2012). Da mesma forma, os CP's ficaram em cura (tanque com água) até 28 dias. Então, os corpos de prova dos variados concretos, foram levados a estufa ($T=105^{\circ}\text{C}$) por cerca de 24 horas (até a constância de massa).

Passadas as 24 horas na estufa, espera-se os CP's atingirem à temperatura ambiente, para então dar prosseguimento neste. Posteriormente, o corpo de prova é colocado em um recipiente com aproximadamente uma lâmina de água de 5mm e, que deve permanecer constante até o término do ensaio. Este procedimento visa analisar a quantidade de água absorvidas pelos variados CP's de concreto, bem como, analisar visualmente o caminho (percolação) que a água faz no corpo de prova (Figura 34).

O ensaio deve ser analisados nos períodos de 3, 6, 24, 48 e 72 horas, após o início da colocação de água (lâmina de 5mm) A Figura 34 ilustra varios CP's de concreto com a água absorvida nos varios tempos analisados.



Figura 34 – Ensaio de absorção de água por capilaridade (a) e (b) Ensaios finalizados, após 72 horas (c) e (d) Ensaios em andamento, após 6 horas

4 RESULTADOS E ANÁLISES

A seguir, apresentar-se-ão os resultados e as análises dos ensaios de caracterização dos agregados, aglomerantes e do RCPC, dos concretos no estado fresco e dos concretos no estado endurecido, conforme procedimentos metodológicos apresentados no capítulo 3.

4.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

4.1.1 Determinação da composição granulométrica.

Os resultados obtidos nesses ensaios granulométricos para a areia natural, RCPC e brita, estão nas Tabelas 9, 10 e 11, respectivamente. Estes correspondem a média aritmética das duas repetições de ensaios de cada amostra.

Assim, as Tabelas 9, 10 e 11 mostram as massas retidas em gramas, em cada série de peneiras e, a porcentagem retida acumulada. Com isso, calcula-se o módulo de finura (MF) e o diâmetro máximo característico (DMC), da areia natural, do RCPC e da brita, respectivamente.

A partir dos valores obtidos das composições granulométricas da areia natural, RCPC e brita, demonstrados nas Tabelas 9, 10 e 11, respectivamente, pode-se traçar gráficos de modo a representar a distribuição dos grãos. Assim, essas distribuições granulométricas da areia natural, e do RCPC encontram-se no Gráfico 6 e a distribuição da brita esta apresentada no Gráfico 7. Além disso, no Gráfico 6 também estão plotados os valores limites das zonas recomendadas na Norma NBR 7211 (ASSOCIAÇÃO..., 2009).

Tabela 9 – Composição granulométrica – Areia Natural

Peneira (mm)	Massa Retida (g)	Massa Retida Acumulada (g)	% Retida Acumulada	% Retido	% Passante
9,50	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
6,30	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
4,75	1,6	1,6	0,3	0,3	99,7
2,36	8,4	10,0	2,0	1,7	98,0
1,18	36,2	46,2	9,2	7,2	90,8
0,60	81,5	127,7	25,5	16,3	74,5
0,30	265,0	392,7	78,5	53,0	21,5
0,15	102,7	495,4	99,1	20,5	0,9
Fundo	4,6	500,0	100,0	0,9	0,0
MF	2,15				
DMC	2,36				

Tabela 10 – Composição granulométrica – RCPC

Peneira (mm)	Massa Retida (g)	Massa Retida Acumulada (g)	% Retida Acumulada	% Retido	% Passante
9,50	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
6,30	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
4,75	48,5	48,5	9,7	9,7	90,3
2,36	60,0	108,5	21,7	12,0	78,3
1,18	61,8	170,3	34,1	12,4	65,9
0,60	203,4	373,7	74,7	40,7	25,3
0,30	97,3	470,9	94,2	19,5	5,8
0,15	27,1	498,0	99,6	5,4	0,4
Fundo	2,1	500,0	100,0	0,4	0,0
MF	3,34				
DMC	4,75				

Tabela 11 – Composição granulométrica – Brita

Peneira (mm)	Massa Retida (g)	Massa Retida Acumulada (g)	% Retida Acumulada	% Retido	% Passante
25,00	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
19,00	107,8	107,8	2,2	2,2	97,8
12,50	3112,3	3220,1	64,4	62,2	35,6
9,50	1428,0	4648,1	93,0	28,6	7,0
6,30	327,2	4975,3	99,5	6,5	0,5
4,75	0,0	4975,3	99,5	0,0	0,5
2,36	0,0	4975,3	99,5	0,0	0,5
Fundo	24,7	5000,0	100,0	0,5	0,0
MF	3,63				
DMC	19				

Para o agregado miúdo a norma estabelece 4 limites de zonas, sendo utilizável inferior e superior e a zona ótima inferior e superior. Já para o agregado graúdo a Norma estabelece 2 zonas, sendo a inferior e a superior. Assim sendo, os valores desses limites (inferior e superior) das zonas recomendadas na Norma, estão representadas em linhas tracejadas nos Gráfico 6 e 7. Já os valores das amostras da areia natural, RCPC e brita estão em linhas contínuas grossas.

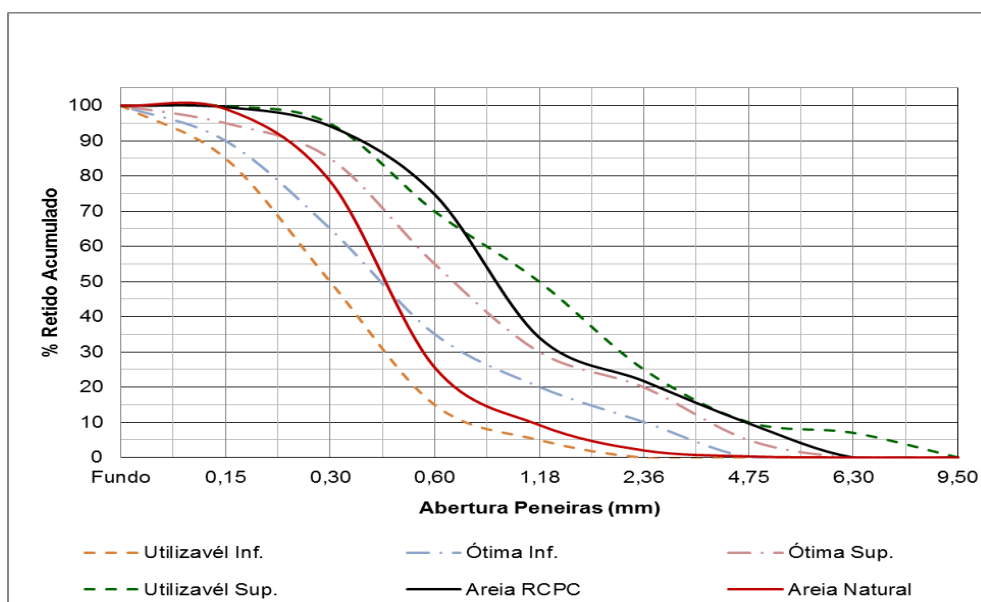


Gráfico 6 – Distribuição granulométrica da areia natural versus RCPC

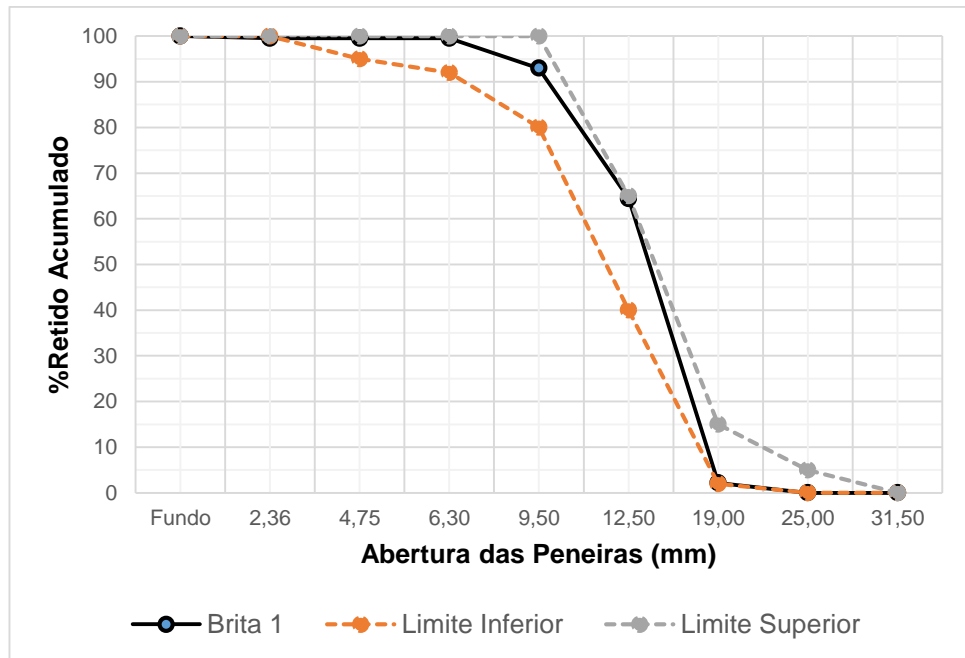


Gráfico 7 – Distribuição granulométrica da brita
Fonte: Autoria própria.

Através da análise dos resultados das distribuições granulométricas, apresentado no Gráfico 6 observa-se que os grãos das amostras (areia natural e RCPC) tendem a uma curva granulométrica graduada (contínua). No entanto, percebe-se uma grande quantidade de grãos uniformes na peneira 0,3 mm para a areia natural e, grande quantidade de grãos uniformes na peneira de 0,6 mm para o RCPC. Percebe-se ainda que em ambas amostras (areia natural e RCPC) encontram-se dentro das zonas utilizáveis (inferior e superior) recomendada pela Norma. Dessa forma, utilizou-se esses agregados miúdos para a confecção de concretos sem correções desses grãos.

Em geral, a areia natural utilizada na região de Toledo/PR para a confecção de concretos e/ou argamassas é utilizada na forma em que se encontra no mercado local, sem a realização de correções granulométricas. Assim, para tornar-se mais realísticos as amostras trabalhadas neste trabalho, optou-se, também, por não realizar nenhuma correção na areia natural. Além de não ser proposta deste trabalho a realização das correções granulométricas dos grãos dos agregados miúdos utilizados neste.

Uma outra observação tida no Gráfico 6 é a finura dos grãos do RCPC. É sabido que é importante de se ter grãos com boa distribuição granulométrica, pois assim, permite

um bom rearranjo das partículas (empacotamento), pela presença de diferentes diâmetros em sua composição.

Analisando a distribuição dos grãos da brita (Gráfico 7), verifica-se que a distribuição granulométrica encontra-se dentro dos limites recomendados pela Norma NBR 7211 (ASSOCIAÇÃO..., 2005). Existe uma grande quantidade de grãos uniforme retidos na peneira 12,5 mm. O que não é interessante, pois acarretará em um índice de vazios maiores entre os grãos. Da mesma forma, os grãos dos agregados graúdos, também não foram corrigidos, optando-se pelo emprego direto deste no concreto.

4.1.2 Determinação de finos que passam através da peneira 75 μm

Os resultados nos ensaios obtidos pela lavagem dos agregados com água encontra-se na Tabela 12. A realização deste, fez-se duas vezes para cada amostra, iniciando-se com cerca de 500 gramas da massa seca (areia natural e do RCPC) que são lavados com água e passados pela peneira de 75 μm . Então, após a lavagem as amostras são novamente secas em estufas ($T=105^{\circ}\text{C}/24\text{h}$) e pesadas. Dessa forma, obtém-se as quantidades de material pulverulento em gramas e em porcentagem, conforme indicadas na Tabela 12.

Salienta-se a dificuldade da realização do procedimento de ensaio quando da lavagem do RCPC ao comparar com a lavagem com a areia natural, pois o RCPC necessitou de grande números de troca de água para lavá-los, necessitando “esfregar” com as mãos, impondo maior energia com os dedos ao esfregar os grãos desses. Visualmente, constatou-se uma quantidade maior de finos embutidos no RCPC do que na areia natural. Tal observação foi confirmada, observando-se os resultados da Tabela 12, que apresenta um percentual de material pulverulento maior na amostra do RCPC do que na areia natural.

Tabela 12 – Material Pulverulento – Areia Natural e RCPC

Amostra	Massa Seca Inicial (g)	Massa Seca Após lavagem (g)	Qtde de Mat. Pulverulento (g)	Material Pulverulento (%)
Areia 1	500,29	480,70	19,59	3,92
Areia 2	500,17	479,40	20,77	4,15
			média	4,03
RCPC 1	500,01	447,63	52,38	10,48
RCPC 2	500,12	449,18	50,94	10,19
			média	10,33

Conforme os resultados da Tabela 12, observa-se que a taxa de material pulverulento é elevada, tanto para a areia natural quanto para o RCPC. No entanto, existe uma quantidade maior de finos presentes no RCPC (10,33%).

É sabido que para a produção de concretos, deve-se controlar a quantidades deste material pulverulento, pois este material absorve grandes quantidades de água de amassamento, prejudica a trabalhabilidade do concreto entre outros efeitos negativos.

