

José Augusto Vieira dos Santos

**Concretos com Agregado Graúdo a Partir
dos Resíduos de Cerâmica Vermelha**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Instituto de Tecnologia
Mestrado Profissional e Processos Construtivos e
Saneamento Urbano

Dissertação orientada pelo Professor Dênio Ramam Carvalho de
Oliveira

Belém – Pará – Brasil
2015



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROCESSOS CONSTRUTIVOS E
SANEAMENTO URBANO**

**CONCRETOS COM AGREGADO GRAÚDO A PARTIR DOS RESÍDUOS DE
CERÂMICA VERMELHA**

ENG. CIVIL JOSÉ AUGUSTO VIEIRA DOS SANTOS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Processos Construtivos e Saneamento Urbano da Universidade Federal do Pará como requisito para a obtenção do grau de Mestre.

Belém/Pará

2015

CONCRETOS COM AGREGADO GRAÚDO A PARTIR DOS RESÍDUOS DE CERÂMICA VERMELHA

ENG. CIVIL JOSÉ AUGUSTO VIEIRA DOS SANTOS

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Processos Construtivos e Saneamento Urbano, área de concentração Estruturas, Construção Civil e Materiais, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Profissional em Processos Construtivos e Saneamento Urbano (PPCS) do Instituto de Tecnologia (ITEC) da Universidade Federal do Pará (UFPA).

Aprovada em 24 de Fevereiro de 2015.

DênioRamam Carvalho de Oliveira, D.Sc. – Coordenador do PPCS

DênioRamam Carvalho de Oliveira, D.Sc. – Orientador

COMISSÃO EXAMINADORA:

Marcelo de Souza Picanço, Dr. - UFPA
(Examinador Externo)

Bernardo Borges Pompeu Neto, Dr. - UFPA
(Examinador Interno)

Belém/Pará
Janeiro de 2015

A Deus que me inspirou e me deu forças para a realização deste trabalho.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, minha mãe Francisca Vieira e meu pai João Castro dos Santos, que sempre incentivaram em cada momento da minha vida, a minha esposa, Rosilda P. Lima de Andrade, a minha filha A minha filha Ana Catarina A. Vieira, (in memória) e ao meu irmão, Jarbas V. dos Santos.

AGRADECIMENTOS

Ao professor e orientador, Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira; pela excelente orientação, confiança e amizade demonstrada na elaboração desta dissertação.

Aos professores da Universidade Federal do Pará que ministraram o curso de Mestrado no município de Santarém/PA.

Aos estagiários e laboratoristas do Laboratório de Edificação do IFPA – Santarém pelo empenho e colaboração.

As indústrias cerâmicas do município de Santarém que permitiram a coleta de material em seus pátios.

E a todos que de maneira direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Dentro da cadeia produtiva da construção civil, a geração de resíduo na cadeia tanto nos canteiros de obra como nas indústrias que fazem parte da cadeia produtiva que a envolve, tem mobilizado o meio técnico-científico com intuito de encontrar soluções que possam minimizar os impactos gerados por esses resíduos. Dentro desse universo tem-se a indústria da cerâmica vermelha responsável pela produção de telhas e tijolos, que após a queima em fornos gera uma quantidade significativa de resíduo (conhecido como caco), que costumeiramente não recebem uma destinação adequada, causando não só problemas ambientais, como sociais e econômicos. Devido a sua participação de cerca de 1% no PIB nacional, sendo que apenas 40% deste montante correspondem ao setor de cerâmica vermelha (BUSTAMANTE; BRESSIANI, 2000). Este setor consome cerca de 70 milhões de toneladas de matérias-primas por ano, através de várias empresas distribuídas pelo país, a maioria de pequeno porte, que possuem mão-de-obra desqualificada com alta rotatividade e processos produtivos antigos (MACEDO, 2008 et al). Na fabricação de tijolos e telhas cerâmicas na cidade de Santarém, o resíduo gerado, geralmente não tem destinação adequada, sendo apenas “espalhado” nos pátios das olarias, este trabalho propõe analisar a viabilidade da utilização destes resíduos como agregado graúdo através da substituição em porcentagem junto aos agregados naturais com o intuito de reduzir o consumo deste e dá destinação adequada para os resíduos de cerâmica vermelha (RCV), reduzindo o impacto no meio ambiente e dá uma destinação mais nobre a tais resíduos. A NBR 10004 (ABNT, 1998), classifica os resíduos da construção civil na Classe III como inertes, neste caso habilita esse resíduo a ser utilizado na composição do concreto. Os materiais utilizados neste trabalho foram caracterizados nos laboratórios com o intuito de desenvolver os traços experimentais através do método da ABCP/ACI. Após a caracterização constatou-se a alta taxa de absorção de água apresentado pelo resíduo de cerâmica vermelha (RCV), além da diferença significativa das massas unitárias e específicas entre os agregados graúdos utilizados neste trabalho, os concretos produzidos foram comparados no estado fresco utilizando o abatimento de tronco de cone, onde, verificou-se a diminuição do abatimento em função da porcentagem substituída do agregado graúdo natural pelo resíduo cerâmico. No estado endurecido o concreto com substituição de 20% (TCV-20) apresentou resistência a compressão semelhante ao concreto utilizado como referência, enquanto que o concreto com outras proporções apresentaram valores mais baixo do que o concreto padrão. Para os outros traços a resistência a compressão variou entre 10%, 28,20% e 59,90% para os traços TCV-30, TCV-50 e TCV-100 respectivamente, então, tem-se que a substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo do resíduo de cerâmica vermelha (RCV), não inviabiliza a produção do concreto com resistência corriqueira, desde que se conheçam as propriedades desse tipo de agregado e a finalidade para o qual o concreto será produzido.

Palavra-chave: resíduo de cerâmica vermelha, agregado graúdo reciclado, concreto com agregado de cerâmica vermelha.

ABSTRACT

Within the production chain of construction, the generation of waste in the chain both in the construction site and in industries that are part of the production chain that involves, has mobilized the technical and scientific community with a view to finding solutions that can minimize the impacts generated by such waste. Within this universe has the ceramic industry responsible for producing tiles and bricks, which after firing in kilns generates a significant amount of residue (known as shard), which customarily do not receive an appropriate destination, causing not only environmental problems as social and economic. Due to its share of about 1% of the national GDP, with only 40% of this amount corresponds to the red ceramic industry (BUSTAMANTE; BRESSIANI, 2000). This sector consumes about 70 million tons of raw materials per year, through various companies across the country, most small businesses which have hand labor disqualified with high turnover and old production processes (Macedo, 2008 et al). In the manufacture of bricks and ceramic tiles in the city of Santarém, the waste generated, generally do not have adequate disposal and only "spread" in the yards of pottery, this work aims to analyze the feasibility of using these wastes as aggregate by replacing a percentage together with natural aggregates in order to reduce the use of and give appropriate destination for the red ceramic residue (RCR), reducing the impact on the environment and gives a more noble destination to such waste. The NBR 10004 (ABNT, 1998), classifies waste construction in Class III as inert in this case enable this waste to be used in the concrete composition. The materials used in this study were characterized in the laboratory in order to develop the experimental traces through the ABCP / ACI method. After characterizing found out the high rate of water absorption presented by red ceramic residue (RCR), and the significant difference of unit and densities between coarse aggregates used in this study, the concrete produced were compared using either fresh frustum abatement, where there has been lessening drift due to the replaced percentage of natural coarse aggregate by ceramic waste. In the hardened state the concrete with substitution of 20% (TCV-20) showed a compressive strength similar to concrete used as a reference, whereas concrete with other ratios showed lower values than standard concrete. For other traits varied compressive strength from 10%, 28.20% and 59.90% for the TCV-30 features, TCV-50 and TCV-100 respectively, then it follows that substitution of the natural coarse aggregate by coarse aggregate ceramic red residue (RCR), does not prevent the production of ordinary strength concrete with from knowing the properties of the aggregate type and the purpose for which the concrete will be produced.

Keyword: red ceramic residue, recycled coarse aggregate, concrete with red ceramic aggregate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Construção primitiva utilizando pedras naturais (http://tertuliaspermacultura.blogspot.com.br/2008/01/abrigos-e-construes-primitivas-em.html , acessado em 15/10/2014)	1
Figura 2 - O Parthenon na Acrópole de Atena (http://gutoarqdesigner.blogspot.com.br/p/artes.html , acessado em 15/10/2014).....	2
Figura 3 - Pó de cimento Portland	9
Figura 4 - a) Seixo rolado do fundo de rios; (b) brita a partir do desmonte de rochas através de britagem (FREITAS JUNIOR, 2003).....	17
Figura 5 - Área de despejo dos resíduos cerâmicos	22
Figura 6 - Esquema da geração dos resíduos cerâmicos (FERREIRA, 2002).	23
Figura 7 - Comportamento reológico dos fluidos: (1) newtoniano; (2) de Bingham; (3) pseudoplástico; (4) pseudoplástico com tensão de escoamento; (5) dilatante e (6) dilatante com tensão de escoamento. WATANABE, ISHIKAWA & WAKAMATSU (1989) apud ROMANO, CARDOSO e PILEGGI, (2011)	25
Figura 8 - Cone de Abrams e utensílios utilizados no abatimento de tronco de cone (?)	26
Figura 9 - Procedimentos para o ensaio do abatimento do tronco de cone (http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/08/ensaio-do-slump-test-ensaio-de.html).....	26
Figura 10 - Influencia do tipo e do tempo de cura a resistência mecânica do concreto (MEHTA & MONTEIRO, 1994)	30
Figura 11 - Comportamento tensão-deformação do concreto e dos seus materiais constituintes (MEHTA & MONTEIRO, 1994)	31
Figura 12 - Aumento da resistência dos componentes do cimento em função do tempo (CZERNY, 1962; apud FUSCO, 2008).....	32
Figura 13 - Variação da resistência à compressão (CZERNY, 1962; apud FUSCO, 2008)	33
Figura 14 - Evolução da resistência com a idade do concreto segundo Ary Torres (FUSCO, 2008).....	34
Figura 15 - Macroestrutura do concreto (MEHTA & MONTEIRO, 1994)	35
Figura 16 - Máquina utilizada nos ensaios à compressão	36
Figura 17 - (a) Elemento de concreto comprimido, (b) Prováveis fissuras ao redor dos agregados para tensões de compressão.....	37

Figura 18 - Distribuição da densidade de frequência relativa $p(x_1)$ das resistências x_1 (FUSCO, 2008).....	39
Figura 19 - Gráfico para a determinação da relação água/cimento em função das resistências do concreto e do cimento aos 28 dias de cura (BUCHER, 1989)	48
Figura 20 - Estufa utilizada para secagem do material empregado na pesquisa experimental	52
Figura 21 - Determinação da massa específica do agregado miúdo por meio do frasco de Chapman.....	52
Figura 22 - Peneiradeira Mecânica com as peneiras da Série Normal utilizada na caracterização da granulometria da areia.....	55
Figura 23 - Seixo utilizado no traço experimental	56
Figura 24 - Britador de mandíbula utilizado para britar o resíduo da indústria cerâmica.....	56
Figura 25 - Processo de britagem do resíduo da indústria cerâmica	57
Figura 26 - Máquina “Los Angeles”	59
Figura 27 – Seixo: a) Material antes do ensaio e b) material após o ensaio.....	59
Figura 28 – Resíduo de cerâmica vermelha: a) Material antes do ensaio e b) material após o ensaio.....	59
Figura 29 - Moldes cilíndricos de 10x20 cm para confecção de corpo de prova	62
Figura 30 - Betoneira utilizada na confecção do traço experimental	63
Figura 31 - Pesagem do aglomerante (cimento Portland)	63
Figura 32 - Pesagem do agregado miúdo natural (areia).....	63
Figura 33 - Pesagem do agregado graúdo natural (seixo)	64
Figura 34 - do agregado graúdo do resíduo da indústria cerâmica vermelha (RCV).....	64
Figura 35 - Proporção do em massa material utilizado na confecção de um dos traços	64
Figura 36 - Adição de água em função da absorção de água do agregado graúdo do resíduo da indústria cerâmica vermelha (RCV)	65
Figura 37 - Graduação da quantidade de água colocada dentro da mistura	65
Figura 38 - Execução do abatimento de tronco de cone (Slump test)	66
Figura 39 - Adensamento dos corpos de prova através de vibração	67
Figura 40 – Corpos-de-prova protegidos, nas primeiras horas para que não sofram influência das intempéries	67
Figura 41 – Corpos-de-prova imersos em água saturada de hidróxido de cálcio (http://2.bp.blogspot.com/_OSuuUYX1Bhk/S5zNMRkm5OI/AAAAAAAAAvc/PwJky-j9-TE/s400/DSC08886.JPG).....	68