Devido ao processo de obtenção da amostra de RCPC ser realizada pela moagem de resíduos de concretos no moinho de bolas, é esperado que este material resultante tenha uma grande quantidade de finos embutidos neste material. Assim, utilizou-se o RCPC mesmo com grandes quantidades de finos presentes e, um aumento da quantidade de água foi acrescida na confecção dos variados concretos, ou seja, manteve-se constante o abatimento (*slump* cte), variando-se a quantidade de água de amassamento.

4.1.3 Massa específica absoluto de agregados miúdos

É necessário conhecer a massa específica dos materiais constituintes do concreto para a realização de sua dosagem. Assim, calcula-se o consumo de cimento e dos restantes dos materiais utilizados na produção da mistura de concretos.

Os resultados das determinações das massas específicas do agregado natural (areia) e do RCPC encontram-se na Tabela 13.

Na Tabela 13, estão indicadas as quantidades iniciais de massas das amostras (500 gramas), a quantidade de água utilizada (200 cm³) na frasco de Chapman e a leitura obtida do volume de água deslocado, após a colocação das amostras no frasco. Assim, determinou-se a massa específica absoluta da areia natural e do RCPC, conforme equação [01], abaixo:

$$\gamma_a = \frac{M}{V} = \frac{500}{(L_f - L_i)} = \frac{500}{(L_f - 200)} \left(\frac{g}{cm^3} \right) \quad [01]$$

Tabela 13 – Massa específica absoluta – Areia Natural e RCPC

Amostra	Qtde. Areia (g)	Qtde. Água (cm³)	Leitura Final (cm³)	Massa específica (g/cm³)
Areia natural 1	500,0	200,0	389,0	2,64
Areia natural 2	500,0	200,0	388,0	2,66
			média	2,65
RCPC 1	500,0	200,0	395,0	2,57
RCPC 2	500,0	200,0	393,0	2,59
			média	2,58

Os resultados encontrados (Tabela 13), mostram que a massa específica do material reciclado (RCPC) é menor em relação ao agregado miúdo natural (areia), confirmando assim, que o material RCPC é mais fino.

4.1.4 Massa específica unitária de agregados miúdos e graúdos

Para a determinação das massas unitárias dos agregados miúdos e graúdos, utilizou-se o dois recipientes de volumes conhecidos, sendo realizados tanto para o estado solto como no compactado (Tabela 14). O preenchimento nesses deu-se sem a

compactação. Assim, a massa unitária foi obtida, utilizando-se a equação [02] para duas determinações de cada amostra.

$$d = \frac{M}{V} \left(\frac{kg}{dm^3} \right) \quad [02]$$

Tabela 14 – Massa unitária no estado solto: areia natural, RCPC e Brita

Amostras	Peso Areia (g)	Volume Recipiente (dm³)	Massa unitária (kg/dm³)
Areia 2	4966,40	2950,30	1,68
Areia 1	5059,90	2953,10	1,71
Média			1,70

Amostras	Peso RCD (g)	Volume Recipiente (dm³)	Massa unitária (kg/dm³)
RCPC 1	4296,27	2950,30	1,46
RCPC 2	4327,37	2953,10	1,47
Média			1,46

Amostras	Peso Brita (g)	Volume Recipiente (dm³)	Massa unitária (kg/dm³)
Brita 1	4584,40	2950,30	1,55
Brita 2	4601,50	2953,10	1,56
Média			1,56

Os resultados apresentam que o agregado miúdo reciclado possui massa unitária cerca de 14% inferior ao agregado miúdo natural, indicando a necessidade de compensar a massa do material reciclado (RCPC) quando utilizado para a mistura de concreto. Já a brita, possui massa unitária superior ao do RCPC, porém inferior a areia natural, resultados estes, semelhantes para suas massas unitárias em seu estado compactado.

4.1.5 Massa específica unitária de agregados no estado compactado

Da mesma forma que a obtenção da massa unitária no estado solto, obteve-se a compactada utilizando-se os 2 recipientes de volume conhecidos. No entanto, o

preenchimento desses volumes com as amostras (areia natural, RCPC e brita) devem receber compactação padrão no recipiente, conforme descrição no capítulo 3.

A obtenção dos valores da massa unitária compactada, fez-se utilizando a equação [02], para duas repetições de cada amostra. Então, os resultados das massas unitárias desses três agregados em seu estado compactado estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Massa unitária no estado compactado: Areia natural, RCPC e Brita

Amostras	Peso Areia (g)	Volume Recipiente (dm³)	Massa unitária (kg/dm³)
Areia natural 1	5166,53	2953,10	1,75
Areia natural 2	5139,27	2950,30	1,74
média			1,75
RCPC 1	4891,60	2953,10	1,66
RCPC 2	4949,90	2950,30	1,68
média			1,67
Brita 1	4958,37	2953,10	1,68
Brita 2	5007,20	2950,30	1,70
média			1,69

Os resultados apresentam que o agregado miúdo reciclado (RCPC) possui massa unitária cerca de 10% inferior ao agregado miúdo natural

Em estudos semelhantes realizado por Buttler (2007), após análise da caracterização da massa unitária no estado solto e compactado para os agregados miúdos, observou-se que os agregados reciclados tiveram redução média de 18% em relação ao material natural.

Comparando-se a massa unitária dos agregados utilizados em seu estado solto, com o estado compactado as suas massas unitárias são superiores, cerca de 8%, indicando menor índice de vazios quando compactados.

4.1.6 Inchamento da areia

Segundo a Norma NBR 6467 (ASSOCIAÇÃO..., 2006), o inchamento do agregado miúdo representa o fenômeno da variação do volume aparente, provocado pela absorção de água livre pelos grãos e que incide sobre a sua massa unitária. Ainda conforme a a norma, existe o coeficiente de inchamento, que é o quociente entre o volume úmido e seco de uma mesma massa de agregado. A umidade crítica é o teor de umidade acima do qual o coeficiente de inchamento pode ser considerado constante e igual ao coeficiente de inchamento médio. O coeficiente de inchamento médio, por sua vez, é o valor médio entre o coeficiente de inchamento máximo e aquele correspondente à umidade crítica.

Assim, foram realizados ensaios para determinar o coeficiente da areia natural e do RCPC. Os gráficos 8 e 9 representam o comportamento da areia e do RCPC, com o aumento da umidade, respectivamente.

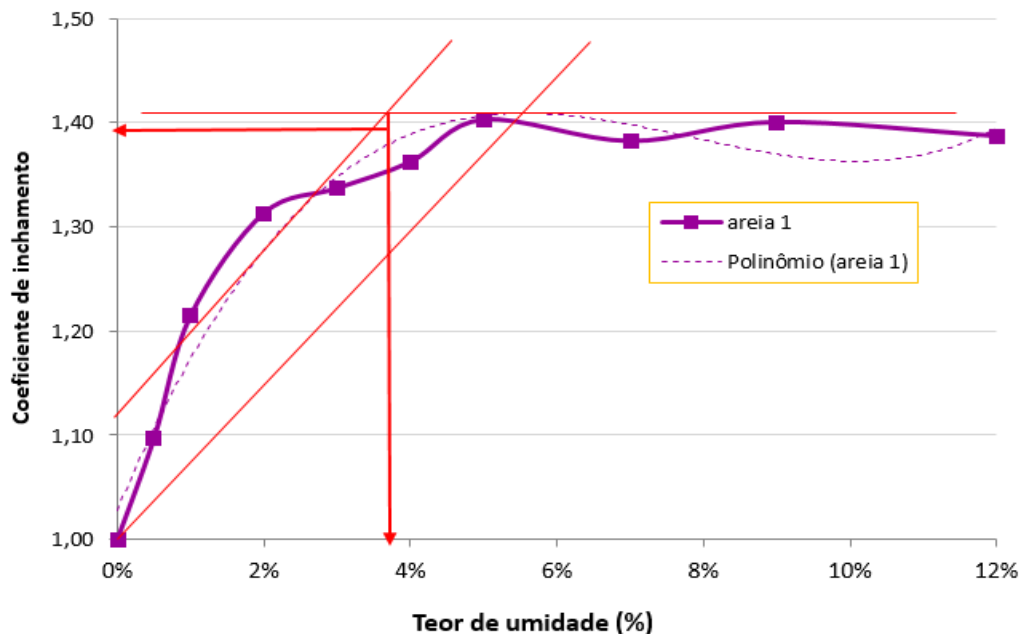


Gráfico 8 – Inchamento da areia natural

Fonte: Autoria própria.

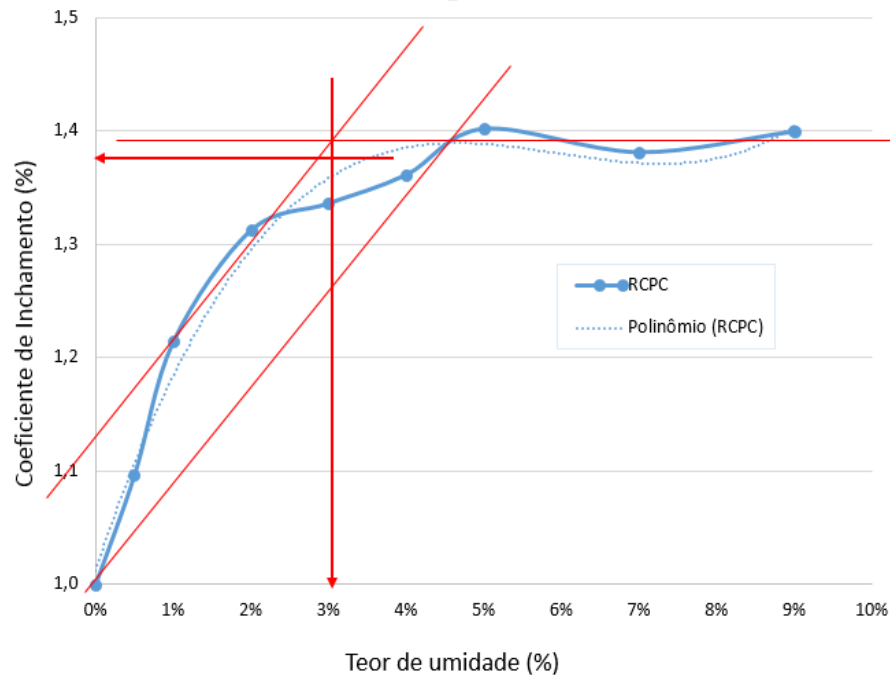


Gráfico 9 – Inchaço do RCPC
Fonte: Autoria própria.

Ao analisar os Gráficos 8 e 9, verifica-se para areia natural este tem um coeficiente de inchaço de 1,39 e umidade crítica de 3,7. Já o RCPC possui um coeficiente de inchaço de 1,38 e umidade crítica de 3,1. Para ambos aregados ensaiados percebe-se um aumento dos vazios provocados pelo fenômeno de inchaço, em média de 40%. Assim, verifica-se que a areia natural quando tiver com uma umidade de 3,7 esta irá “inchar” o volume aparente 39%, já o RCPC ao reter umidade de 3,1 irá “inchar” 38% do seu volume aparente.

Portanto, deve-se ter o cuidado nos cálculos de dosagem de concretos e argamassas quando se faz o porporcionamento em volumes dos insumos a ser utilizados na mistura, pois como constatado ocorre um aumento do do volume aparente de grãos miúdos devido ao fenômeno de inchaço.

4.1.7 Determinação da massa específica e absorção de água de agregados miúdos

O ensaio da taxa de absorção dos agregados miúdos (areia natural e RCPC) foi determinado através da obtenção da massa saturada superfície seca (M_{sss}) e da massa seca (M_s), tendo duas vezes a repetição para cada amostra.

A absorção de água pelos agregados é determinada utilizando-se a equação [03]. Os resultados da absorção de água obtidos para a areia natural e RCPC estão na Tabela 16.

$$A = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} (\%) \quad [03]$$

Tabela 16 – Taxa de absorção do agregado miúdo – Areia natural e RCPC

Amostras	Massa seca (M_s) (g)	Massa Saturada Superfície Seca (M_{sss}) (g)	Absorção de água (%)
Areia natural 1	421,61	423,12	0,36
Areia natural 2	426,04	427,8	0,41
		média	0,39
RCPC 1	413,68	451,45	9,13
RCPC 2	411,8	443,98	7,81
		média	8,47

Fonte: Autoria própria.

Analisando os resultados da Tabela 16, observa-se claramente a grande quantidade de água que será absorvida pelo RCPC (8,47%), enquanto a areia natural absorve apenas 0,39% de água. Tal resultado, deve ser levado em conta quando na dosagem do concreto, pois este irá absorver uma grande quantidade de água de amassamento, diminuindo a trabalhabilidade, deixando o concreto mais rijo.

Tal resultado se justifica, pois, o agregado reciclado (RCPC) é proveniente de corpos de prova rompidos, ou seja, de uma mistura de diversos materiais, que absorvem uma quantidade maior de água se comparado a areia natural. Além disso, como já mostrado anteriormente, o resíduo reciclado (RCPC) tem cerca de 10,33% de material pulverulento em sua composição, provocando assim, uma taxa de absorção de água

elevada, pois quanto maior a quantidade de finos presentes, mais água é solicitada para molhar todos os grãos pequenos presentes.

4.1.8 Determinação da massa específica e absorção de água de agregado graúdo

Para a determinação da massa específica, foram realizadas duas vezes para a amostra de brita. Inicialmente, obtendo as massas nas condições de saturação superfície seca (M_{ss}), massa do agregado seco (M_s) e a massa submersa em água (M_i).

Os valores das massas específicas M_{ss} , M_s e M_i foram determinadas através das equações [04], [05] e [06], respectivamente. Para a determinação da absorção de água para a brita, utiliza-se a mesma equação [03]. Os resultados estão na Tabela 17.

$$ds = \frac{M_s}{M_s - M_a} (g/cm^3) \quad [04]$$

$$d = \frac{M}{M - M_a} (g/cm^3) \quad [05]$$

$$da = \frac{M}{M_s - M_a} (g/cm^3) \quad [06]$$

Sendo:

ds: massa específica do agregado saturado superfície seca (g/cm^3);

d: massa específica do agregado seco (g/cm^3);

da: massa específica aparente (g/cm^3);

ms: massa ao ar saturado superfície seca (g);

ma: massa em água da amostra (g);

m: massa ao ar da amostra seca (g).

Tabela 17 – Massa específica da brita

Massa específica na condição saturado superfície seca				
Amostras	ms	ma	ds	
Brita 1	1841,28	1120,90	2,56	
Brita 2	2135,03	1320,60	2,62	
		média	2,59	
Massa específica no estado seco				
Amostras	ms	ma	d	
Brita 1	1857,44	1120,90	2,52	
Brita 2	2153,44	1320,60	2,59	
		média	2,55	
Massa específica no estado aparente				
Amostras	m	ms	ma	da
Brita 1	1857,44	2111,28	1120,90	2,58
Brita 2	2153,44	2405,03	1320,60	2,64
			média	2,61

Analisando as massas específicas e unitárias da brita (Tabela 17), percebe-se a coerência desses resultados, sendo a massa específica saturada superfície seca (ds) de valor 2,59 g/cm³ tem valor ligeiramente superior da massa específica no estado seco (2,55 g/cm³), pois no primeiro caso no interior dos grãos da brita os vazios estão preenchidos por água e, consequentemente aumentando a sua massa específica. Quando comparado com a terceira massa específica, a aparente ou também conhecida de unitária, esta contém os vazios dos grãos e entre os grãos.

4.1.9 Massa específica do Cimento Portland (CP II Z 32)

A determinação da massa específica do Cimento Portland II Z 32 foi realizada duas vezes, preenchendo-se o frasco de Le Chatelier com o cimento e líquido inerte, verificando-se o volume inicial Li e o volume deslocado. Então, a obtenção da massa específica foi determinada utilizando-se a equação [07], e os resultados estão apresentadas na Tabela 18.

$$\gamma_c = \frac{M}{V} = \frac{60}{(L_f - L_i)} \left(\frac{g}{cm^3} \right) \quad [07]$$

Tabela 18 – Massa específica – Cimento Portland II Z 32

Amostra	Massa Cimento (g)	Volume inicial (cm³)	Volume final (cm³)	Massa específica (g/cm³)
CP II Z 32 (1)	60,00	0,50	19,90	3,09
CP II Z 32 (2)	60,00	0,15	19,70	3,07
média				3,08

Fonte: Autoria própria.

Os valores de densidade comumente encontrados para o Cimento Portland estão entre 2,9 a 3,15 g/cm³. Tal resultado tem grande importância para realizar o cálculo de consumo dos insumos dos materiais nas misturas de concretos.

4.1.10 Determinação pasta de consistência normal

A realização deste ensaio, faz-se pelas tentativas da quantidade de água acrescentada na pasta de cimento, até obter a distância da sonda de Tetmajer distante do fundo da base na pasta de cimento (6±1 mm), conforme descrita no capítulo 3.

A Tabela 19 indica a quantidade de tentativas, conforme ocorreram os acréscimos de água, até que a sonda de tetmajer ficasse com a medida de 6±1 mm.

Tabela 19 – Determinação da pasta de consistência normal

Número de tentativas	Quantidade de água (g)	Medida da Sonda Tetmajer (mm)
1	125	15
2	150	9
3	180	4
4	170	6

Assim, ao observar a Tabela 19, o índice de consistência normal foi alcançada na 4ª tentativa, ou seja, quando a pasta de cimento foi colocada 170 gramas de água e, conseqüentemente ficou distante do fundo em 6 mm.

4.1.11 Início de pega e Fim de pega de cimento

Somente após o ensaio da determinação da pasta de consistência normal, pode-se realizar o ensaio de início e fim de pega, pois é necessário saber qual a quantidade exata de água a ser colocada na pasta de cimento.

Para o ensaio de início de pega, realizou-se duas vezes o procedimento. É dito que o início de pega se dá quando a agulha de Vicat penetrar pela pasta de cimento e ficar distante do fundo da base de 4 ± 1 mm. Já o fim de pega é determinado quando a agulha anular de Vicat penetrar 0,5 mm na pasta de cimento. Em ambos os casos (início e fim) de pega registra-se o tempo em que as agulhas levaram para penetrarem na massa e ficar a distância padrão imposto neste ensaio.

A Tabela 20, mostra os tempos encontrados de início e fim de pega para a pasta de cimento Portland CPII Z 32.

Tabela 20 – Ensaio de pega (início e fim) – Cimento Portland II Z 32

Amostras	Ínicio do ensaio	Tempo de início de pega	Duração (hrs)	Leitura (mm)
CPIIZ 32 (1)	14:00	16:30	02:30	5
CPIIZ 32 2	16:00	18:15	02:15	4
média			02:22	
Amostras	Ínicio do ensaio	Tempo de final de pega	Duração (hrs)	Leitura (mm)
CPIIZ 32 (2)	14:00	17:30	03:30	0,5
CPIIZ 32 2	16:00	19:30	03:30	0,5
média			03:30	

Conforme indicado na Tabela 20, o resultado do início de pega para o CP II Z 32 é aproximadamente 2 horas e 22 minutos, sendo este importante pois permite a determinação do tempo disponível para manuseio dos concretos e argamassas. O tempo de final de pega, vide Tabela 20 deu-se em três horas e trinta minutos.

Após o início de pega, a pasta deve permanecer em repouso, em sua posição definitiva, a fim de permitir que o processo de endurecimento se desenvolva adequadamente. Fatores físicos como temperatura e finura, bem como a composição química do cimento, influenciam a pega.

4.2 ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

4.2.1 Abatimento do tronco de cone

Novamente, como dito anteriormente no início deste capítulo, fez-se dois conjuntos de concretos nos teores de substituições da areia natural por RCPC. Onde a primeira manteve constante a relação água/cimento (a/c cte) e na segunda manteve-se constante o abatimento pelo tronco de cone (slump cte).

Inicialmente, realizou-se a confecção de concretos onde a relação água/cimento manteve-se constante (a/c cte). Assim, ao realizar o ensaio de abatimento pelo tronco de cone, observou-se que o aumento das substituições da areia natural por RCPC reduzia o abatimento, como se observa na Tabela 21.

Para os concretos com slump constante entre 9 ± 1 mm (slump cte) ocorre a variação na quantidade de água em decorrência da correção de água utilizada, apresentado na Tabela 21.

Tabela 21 – Abatimento pelo tronco de cone

Traço	Relação a/c	Abatimento (cm)
Padrão – Ref (0%)	0,61	9,0
Relação a/c cte em 0,61		
Sub. 25% agregado miúdo	0,61	8,0
Sub. 50% agregado miúdo	0,61	6,5
Sub. 75% agregado miúdo	0,61	4,0
Sub. 100% agregado miúdo	0,61	2,5
Slump cte em 9±1mm		
Sub. 25% agregado miúdo	0,63	9,0
Sub. 50% agregado miúdo	0,67	9,5
Sub. 75% agregado miúdo	0,77	9,5
Sub. 100% agregado miúdo	0,88	9,0

Fonte: Autoria própria.

Ao analisar os resultados do ensaio de abatimento pelo tronco de cone dos variados concretos (Tabela 21), observa-se que o concreto produzido com 100% de RCPC e 0% de areia natural (a/c cte) teve seu abatimento baixo (2,5 cm). Foi necessário “imprimir maior força” para manipular este concreto, pois mantendo-se a mesma quantidade de água para molhar todos os materiais pulverulentos tornou a trabalhabilidade no concreto de “difícil” manipulação. A massa “mostrava-se” muito rija (áspera) e, até no momento de adensá-las nos moldes dos corpos de prova cilíndricos (10x20cm) ouve maior dificuldade em relação as outras substituições menores, bem como do concreto padrão (sem substituição).

Assim, para maior clareza nos dados do abatimento de tronco de cone, a Tabela 22 indica as quantidades de água de amassamento acrescentadas nos variados concretos.

Tabela 22 – Quantidade de água para correção do abatimento

Traço Slump cte em 9 ± 1 mm	Adição de água (mL)
25% da areia natural por RCPC	100
50% da areia natural por RCPC	300
75% da areia natural por RCPC	700
100% da areia natural por RCPC	1250

Fonte: Autoria própria.

Quando realizou-se a correção de água de amasamento nos variados concretos (Tabela 22), a trabalhabilidade melhorou bastante, em relação aos concretos que mantiveram a relação a/c cte, para todas as substituições. Porém, é sabido que elevadas taxas a/c diminuí drasticamente a resistência mecânica do concreto, ou seja, a resistência é inversamente proporcional a quantidade de água acrescentada. Por outro lado, a baixa quantidade de água, também não “mostrou-se” eficiente, pois a trabalhabilidade é diminuída.

Percebe-se ainda que a correção (Tabela 22) não segue uma tendência linear, mas sim próximo de uma exponencial, pois quanto maior é a quantidade de material pulverulento presente nas substituições, bem maior é a quantidade de água necessária para corrigir o abatimento do concreto, mantendo-o em 9 ± 1 mm

4.2.2 Massa específica pelo método gravimétrico.

A seguir a Tabela 23 apresenta a quantidade de concreto no recipiente, além da quantidade de material utilizado na betonada.

Tabela 23 – Quantidade de materiais da betonada e peso do concreto

Traço	Mrc (kg)	Tara (kg)	V (dm ³)	Mc (kg)	Mf (kg)	Mg (kg)	Ma (L)
a/c Cte							
Padrão	3,999	1,7	1,03	11	33	33	6,71
25% sub. Areia natural por RCPC.	3,971	1,7	1,03	11	33	33	6,71
50% sub. Areia natural por RCPC	3,942	1,7	1,03	11	33	33	6,71
75% sub. Areia natural por RCPC	3,904	1,7	1,03	11	33	33	6,71
100% sub. Areia natural por RCPC	3,866	1,7	1,03	11	33	33	6,71
Slump Cte							
25% sub. Areia natural por RCPC.	3,952	1,7	1,03	11	33	33	6,81
50% sub. Areia natural por RCPC	3,942	1,7	1,03	11	33	33	7,01
75% sub. Areia natural por RCPC	3,933	1,7	1,03	11	33	33	7,41
100% sub. Areia natural por RCPC	3,923	1,7	1,03	11	33	33	7,96

Onde:

Mrc: Peso (kg) do concreto no recipiente;

Tara: Peso do recipiente;

V: Volume do recipiente;

Mc: Massa do cimento;

Mf: Massa do agregado miúdo;

Mg: Massa do agregado graúdo;

Ma: Quantidade de água da betonada.

A seguir, a Tabela 24, e no gráficos 10 e 11 apresentam os resultados para os ensaios prescritos através da NBR 9833 (ASSOCIAÇÃO..., 2008).

Tabela 24 – Massa específica, índice de vazio e teor de ar

Traço	Composição	Massa Específica aparente (kg/m ³)	Rendimento	Volume Total	Índice de ar	Teor de ar (%)
	Padrão	2236,92	0,037	0,036	1,048	4,62
a/c Cte	25% sub. Areia natural por RCPC.	2209,67	0,038	0,036	1,059	5,56
	50% sub. Areia natural por RCPC	2181,46	0,038	0,036	1,070	6,55
	75% sub. Areia natural por RCPC	2144,48	0,039	0,036	1,086	7,92
	100% sub. Areia natural por RCPC	2107,51	0,040	0,036	1,102	9,29
Slump Cte	25% sub. Areia natural por RCPC.	2191,19	0,038	0,036	1,066	6,20
	50% sub. Areia natural por RCPC	2181,46	0,039	0,036	1,065	6,10
	75% sub. Areia natural por RCPC	2172,70	0,039	0,037	1,060	5,67
	100% sub. Areia natural por RCPC	2162,97	0,039	0,037	1,053	5,08