Figura 42 - Retificador de corpo-de-prova	68
Figura 43 - Curva granulométrica da areia utilizada na pesquisa experimental.....	70
Figura 44 - Curva granulométrica do seixo utilizada na pesquisa experimental.....	71
Figura 45 - Curva granulométrica do resíduo da indústria de cerâmica vermelha (RCV) utilizada na pesquisa experimental	72
Figura 46 - Curva de absorção de água em porcentagem em função do tempo de secagem em estufa do RCV	74
Figura 47 - Decréscimo do abatimento em função do acréscimo do RVC	76
Figura 48 - Momento da mistura (TCV-30) do aglomerante e dos agregados graúdos na proporção de 70% de agregado graúdo natural e 30 de RVC	77
Figura 49 - Observa-se o aspecto de “farofa” da mistura TCV-30	78
Figura 50 - Aspecto mais coeso das misturas com substituição do agregado natural pelo agregado RCV após a retirada da betoneira para execução do abatimento de tronco de cone.	78
Figura 51 – (a) Começo do ensaio a compressão, (b) ruptura do corpo-de-prova, (c) e (d) corpos-de-prova após a ruptura.	79
Figura 52 - Gráfico que mostra a variação da resistência do concreto para cada traço a 7 dias de cura.....	81
Figura 53 - Gráfico que mostra a variação da resistência do concreto para cada traço a 28 dias de cura.....	82
Figura 54 - Evolução da resistência em função do período de cura	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais compostos do clínquer e sua propriedade específica (BATTANGIN & ESPER, 1988).....	10
Tabela 2 - Tipos de cimento fabricados no Brasil (ABCP, 2002).....	13
Tabela 3 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo (ABNT NBR 7211, 2005).....	16
Tabela 4 - Concreto com os dois tipos de agregados de densidade normal (ARNDIT, SOUSA e BIANCHINI, 2007)	18
Tabela 5 - Classes e destinos dos resíduos da construção e demolição conforme a Resolução CONAMA N° 307 (Neto e Filho, 2007)	20
Tabela 6 - Taxa de absorção de agregados reciclados (BARRA, 1996; apud LEITE, 2001) ..	21
Tabela 7 - Principais métodos para caracterização reológica do concreto fresco baseado na classificação do NIST (KOEHLER & FOWLER, 2000 apud ROMANO, CARDOSO e PILEGGI, 2011)	25
Tabela 8 - Abatimento recomendado para diferentes tipos de elementos estruturais (TARTUCE, 1990).....	27
Tabela 9 - Índices de consistência do concreto em função de diferentes tipos de obras e condições de adensamento (TARTUCE, 1990)	27
Tabela 10 - Classificação dos concretos para fins estruturais por classe de resistência (NBR 8953 ABNT, 1992; apud VIEIRA FILHO, 2007).....	38
Tabela 11 - Classificação dos concretos quanto à resistência à compressão.....	38
Tabela 12 - Valores de ψ_6 (ABNT NBR 12655, 2006)	41
Tabela 13 - Valores de S_d em função do rigor da produção (ABNT NBR 12655, 2006).....	44
Tabela 14 - Determinação do abatimento do tronco de cone para vários tipos de construção (ACI 211.1-81)	45
Tabela 15 - Determinação do consumo de água expressa em litros/m ³ (RODRIGUES, 1990)	46
Tabela 16 - Determinação do consumo de água expressa em litros/m ³ (ACI 211.1-81).....	47
Tabela 17 - Volume compactado seco (V_{cs}) de agregado graúdo por m ³ de concreto, função do Módulo de finura da areia e da Dimensão máxima característica do agregado graúdo	49
Tabela 18 - Característica do aglomerante (NASSAU, 2014)	51

Tabela 19 - Caracterização da areia utilizada na pesquisa experimental, ensaio de Granulometria.....	69
Tabela 20 - Resultados obtidos durante ensaios de caracterização da areia utilizada na pesquisa experimental.....	70
Tabela 21 - Caracterização do seixo utilizado na pesquisa experimental, ensaio de Granulo .	71
Tabela 22 - Caracterização do resíduo da indústria cerâmica vermelha utilizada na pesquisa experimental, ensaio de Granulometria	72
Tabela 23 - Resultados obtidos durante ensaios de caracterização do agregado graúdo natural utilizado na pesquisa experimental.....	73
Tabela 24 - Resultados obtidos durante ensaios de caracterização do agregado graúdo do resíduo da indústria cerâmica vermelha utilizada na pesquisa experimental	73
Tabela 25 – Absorção de água pelo agregado graúdo do resíduo da indústria da cerâmica vermelha (RCV) em função do tempo de secagem em estufa.....	74
Tabela 26 - Quantidade dos materiais utilizados nos traços.....	75
Tabela 27 - Quantidade dos materiais utilizados nos traços.....	76
Tabela 28 - – Resultados dos ensaios a compressão dos corpos-de-prova nas idades de 7 e 28 dias calculados a parti da expressão $f_{cj} = f_{ck} + 1,65S_d$	80
Tabela 29 - Evolução da resistência do concreto no decorrer do tempo de cura	83
Tabela 30 - Valores correspondnetes a resistência característica do concreto, desvio padrão e fator de segurança.....	85

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	4
1.2	OBJETIVOS	4
1.2.1	Objetivo Geral	4
1.2.2	Objetivos Específicos	5
1.3	ESTRUTURA DA PESQUISA.....	5
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1	CONCRETO.....	7
2.1.1	Concreto utilizando agregados reciclados	8
2.2	COMPONENTES DO CONCRETO	8
2.2.1	Cimento	9
2.2.1.1	Composição básica do clínquer	10
2.2.1.2	Tipos de cimento	11
2.2.2	Agregados	14
2.2.2.1	Agregado miúdo	15
2.2.2.2	Agregados graúdos	16
2.3	PROPRIEDADES DO CONCRETO	23
2.3.1	Propriedades do concreto no estado fresco	24
2.3.1.1	A reologia do concreto no estado fresco	24
2.3.1.2	Trabalhabilidade e consistência.....	27
2.3.1.3	Homogeneidade	28
2.3.2	Pega e endurecimento	29
2.3.3	Cura.....	29
2.4	PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO	30
2.4.1	Resistência do concreto.....	30
2.4.2	Fatores que influenciam na resistência do concreto	32
2.4.3	Ruptura a compressão	35
2.4.4	Determinação da resistência do concreto no estado endurecido	38
3	PROGRAMA EXPERIMENTAL	42
3.1	METODOLOGIA DE PESQUISA EXPERIMENTAL	42
3.1.1	Método de dosagem da ABCP/ACI.....	43

3.1.1.1	Desenvolvimento do método	44
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS EMPREGADOS	50
3.2.1	Aglomerante (cimento)	50
3.2.2	Agregado miúdo (Areia).....	51
3.2.2.1	Massa específica do agregado miúdo – determinação por meio do frasco Chapman. 52	
3.2.2.2	Massa unitária – estado solto.....	53
3.2.2.3	Granulometria dos agregados miúdos	54
3.2.3	Agregado graúdo natural e do resíduo da construção civil (resíduo da indústria cerâmica vermelha).....	55
3.2.3.1	Massa específica do agregado graúdo – processo da balança	57
3.2.3.2	Massa unitária – estado solto.....	58
3.2.3.3	Análise Granulométrica.....	58
3.2.3.4	Ensaio abrasão Los Angeles	58
3.2.3.5	Absorção de água.....	60
3.2.3.6	Resultado dos ensaios dos agregados graúdo	60
3.3	MÉTODO E ENSAIOS REALIZADOS.....	61
3.3.1	Determinação da dosagem do concreto utilizado no experimento	61
3.3.2	Confecção e cura dos corpos-de-prova	62
4	RESULTADOS OBTIDOS.....	69
4.1	RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DOS AGREGADOS	69
4.1.1	Resultados da caracterização do agregado miúdo (areia).....	69
4.1.2	Resultados da caracterização do agregado graúdo natural e do resíduo da indústria da cerâmica vermelha (RCV).....	70
4.1.3	Absorção de água do resíduo da indústria da cerâmica vermelha (RCV)	73
4.1.4	Determinação da dosagem do concreto utilizado no experimento	75
4.2	RESULTADOS OBTIDOS PARA O CONCRETO.....	75
4.2.1	Estado fresco.....	75
4.2.2	Estado endurecido – resistência a compressão axial NBR 5739 (ABNT, 2007)	78
5	ANÁLISE DOS VALORES OBTIDOS.....	86
5.1	MÉTODO UTILIZADO PARA DOSAGEM	86
5.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NO LABORATÓRIO	86
5.2.1	Caracterização dos materiais.....	86

5.2.2	Estado fresco e endurecido.....	87
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	89
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92

1 INTRODUÇÃO

Desde que o homem deixou de ser nômade e de habitar as cavernas, começou a se preocupar em adaptar as construções às suas novas necessidades, fossem elas de defesa (fortificações e etc.), de organização social e política (casas, palácios, aquedutos, etc.) ou de caráter cultural e religioso (anfiteatros, templos, etc.). Isso levou o homem a se utilizar dos recursos naturais mais abundantes e de fácil acesso, dessa forma a pedra, a madeira e o tijolo foram os materiais mais importantes para as construções humanas em seus primórdios, a figura 1 mostra a reprodução de uma edificação primitiva.



Figura 1 - Construção primitiva utilizando pedras naturais

(<http://tertuliaspermacultura.blogspot.com.br/2008/01/abrigos-e-construes-primitivas-em.html>, acessado em 15/10/2014)

A figura 2 mostra que os gregos da antiguidade em suas construções de templos, anfiteatros e etc., empregavam vigas e placas de pedra, que venciam apenas vãos pequenos devido a sua baixa resistência a tração; os romanos no seu apogeu precisavam de construções mais arrojadas e rápidas, então desenvolveram tijolos cerâmicos que possibilitaram a construir formas como os arcos que aumentavam os vãos entre colunas de forma significativa, outras obras como aquedutos e obras portuárias exigiram o desenvolvimento de novos materiais, daí o surgimento de uma forma de concreto, a partir de um cimento constituído de pozolanas naturais ou obtidas pela moagem de tijolos calcinados que misturada a cal (chamada de cal hidratada), sofria endurecimento por reação química com a água (FUSCO, 2008), adquirindo aspectos monolíticos de pedra artificial o Parthenon.



Figura 2 - O Parthenon na Acrópole de Atena (<http://gutoarqdesigner.blogspot.com.br/p/artes.html>, acessado em 15/10/2014)

Com o surgimento do cimento Portland a partir do registro de patente por Joseph Aspdin, em 1824 na Inglaterra, o concreto passou a ser o material compósito mais empregado na construção civil, devido a sua facilidade de execução, a utilização e disponibilidade de matéria-prima local (agregado graúdo e miúdo), da simples mistura de cimento Portland, areia, rocha britada e água, e, nos primórdios do concreto como se conhece hoje, a água era de certa forma adicionada em abundância para se conseguir uma boa trabalhabilidade, fazendo com que a resistência à compressão do concreto em muitos casos não ultrapassasse os 10 MPa. O avanço tecnológico e o estudo da micro-estrutura do concreto contribuíram para o desenvolvimento de métodos mais precisos no que diz respeito à dosagem e ao controle de qualidade na sua confecção, além da adição de outros materiais como aditivos químicos e minerais, fibras minerais, metálicas e vegetais à sua composição, dessa maneira aumentando significativamente a sua resistência a compressão e diminuindo sua característica de ruptura frágil.

O concreto em sua essência apresenta algumas características que o consagra como o material mais empregado na Construção Civil, tais como: disponibilidade; versatilidade; hiperestabilidade; facilidade de execução; durabilidade; custo e sustentabilidade, adicionando a ele as armaduras têm-se o concreto armado, dessa forma o conjunto concreto-aço apresenta boa resistência mecânica à compressão e a tração respectivamente

Dentre as características do concreto anteriormente descrito o aspecto da sustentabilidade é o conceito mais latente nos dias atuais, devido à exploração dos materiais tanto para a fabricação do cimento Portland, como a dos agregados utilizados na sua

confeção, segundo Isaia (2011) o concreto é um dos materiais que mais se adaptam ao conceito de Sustentabilidade, pela possibilidade de utilização em larga escala de resíduos potencialmente poluidores do meio ambiente em sua mistura, de forma *in natura* ou processado, originados de outros processos industriais, além dos resíduos provenientes da própria Construção Civil, e que podem ser empregados na produção do concreto tanto como adições como na forma de agregados.

Enfocando a Sustentabilidade, surge à idéia de se utilizar agregados oriundos dos resíduos da indústria da Construção Civil, como é o caso dos resíduos cerâmicos proveniente da fabricação de tijolos e telhas de barro, substituindo em porcentagens os agregados graúdos pelos resíduos cerâmicos na confecção do concreto. A argila cozida na forma natural ou expandida é um exemplo de agregado que tem sido utilizado como agregado para concreto (BICCA, 2000), entende-se que a argila passou por processo industrial para ser utilizado principalmente em concreto leve.

Quanto à indústria cerâmica no Estado do Pará algumas cidades se destacam na produção de tijolos e telhas como a cidade de Santarém na região oeste paraense, a cidade de Santarém possui um número significativo de olarias que produzem tijolos e telhas de barro para suprir o mercado local, a crescente demanda da Construção Civil local com a fomentação de grandes empreendimentos, fez com que a produção aumentasse de forma significativa aumentando as áreas de coleta de argila pressionando o meio ambiente.

Como a maioria das olarias trabalha de forma artesanal, tanto no processo de confecção, quanto no processo armazenamento e expedição, e durante esse processo há a geração resíduo. Mesmo que não exista estudo que mostre o percentual do resíduo produzido por estas olarias é notório que tais resíduos existem e em grandes quantidades, devido principalmente pelo manuseio inadequado do material acabado, seja no momento de armazenagem ou no embarque em caminhões para o consumidor final, esse material acaba se depositando no pátio das empresas se transformando em entulho sem uma destinação adequada.

Nesse contexto o presente trabalho vem sugerir o seu aproveitamento como agregados graúdos (material alternativo) em forma de adição em percentual em relação aos agregados graúdos mais utilizados na cidade de Santarém, cujos materiais mais utilizados como agregado graúdo, tem-se o seixo rolado e a rocha calcária britada para a confecção de concreto estrutural.

1.1 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A indústria da construção civil é sem dúvidas uma das grandes fomentadoras da economia em vários níveis: local, regional e mundial; a sua representatividade no que diz respeito ao consumo de recursos naturais faz com que ela se torne uma grande fonte de impacto negativo ao meio ambiente. Dentro da cadeia produtiva da construção civil, a geração de grande quantidade de resíduo, tanto nos canteiro de obra como nas indústrias que fazem parte da cadeia produtiva que a envolve. Dentro desse universo tem-se a indústria da cerâmica vermelha responsável pela produção de telhas e tijolos, que após a queima em fornos gera uma quantidade significativa de resíduo (conhecido como caco), durante o manuseio e transporte, que costumeiramente não recebem uma destinação adequada, causando não só problemas ambientais, como sociais e econômicos.

Na fabricação de tijolos e telhas cerâmicas esses resíduos, geralmente são apenas “espalhados” nos pátios das indústrias para melhorar a trafegabilidade dos veículos principalmente na época das chuvas. Então neste contexto o presente trabalho propõe analisar a viabilidade da utilização destes resíduos como agregado graúdo de forma a fornecer a melhor composição, substituindo em porcentagem os agregados graúdos naturais com o intuito de reduzir o consumo deste, reduzindo o impacto no meio ambiente e dá uma destinação mais nobre a tais resíduos.

1.2 OBJETIVOS

Neste trabalho os objetivos da pesquisa estão divididos em dois itens objetivo geral e objetivo específico, como segue:

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho será pesquisar a viabilidade técnica da utilização de resíduos gerados na fabricação de artefatos da indústria de cerâmica vermelha (tijolos e telhas) proveniente da indústria cerâmica na cidade de Santarém, como agregado graúdo na confecção de concreto de cimento Portland através da substituição parcial ou total do agregado graúdo natural por este resíduo sem a utilização de aditivos. Analisando as suas

propriedades no estado fresco e a sua resistência mecânica a compressão no estado endurecido.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar as propriedades físicas e a granulometria dos agregados graúdos e miúdos naturais e dos agregados graúdos provenientes da britagem dos resíduos da fabricação de tijolos e telhas cerâmicas, que serão utilizados no concreto de cimento Portland;

- Analisar a influência da substituição parcial ou total dos agregados graúdos naturais pelos agregados graúdos proveniente dos resíduos da indústria cerâmica vermelha, quanto às propriedades do concreto no estado fresco, como: o consumo de água e absorção, a consistência, a trabalhabilidade e o adensamento;

- Verificar a evolução da resistência à compressão em função da idade do concreto produzido com a substituição parcial ou total dos agregados graúdos naturais pelos resíduos proveniente da indústria cerâmicos em relação a um concreto convencional utilizando agregados graúdos naturais;

- Avaliar a influência da substituição parcial ou total dos agregados graúdos naturais pelos agregados graúdos provenientes dos resíduos da indústria cerâmica nas propriedades mecânicas do concreto de cimento Portland no estado endurecido no que diz respeito à resistência à compressão, de maneira a fornecer a melhor composição em porcentagem junto aos agregados naturais com o intuito de reduzir o consumo deste, reduzindo o impacto no meio ambiente devido à extração dos agregados naturais.

1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

O presente trabalho é composto por 06 (seis) capítulos como segue:

- O primeiro capítulo se refere à introdução do trabalho, as justificativas e os objetivos;
- O segundo capítulo trata da revisão bibliográfica, abordando os conceitos que darão subsídios para o desenvolvimento da pesquisa abordada por este trabalho, que permitam uma melhor compreensão do tema central do trabalho bem como a legislação sobre resíduos gerados na Construção Civil, além de pesquisas já realizadas por outros autores relacionados

ao tema de enfoque deste trabalho, e que abordaram as principais características e propriedades dos materiais envolvidos na pesquisa;

- No terceiro capítulo será abordado o programa experimental, a metodologia empregada para o desenvolvimento do trabalho, será feita a caracterização dos materiais envolvidos na pesquisa, determinação dos traços e confecção do concreto, moldagem dos corpos-de-prova;

- O quarto capítulo tratará dos resultados obtidos e suas análises através de tabelas, gráficos e etc.;

- No quinto capítulo será feita a análise dos resultados com discussões a cerca dos valores obtidos no capítulo anterior;

- No sexto capítulo serão feitas as considerações finais da pesquisa a partir dos resultados e análises feitos no capítulo anterior, além de sugestões para trabalhos futuros que possam contribuir para novas tecnologias e metodologias;

- O último capítulo será destinado às referências bibliografias consultadas e utilizadas no desenvolvimento deste trabalho de pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados os conceitos relevantes ao desenvolvimento do trabalho, as características a respeito dos materiais que compõe o concreto de cimento Portland convencional e concreto que utilize agregados reciclados, além dos agregados graúdos naturais, artificiais e reciclados, além dos agregados provenientes dos resíduos da indústria cerâmicas que serão utilizados neste trabalho. As características, as propriedades, a integração dos componentes dentro do concreto, as várias fases do concreto, as propriedades do concreto no seu estado fresco, no seu estado endurecido e, seu comportamento mecânico quanto aos esforços de compressão.

2.1 CONCRETO

A palavra concreto deriva do latim *concretus*, que se refere a algo sólido, isto é, a um tipo de material compacto. O concreto na sua essência é constituído por uma mistura de aglomerante, agregado miúdo, agregado graúdo e água, e algumas situações podem ser incorporado à mistura alguns aditivos e/ou adições, que podem modificar, por exemplo, seu tempo de pega a sua trabalhabilidade sem necessariamente modificar a sua resistência mecânica prevista (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

O concreto de cimento Portland é um compósito constituído de partículas com dimensões variáveis que vão das menores que 1 micron (sílica ativa) até as maiores em centímetros (agregados graúdos), o concreto pode ser dividido em duas fases: matriz e agregados (MEHTA & MONTEIRO, 1994). A matriz é composta basicamente pela pasta de cimento Portland enquanto que os agregados são materiais inertes e rígidos, misturando a pasta de cimento com o agregado miúdo, obtém-se a argamassa de cimento, juntando o agregado graúdo, tem-se o concreto simples (FUSCO, 2008).

Em comparação a outros materiais de construção o concreto apresenta algumas características que o tronam o material mais empregado na Construção Civil a nível mundial, tais como: disponibilidade; versatilidade; hiperestabilidade; facilidade de execução; durabilidade; custo e sustentabilidade (ISAIA, 2011).

2.1.1 Concreto utilizando agregados reciclados

O conceito de concreto com agregado reciclado se refere aquele produzido com resíduos britados, em substituição parcial ou total aos agregados naturais ou britados. Como os agregados naturais e britados, são provenientes de rochas britadas, seixo e areias lavadas de rio que são pouco porosos, bastantes resistentes e duráveis, e quando incorporado na argamassa resulta no concreto convencional são ideais como componentes para a sua confecção (ÂNGULO e FIGUEIREDO, 2011). Para concretos estruturais com f_{ck} até 40MPa, os agregados graúdos apresenta um bom desempenho estrutural, e a resistência deste concreto é controlada exclusivamente pela porosidade (vazios) da pasta de cimento em detrimento a resistência dos agregados, pois durante os teste de cargas de compressão a matriz é a primeira a entrar em colapso (FUSCO, 2008).

Por outro lado os agregados reciclados apresentam maior porosidade que os de origem natural ou britados, dessa forma a resistência e a durabilidade do concreto produzido a partir da substituição do agregado natural pelo agregado reciclado são controladas não apenas pela porosidade da pasta de cimento, mas também pela porosidade do agregado reciclado e sua propensão a absorção de água (ÂNGULO e FIGUEIREDO, 2011). Então, para o concreto produzido de forma convencional, isto é com agregados naturais ou britados a principal diferença será a porosidade em relação ao concreto com agregado reciclado.

Na antiguidade a reciclagem de resíduos para ser utilizado numa espécie de concreto era prática recorrente no império romano (753 a.C. a 476 d.C), os ramos utilizavam tijolos britados, cacos de telhas e rochas trituradas em uma mistura de cal, água e areia, para ser utilizado como concreto em suas construções (SANTOS, 1975 apud LINS, 1999). Nos tempos modernos o resíduo de construção e demolição para a fabricação de concreto com agregado reciclado foi utilizado pela primeira vez na Alemanha por causa da necessidade de reconstruir as cidades devastadas pela 2º Guerra Mundial (LEVY, 2001 apud ÂNGULO e FIGUEIREDO, 2011).

2.2 COMPONENTES DO CONCRETO

Como visto anteriormente o concreto é constituído principalmente por quatro materiais, sendo: aglomerante (cimento), agregado graúdo, agregado miúdo e água de amassamento. Em algumas situações é utilizado algum tipo de aditivos ou outros materiais que substituam os

componentes principais de maneira parcial ou total para um melhor desempenho do concreto ou para diminuir custo.

2.2.1 Cimento

O cimento é um material pulverulento, de cor acinzentada, com propriedades aglomerante, aglutinantes ou ligantes que é colocado na mistura, e na presença de água entra em estado de hidratação formando uma pasta, com o tempo, essa pasta se torna rígida (CZERNIN, s/d apud LIMA 2005). A figura 3 mostra o aspecto visual do cimento antes da hidratação.



Figura 3 - Pó de cimento Portland

A principal função da pasta é de envolver e unir os grãos de agregado, garantindo que no estado fresco haja coesão da mistura e, no estado endurecido o concreto adquira resistência mecânica do conjunto. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o cimento Portland não se decompõe mais (ABCP, 2002).

O principal constituinte do cimento Portland é o clínquer Portland, material resultante da calcinação a aproximadamente 1450 °C de uma mistura de cálcio e argila e eventuais corretivos químicos de natureza silicosa, aluminosa ou ferrífera, empregados de forma a garantir o químicismo, o equilíbrio químico proporciona a formação de compostos hidráulicos que conferi as propriedades ligantes ao cimento Portland (BATTAGIN, 2011). Então, tem-se que o cimento Portland é um aglomerante hidráulico que resulta da moagem do clínquer.

2.2.1.1 Composição básica do clínquer

É importante que se conheça a composição básica do clínquer para a fabricação do cimento Portland, de forma que se possa entender suas interações na formação da matriz que envolve os agregados. Os constituintes fundamentais na composição química do cimento portland são principalmente os óxidos como: a cal (CaO), a sílica (SiO₂), a alumina (Al₂O₃), o óxido de ferro (Fe₂O₃), certa proporção de magnésia (MgO) e uma pequena porcentagem de anidrido sulfúrico (SO₃), que é adicionado após a calcinação para retardar o tempo de pega do produto (BATTAGIN, 2011). A importância do conhecimento das proporções dos compostos constituintes do cimento reside na correlação existente entre estes e as propriedades finais do cimento e também do concreto. A tabela 1 mostra os principais componentes do cimento.

Tabela 1 - Principais compostos do clínquer e sua propriedade específica (BATTANGIN & ESPER, 1988)

Composto	Fórmula Química	Abreviação	% no Clínquer	Propriedades Tecnológicas
Silicato Tricálcico (<i>Alita</i>)	3CaO.SiO ₂	C ₃ S	50 – 65	Endurecimento rápido, alto calor de hidratação, alta resistência inicial.
Silicato Bicálcico (<i>Belita</i>)	2CaO.SiO	C ₂ S	15 – 25	Endurecimento lento, baixo calor de hidratação, baixo resistência inicial.
Aluminato Tricálcico (<i>Aluminato</i>)	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A	6 – 10	Pega rápida, controlada pela adição de gesso, suscetível a ataque de meios sulfatados, alto calor de hidratação, alta retração, baixa resistência final.
Ferro Aluminato Tretacálcico (<i>Ferrita</i>)	4CaO.Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	C ₃ A	6 – 10	Endurecimento lento, resistente a meios sulfatados, não contribui para resistência, coloração escura.
Cal Livre	CaO	C	0,5 – 1,50	Aceitável somente em pequenas quantidades, pois causam aumento de volume e fissura.

O silicato tricálcico (C₃S) também conhecido como alita é o em maior quantidade no clínquer, e o maior responsável pela resistência em todas as idades, especialmente até o fim

do primeiro mês de cura. O silicato bicalcico (C_2S) chamado de belita, adquire maior importância no processo de endurecimento em idades mais avançadas, sendo o principal responsável pelo ganho de resistência a um ano ou mais. O aluminato tricálcico (C_3A) também contribui para a resistência, especialmente no primeiro dia. O aluminato de cálcio (C_3A) muito contribui para o calor de hidratação, especialmente no início do período de cura (CASCUDO, CARASEK e HASPARKY, 2010). Fusco (2008) aborda de forma aprofundada o calor de liberado na hidratação e durante a cura do concreto, em suma, tem-se que o silicato tricálcico é o segundo componente em importância no processo de liberação de calor. Os dois outros componentes contribuem pouco para a liberação de calor.

O aluminato de cálcio, quando presente em forma cristalina, é o responsável pela rapidez de pega. Com a adição de proporção conveniente de gesso, o tempo de hidratação é controlado. O silicato tricálcico (C_3S) é o segundo componente com responsabilidade pelo tempo de pega do cimento os outros constituintes se hidratam lentamente, não tendo efeito sobre o tempo de pega. Segundo Fusco (2008), tais componentes exercem funções diferentes, que de forma direta influenciam nas propriedades do concreto tanto no estado fresco, como no estado endurecido.

2.2.1.2 Tipos de cimento

Os tipos de cimento fabricados e comercializados no Brasil diferem em função da sua composição, como o cimento Portland comum, o composto, o de alto-forno, o pozolânico, o de alta resistência inicial, o resistente a sulfatos, o branco e o de baixo calor de hidratação. Dentre os diferentes tipos de cimento listados na tabela 2, os de uso mais comuns nas construções são o CII E-32, o CII F- 32 e o CIII-40. O cimento CPV-ARI é também muito utilizado em fábricas de estruturas pré-moldadas. As normas brasileiras consideram a aplicação dos seguintes cimentos na construção das estruturas de concreto (FUSCO, 2008).