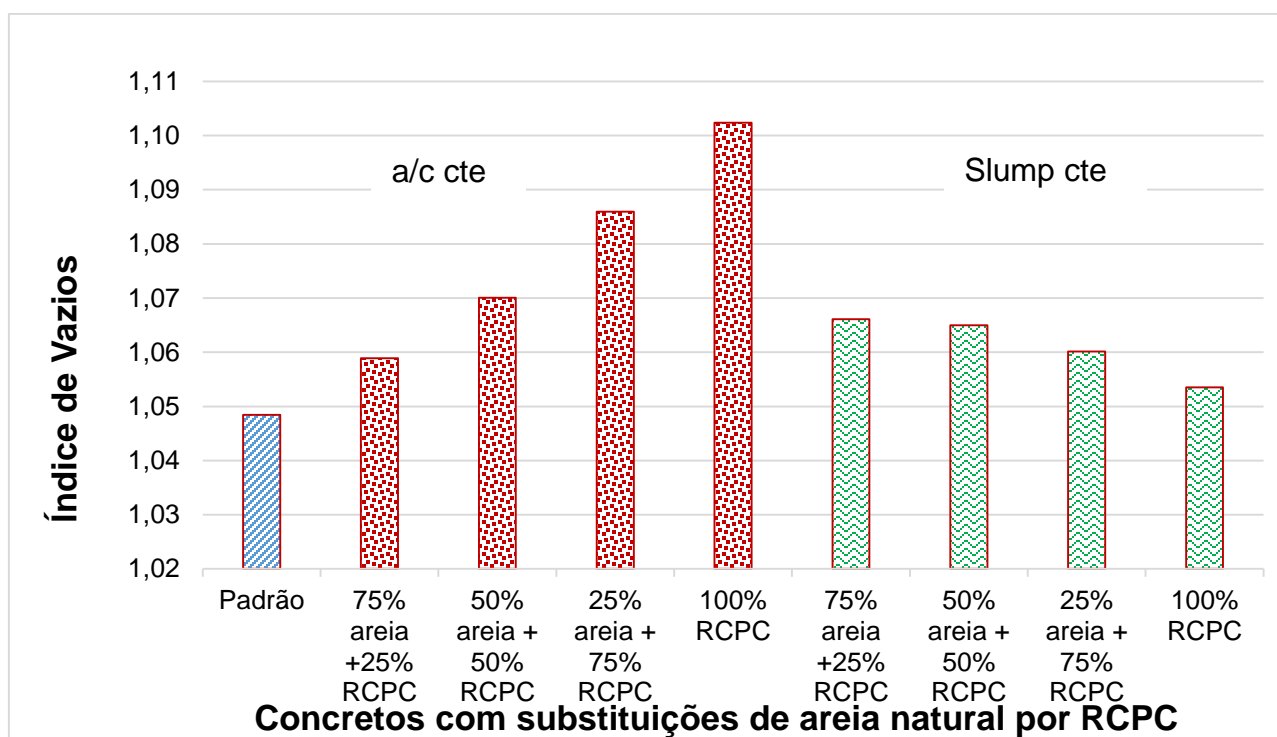


Gráfico 10 – índice de vazios para cada traço produzido.

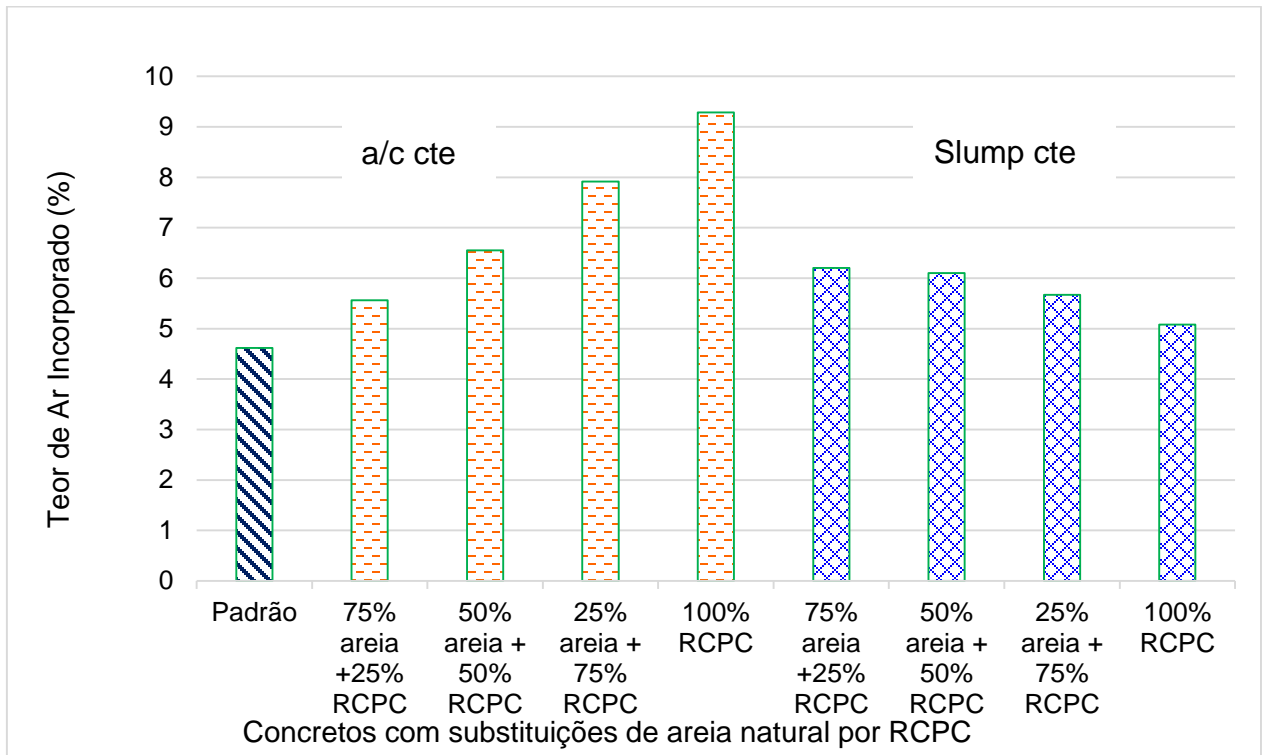


Gráfico 11 – Teor de ar incorporado para cada traço produzido.

Conforme os resultados obtidos (Tabelas 23, 24, e Gráficos 10 e 11), verifica-se que o concreto padrão (sem RCPC) possui menor porcentagem de vazios e do teor de ar na massa desse concreto produzido somente com areia natural. Verifica-se que em todas as substituições da areia por RCPC esses dois parâmetros sucedem numericamente ao concreto de referência.

O comportamento do índice de vazios com o teor de ar também segue as mesmas tendências para os concretos com RCPC, ou seja, ao substituir a areia por RCPC e mantendo-se a quantidade de água (A/c cte), tanto os vazios como a quantidade de ar aumentam com o aumento da porcentagem de RCPC.

Observando-se o comportamento dos concretos donde manteve-se o abatimento constante (slump cte) verifica-se que o acréscimo de RCPC diminui os vazios e o ar incorporado nesses.

Conclui-se que em qualquer concreto com RCPC ocorre um aumento do índice de vazios e aumento do teor de ar na massa do concreto.

4.3 ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

4.3.1 Resistência à compressão axial simples

Para o ensaio de resistência à compressão axial simples foram moldados 4 corpos de prova (CP) de concretos para cada substituição de areia natural por RCPC, além do concreto padrão (sem substituição). As idades de rompimentos escolhidas foram de 3 e 28 dias. Assim, as Tabelas 25 e 26, mostram os resultados de resistência à compressão axial obtidos nos variados concretos e, o Gráfico 12 ilustra a tendência do ganho de resistência dos concretos com as idades.

Os valores de resistências à compressão axial, foram determinadas utilizando-se a equação [08], conforme estabelece a NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO..., 2007)

$$f_c = \frac{4F}{\pi \cdot D^2} \text{ (MPa)} \quad [08]$$

onde:

f_c = resistência à compressão (MPa);

F = força máxima alcançada (N);

D = Diâmetro do corpo de prova (mm).

Tabela 25 – Resistências à compressão axial aos 3 dias –relação a/c cte

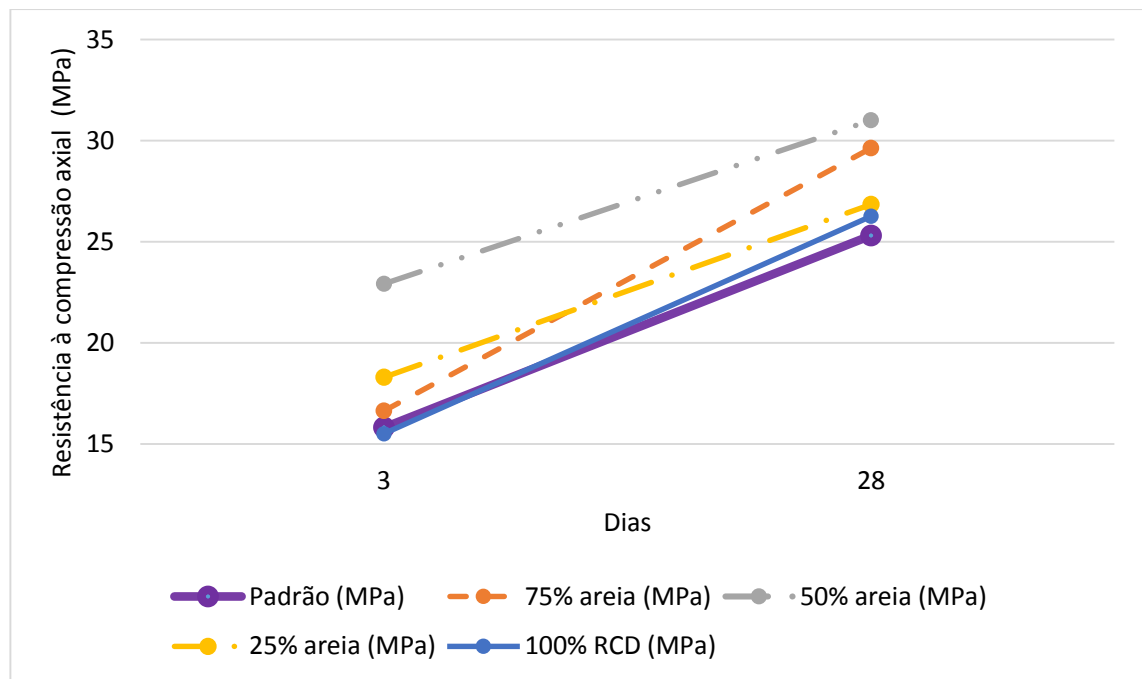
Amostras	Composição				
	Padrão (MPa)	75% areia 25 RCPC (MPa)	50% areia 50% RCPC (MPa)	25% areia 75% RCPC (MPa)	100% RCPC 0% Areia (MPa)
CP 1	16,08	16,80	20,77	18,18	17,97
CP 2	17,02	13,19	21,33	15,08	12,61
CP 3	15,66	18,14	24,21	19,81	15,69
CP 4	14,51	18,39	25,40	20,15	16,88
média	15,82	16,63	22,93	18,31	15,79

Fonte: Autoria própria.

Tabela 26 – Resistências à compressão axial aos 28 dias –relação a/c cte

Amostras	Padrão (MPa)	Composição			
		75% areia 25% RCPC (MPa)	50% areia 50% RCPC (MPa)	25% areia 75% RCPC (MPa)	100% RCPC 0% Areia (MPa)
CP 1	27,29	29,70	31,43	26,79	24,12
CP 2	24,95	30,12	29,44	27,73	27,85
CP 3	24,52	28,23	29,64	24,55	25,71
CP 4	24,46	30,46	33,52	28,29	27,38
média	25,31	29,63	31,01	26,84	26,27

Fonte: Autoria própria.

**Gráfico 12 – Resistências à compressão axial – Idades de 3 e 28 dias – relação a/c cte.**

Conforme os resultados obtidos (Tabelas 25 e 26), verifica-se que o traço do concreto feito com a composição de 50% de areia natural e 50% de RCPC obteve resultados superiores ao concreto padrão (Ref. 0%), embora todas os concretos com substituições tiveram valores acima da referência. No entanto, é bom lembrar a dificuldade em se confeccionar e manipular os concretos com as substituições (areia natural por RCPC) mantendo-se a mesma quantidade de água de amassamento.

Da mesma forma, foram confeccionados 4 corpos de prova para análises de resistência a compressão axial de concretos com as variadas substituições, mantendo-se o abatimento constante (*slump* cte). Assim, a Tabela 27 mostra os resultados das resistências obtidas aos 28 dias de idade.

Para melhores análises nos resultados de resistência a compressão axial, o Gráfico 13, ilustra a comparação dos variados concretos, ou seja, concretos donde mantiveram-se a relação *a/c* constante (a/c cte = 0,61) e os concretos com o abatimento constante (*slump* cte), todos aos 28 dias de idade.

Tabela 27 – Resistências à compressão axial aos 28 dias – slump cte

Amostra	Composição			
	75% areia 25% RCPC (MPa)	50% areia 50% RCPC (MPa)	25% areia 75% RCPC (MPa)	100% RCD 0% areia (MPa)
Amostra 1	26,63	24,55	23,81	20,47
Amostra 2	24,09	24,66	22,45	19,83
Amostra 3	24,91	21,79	23,09	17,55
Amostra 4	27,94	24,47	22,69	20,44
Resultado (média)	25,89	23,87	23,01	19,57

Fonte: Autoria própria.