- Cimento de endurecimento lento: cimento de alto-forno AF-25, AF-32 – NBR 5735 (ABNT, 1991); cimento pozolânico POZ-25, POZ-32 – NBR 5736 (ABNT, 1991); cimento de moderada resistência a sulfatos MRS – NBR 5737 (ABNT, 1992); cimento de alta resistência a sulfatos ARS – NBR 5737 (ABNT, 1992).

- Cimento de endurecimento normal (cimento Portland comum): cimento Portland CP-25; CP-32; CP-40 – NBR 5732 (ABNT, 1991)

- Cimento de endurecimento rápido: cimento de alta resistência inicial ARI – NBR 5733 (ABNT, 1991).

Os números indicados na embalagem do cimento Portland, como por exemplo CP-25 ou CP-32, correspondem às resistências médias do cimento em MPa de acordo com o Método Brasileiro MB-1 da ABNT.

Tabela 2 - Tipos de cimento fabricados no Brasil (ABCP, 2002)

Nome técnico		Identificação do tipo e classe
Cimento portland comum	Cimento portland comum	CP I-25 CP I-32 CP I-40
	Cimento portland comum com adição	CP I-S-25 CP I-S-32 CP I-S-40
Cimento portland composto	Cimento portland composto com escória	CP II-E-25 CP II-E-32 CP II-E-40
	Cimento portland composto com pozolana	CP II-Z-25 CP II-Z-32 CP II-Z-40
	Cimento portland composto com filer	CP II-F-25 CP II-F-32 CP II-F-40
Cimento portland de alto-forno		CP III-25 CP III-32 CP III-40
Cimento portland pozolânico		CP IV-25 CP IV-32
Cimento portland de alta resistência inicial		CP V-ARI
Cimento portland resistente a sulfatos		Sigla e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo RS. Exemplo CP I-32RS, CP II-F-32RS, CP III-40RS, etc.
Cimento portland de baixo calor de hidratação		Sigla e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo BC. Exemplo CP I-32BC, CP II-F-32BC, CP III-40BC, etc.
Cimento portland branco	Cimento portland branco estrutural	CPB-25 CPB-32 CPB-40
	Cimento portland branco não estrutural	CPB
Cimento para poços petrolíferos		CPP – classe G

2.2.2 Agregados

A NBR 9935 (ABNT, 2011) define agregado como material granular pétreo, sem forma ou volume definido e quimicamente inerte, ele pode ser obtido por fragmentação natural ou artificial, a partir de maciços rochosos ou da exploração de material natural (areia, seixo rolado ou pedregulho).

Os agregados correspondem aproximadamente 70 à 80% do volume de composição do concreto (NETO, 2011), tornando-se um dos ingredientes mais importantes na elaboração da dosagem de concreto, o que torna o seu custo final mais baixo por unidade de volume, devido os agregados (grãos e miúdos) serem de menor custo que o cimento.

Além do aspecto econômico as características dos agregados são responsáveis por algumas propriedades dentro do concreto como a redução da retração da pasta de cimento, aumento da resistência mecânica a compressão principalmente, resistência ao desgaste, melhora da trabalhabilidade no estado fresco, porosidade, deformação, absorção de água e aumenta a resistência do concreto ao fogo (ALHADAS, 2008).

Devido à influência do agregado nas propriedades dos concretos, deve-se dar importância na sua seleção, levando-se em consideração o uso e o ambiente em que será produzida e inserida a estrutura de concreto. Os agregados são classificados segundo a sua origem e segundo as dimensões dos grãos. Quanto à sua origem (ÂNGULO e FIGUEIREDO, 2011), tem-se:

- **agregados naturais:** são aqueles presentes na natureza e sua utilização não depende de nenhum tipo de beneficiamento para a sua obtenção, abastando apenas a lavagem devido as impurezas presentes;

- **agregados britados:** são aqueles obtidos através de processos de cominuição, geralmente por britagem, para que se possam adequar-se ao uso como agregados para concreto;

- **agregados artificiais:** são os derivados de processos industriais, como a argila expandida e peletizada, vermiculita expandida, etc.;

- **agregados reciclados:** são aqueles obtidos pela reciclagem dos resíduos de construção e demolição (RCD) ou de algum outro resíduo que tenha condições de ser utilizado no concreto, também podem ser resíduos industriais granulares que tenham propriedades adequadas ao uso como agregado.

Classificação quanto à dimensão são divididos em agregados graúdos e agregados miúdos; variando conforme a granulometria do grão.

- **agregado graúdo:** de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2005), agregado graúdo é aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha 152 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio de granulometria;

- **agregado miúdo:** é aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 0,075 mm em ensaio de granulometria.

2.2.2.1 Agregado miúdo

A NBR 7211 (ABNT, 2005), define agregados miúdos como sendo “os agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1”. Os agregados miúdos empregados para confecção de concreto é a areia natural, a maior parte da sua composição é quartzo podem ser extraído de leitos de rios, cavas imersas, cavas secas e solo de alteração (NETO, 2011).

A granulometria da areia influencia diretamente no desempenho da argamassa constituinte do concreto, modificando as propriedades do concreto no estado fresco, principalmente a trabalhabilidade e o consumo de água, desta forma aumentando o fator água/cimento (CARNEIRO, 1999).

Para Carneiro (1999), a distribuição granulométrica da areia influencia diretamente a resistência mecânica do concreto devido a um melhor empacotamento da mistura, diminuindo a porosidade no concreto, conseqüentemente aumentando o valor da sua massa unitária e resistência mecânica, isto é mais evidente quando a areia apresenta uma granulometria de distribuição contínua.

A norma NBR 7211 (ABNT, 2005) – *Agregados para concreto – Especificações*, estabeleceu novos limites para utilização dos agregados miúdos no concreto conforme o módulo de finura (MF), e está classificada em zona utilizável inferior (MF varia de 1,55 a 2,20), zona ótima (MF varia de 2,20 a 2,90) e zona utilizável superior (MF varia de 2,90 a 3,50), no quadro 3 estão apresentados os limites inferior e superior para a zona utilizável inferior, zona ótima e zona utilizável superior, respectivamente.

Selmo (1989) classifica o agregado miúdo como: o agregado miúdo que se encontra na zona utilizável inferior pode ser considerado como areia fina; aquele que se encontra na zona ótima como areia média e aquele que se encontra na zona utilizável superior como areia grossa. A tabela 3 mostra os limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Tabela 3 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo (ABNT NBR 7211, 2005)

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR ISSO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

NOTA 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90

NOTA 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior de 1,55 a 2,20

NOTA 3 O módulo de finura da zona utilizável superior de 2,90 a 3,50

2.2.2.2 Agregados graúdos

Para enfoque deste trabalho serão abordados de forma separados os conceitos para agregado graúdo naturais, britados e agregados graúdos reciclados.

a) Agregado graúdo natural e britado

Para Neto (2011), os agregados graúdos são comumente conhecidos como britas ou pedras, e são classificados como: natural (pedregulho, cascalho) e britados (pedra britada, pedregulho britado). Segundo Fusco (2008) a pedra britada é obtida industrialmente através do processo de britagem, o material obtido a partir da britagem passa por uma série de peneiras onde são classificados pelo tamanho obtido. Na construção civil é comumente

empregado uma nomenclatura conforma a granulometria da brita, tem-se a brita zero, considerada a mais fina, e as demais 1 e 2, raramente tendo a 3.

Segundo Silva, Filho e Pfeil (2012), também pode ser empregado como agregado graúdo o seixo rolado quando da sua disponibilidade como material local, recorrente nas terras baixas de grandes áreas da Amazônia, desde que resolvido adequadamente a reação álcalis agregado. Podem ser encontrado na natureza em jazidas de rio formadas no leito, no fundo ou nas margens dos rios, ou nas jazidas de solo pedregulhoso e arenoso na superfície, ou em maior profundidade do terreno (NETO, 2011). Também, admitem-se, por motivos econômicos o emprego de britas provenientes de outras rochas, como diorito, gabro, diabásio, calcário quartzito e arenito.



Figura 4 - a) Seixo rolado do fundo de rios; (b) brita a partir do desmonte de rochas através de britagem (FREITAS JUNIOR, 2003)

De acordo com Neto (2011), Andrade e Tutikian (2011) os agregados naturais devido ao processo de formação na natureza e da forma de extração, apresenta superfície arredondada, baixos teores de absorção de água e ótima trabalhabilidade, em virtude da falta de aspereza e rugosidade dos grãos, em virtude dessas características alguns cuidados devem ser cuidados durante a dosagem, o manuseio e o lançamento. Superfícies arredondadas podem causar problemas de aderência na pasta de cimento, principalmente na zona de transição (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

Para Neto (2011), os agregados obtidos a partir da britagem de rocha com densidade média apresentam forma de grãos de superfície angulosa, extremamente irregular, variam entre eles conforme a formação da rocha de origem. Sua superfície irregular pode reter mais

água que os agregados naturais exigindo valores maiores para o fator água/cimento sem a incorporação de aditivos (NEVILLE, 1997).

Os agregados artificiais apresentam algumas características como o maior teor de absorção de água, trabalhabilidade razoável e ótima aderência na pasta de cimento e água (ROSSIGNOLO, 2009). Conforme Arndit, Sousa e Bianchini (2007), a forma dos grãos do agregado graúdo influencia algumas características no concreto no estado fresco, principalmente no que se refere à plasticidade, trabalhabilidade, absorção de água e resistência ao cisalhamento. A tabela 4 abaixo relaciona a influencia da forma do agregado graúdo naturais e britados, sobre as características do concreto.

Tabela 4 - Concreto com os dois tipos de agregados de densidade normal (ARNDIT, SOUSA e BIANCHINI, 2007)

DADOS	AGREGADOS	
	Natural seixo rolado	Artificial brita de rocha
Plasticidade	Maior	Menor
Trabalhabilidade	Maior	Menor
Aderência na pasta	Menor	Maior
Absorção de água	Menor	Maior
Resistência a compressão	Menor	Maior

b) Agregado graúdo artificial e reciclado

Segundo Levy (2001) a primeira vez que os resíduos de construção e demolição foram utilizados de forma racional na confecção do concreto foi na Alemanha após a segunda guerra mundial, em virtude do grande volume desses materiais devido aos bombardeios nas cidades alemãs. Além da escassez de matéria prima, deveria ser dada uma destinação as muitas toneladas de escombros.

No que diz respeito a reutilização dos resíduos de construção e demolição ainda é uma prática nova no Brasil possui uma legislação relativamente nova que trata sobre os resíduos provenientes da indústria da construção civil, que podem ser reutilizados ou reciclados como agregados para confecção de argamassas, concretos e etc., segundo Ferreira (2012) apesar dos primeiros estudos terem sido realizados por CINCOTTO (1983) e PINTO (1986), apenas em 2002 o CONAMA lançou a resolução N° 307. O CONSELHO NACIONAL DO MEIO

AMBIENTE – CONAMA, através da resolução N° 307, de 05 de julho de 2002, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, no Art. 2°, parágrafo primeiro da referida resolução dá a seguinte definição para resíduos da 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. (CONAMA, 2002)

O conceito de resíduo da construção civil é importante para este trabalho de pesquisa para que se entenda o conceito de agregados reciclados. A reciclagem “é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação” (CONAMA, 2002). De acordo com a NBR 15116 (ABNT, 2004), entende-se por agregados reciclados sendo aqueles obtidos pela reciclagem dos resíduos de construção e demolição (RCD) ou de algum outro resíduo que tenha condições técnicas de ser utilizado no concreto, também podem ser resíduos industriais granulares que tenham propriedades adequadas ao uso como agregado. A principal fonte de resíduos para a produção desses agregados é a própria indústria da construção civil (ÂNGULO e FIGUEIREDO, 2011).

Os agregados reciclados podem ser constituídos de várias formas, por exemplo: fragmentos de concretos, argamassas, cerâmicas e outros materiais secundários, obtidos pela britagem e outras operações de descontaminação. Devido a essa conformação eles podem apresentar uma grande variação na sua composição (CONAMA, 2002). A resolução N° 307 (CONAMA, 2002), no Art. 3° estabelece que os resíduos da construção civil deverão ser classificados em várias classes de acordo com os integrantes e destinação, para efeito desta Resolução, a tabela 5 apresenta de forma sintetizada a classificação.

Tabela 5 - Classes e destinos dos resíduos da construção e demolição conforme a Resolução CONAMA N° 307 (Neto e Filho, 2007)

Classe	Integrantes	Destinação
A	Componentes cerâmicos, argamassas, concretos e outros, como solos	Reutilizar ou reciclar na forma de agregados, ou encaminhar a aterro de resíduos da construção civil, dispondo de modo a permitir sua utilização ou reciclagem futura
B	Plásticos, papel e papelão, metais, vidros, madeiras e outros	Reutilizar, reciclar ou encaminhar a áreas de armazenamento temporário, permitindo a utilização ou reciclagem futura
C	Gesso e outros	Armazenar, transportar e destinar em conformidade com as normas técnicas específicas.
D	Tintas, solventes, óleos e outros resíduos contaminados	Armazenar, transportar, reutilizar e destinar em conformidade com as normas técnicas específicas

A NBR 10004 (ABNT, 1998), define o estado dos resíduos como sólidos e semi-sólidos os que resultam de atividade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrições, e quanto aos aspectos econômicos os resíduos estão classificados como: aproveitáveis, recuperáveis e inapropriados (ÂNGULO, 2005). A NBR 10004 (ABNT, 1998) dá uma classificação para os resíduos em três classes diferentes: a) Classe I – Resíduos perigosos; b) Classe II – Resíduos inertes e c) Classe III – Inertes. A mesma norma coloca os resíduos da construção civil na Classe III – Inertes, como exemplo, tem-se rochas, tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas que não são decompostos prontamente.

Uma das mais importantes propriedades dos agregados principalmente dos reciclados, e que devem ser controladas é a sua porosidade que para esse tipo de agregado pode ultrapassar com facilidade dos 10 % (ÂNGULO e FIGUEIREDO, 2011), devido a baixa porosidade dos agregados naturais e britados, a taxa de absorção de água quase não influi nas misturas do concreto, contudo quando são substituídos pelos agregados reciclados para a produção de concreto, deve-se ter o cuidado com a quantidade de água, pois este material apresenta valores elevados de absorção (LEITE, 2001), a tabela 6 apresenta valores de taxa de absorção de água para agregados graúdos reciclados em função das suas dimensões.

Tabela 6 - Taxa de absorção de agregados reciclados (BARRA, 1996; apud LEITE, 2001)

Material reciclado	Frações	Absorção ¹ (%)
Concreto	12 – 20 mm	6,85
	6 – 12 mm	7,49
Material cerâmico	12 – 20 mm	14,4
	6 – 12 mm	14,5

1 – Capacidade de absorção do material calculada em função da massa do material seco em estufa

Pode-se observar que a taxa de absorção de água varia de acordo com o tipo de material e suas dimensões máximas do agregado. Isto é quanto menor a sua dimensão máxima e maior a sua porosidade característica, maior será a taxa de absorção.

c) Agregados graúdos reciclados a partir dos resíduos da indústria cerâmica vermelha (RCV)

No Brasil a indústria cerâmica tem participação de cerca de 1% no PIB nacional, sendo que apenas 40% deste montante correspondem ao setor de cerâmica vermelha (BUSTAMANTE; BRESSIANI, 2000). Este setor consome cerca de 70 milhões de toneladas de matérias-primas por ano, através das 12 mil empresas distribuídas pelo país, a maioria de pequeno porte, com uma mão-de-obra desqualificada com alta rotatividade e processos produtivos antigos (MACEDO, 2008 et al).

Falta de qualidade e de padronização devido aos fatores mencionados no parágrafo anterior, apesar de haver normatizações vigentes no país, fazem com que durante o processo de fabricação dos produtos cerâmicos, ocorra a geração de uma grande quantidade de resíduos que se transformam em entulho no pátio das indústrias por não terem um destino final adequado.



Figura 5 - Área de despejo dos resíduos cerâmicos

Para Redivo (2011), pode-se considerar como resíduos cerâmicos as peças inteiras, de tijolos e telhas que após a queima nos fornos, não apresentam as propriedades técnicas requeridas na comercialização e fragmentos devido à quebra das peças durante a retirada do forno, durante o armazenamento, transporte e destinação final, esses resíduos podem ser também chamados de cacos.

Para se entender a geração de resíduos cerâmicos é necessário conhecer o processo de fabricação de seus produtos e onde acontecem as chamadas perdas irreversíveis (FERREIRA, 2012; apud GALDINO, 2013), a figura 6 mostra um fluxograma das etapas de produção da cerâmica vermelha, onde se observa de forma esquemática o momento onde ocorre a criação de resíduo. De acordo com Ferreira (2012) as etapas preliminares a queima, os resíduos gerados podem voltar ao início do ciclo de produção, os gerados na etapa de queima e expedição não podem ser reaproveitados no ciclo produtivo outra vez, pois após a queima as peças já alcançaram certa resistência mecânica.

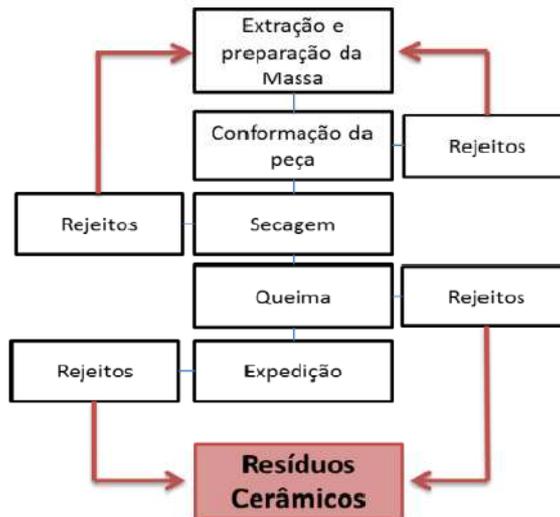


Figura 6 - Esquema da geração dos resíduos cerâmicos (FERREIRA, 2002).

Segundo Galdino (2013), dependendo da qualidade do sistema de produção e do nível de tecnologia empregada faz com que haja uma menor ou maior formação de resíduos cerâmicos. Conforme Castro (2008) além dos impactos ambientais causados pela geração dos resíduos da indústria da cerâmica vermelha (RCV), tem-se também os problemas de cunho econômico e social.

Na indústria cerâmica da cerâmica os impactos ambientais se dão se forma sistemática deste da extração da matéria até a confecção do produto acabado, a primeira devido à retirada discriminada de grandes porções de argilas de áreas não licenciadas, e a outra pela geração de resíduos líquidos e sólidos, emissão de gases e material particulado durante a queima da argila nos fornos, poluição sonora no processo de moagem da argila, além da energia empregada no processo de fabricação das peças. (CASSA et al., 2001; GRIGOLLETI, 2001; PESSOA, 2004, FREITAS JUNIOR, OLIVEIRA e MAGANHA, 2006; NUNES, 2012)

2.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO

O concreto de cimento Portland é um compósito constituído de partículas com dimensões variáveis que vão das menores que 1 micron (sílica ativa) até as maiores em centímetros (agregados graúdos), e é obtido por meio da mistura adequada dessas partículas o concreto pode ser dividido em duas fases: matriz e agregados (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

O concreto apresenta algumas características que o tornam o material mais empregado na Construção Civil a nível mundial, tais como: disponibilidade; versatilidade; hiperestabilidade; facilidade de execução; durabilidade; custo e sustentabilidade (ISAIA, 2011). Quando se estuda as propriedades do concreto, deve-se levar em conta as suas propriedades no estado fresco e no estado endurecido.

2.3.1 Propriedades do concreto no estado fresco

Em seu estado fresco o concreto apresenta uma consistência fluida, onde os agregados graúdos e miúdos se encontram imersos na matriz de aglomerante e água. Portanto o concreto no estado fresco pode ser compreendido como suspensão fluida bifásica reativa e sua consistência é modificada pela atuação de um aglomerante (HU & LARRARD, 1995 apud ROMANO, CARDOSO e PILEGGI, 2011).

A falta de critérios na dosagem ou na moldagem são problemas recorrentes principalmente de suas características no estado fresco, pois muitas das vezes ainda no estado fresco, a adequação de sua consistência é feita de forma inadequada com a adição de água e de cimento, provocando modificações no concreto no estado endurecido como o aparecimento de fissuras, permeabilidade elevada, alteração na sua resistência mecânica e no módulo de elasticidade (ROMANO, CARDOSO e PILEGGI, 2011). As principais propriedades do concreto no estado fresco são: a reologia no estado fresco, consistência, a trabalhabilidade e a homogeneidade.

2.3.1.1 A reologia do concreto no estado fresco

A reologia estuda o fluxo e a deformação dos materiais quando submetidos a uma determinada tensão ou sollicitação mecânica externa, analisando o comportamento de fluidos homogêneos, como os líquidos, as emulsões e as suspensões de partículas (WATANABE, ISHIKAWA & WAKAMATSU, 1989 apud ROMANO, CARDOSO e PILEGGI, 2011), as principais grandezas que definem o comportamento dos fluidos são a viscosidade e a tensão de escoamento. A figura 7 apresenta os vários comportamentos reológicos independente do tempo.

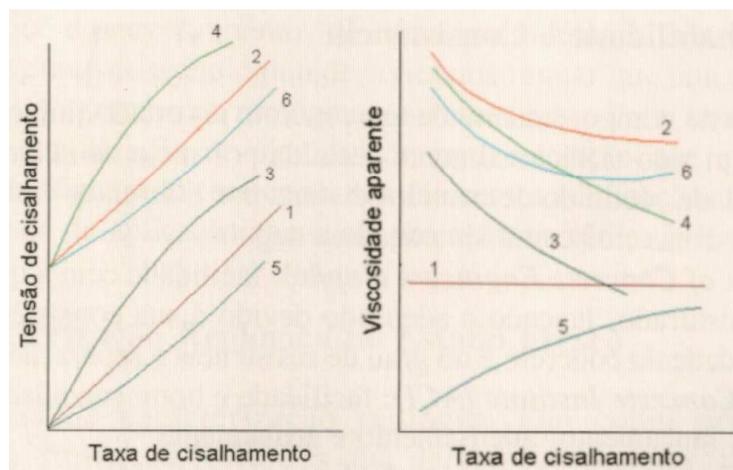


Figura 7 - Comportamento reológico dos fluidos: (1) newtoniano; (2) de Bingham; (3) pseudoplástico; (4) pseudoplástico com tensão de escoamento; (5) dilatante e (6) dilatante com tensão de escoamento.

WATANABE, ISHIKAWA & WAKAMATSU (1989) apud ROMANO, CARDOSO e PILEGGI, (2011)

A caracterização reológica no estado fresco tem como premissa básica, submeter os fluidos a esforços ou deformações controladas (STAIN, 1986 apud ROMANO, CARDOSO e PILEGGI, 2011). O NIST – *National Institute of Standards and Technology* – USA, classifica as técnicas de caracterização reológica em quatro categorias de acordo com o procedimento de medida de fluxo ou de cisalhamento na tabela 7 está descrito os principais métodos de caracterização segundo o NIST.

Tabela 7 - Principais métodos para caracterização reológica do concreto fresco baseado na classificação do NIST (KOEHLER & FOWLER, 2000 apud ROMANO, CARDOSO e PILEGGI, 2011)

Classificação NIST	Ensaio	Principal Parâmetro Mensurado	Tipo de medida
Fluxo Livre	Abatimento de tronco de cone	Tensão de Escoamento	Monoponto
	Abatimento Modificado	Tensão de Escoamento Viscosidade	
Fluxo Confinado	V – Funnel Test Orimet Test	Viscosidade	
	Habilidade Enchimento	Viscosidade	
Vibração	Remoldagem de Powers	Viscosidade	
Reômetro Rotacional	Reômetro	Tensão de Escoamento Viscosidade	Multipontos

Segundo Romano, Cardoso e Pileggi (2011), de todos os métodos de caracterização reológica o mais empregado no controle tecnológico do concreto no ato do recebimento ou após a confecção na obra é o ensaio de abatimento no tronco de cone conforme a figura 8 principalmente pela simplicidade de execução desse método. O equipamento utilizado para fazer a medição é o chamado Cone de Abrams conforme as medidas apresentadas na figura 8.

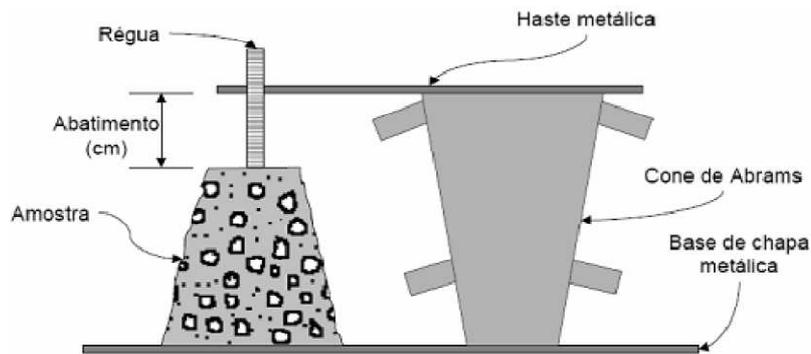


Figura 8 - Cone de Abrams e utensílios utilizados no abatimento de tronco de cone (?)

O ensaio de abatimento no tronco de cone consiste na medição direta do deslocamento vertical do topo do cone após a retirada do molde (ROMANO, CARDOSO e PILEGGI, 2011). Segundo Fusco (2008), o ensaio de abatimento no tronco é feito no momento em que o concreto chega à obra, no caso de concreto usinado, quando o concreto é confeccionado no próprio canteiro o ensaio deve ser executado com o mesmo retirado diretamente da betoneira. A figura 9 ilustra os procedimentos para a execução do abatimento do tronco de cone.

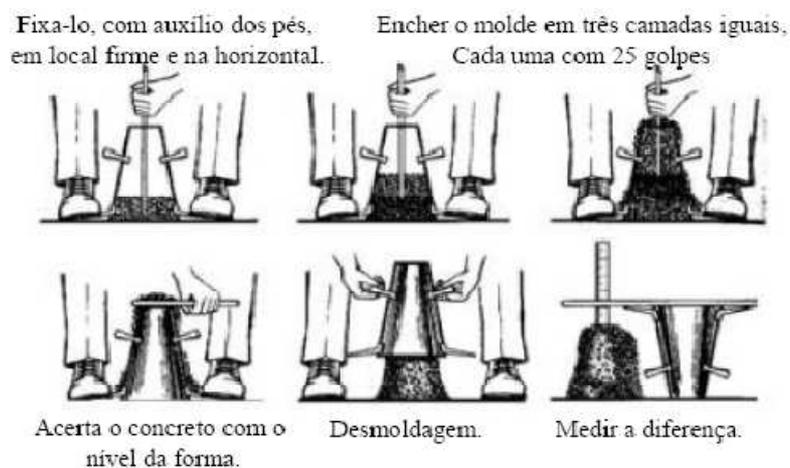


Figura 9 - Procedimentos para o ensaio do abatimento do tronco de cone (<http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/08/ensaio-do-slump-test-ensaio-de.html>)

É comum utilizar o valor do abatimento na especificação do concreto das obras. As tabelas 8 e 9 fornecem indicações sobre os resultados do abatimento de tronco de cone. A consistência do concreto deve estar de acordo com as dimensões da peça a ser concretada.