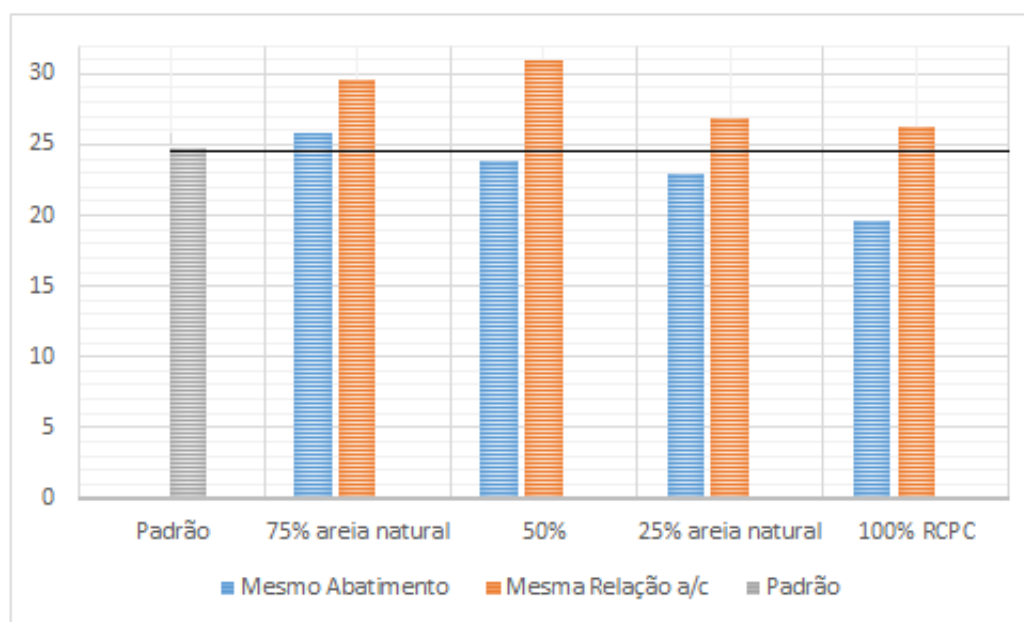


Gráfico 13 – Resistências aos 28 dias e seus respectivos traços.

Analisando os resultados do Gráfico 13, verifica-se visivelmente que os variados concretos, mantendo-se a relação a/c cte, tiveram resistências superiores aos concretos com slump cte em todas as substituições. Além disso, para o traço mantendo a relação slump cte, quando comparado com o concreto padrão, somente o concreto com 75% de areia e 25% de RCPC teve resistência superior, nas demais, foram inferiores. Já para os concretos mantendo o a/c cte, estes atingiram resistências superiores ao padrão para todas as substituições.

Para verificar o comportamento variável de resistência mecânica com o acréscimo de água de amassamento na massa de concreto, a Tabela 28 e o Gráfico 14 mostram os resultados obtidos no concreto padrão e nos concretos com as variadas substituições de areia natural por RCPC na idade de 28 dias.

Tabela 28 – Resistências à compressão aos 28 dias – slump cte

Traço	Resistência Média (MPa)	Relação a/c
Padrão	24,74	0,61
75% areia + 25 RCPC	25,89	0,63
50% areia + 50% RCPC	23,87	0,67
25% areia + 25% RCPC	23,01	0,77
100% RCPC	19,57	0,88

Fonte: Autoria própria.

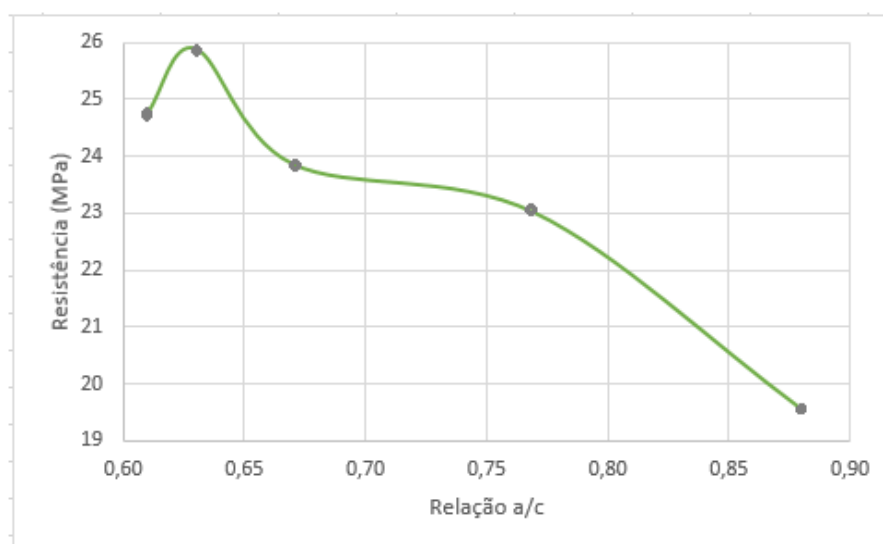


Gráfico 14 – Resistência à compressão axial simples, de acordo com relação a/c utilizada.

Observa-se o decréscimo acentuado da resistência à compressão (Gráfico 14) com o aumento da quantidade de água na massa dos variados concretos, para manter uma massa trabalhável, sem aspecto áspero/rijo. É possível observar que a resistência à compressão do concreto com a taxa de substituição de 75% de areia natural e 25% de RCPC é superior, mostrando que apesar de aumentar a relação a/c, a utilização moderada desse material tende a aumentar a sua resistência, porém, quando a relação a/c é demasiadamente alta, há a tendência de reduzir sua resistência conforme o aumento dessa relação a/c..

É sabido que quanto maior a relação a/c, há um aumento da porosidade, ocorrendo assim, a redução da resistência. No caso de concretos com substituições de RCPC tendo um aumento na resistência, deve-se ao melhor empacotamento granular destes concretos.

Portanto, deve-se optar por um traço que não tenha uma relação a/c tão elevada, pois este acaba reduzindo drasticamente a resistência, além disso, deve-se observar a trabalhabilidade deste concreto, pois as substituições, por exemplo de 100% de RCPC e 0% de areia natural, tornou pouco trabalhável a massa do concreto.

Fazendo uma análise dos dois traços que se mostraram mais eficientes, pode-se dizer que a taxa de substituição de 25% do agregado miúdo natural por reciclado seria satisfatório, pois teria uma resistência próxima a máxima atingida, e ainda assim manteria o seu abatimento de 8 cm, porém, com taxas maiores de substituição o abatimento seria reduzido drasticamente, visto que a quantidade de material pulverulento do resíduo reciclado absorve grande quantidade de água.

4.3.2 Resistência à tração por compressão diametral

Para o ensaio de resistência à tração por compressão diametral foram moldados 4 corpos de prova para cada substituição de areia natural por RCPC e as idades de rompimentos escolhidas foram de 3 e 28 dias. Os concretos produzidos neste foram

realizados apenas para as substituições da areia natural por RCPC, mantendo-se a quantidade de água constante (a/c cte).

As Tabelas 29 e 30 e o Gráfico 15 mostram os resultados obtidos nesse ensaio para os variados concretos. Os valores foram calculados utilizando-se a equação [09], conforme prescreve a NBR 7222 (ASSOCIAÇÃO..., 2010).

$$f_{tD} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot d \cdot L} \text{ (MPa)} \quad [09]$$

Onde:

f_{tD} = Resistência à tração por compressão diametral;

F = Carga máxima obtida no ensaio;

d = Diâmetro do corpo de prova;

L = Altura do corpo de prova.

Tabela 29 – Resistências à tração por compressão diametral aos 3 dias (a/c cte)

Amostras	Padrão Ref	Composição			
		75% areia 25 RCPC	50% areia 50% RCPC	25% areia 75% RCPC	100% RCD 0% areia
CP 1	1,47	2,44	2,88	2,38	2,18
CP 2	1,52	2,34	2,76	2,11	1,94
CP 3	1,68	2,39	3,16	2,35	2,30
CP 4	1,60	2,43	2,93	1,97	2,00
(média)	1,57	2,40	2,93	2,20	2,10

Tabela 30 – Resistências à tração por compressão diametral aos 28 dias (a/c cte)

Amostras	Padrão Ref	Composição			
		75% areia 25 RCPC	50% areia 50% RCPC	25% areia 75% RCPC	100% RCD 0% areia
CP 1	2,89	3,70	3,12	3,68	2,61
CP 2	2,52	3,37	3,38	3,14	2,93
CP 3	3,30	3,11	3,82	3,02	2,82
CP 4	2,94	3,82	3,72	3,34	3,05
(média)	2,91	3,50	3,51	3,30	2,85

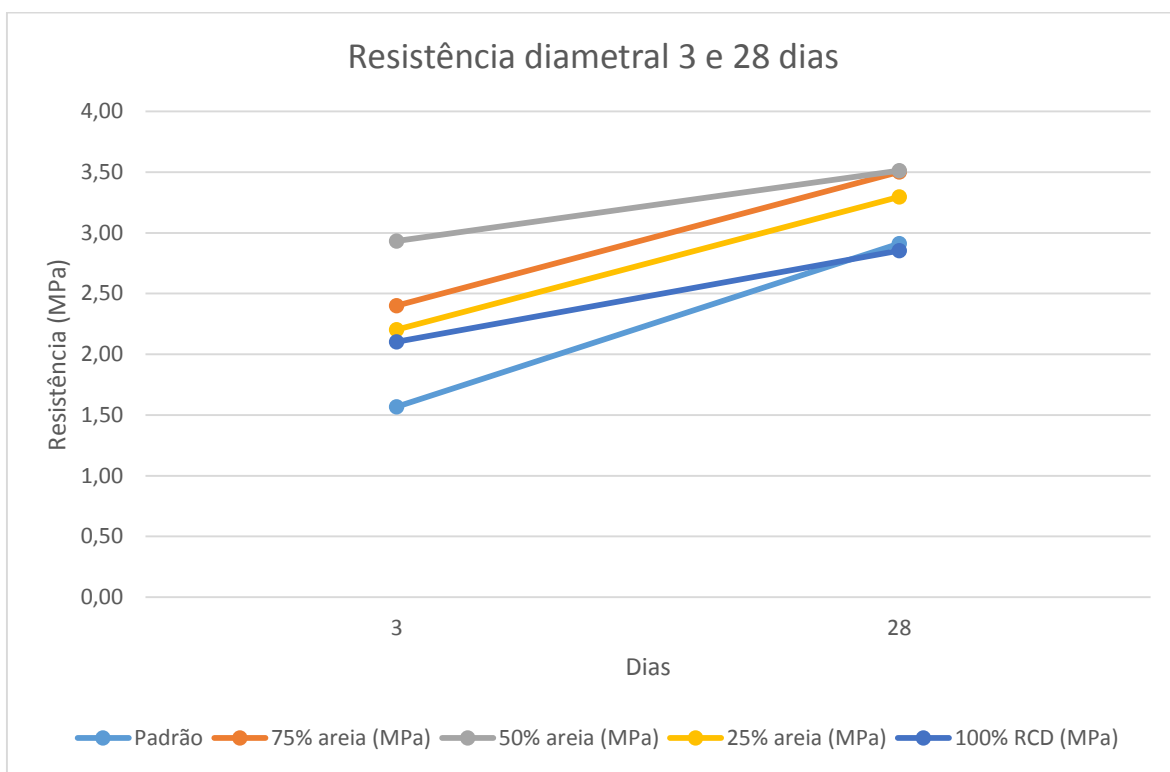


Gráfico 15 – Resistências aos 3 e 28 dias – Tração por compressão diametral

Conforme os resultados obtidos (Tabela 29 e 30), verifica-se que o traço de concreto com composição de 50% de areia natural e 50% de RCPC obteve resultados superiores aos demais, tanto para a idade de 3 dias, como para a de 28 dias. Além desta composição, o traço com 75% de areia natural e 25% de agregado miúdo reciclado obteve um resultado próximo ao traço com 50% de substituição do agregado miúdo. Verifica-se que o comportamento da resistência à tração por compressão diametral tende a as mesmas características já comentadas nas resistências à compressão, vide item 4.3.1

4.3.3 Absorção de água por imersão

O ensaio de absorção de água por imersão foram realizados em corpos de prova cilíndricos (10x20cm) com os variados concretos. Os ensaios foram realizados com idades superiores aos 28 dias. Estes ficaram em cura imersa em água até as datas de

realização desses ensaios. Sendo assim, para os concretos onde a quantidade de água permaneceram constante (a/c cte) e para o concreto padrão foram ensaiados 3 corpos de prova e, para os concretos onde o abatimento permaneceu constante em 9 ± 1 mm (slump cte) foram ensaiados 2 corpos de prova.

O Índice de vazios (IV) e a absorção de água por imersão (Abs_{im}) foram calculados utilizando-se as equações [10] e [11], respectivamente, conforme os procedimentos na NBR 9778 (ASSOCIAÇÃO...,2005). Além disso, foram realizadas as leituras das massas dos corpos de prova em 3 períodos (24, 48 e 72 horas) diferentes, para verificar o aumento da massa, devida a absorção de água sendo impregnadas nessas.

$$IV = \frac{Msat - Ms}{Msat - Mt} \cdot 100 (\%) \quad [10]$$

$$Abs_{im} = \frac{Msat - Ms}{Ms} \cdot 100 (\%) \quad [11]$$

Onde:

$Msat$ = massa do corpo de prova saturado;

Ms = massa do corpo de prova seco em estufa;

Mt = massa do corpo de prova na balança hidrostática.

Os resultados do índice de vazios (IV) e da absorção de água por imersão (Abs_{im}) para os concretos com relação a/c constante (a/c cte) e do concreto padrão (Ref 0%) estão apresentados na Tabela 31 e no Gráfico 16 e 17.

Onde:

$Msat$: massa da amostra saturada;

Mi : massa imersa, após saturação, na balança hidrostática;

Ms : massa seca, após retirado da estufa;

Ti hrs = tempo do corpo de prova imerso em água após início do ensaio.