Tabela 8 - Abatimento recomendado para diferentes tipos de elementos estruturais (TARTUCE, 1990)

Tipo de obra	Abatimento em cm	
	Máxima	Mínimo
Bloco sobre estaca e sapata	8	2
Viga e parede armada	10	2
Pilar de edifício	10	2
Laje maciça e nervurada	8	2

Tabela 9 - Índices de consistência do concreto em função de diferentes tipos de obras e condições de adensamento (TARTUCE, 1990)

Consistência	Abatimento (mm)	Tipos de obras	Condições de adensamento
Extrema/seca	0	Pré – fabricados	Condições especiais de adensamento
Muito seca	0	Grandes massas, pavimentação	Vibração muito energética
Seca	0 – 20	Estruturas correntes	Vibração energética
Rija	20 – 50	Estruturas correntes	Vibração normal
Plástica (média)	50 – 120	Estruturas correntes, concreto bombeado	Vibração normal ou adensamento manual
Úmida	120 – 200	Estruturas correntes, paredes diafragma, sem grande responsabilidade	Adensamento manual ou auto-adensável
Fluida	200 – 250	Concreto inadequado para qualquer uso	-

2.3.1.2 Trabalhabilidade e consistência

O conceito de trabalhabilidade e consistência do concreto estão ligados a facilidade do seu manuseio, adensamento e moldagem sem a perda da homogeneidade, segundo a *Association of Concrete Engineers* (Japão) sugere que a trabalhabilidade é a facilidade com a qual o material pode ser misturado, lançado e adensado devido à sua consistência, além da homogeneidade do concreto e do grau de resistência a separação do material constituinte. Tanto a trabalhabilidade como a consistência do concreto depende da granulometria dos

materiais sólidos, da incorporação de aditivo e principalmente do fator água/cimento (CARVALHO, FILHO; 2009).

Uma forma de medir a trabalhabilidade e a consistência é por meio do teste de livro fluxo livre através do abatimento de tronco de cone (Slump test), dessa forma um concreto que apresente um abatimento de tronco de cone alto, em geral é um concreto de fácil lançamento e adensamento, e considerado de boa trabalhabilidade. Alguns fatores podem afetar a trabalhabilidade do concreto no estado fresco, tanto fatores internos como externos, onde, pode-se destacar:

a) Fatores internos:

- Relação água/cimento ou teor de água/materiais seco;
- Traço definida pela proporção entre cimento e agregados;
- Granulometria do agregado graúdo e miúdo;
- Forma dos grãos dos agregados;
- Incorporação de aditivos.

b) Fatores externos:

- Tipo de mistura (manual ou mecânica);
- Tipo de transporte (vertical ou horizontal);
- Tipo de lançamento (de pequena ou grande altura);
- Tipo de adensamento (manual, vibratório, vácuo, centrifugado, etc.)
- Dimensões e densidade da armadura na peça a ser executada.

2.3.1.3 Homogeneidade

A homogeneidade está relacionada à distribuição e arranjo dos agregados graúdos dentro da argamassa (cimento, areia e água) do concreto, isto é, a uniformidade com que os agregados graúdos se apresentam dentro da argamassa, a forma como esses agregados estão envolvidos pela matriz, sem que haja a desagregação entre a matriz e os agregados. Quanto mais coeso e homogêneo for o concreto no estado fresco menor será a sua permeabilidade. Dessa forma a homogeneidade está ligada a qualidade da estrutura e seu acabamento final, sem que haja a necessidade de reparos superficiais após a desforma.

2.3.2 Pega e endurecimento

Após a adição de água na mistura seca (cimento e agregados), começa as reações químicas do cimento que produzem o endurecimento do concreto. Aproximadamente 2 horas após o começo das reações químicas o concreto apresenta um comportamento de fluido viscoso conhecido como estado de “pega”. Depois da “pega” o concreto apresenta uma estrutura interna sólida, e sua resistência tende a aumentar com o passar do tempo, este efeito é chamado de “cura”.

Chama-se pega o intervalo de tempo correspondente ao momento da adição de água até o início das reações com os componentes do aglomerante, com o passar do tempo a matriz começa a perder a plasticidade, aumentando a viscosidade e a temperatura se eleva. O fim da pega acontece quando a pasta não se deforma com a aplicação de pequenas cargas, aumentando a coesão e a resistência, então o concreto começa a se tornar um bloco rígido. Alguns fatores influenciam na duração do tempo de pega como:

- a) Cimentos com elevada quantidade de C_3A , que dentro do cimento é o composto que reage imediatamente com a água;
- b) Cimentos muito finos fazem com que a pega inicie mais rápido e o fim mais demorado em comparação com os menos finos;
- c) A quantidade de água utilizada na confecção do concreto;
- d) O aumento da temperatura do meio ambiente diminui o tempo de pega;
- e) A incorporação de alguns compostos solúveis acelera ou retarda o tempo de pega.

A norma NBR 7215 (ABNT, 1996), (MB-1) determina o tempo mínimo e máximo para início da pega, sendo o tempo mínimo de uma hora e tempo máximo de dez horas.

2.3.3 Cura

O período de cura ou sazonalidade do concreto é o intervalo que corresponde as reações de hidratação do cimento e endurecimento da matriz que envolve os agregados, aliado a isso, tem-se um conjunto de procedimentos e medidas adotados após seu lançamento e adensamento, com o objetivo de impedir a saída prematura da água de amassamento e hidratação do cimento (RECENA, 2011), e dessa forma garantir a continuidade das reações de hidratação do cimento e minimizar os efeitos da retração.

Segundo Mehta e Monteiro (1994), o tempo de cura, a umidade do ambiente e a temperatura influenciam significativamente em todas as propriedades do concreto. Figura 10 mostra que para determinados concretos quanto maior o período de cura úmida a resistência.

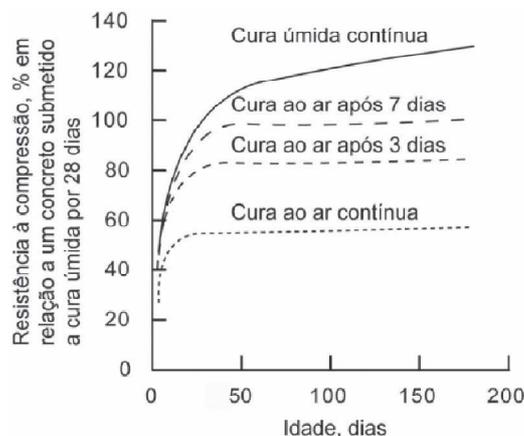


Figura 10 - Influencia do tipo e do tempo de cura a resistência mecânica do concreto (MEHTA & MONTEIRO, 1994)

2.4 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

2.4.1 Resistência do concreto

A resistência de um determinado material é sem dúvida uma das propriedades mais importantes que deve ser conhecida, para Higgins (1982) apud Andrade e Tutikian (2011), a resistência é uma medida das forças externas aplicadas ao material as quais são necessárias para vencer as forças internas de atração entre partículas elementares do mesmo.

Segundo Andrade e Tutikian (2011) a resistência mecânica do concreto, no estado endurecido é o parâmetro mais empregado para avaliar a sua qualidade, em conceito moderno a resistência deve contemplar além da resistência mecânica do concreto, outras propriedades como a sua durabilidade e/ou módulo de elasticidade.

De acordo com Carvalho e Filho (2009) atualmente considera-se razoável a utilização dos parâmetros da resistência a compressão do concreto para determinação de outros tipos de solicitações. A NBR 6118 (ABNT, 2008), no item 8.2 a referida norma trata das propriedades do concreto, sugere que na falta de parâmetros mais precisos, pode-se de forma empírica utilizar expressões em função da resistência a compressão do concreto. O concreto de cimento Portland no seu estado endurecido é construído por uma matriz solidificada envolta dos agregados, tanto a matriz como os agregados apresentam suas tensões-deformações diferentes

do concreto de cimento Portland endurecido (MEHTA & MONTEIRO, 2008), a figura 11 apresenta o comportamento convencional desses materiais.

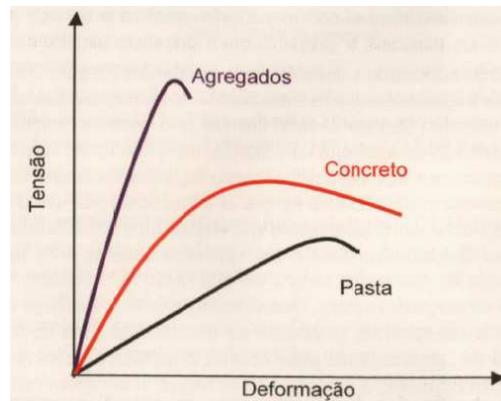


Figura 11 - Comportamento tensão-deformação do concreto e dos seus materiais constituintes (MEHTA & MONTEIRO, 1994)

De acordo com Andrade e Tutikian (2011) a figura 11 apresenta a não-linearidade do concreto quando sujeito à deformações viscoplásticas, esse comportamento é devido principalmente à natureza do cimento (poros + água absorvida + água zeolítica + água infelamelar) que predominam no C – S – H (silicato de cálcio hidratado), segundo Fusco (2008) o endurecimento hidráulico da pasta é obtido pela formação de um mesmo silicato, neste caso o dissilicato tricálcico hidratado expresso pela fórmula $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, além dos silicatos existem outros componentes como os aluminatos e o ferro-aluminatos de cálcio que reagem com água, porém esses outros componentes contribuem de forma insignificante na resistência do concreto devido o endurecimento hidráulico da pasta de cimento, a figura 12 mostra esse comportamento.

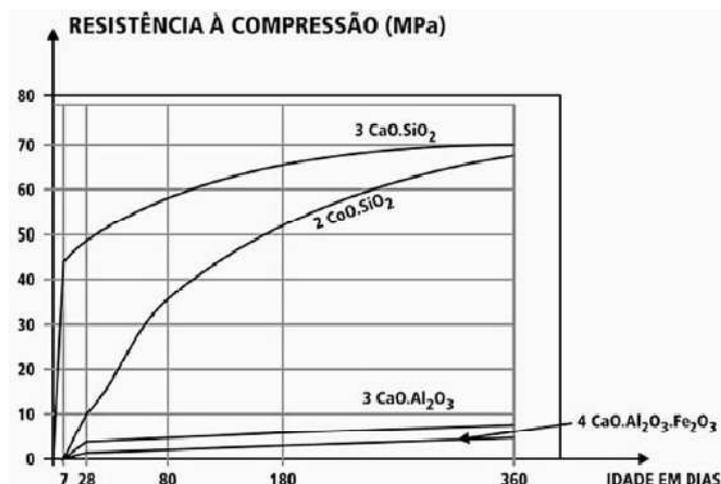


Figura 12 - Aumento da resistência dos componentes do cimento em função do tempo (CZERNY, 1962; apud FUSCO, 2008)

2.4.2 Fatores que influenciam na resistência do concreto

De acordo com Naville (1997), Mehta & Monteiro (1994) apud Andrade e Tutikian (2011), existe uma grande quantidade de fatores que podem de forma direta influenciar na resistência mecânica do concreto no estado endurecido, pode-se descrever como:

- Propriedades dos componentes do concreto: cimento, agregados, aditivos e adições minerais;
- Proporções em que os componentes estão presentes na confecção do concreto, isto é, a relação água/cimento e a relação agregado/cimento;
- Condições em que é realizada a cura e a idade dos corpos-de-prova.

a) Relação água/cimento

A qualidade do concreto está diretamente ligada ao fator água/cimento, a resistência mecânica do concreto é influenciada pelo fator água/cimento, por ser um fator preponderante na proporção dos materiais constituintes do concreto (ANDRADE e TUTIKIAN, 2011). Em vários estudos experimentais, comprovou-se que a resistência de concreto pode ser estimada pela Lei de Abrams, que é a relação inversa e exponencial entre a resistência do concreto e a sua relação água/cimento (FUSCO, 2008).

De acordo com Fusco (2008) a trabalhabilidade precisa que a quantidade de água de amassamento seja maior que aquela necessária para as reações químicas de hidratação do cimento na matriz, para isso o fator água/cimento deve ser significativamente superior ao

mínimo. A figura 13 mostra um comportamento linear para valores usuais do fator água/cimento, utilizando um concreto moldado com fator água/cimento $a/c = w = 0,40$.

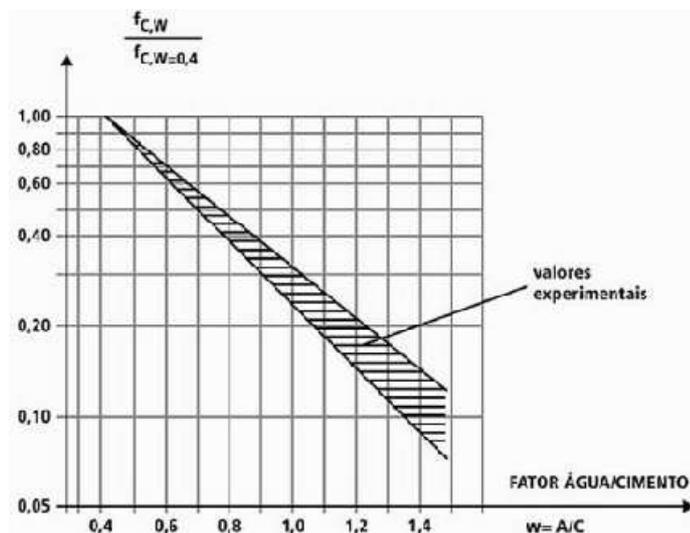


Figura 13 - Variação da resistência à compressão (CZERNY, 1962; apud FUSCO, 2008)

b) Idade

Para Neville (1997) a resistência do concreto depende da fator água/cimento e varia de acordo com o tipo de cimento e para cada idade de cura, usualmente a resistência do concreto é caracterizada pelo valor obtido aos 28 dias de idade. O aumento da resistência mecânica do concreto com a idade está relacionado com o grau de hidratação dos componentes do cimento, cimentos mais finos e com teores maiores de silicatos de cálcio (C_3S e C_2S), tendem a apresentar uma resistência maior a idades menores do que cimentos com adições minerais, nestes cimentos, deve-se ter cuidados com o calor de hidratação, para cimentos compostos a sua resistência tende a ser maior aos 28 dias (ANDRADE e TUTIKIAN, 2011).

A NBR 6118 (ABNT, 2008) estabelece que a resistência do concreto deve ser feita aos 28 dias, no caso de se verificar a resistência em dias inferiores a 28 dias. Segundo Fusco (2008) Ary Torres realizou ensaios no IPT de São Paulo em 1936, com seis diferentes traços, para cada traço foram feitas medidas das resistências para 7, 14, 28, 90, 180 e 360 dias de idade, a figura 14 mostra o experimento de Ary Torres.

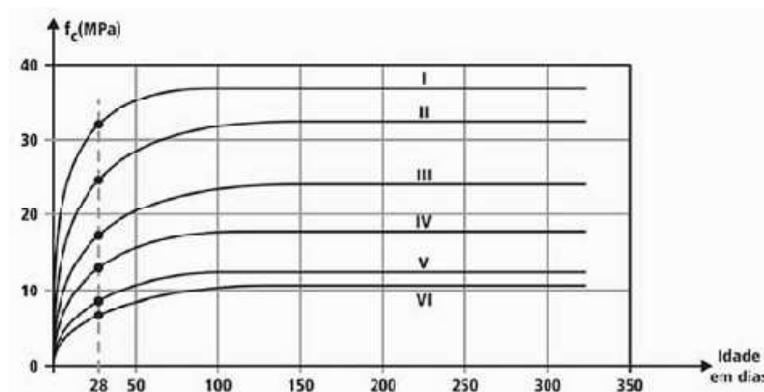


Figura 14 - Evolução da resistência com a idade do concreto segundo Ary Torres (FUSCO, 2008)

c) Agregado

A elevada resistência que muitos agregados naturais apresentam, o seu diâmetro, o seu formato, sua superfície de contato e etc., são características que influencia na resistência mecânica do concreto endurecido, a influencia dessas propriedades é de extrema relevância no estudo da resistência do concreto (ALHADAS, 2008). Como todo material compósito, a resistência final do concreto no estado endurecido dependerá das características do agregado graúdo (composição mineralógica, distribuição granulométrica, forma e textura superficial das partículas) e da zona de transição entre o agregado e a pasta. (ANDRADE e TUTIKIAN, 2011).

d) Tipos de cimento

O tipo de cimento é um dos fatores que influencia significativamente a resistência do concreto para cada idade de cura, devido as suas propriedades físicas (finura, superfície específica), quanto química (teores de aluminatos e silicatos de cálcio) referente a cada tipo de cimento (ANDRADE, TUTIKIAN, 2011). Essas propriedades dependem do processo de fabricação e tipo de adição presente no cimento. De forma geral os cimentos produzidos no Brasil podem ser agrupados em três grandes grupos de crescimento de resistência a compressão:

- CP V ARI – cimento de cura rápida;
- CP I (comum) e CP II (composto) – cura normal;
- CP III e CP IV (pozolânicos) – cura lenta.

e) Adições minerais e aditivos químicos

As adições minerais e as incorporações dos aditivos químicos vem sendo bastante utilizados nos últimos anos em decorrência das melhorias obtidas nas propriedades do concreto, tanto no estado fresco, como no estado endurecido (ANDRADE, TUTIKIAN, 2011). Segundo dal Molin (2005), Mehta & Monteiro (1994), pode-se citar as melhorias das propriedades reológicas do concreto no estado fresco; redução das fissurações devido às ações térmicas e aumenta a durabilidade. De maneira geral as incorporações das adições atuam modificando a estrutura interna na pasta de cimento hidratada (DAL MOLIN, 2005).

Os aditivos químicos por sua vez podem ser definidos com um produto químico adicionado a mistura de concreto em baixos teores em relação à massa de cimento (normalmente menores que 5%) durante a execução da mistura (NEVILLE, 1997). A NBR 11768 (ABNT, 1992) classifica os tipos de aditivos no Brasil, de forma que podem atender uma ou mais características desejadas do concreto, tais como: aumento da trabalhabilidade, alterar o tempo de pega, melhorar a durabilidade e melhora a resistência mecânica do concreto (MARTIN, 2005).

2.4.3 Ruptura a compressão

Segundo Fusco (2008) quanto à estrutura interna do concreto, o concreto apresenta uma matriz de argamassa envolvendo os agregados graúdos a figura 15 mostra de forma geral esta situação no estado endurecido do concreto.

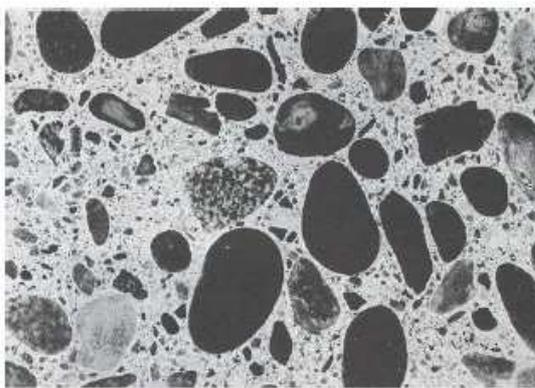


Figura 15 - Macroestrutura do concreto (MEHTA & MONTEIRO, 1994)

De acordo com Carvalho e Filho (2009), a resistência a compressão é a principal característica do concreto no estado endurecido, a qual pode ser obtida através de ensaio de corpos de prova submetido a um carregamento uniaxial de compressão. A figura 16 mostra uma prensa para ensaios de compressão axial nos corpos-de-prova de concreto.



Figura 16 - Máquina utilizada nos ensaios à compressão

Para concretos com resistências a compressão até 40 MPa, o mecanismo de ruptura se dá com o aparecimento de fissuras que se desenvolve paralelamente às máximas tensões de compressão, devido a ruptura transversal por tração na microestrutura do concreto endurecido (FUSCO, 2008). Segundo Fusco (2008), Andrade e Tutikian (2011) naturalmente os agregados graúdos são mais resistentes que a matriz de argamassa dentro dos concretos tidos como de baixa ou média resistência, ao redor dos agregados graúdos.

Isto é, na interface entre os mesmos com a matriz de argamassa há o aparecimento de tensões transversais de tração, essas tensões se apresentam normais à compressão longitudinal aplicada externamente, durante a aplicação das cargas no corpo de prova, com o aumento das cargas externas as tensões internas se elevarão à máxima resistência mecânicas características até as tensões críticas com aparecimento de fissuras orientadas segundo um plano paralelo às tensões de compressão (MEHTA & MONTEIRO, 2008 apud ANDRADE, TUTIKIAN, 2011), a distribuição de tensões internamente no concreto está ilustrado na figura 17.

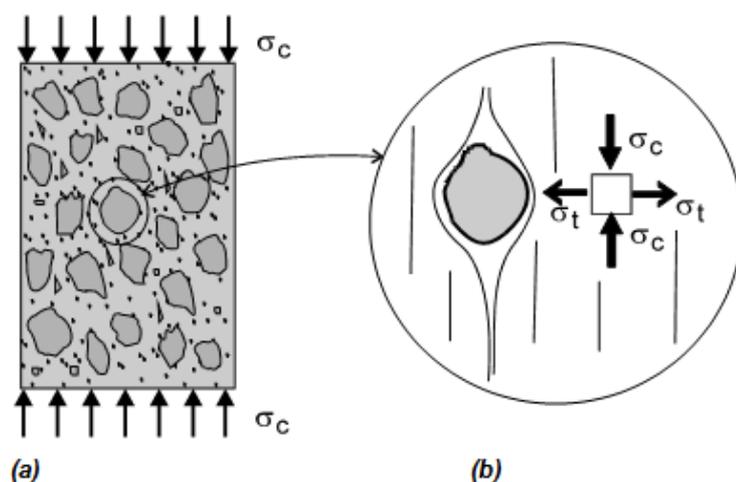


Figura 17 - (a) Elemento de concreto comprimido, (b) Prováveis fissuras ao redor dos agregados para tensões de compressão

A curva tensão-deformação apresenta um comportamento não-linear e as fissuras tendem a aumentar até ruptura da estrutura interna do concreto, quanto ao modo de ruptura de um corpo-de-prova, tem que:

Quando se realiza o ensaio normal de compressão de corpos-de-prova, surge um falso modo de ruptura [...]. Esse falso modo, que aparenta ser uma ruptura por deslizamento, é consequência do confinamento provocado pelo atrito dos topos de corpo-de-prova com os pratos da prensa de ensaio. Nas peças estruturais em que ocorrem fenômenos de ruptura por compressão, a zona de ruptura pode não estar confinada, como ocorre com as diagonais comprimidas das vigas sujeitas a forças cortantes elevadas. Essas rupturas freqüentemente simulam uma fissuração por tração diagonal, embora na verdade sejam rupturas por compressão diagonal. (FUSCO, 2008, p.67)

Segundo Alhadas (2008) além da resistência mecânica que os grãos dos agregados graúdos a sua forma também contribui com algumas características do concreto no estado fresco, como a plasticidade, a trabalhabilidade, absorção de água e resistência ao cisalhamento. E conseqüentemente no estado endurecido, o quadro 2 relaciona a influência da forma do agregado graúdo sobre as características do concreto.

2.4.4 Determinação da resistência do concreto no estado endurecido

A resistência do concreto empregado em uma estrutura depende de vários fatores como os materiais empregados, das condições de sua mistura, das condições de transporte, lançamento, adensamento e de como se dará o processo de cura. Segundo Vieira Filho (2007) é comum classificar o concreto de acordo com sua resistência a compressão aos 28 dias de cura, a norma NBR 8953 (ABNT, 1992) classifica o concreto em determinadas categorias de acordo com as tabelas 10 e 11.

Tabela 10 - Classificação dos concretos para fins estruturais por classe de resistência (NBR 8953 ABNT, 1992; apud VIEIRA FILHO, 2007)

Categoria	Classe de resistência (números correspondem ao valor da resistência característica em MPa)
Grupo I	C10; C15; C20; C25; C30; C35; C40; C45; C50
Grupo II	C55; C60; C70; C80

Tabela 11 - Classificação dos concretos quanto à resistência à compressão

Categoria	Resistência à compressão aos 28 dias (f_{c28}) MPa
Concreto comum	20 – 50
Concreto de alto desempenho	50 – 100
Concreto de ultra alto desempenho	100 a 150
Concreto especiais	> 150

Fonte: PRINSKI (1994) apud VIEIRA FILHO (2007)

A resistência do concreto de uma estrutura é uma grandeza aleatória, com variabilidade espacial, visto que a resistência varia de acordo com os fatores já mencionados, considerando que a resistência do concreto evolui com o tempo, ele também apresenta uma variabilidade temporal (FUSCO, 2008). Vieira Filho (2007) descreve que o estudo de vários autores indica que a resistência do concreto, conceitualmente, não possui um único valor, e que a resistência do concreto deve ser obtida através de uma população com “N” valores tendendo ao infinito, para concreto confeccionado em condições normais e constantes, a distribuição dessa população pode ser considerada normal ou “gaussiana”.

A figura 18 mostra a probabilidade de ocorrência desses valores x_i obtidos através da sua distribuição de frequência relativas para um tratamento estatístico dos valores da resistência do concreto obtidos a partir de ensaios de N corpos de prova. Conhecendo os

valores de todos os N valores de uma amostra real, pode-se definir a resistência média à compressão do concreto.