Tabela 31 – Índice de vazios e Absorção de água por imersão - relação a/c cte

Traço	Amostra CP (g)	Msat	Mi	Ms	T1 = 24 hrs	T2 = 48 hrs	T3 = 72 hrs	Índice de vazios (%)
Padrão	CP 9	3759,80	2224,30	3580,00	3732,00	3745,00	3746,10	11,71
	CP 1	3836,80	2268,90	3654,60	3806,00	3819,50	3830,40	11,62
	CP 7	3778,40	2240,00	3618,60	3747,00	3760,50	3772,40	10,39
	média	3791,67	2244,40	3617,73	3761,67	3775,00	3782,97	11,24
				Absorção	3,98%	4,35%	4,57%	
25% areia 75% RCPC	CP 5	3899,00	2327,20	3710,40	3863,10	3874,20	3888,00	12,00
	CP 8	3898,30	2388,20	3721,90	3862,20	3873,70	3883,30	11,68
	CP 9	3677,10	2271,10	3505,30	3658,00	3667,40	3672,60	12,22
	média	3824,80	2328,83	3645,87	3794,43	3805,10	3814,63	11,97
				Absorção	4,07%	4,37%	4,63%	
50% areia 50% RCPC	CP 12	3804,00	2221,50	3599,70	3775,00	3787,80	3796,30	12,91
	CP 8	3838,10	2258,10	3650,50	3814,40	3826,80	3828,90	11,87
	CP 13	3862,50	2278,40	3697,20	3841,80	3851,50	3853,30	10,43
	média	3834,87	2252,67	3649,13	3810,40	3822,03	3826,17	11,74
				Absorção	4,42%	4,74%	4,85%	
75% areia 25% RCPC	CP 23	3690,00	2144,00	3490,80	3670,70	3676,20	3685,30	12,88
	CP 11	3746,20	2190,00	3544,00	3728,00	3732,00	3741,60	12,99
	CP 8	3678,40	2131,10	3510,70	3663,70	3670,80	3679,30	10,84
	média	3704,87	2155,03	3515,17	3687,47	3693,00	3702,07	12,24
				Absorção	4,90%	5,06%	5,32%	
100% RCPC	CP 8	3570,50	2051,70	3299,00	3522,30	3535,20	3542,40	17,88
	CP 4	3575,20	2058,10	3343,90	3617,50	3629,00	3638,10	15,25
	CP 9	3645,50	2130,10	3399,90	3580,40	3600,60	3609,20	16,21
	média	3597,07	2079,97	3347,60	3573,40	3588,27	3596,57	16,44
				Absorção	6,75%	7,19%	7,44%	

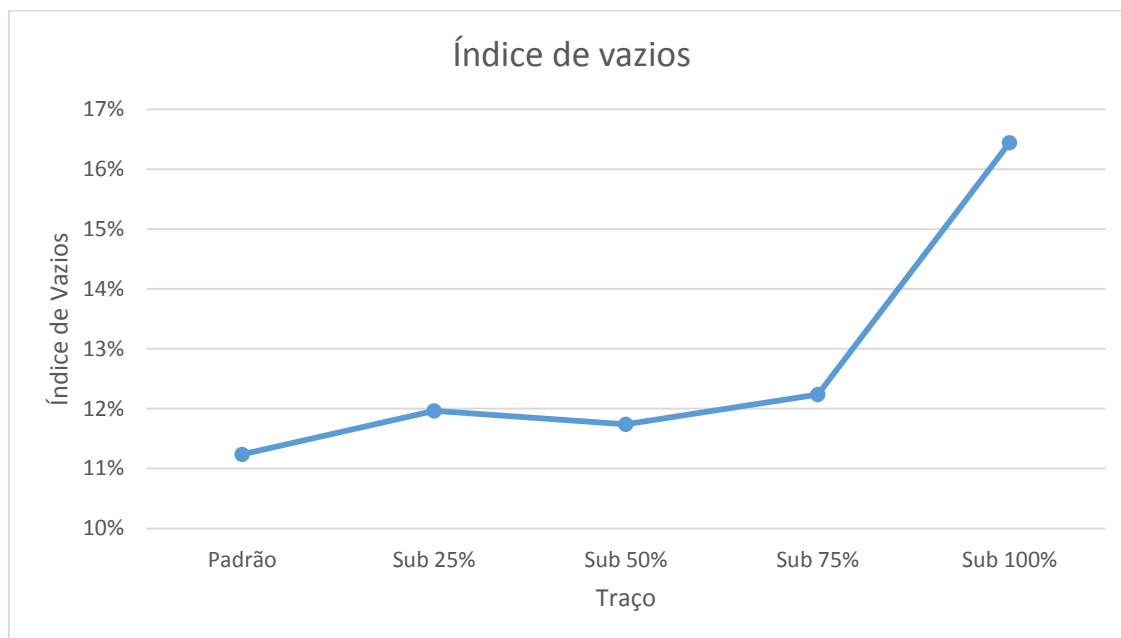


Gráfico 16 – Índice de Vazios (a/c cte)

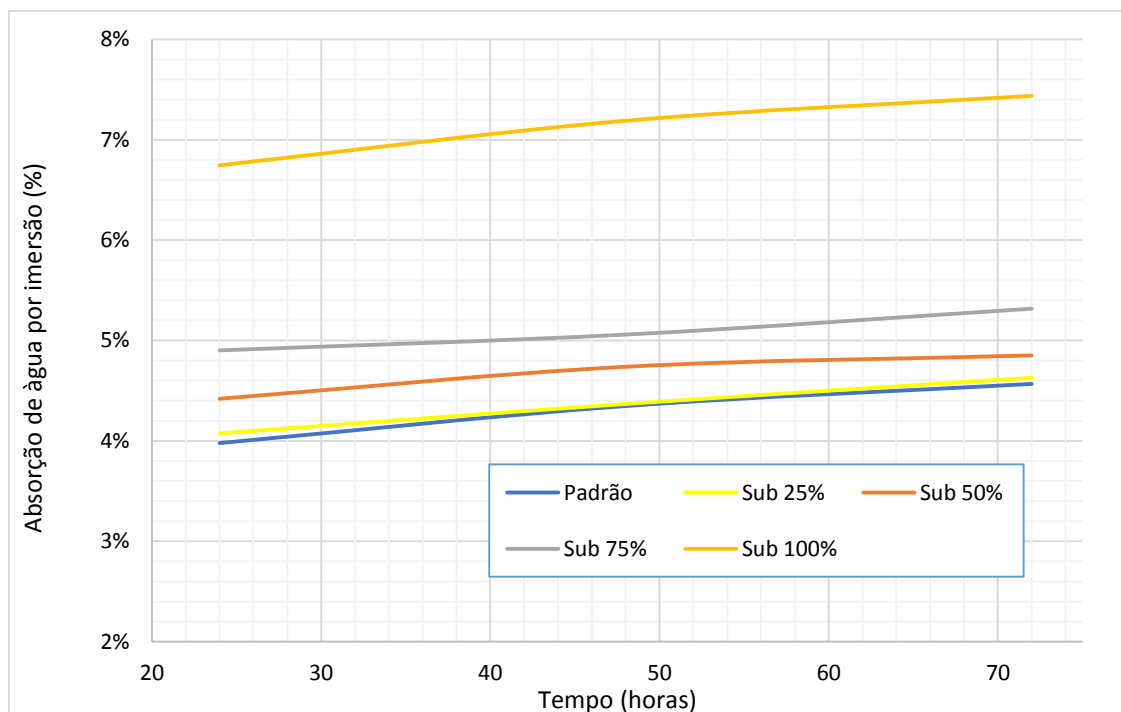


Gráfico 17 – Absorção de água por imersão (a/c cte)

Através das análises dos resultados, conforme a Tabela 31 e os Gráficos 16 e 17, percebe-se claramente o aumento da água sendo absorvida pelos variados concretos conforme aumenta o porporcionamento de RCPC e com o período de permanência em

imersa água. Através do Gráfico 17, verifica-se que o concreto com 100% de RCPC tem seus valores superiores aos restantes dos concretos e principalmente do padrão, indicando que este concreto é bem poroso, além de absorver mais a umidade de água.

Da mesma forma, os variados concretos com as substituições por RCPC mantendo-se o abatimento (slump cte) seguiram as mesmas análises dos concretos anteriores (a/c cte), ou seja, foram determinados os índices de vazios (IV) e a absorção de água por imersão (Abs_{im}) utilizando-se as equações [10] e [11]. Assim, os resultados encontram-se na Tabela 32 e nos Gráficos 18 e 19.

Tabela 32 – Índice de Vazios e Absorção de água por imersão - slump cte

Traço	Massa CP (g)	Msat	Mi	Ms	T1 = 24 hrs	T2 = 48 hrs	T3 = 72 hrs	Índice de vazios (%)
Sub 25%	CP 5	3854,30	2302,00	3691,10	3829,20	3833,20	3835,50	10,51
	CP 7	3806,3	2274,70	3642,60	3781,60	3783,00	3785,40	10,69
	Resultado (média)	3830,30	2288,35	3666,85	3805,40	3808,10	3810,45	10,60
					Absorção	3,78	3,85	3,92
Sub 50%	CP 8	3781,90	2270,70	3646,00	3772,30	3775,30	3777,00	8,99
	CP 1	3774,20	2263,90	3629,70	3764,60	3766,70	3768,40	9,57
	Resultado (média)	3778,05	2267,30	3637,85	3768,45	3771,00	3772,70	9,28
					Absorção	3,59	3,66	3,71
Sub 75%	CP 7	3809,30	2275,20	3643,00	3798,30	3801,80	3804,40	10,84
	CP 5	3771,90	2264,20	3613,40	3759,00	3763,20	3765,00	10,51
	Resultado (média)	3790,60	2269,70	3628,20	3778,65	3782,50	3784,70	10,68
					Absorção	4,15	4,25	4,31
Sub 100%	CP 8	3652,80	2119,80	3468,40	3639,80	3643,90	3647,30	12,03
	CP 5	3662,30	2130,70	3479,80	3651,10	3654,00	3657,20	11,92
	Resultado (média)	3657,55	2125,25	3474,10	3645,45	3648,95	3652,25	11,97
					Absorção	4,93	5,03	5,13

Onde:

Msat: massa da amostra saturada;

Mi: massa imersa, após saturação, na balança hidrostática;

Ms: massa seca, após retirado da estufa;

Ti hrs = tempo do corpo de prova imerso em água após início do ensaio.

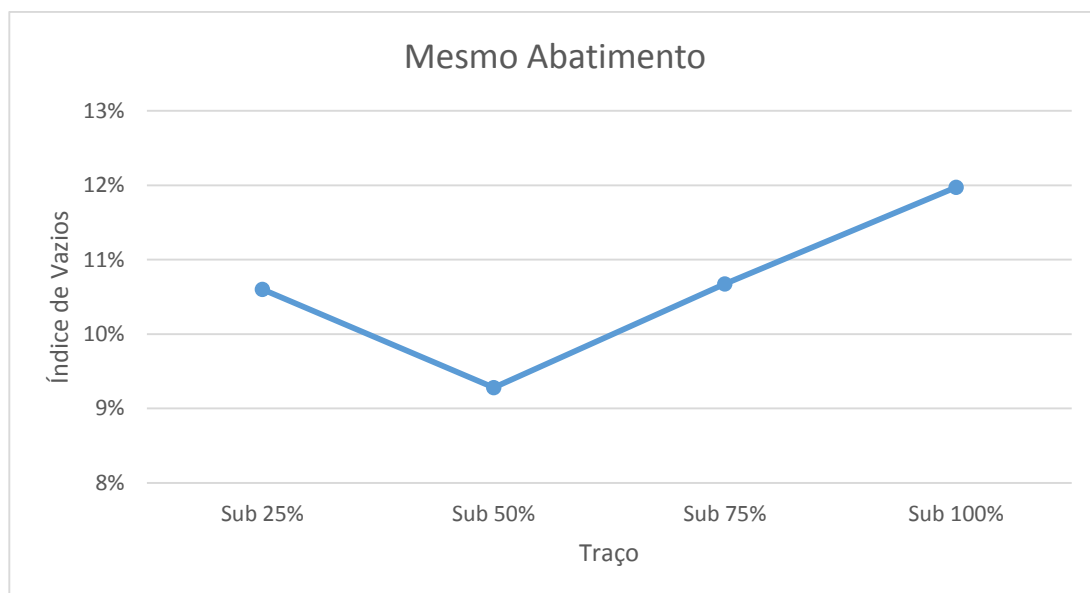


Gráfico 18 – Índice de Vazios (a/c cte)

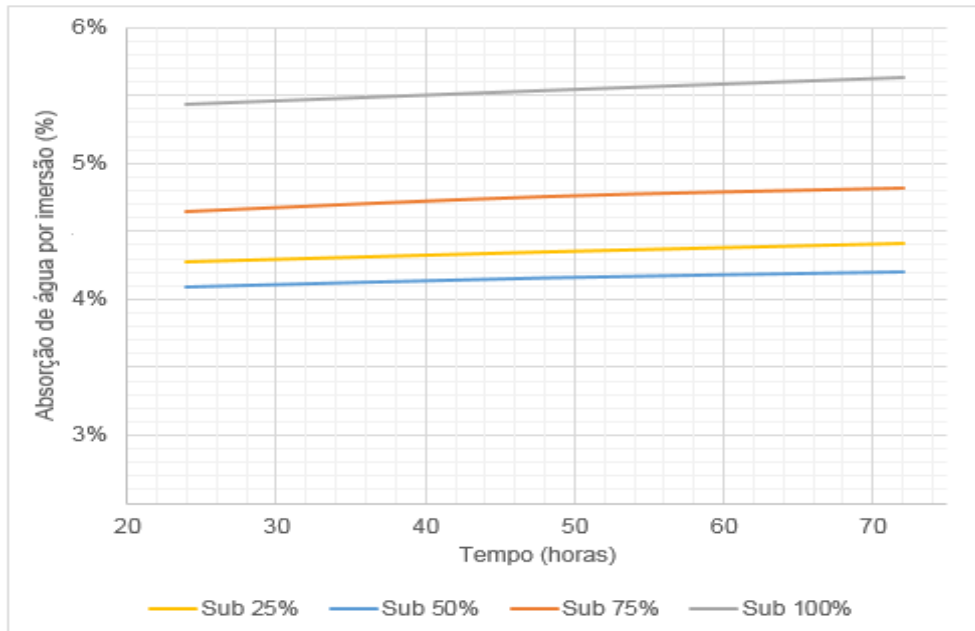


Gráfico 19 – Absorção de água por imersão – slump cte

De acordo com os resultados obtidos (Tabela 32 e Gráfico 18 e Gráfico 19), o traço do concreto que mostrou-se com o maior percentual de absorção de água foi o composto por 100% de RCPC, resultado semelhante do concreto onde manteve-se a

relação a/c constante. Tal comportamento no aumento de vazios e maior absorção de água foi também encontrado nos estudos realizados por Nakamura e Iurk (2010), donde utilizaram resíduo de construção e demolição (RCD) e o concreto com proporcionamento de 100% com o RCD utilizado, também teve maior índice de vazios e absorção de água.

Além disso, verificou-se na prática que quanto maior é a taxa de substituição da areia natural por RCPC no concreto,, maiores foram as dificuldades de adensamentos desses concretos nos moldes, tanto aqueles com a relação a/c cte como os de slump cte.

4.3.4 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade (Abscap) foram realizados em corpos de prova cilíndricos (10x20 cm) para todos os variados concretos com as substituições e para o concreto padrão (Ref. 0%). Foram utilizados 3 corpos de prova para os concretos que mantiveram a relação a/c constante (a/c cte) e padrão. O ensaio foi realizado com idade superior aos 28 dias e, que ficaram imersos em água até a realização deste ensaio.

A absorção de água por capilaridade (Abscap) foi determinada utilizando-se a equação [12], conforme descrito na NBR 9779 (ASSOCIAÇÃO..., 2012) e, os cinco períodos de observações e das leituras das massas nos corpos de prova foram de 3h, 6h, 24h, 48h e 72h após a colocação da lâmina de 5mm de água (Tabela 33 e Gráfico 20).

$$Abs_{cap} = \frac{A - B}{S} \left(\frac{g}{cm^2} \right) \quad [12]$$

Onde:

A = massa do corpo de prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo especificado (g);

B = massa do corpo de prova seco;

S = área da seção transversal, em cm².

Tabela 33 – Absorção de água por capilaridade - a/c cte

	Massa CP (g)	Ms	T1 = 3 hrs	T2 = 6 hrs	T3 = 24 hrs	T4 = 48 hrs	T5 = 72 hrs
Padrão (Ref. 0%)	CP 4	3619,00	3623,40	3629,00	3653,00	3665,10	3667,20
	CP 14	3648,10	3653,50	3656,00	3667,00	3673,60	3675,40
	CP 8	3595,90	3606,00	3610,00	3616,00	3620,10	3622,00
	média	3621,00	3627,63	3631,67	3645,33	3652,93	3654,87
	Absorção		0,08	0,14	0,31	0,41	0,43
25% areia 75% RCPC	CP 7	3690,1	3699,9	3705,7	3717,1	3723,3	3725,2
	CP 11	3692,5	3709,7	3714,8	3724	3728,8	3732,3
	CP 18	3705,2	3722,6	3728,8	3741,3	3747	3749,8
	média	3695,93	3710,73	3716,43	3727,47	3733,03	3735,77
	Absorção		0,19	0,26	0,40	0,47	0,51
50% areia 50% RCPC	CP 20	3649,2	3654	3678,7	3690,3	3701,2	3703,5
	CP 1	3653,8	3661	3677,6	3706,3	3720,7	3724,5
	CP 5	3609,3	3616	3626,5	3661,8	3673,6	3687,7
	média	3637,43	3643,67	3660,93	3686,13	3698,50	3705,23
	Absorção		0,08	0,30	0,62	0,78	0,86
75% areia 25% RCPC	CP 9	3640,2	3658	3664,3	3681	3695,7	3699,4
	CP 21	3500,8	3522	3531,3	3555,5	3574,6	3581,6
	CP 10	3611,5	3627	3635,6	3654,6	3672,7	3677
	média	3584,17	3602,33	3610,40	3630,37	3647,67	3652,67
	Absorção		0,23	0,33	0,59	0,81	0,87
100% RCPC	CP 6	3385,1	3394	3417,2	3460,3	3488,8	3497,6
	CP 5	3410,1	3420,4	3434	3471,6	3497	3505
	CP 11	3398,2	3406,5	3422,4	3451,7	3467,5	3468,8
	média	3397,80	3406,97	3424,53	3461,20	3484,43	3490,47
	Absorção		0,12	0,34	0,81	1,10	1,18

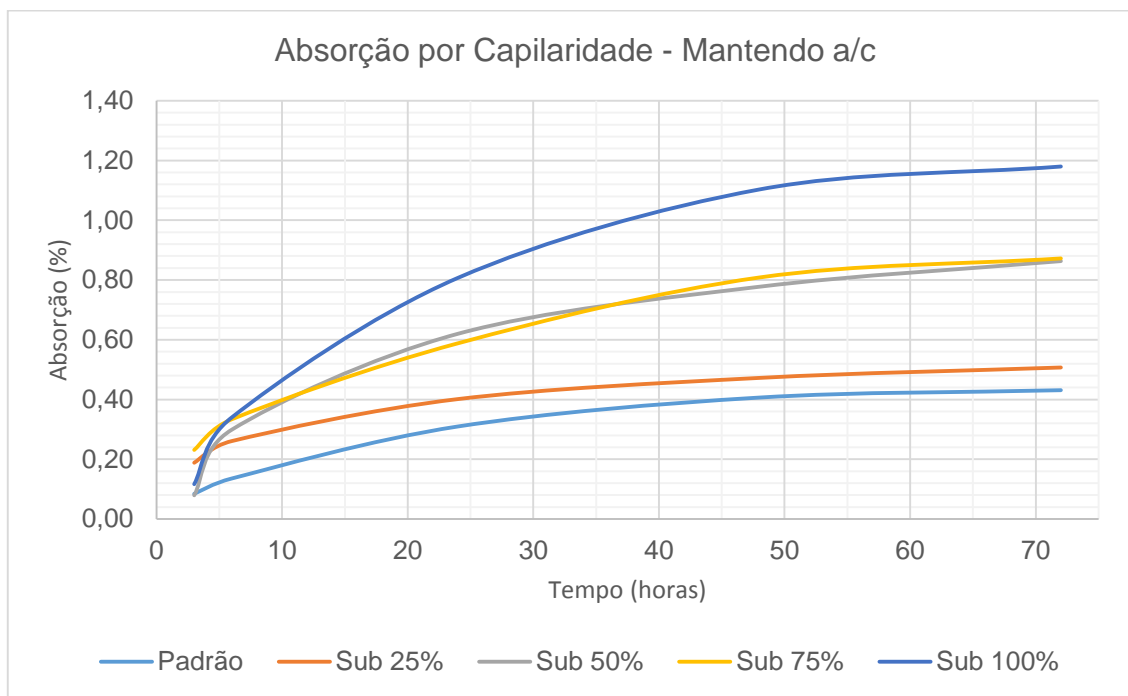


Gráfico 20 – Absorção de água por capilaridade – a/c cte

Ao observar os resultados (Tabela 33 e Gráfico 18) percebe-se visivelmente o aumento de água absorvida no concreto confeccionado com 100% de RCPC em relação aos outros concretos. Além disso, na primeira hora de ensaio, 3 horas após o início da colocação da lâmina de 5mm de água para todos os concretos não há grandes variações perceptíveis da absorção de água nesses concretos. Por outro lado, após o período de 72 horas as diferenças são acentuadas, verificando-se o aumento dessa água absorvida com o aumento da substituição da areia natural pelo RCPC em todos os períodos analisados.

Ensaio com os variados concretos com as substituições por RCPC, mantendo-se o abatimento constante (slump cte) também foram analisados, assim foram confeccionados 2 corpos de prova para cada substituição e os valores das absorções foram calculadas conforme a equação [12].

A Tabela 34 e o Gráfico 21 mostram os resultados das absorções de água por capilaridade obtidos nos variados concretos.

Tabela 34 – Absorção de água por capilaridade - slump cte

	Massa CP (g)	Ms	T1 = 3 hrs	T2 = 6 hrs	T3 = 24 hrs	T4 = 48 hrs	T5 = 72 hrs
25% areia 75% RCPC	CP 6	3675	3680,6	3686,9	3701,8	3705,2	3708,1
	CP 3	3683	3695,2	3701,3	3716	3719,4	3722
	média	3679,00	3687,90	3694,10	3708,90	3712,30	3715,05
	Absorção		0,11	0,19	0,38	0,42	0,46
50% areia 50% RCPC	CP 5	3635	3642,1	3647,6	3661	3663,9	3666
	CP 9	3540,2	3550,1	3556,8	3573,2	3576,8	3579
	média	3587,60	3596,10	3602,20	3617,10	3620,35	3622,50
	Absorção		0,11	0,19	0,38	0,42	0,44
75% areia 25% RCPC	CP 8	3608,8	3619,3	3624,8	3627,8	3633,2	3637,8
	CP 4	3638,7	3645,5	3651,3	3657,8	3660,1	3663,2
	Resultado (média):	3623,75	3632,40	3638,05	3642,80	3646,65	3650,50
	Absorção		0,11	0,18	0,24	0,29	0,34
100% RCPC	CP 3	3531,9	3540,4	3546,8	3552,2	3552,6	3553,2
	CP 6	3483,1	3492,4	3500	3502,4	3504,1	3507,8
	média	3507,50	3516,40	3523,40	3527,30	3528,35	3530,50
	Absorção		0,11	0,20	0,25	0,27	0,29

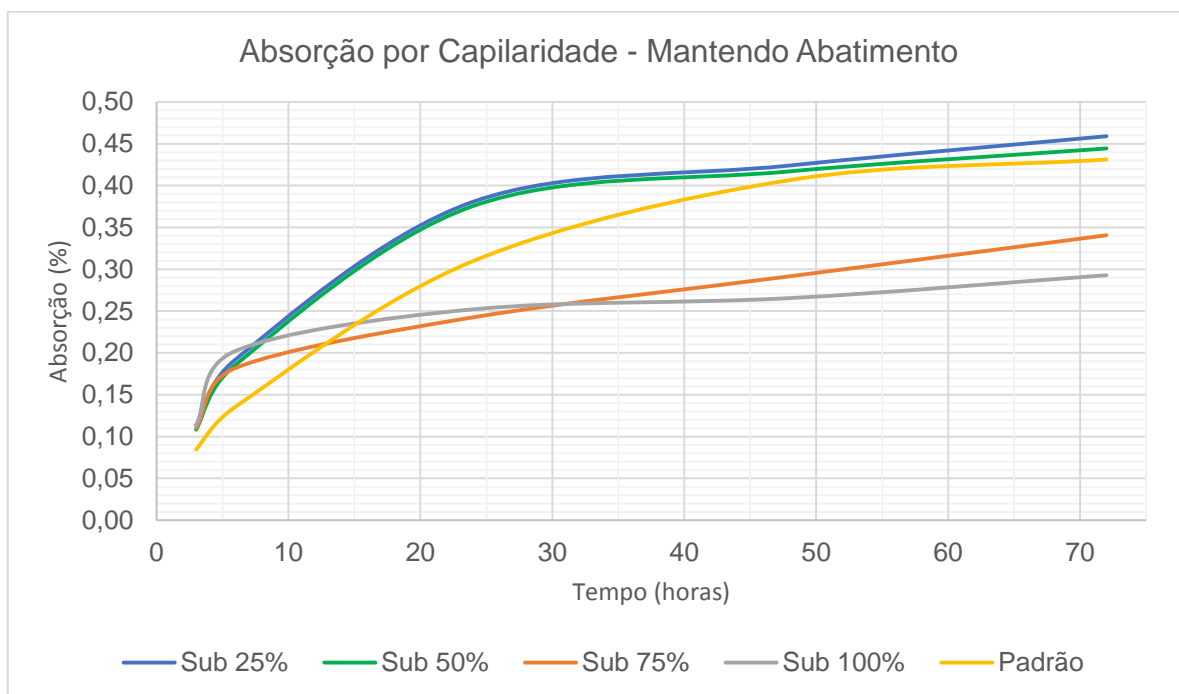


Gráfico 21 – Absorção de água por capilaridade – slump cte

Analisando os resultados obtidos na Tabela 34 e Gráfico 19, verifica-se que os concretos feitos com menores teores de substituições da areia natural por RCPC (25% e 50% de areia) tem valores superiores da absorção de água por capilaridade. No entanto, para todas as substituições, ocorreram acréscimos de água absorvidas nos concretos com o passar do tempo.

Comparando os valores numéricos da absorção com os concretos confeccionados com a relação a/c cte (Gráfico 20) e do Gráfico 21 (slump cte) que em todos os concretos tiveram valores numericamente inferiores. Tal fato deve-se pelo aumento de água na massa do concreto, fazendo com que o índice de vazios diminuíssem em relação aos concretos com a/c cte.

5 CONCLUSÕES

De uma forma geral, os resultados obtidos neste trabalho foram satisfatórios, podendo comprovar através dos ensaios laboratoriais, os mesmos conceitos encontrados nas bibliografias existentes, chegando assim, a um consenso referente as propriedades do material reciclado em estudo.

Os resultados obtidos nos ensaios do concreto no estado fresco, demonstraram que a trabalhabilidade é bastante influenciada pela inserção do material reciclado (RCPC), sendo que, altas taxas de substituição desse agregado interfere negativamente na trabalhabilidade, fazendo com que o excesso de partículas finas não se obtenham facilidades nos adensamentos.

Através dos resultados obtidos nos variados concretos no estado endurecido, observou-se que o traço que manteve a relação a/c cte, com composição de 75% de areia natural e 25% de RCPC e no concreto com 50% de areia natural e 50% de RCPC, apresentaram os resultados maiores de resistência axial e resistência diametral do que as outras substituições.

Para os ensaios realizados referente ao índice de vazios, observou-se que as substituições de 25%, 50% e 75% se mostraram semelhantes, porém a taxa com 100% de substituição do agregado miúdo natural por reciclado, apresentou elevado índice de vazios, demonstrando assim, a falta de adensamento do material.

Referente aos ensaios de absorção por imersão, verifica-se que para o traço com a/c cte, a absorção de água com a taxa de substituição de 100% foi demasiadamente alta comparando-se com as outras taxas de substituição, já para o traço com slump cte, apesar da taxa de substituição com 100% ser a maior, não apresentar grande diferença em relação as outras taxas de substituição, visto que este traço já tem em sua composição, quantidade superior de água em relação ao traço com a/c cte.

De acordo com os ensaios de absorção por capilaridade, observa-se que, para o traço com a/c cte, a maior taxa de absorção é do traço com composição de 100% de substituição do agregado miúdo, seguido pelas taxas de 75% e 50%. Já para o traço com *slump* cte, como essa composição tem maior quantidade de água para os traços com

taxa de substituição maiores (em decorrência da correção de água), observou-se que o traço com 100% de substituição do agregado miúdo foi o de menor taxa de absorção de água, já o traço com composição de 25% de substituição, foi o que obteve a taxa de absorção mais elevada.

De modo geral, os resíduos de corpos de prova possuem grande potencial para serem utilizados, devendo-se ainda analisar sua viabilidade econômica, verificando custos para sua reciclagem. Ainda assim, apresenta boa viabilidade para sua utilização, gerando uma redução na utilização da areia natural, e também, destinando o material de forma adequada, visto que, grande parte desse material acaba sendo destinado a aterros sanitários, sem nenhum tipo de reciclagem. Contribuindo desta forma, para que este resíduo não impacte de forma negativa no ambiente urbano, reduzindo assim, problemas de saneamento. Sendo assim, os agregados reciclados não devem ser vistos como material de qualidade reduzida, mas sim, como materiais que apresentam propriedades diferentes dos agregados naturais, e com sua utilização de forma equilibrada pode se tornar interessante.

Portanto, existe a viabilidade técnica da utilização do material na prática, podendo ser destinado a utilização em pisos, como o paver, por exemplo. Para sua destinação de forma estrutural, ensaios como a durabilidade do concreto devem ser realizados, verificando assim, sua possível utilização para fins estruturais, como vigas, lajes e pialres, por exemplo.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após análise dos resultados verificou-se que este trabalho apresentou algumas diferenças entre os agregados naturais e o reciclado, embora sua utilização tenha se mostrado de forma positiva. Desta forma, é interessante que mais pesquisas sejam realizadas para sua utilização no Brasil, sendo ou não para fins estruturais. Abaixo são sugeridas algumas linhas de pesquisas para prosseguimento do tema desta pesquisa:

- A influência na durabilidade do concreto com a utilização dos agregados reciclados.
- A viabilidade econômica do material reciclado, seja na substituição do agregado miúdo, ou do agregado graúdo.
- A possibilidade da coleta dos corpos de prova e sua possível reciclagem em grande escala.
- Realização de dosagem com a utilização de aditivos, verificando assim, sua possível melhoria nas características do material reciclado do concreto no estado fresco.
- Sua aplicação em elementos da construção civil, como artefatos de cimentos, paver, blocos, entre outros.
- Utilização do britador de mandíbula para produção do novo agregado reciclado, ao invés do moinho de bolas.

REFERÊNCIAS

AITCIN, P. C. **Concreto de alto desempenho**. Tradução Geraldo Gomes Serra. São Paulo: Pini, 2000. 662p.

AMADEI, D. I. B, **Avaliação de Blocos de Concreto para Pavimentação Produzidos com Resíduos de Construção e Demolição do Município de Juranda/PR**. Universidade Estadual de Maringá, Maringá. Dissertação (Mestrado). 147p. 2011.

ÂNGULO, S. C.; JONH, V. M., **Normalização dos Agregados Graúdos de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados para Concretos e a Variabilidade**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002, Foz do Iguaçu: ANTAC, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6467**: Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio. Rio de Janeiro, ABNT, 2009.

_____. **NBR 9775**: Agregado miúdo – Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio. Rio de Janeiro, ABNT, 2011a.

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

_____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, ABNT, 2003a.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto. Rio de Janeiro, ABNT, 2005a.

_____. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, ABNT, 2006a.

_____. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente a absorção de água. Rio de Janeiro, ABNT, 2009a.

_____. **NBR 9778:** Argamassas e concreto endurecido – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, ABNT, 2005b.

_____. **NBR 9779:** Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, ABNT, 2012.

_____. **NBR NM 23:** Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, ABNT, 2001b.

_____. **NBR NM 43:** Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, ABNT, 2003b.

_____. **NBR NM 46:** Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro, ABNT, 2003c.

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

_____. **NBR 9833:** Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, ABNT, 2008.

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

_____. **NBR 5738:** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.. Rio de Janeiro, ABNT, 2008.

_____. **NBR NM 24:** Materiais Pozolânicos – Determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro, ABNT, 2003.

_____. **NBR NM 65:** Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, ABNT, 2003d.

_____. **NBR NM 26:** Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro, ABNT, 2009b.

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

_____. **NBR NM 6467**: Determinação do inchamento de agregado miúdo. Rio de Janeiro, ABNT, 2006b.

_____. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, ABNT, 2004.

BASHEER, L; KROPP, J; CLELAND, D. J. **Assessment of the durability of concrete from its permeation properties: a review**. Construction and Building Materials. n.15, p. 93-103, 2001.

BAZUCO, R. S. **Utilização de agregados reciclados de concreto para produção de novos concretos**. 1999. 109 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

BODI, J. **Experiência brasileira com entulho reciclado na pavimentação**. In: Reciclagem na construção civil, alternativa econômica para a proteção ambiental, 29., São Paulo, 1997. Anais. São Paulo: Núcleo de Desenvolvimento de Pesquisas POLI/UPE, 1997. P. 56-63.

BRASIL. Código Florestal. Lei 12305, Brasília, DF: Congresso Nacional, 2010.

BUTLER, A. M. **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural**. 2007. 499 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – 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**. 2005. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Resolução N. 302. 2002.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Resolução N. 307. 2002.

DESSY, P.; BADALUCCO, C.; BIGNAMI, F. C.; et al. **Analysis of performances of concrete components made with recycled aggregates.** In: Materials and technologies for sustainable construction – CIB WORLD BUILDING CONGRESS, 1998, Sweden. v.1, p. 149-156.

FONSECA, A. P. **Estudo Comparativo de Concretos com Agregado Graúdo Reciclado de Telha Cerâmica e Agregado Graúdo Natural.** Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. Dissertação (Mestrado). 194p. 2006.

GUIMARÃES, A. T. C. **Concreto: Ensino, pesquisa e realizações – Dosagem dos concretos de cimento Portland.** Ed. Geraldo Cechella Isaia – São Paulo: IBRACON, v.1 2005.

HEWLETT, P.; **Lea's chemistry of cement and concrete.** Ed. Arnold, 1998.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle de concreto.** São Paulo: PINI, 1992.

HOOD, R. S. 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.** 2006. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

ILLSTON, J. M.; SPON, F. N. **Construction Materials – their nature and behavior.** 1994.

ITAMBÉ. **Apostila de ensaios de concretos e agregados.** Curitiba – Paraná. 2011.

JONH, V. M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: Contribuição à Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento.** Universidade de São Paulo, São Paulo. Tese (Doutorado), 102p. 2000.

KHATIB, J. M. **Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate.** Cement and Concrete Research, v.1, n. 35, p. 763-769, 2005.

KIKUCHIM, M.; YASUNAGA, A.; EHARA, K. **The total evaluation of recycled aggregate and recycled concrete.** In: International Rilem Symposium, 3., 1993, Odense, Denmark. Proceedings. Great Britain. E & FN Spon, 1993. p. 367-378.

LATTERZA, L. M.; MACHADO Jr., E. F. **Aplicação do concreto de agregado reciclado (D_{máx}= 9,5mm) na fabricação de painéis leves de vedação.** In: Congresso Brasileiro de Concreto, 41., 1999, Salvador. Anais. [CD-ROM]. São Paulo. IBRACON, 1999. Arquivo: 2-1-03, 14p.

LEITE, M. B. **Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Tese (Doutorado). 270p. 2001.

LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos.** 1997. 147p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, São Paulo. 1997.

LEVY, S. M.; HELENE, P. R. L. **Durability of concrete produced with mineral waste of civil construction industry.** In: CIB SYMPOSIUM IN CONSTRUCTION AND ENVIRONMENT: THEORY INTO PRACTICE, 2000, São Paulo, Brazil. *Proceedings...* São Paulo: CIB, 2000. 12 p.

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). Universidade de São Paulo, São Carlos. 246p. 1999.

LODI, V. H. **Viabilidade técnica e econômica do uso de areia de britagem em concretos de cimento Portland na região de Chapecó-SC.** 2006. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

MAULTZSCH, M.; MELLMANN, G. **Properties of large scale processed building rubble with respect to the reuse as aggregate in concrete.** In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds). **Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate.** London: Thomas Telford Pub., 1998. p. 99-107.

MEIER, D. **Análise da qualidade do agregado miúdo fornecido em Curitiba e região metropolitana.** 2011. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Diplomação de Tecnólogo)

– Curso Superior de Tecnologia em Concreto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: PINI, 1994. 573p.

MIRANDA, L. F. R. **Contribuição ao Desenvolvimento da Produção e Controle de Argamassas de Revestimento com Areia Reciclada Lavada de Resíduos de Classe A da Construção Civil.** Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo. 439p. 2005.

MIRANDA, L. F. R.; ÂNGULO, S. C.; CARELI, E. D. **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008.** Porto Alegre, v.9, n.1, p. 57-71, jan./mar. 2009.

NAKAMURA, E. S.; IURK, F. C. **Estudo da viabilidade técnica da substituição do agregado miúdo natural por resíduo de construção e demolição em concretos estruturais.** 2010. 93 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia do Concreto) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

NETO, G. T. B. **Estudo da substituição dos agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concretos de cimento Portland.** 2006. 117 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** 1 ed. São Paulo: Pini, 1982, 738p.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** 2 ed. São Paulo: Pini, 1997, 826p.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de Construção.** São Paulo: Globo, 1998. 11. Ed.

PINTO, T. P. **Utilização de resíduos de construção: estudo do uso em argamassas.** 1986. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1986.

PINTO, T. P. **Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. 1999. 218 f. Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.

SALEM, Rohi, M.; BURDETTE, Edwin, G. **Role of chemical and mineral admixtures on physical properties and frost-resistance of recycled aggregate concrete**. ACI Materials Journal, v. 95, n.5, p. 558-563, 1998.

SBRIGHI ETO, C. **Concreto: Ensino, pesquisa e realizações**. Ed. G.C.Isaía. São Paulo: IBRACON, 2005. 2 v. 1600p.

SOUZA COUTINHO, J. **Agregados para argamassa e betons**. Ed. LNEC. Lisboa, 1999.

SOUZA, M. L. **Procesamiento de minerales I**. Universidade de La Republica, Montevideo, Uruguay. 2013. 29p.

TARTUCE, R. **Dosagem experimental de concreto**. São Paulo, PINI, 1990. 115p.

TENÓRIO, J. J. L. **Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção demolição visando aplicações estruturais**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Alagoas, Maceió. 138p. 2007.

TOPÇU, I. B.; SENDEL, S. **Properties of concretes produced with waste concrete aggregate**. Cement and Concrete Research, v.34, n.8, p. 1307-1312, 2004.

VIEIRA, G. L. **Viabilidade Técnica e Econômica da Utilização de Concretos Obtidos com Agregados Reciclados Provenientes da Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição**. In: Sinduscon Premium 2003. Porto Alegre, 2003.

VIERO, E. H. **Aplicação de areia de britagem de rochas basálticas na fabricação de concreto de cimento Portland**. 2010. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2010.

ZORDAN, S. R. **A Utilização do Entulho como Agregado na Confecção do Concreto**. Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Dissertação (Mestrado), 1997.