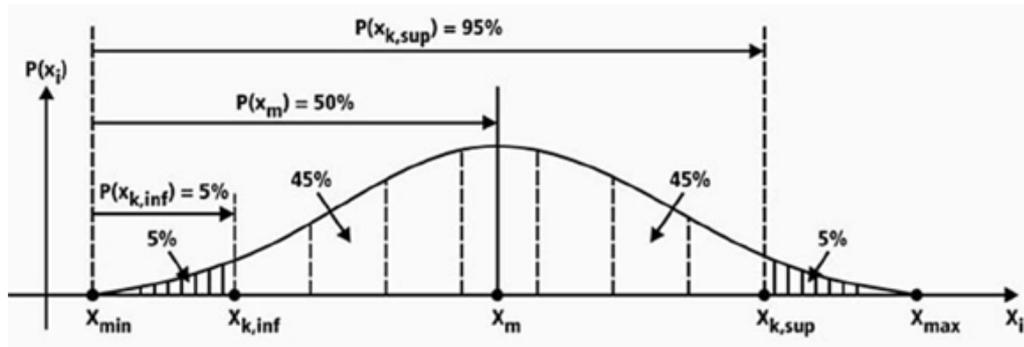


Figura 18 - Distribuição da densidade de frequência relativa $p(x)$ das resistências x (FUSCO, 2008)

O valor médio dos resultados experimentais é chamado resistência à compressão média do concreto, indicado por f_{cm} , na figura 18 corresponde ao valor x_m . para x variando de x_{min} ao x_{max} após ensaio de um número grande de corpos-de-prova, pode ser feito um gráfico com os valores obtidos de f_c versus a quantidade de corpos-de-prova relativos a determinado valor de f_c . Segundo a NBR 12655 (ABNT, 2006), a resistência à compressão característica do concreto (f_{ck}) é determinada pela expressão:

$$f_{ck,est} = f_{cm} - 1,65 \cdot S_d$$

Onde:

$f_{ck, est}$ = resistência característica estimada do concreto à compressão, em MPa;

f_{cm} = resistência média do concreto à compressão, em MPa;

1,65 = corresponde ao quantil de 5%;

S_d = desvio padrão da amostra de n corpos-de-prova, em MPa.

Na curva de Gauss encontram-se dois valores de fundamental importância: resistência média do concreto à compressão, f_{cm} , e resistência característica do concreto à compressão, f_{ck} . O valor f_{cm} é a média aritmética dos valores de f_c para o conjunto de corpos-de-prova ensaiados. O valor 1,65 corresponde ao quantil de 5%, ou seja, apenas 5% dos corpos-de-prova possuem $f_c < f_{ck}$, ou, ainda, 95% dos corpos-de-prova possuem $f_c \geq f_{ck}$. Portanto, pode-se definir f_{ck} como sendo o valor da resistência que tem 5% de probabilidade de não ser alcançado, em ensaios de corpos-de-prova de um determinado lote de concreto na figura 18

corresponde aos valores de $x_{k, inf}$. O S_d é o desvio padrão da amostra de n corpos-de-prova, dado pela expressão:

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{ci} - f_{cm})^2}{n - 1}}$$

Onde:

S_d = desvio padrão da amostra de n corpos-de-prova, em MPa

f_{ci} = valor da resistência do concreto à compressão obtido em cada ensaio, em MPa;

f_{cm} = resistência média do concreto à compressão, em MPa;

n = número de exemplares;

A NBR 12655 (ABNT, 2006) no subitem 7.2.3.1 determina que esse método de determinação da resistência característica estimada do concreto à compressão $f_{ck, est}$, é válida para lotes com número de exemplares $n \geq 20$, sendo S_d o desvio padrão do lote para $n - 1$ resultados em MPa. A NBR 12655 (ABNT, 2006) no subitem 7.2.3.1 considera para os critérios de aceitação do concreto para lotes com números de $6 \leq n < 20$, o valor estimado da resistência característica à compressão $f_{ck, est}$, na idade especificada é dada pela expressão:

$$f_{ck, est} = 2 \cdot \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m - 1} - f_m$$

Onde:

$f_{ck, est}$ = resistência característica estimada do concreto à compressão, em MPa;

f_{cm} = resistência média do concreto à compressão, em MPa;

f_{m-1} = valor obtido do corpo-de-prova igual ao número de ensaios dividido por dois menos um;

m = número de ensaios dividido por dois menos um;

Sendo $m = n/2$, e os resultados dos ensaios dos exemplares de controle são indicados em ordem crescente por seus valores $f_1 \leq f_2 \leq \dots \leq f_n$. Ainda segundo a NBR 12655 (ABNT, 2006) para o caso de $6 \leq n < 20$, recomenda-se que não se deve tomar para $f_{ck, est}$ valor menor que $\psi_6 \cdot f_1$, sendo f_1 o valor mais baixo da amostra e ψ_6 um coeficiente dado pela tabela 12 da NBR 12655.

Tabela 12 - Valores de ψ_6 (ABNT NBR 12655, 2006)

Condição de preparo	Numero de exemplares										
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	≥ 16
A	0,82	0,86	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	0,97	0,99	1,00	1,02
B ou C	0,75	0,80	0,84	0,87	0,89	0,91	0,93	0,96	0,98	1,00	1,02

NOTA – Os valores de n entre 2 e 5 são empregados para os casos excepcionais (

De acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2006) no item 7.2.3, para os critérios de aceitação do concreto pelo controle estatístico do concreto por amostragem parcial, tem-se que as amostras devem ser no mínimo seis exemplares para os concretos do grupo I (classe até o C50, inclusive) e de doze exemplares para os concretos do grupo II (classe superior a C50).

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Com o intuito de alcançar os objetivos proposto neste trabalho será abordada uma metodologia específica para o programa experimental, utilizando-se de aporte bibliográfico, normas e trabalhos desenvolvidos sobre o tema. Neste capítulo será abordada a metodologia empregada na pesquisa experimental, como: método de dosagem, a caracterização dos materiais empregados, os tipos de tratamentos aplicados nos resíduos cerâmicos, definição dos traços, as parcelas de substituição dos agregados graúdos naturais pelos agregados graúdos provenientes dos resíduos cerâmicos, produção dos corpos-de-prova e os ensaios de resistência mecânica.

3.1 METODOLOGIA DE PESQUISA EXPERIMENTAL

A pesquisa experimental englobou primeiramente a aquisição dos materiais utilizados, a coleta dos resíduos cerâmicos, a caracterização dos materiais empregados no experimento; a elaboração dos traços, a execução dos traços, com auxílio de equipamentos para seu desenvolvimento; a verificações das propriedades do concreto no estado fresco através do abatimento de tronco de cone (*Slump Test*); a confecção dos corpos-de-prova; o processo de cura e o método dos ensaios adotados para determinação da resistência mecânica a compressão.

Durante o processo de definição da pesquisa experimental se determinou que a resistência característica (f_{ck}) a ser alcançada pelo concreto seria de 25 MPa, tanto para o traço padrão que utilizaria o agregado graúdo natural, como para os traços que sofreriam as substituições parciais em porcentagem do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo derivado do resíduo da indústria cerâmica (RCV), e, também para o traço em que o agregado graúdo natural seria totalmente substituído pelo agregado graúdo derivado do resíduo da indústria cerâmica (RCV), a composição do traço se deu a partir da caracterização dos materiais, onde utilizou-se o método de dosagem da ABCP/ACI (Associação Brasileira de Cimento Portland / American Concrete Institute) NBR (ABNT,), adaptado do método ACI. 211.1-81 (ACI, 1985) para a realidade brasileira.

3.1.1 Método de dosagem da ABCP/ACI

O método de dosagem utilizado para a pesquisa experimental foi o método da ABCP/ACI (Associação Brasileira de Cimento Portland / American Concrete Institute) que é um método adaptado a partir do método ACI 211.1-81 (*Revised 85*) – *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*. Segundo Tutikian e Helene (2011) o método da ABCP/ACI é empregado em concretos cujas resistências ficam entre 10 a 40 MPa que requerem uma boa trabalhabilidade para a moldagem *in loco*, com uma consistência de semi-plástica à fluída. No método da ABCP/ACI o fator água/cimento (*a/c*) é fixado em função da resistência e da durabilidade, e, o consumo de água é obtido em função do abatimento do tronco de cone.

Segundo Boggio (2000) através do método de dosagem da ABCP a determinação da proporção entre agregado graúdo e miúdo é feita através do teor ótimo do agregado graúdo, com isso o consumo de areia fica em função do teor de pasta e agregado graúdo. O método fornece ainda um baixo teor de areia para misturas plásticas, facilitando identificação da proporção da argamassa na mistura. Este procedimento influencia diretamente na trabalhabilidade do concreto no estado fresco e no custo final. Tendo em vista que para este método o consumo de cimento varia de 200 a 400 kg/m³.

a) Vantagens do método da ABCP/ACI

O método da ABCP/ACI apresenta algumas vantagens, na sua utilização como método de dosagem, como:

- Facilidade na dosagem;
- Fornece bons resultados na utilização de seixo rolado como agregado graúdo;
- Fornece o menor teor de areia para misturas plásticas, proporcionando uma vantagem econômica;
- Facilidade de identificação de misturas inadequadas.

b) Desvantagens do método da ABCP/ACI

Em detrimento as suas vantagens, têm-se também algumas desvantagens, como:

- Limita a sua utilização em concreto com resistência entre 10 e 40 MPa;

- Não abrange todos os agregados;
- O gráfico que fornece a relação a/c não especifica o tipo de cimento, citando apenas a resistência à compressão ao 28º dia;
- Quando da não obtenção do f_{cj} , é necessário uma nova dosagem para a correção da a/c.

3.1.1.1 Desenvolvimento do método

Para determinar uma adequada dosagem de um concreto pelo método ABCP/ACI, deve-se seguir os seguintes procedimentos abaixo:

a) Saber qual o f_{ck} requerido no projeto estrutural para a determinação do f_{cj}

A resistência média prevista para a dosagem f_{cj} expressa em MPa, está definida no item 6.4.3 da NBR 12655 (ABNT, 96) e deve ser calculada pela fórmula:

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65.S_d$$

Onde:

f_{cj} = resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de j dias;

f_{ck} = resistência característica do concreto à compressão, especificada no projeto;

S_d = desvio padrão da dosagem.

É normal que se calcule a resistência média prevista para a idade de 28 dias. A tabela 13 apresenta o valor do desvio padrão, de acordo com a medição dos componentes do concreto e a verificação do teor de umidade, ou seja, em função do rigor da produção do concreto.

Tabela 13 - Valores de S_d em função do rigor da produção (ABNT NBR 12655, 2006)

S_d	Condição	Classe	Tipo de concreto
4,0	A	C10 e C80	Materiais dosados em massa e a água de amassamento é corrigida em função da correção da umidade dos agregados
5,5	B	C10 e C25	Cimento dosado em massa, agregados dosados em massa combinada com volume, a umidade do agregado miúdo é determinada e o volume do agregado miúdo é corrigido através da curva de inchamento.
7,0	C	C10 e C15	Cimento medido em massa, agregados e água em volume, umidade dos agregados estimada.

Segundo a NBR 12655 (ABNT, 2006) para as condições de preparo do concreto e a determinação da resistência média prevista de dosagem, depende do valor de S_d que está

ligado às condições de preparo do concreto. Segundo Tutikian e Helene (2011) para atender essa condição A da NBR 12655 (ABNT, 2006) é necessário a utilização de várias balanças ou equipamentos similares e organização da infraestrutura nos canteiros, inviabilizando o controle na maioria das obras, para esta condição B a norma é bastante conservadora devido a faixa de aplicabilidade está limitada até a concreto com resistência até 25 MPa, sendo que alguns experimentos mostrarem que se pode com facilidade alcançar 50 MPa, para a condição C é inviável sua aplicação em muitos casos, principalmente para concretos com funções estruturais devido a limitação de 15 MPa, sendo usual as empresas utilizar a condição B para concreto dosado no local.

b) Determinar o abatimento de tronco de cone – Slump Test Requerido

Após determinado a resistência média prevista para a dosagem, a próxima etapa é estabelecer a consistência de trabalho para o concreto fresco, através do ensaio de abatimento do tronco de cone descrito na NBR NM 51 (ABNT, 1998). A norma ACI 211.1-81 apresenta uma tabela onde são recomendados diferentes valores de abatimentos em função dos diversos tipos de construção e o tipo de peça estrutural a ser concretada e o tipo de lançamento.

Tabela 14 - Determinação do abatimento do tronco de cone para vários tipos de construção (ACI 211.1-81)

Tipos de construção	Abatimento do Tronco de Cone em (mm)	
	Máximo*	Mínimo
Fundações, Paredes e Sapatas armadas	75	25
Sapatas não Armadas, Caixões e Paredes de Vedação	75	25
Vigas e Paredes Armadas	100	25
Pilares de Edifícios	100	25
Pavimento e Laje	75	25
Concreto Massivo	50	25

* Podem ser aumentados de 25mm quando não são utilizados vibradores mecânicos.

Origem da Tabela: Reproduzida com a permissão do “American Concrete Intitude”

c) Determinação do DMC do agregado graúdo através da granulometria

Pelas dimensões das peças a serem concretadas (especificadas no projeto estrutural), e em função do diâmetro e das distancias entre as barras da armadura especificadas pela NBR 6118 (ABNT, 2008), deve-se realizar a granulometria do material disponível para a confecção

do concreto para se determinar a Dimensão máxima característica do agregado graúdo (DMC).

d) Estimar o consumo de água e do teor de ar incorporado

Em função da Dimensão máxima característica do agregado graúdo (DMC) e do abatimento de tronco de cone especificado para o concreto que será confeccionado, na tabela 16 é fornecida as quantidades de água de amassamento aproximadas, utilizando agregados graúdos proveniente de rocha britada, e agregado miúdos retirado de rios com módulos de finura maior ou igual a 1,80, e consumo de cimento em torno de 300 kg/m³. Segundo Rodrigues (1998), a quantidade de água fornecida pela tabela 15 são valores de referência iniciais e devem ser corrigidas através de tentativa ou experiências anteriores, efetuando ensaios de abatimento para cada modificação da mistura até chegar no valor especificado,

Tabela 15 - Determinação do consumo de água expressa em litros/m³ (RODRIGUES, 1990)

Abatimento em mm	Consumo de água*, em Kg/m ³				
	Dimensão máxima característica do agregados, em mm				
	9,5	19	25	32	38
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Para o método da ABCP/ACI Rodrigues (1998) recomenda a utilização da fórmula empírica que permite o ajuste da água de amassamento, de maneira interativa, a partir da quantidade de água inicialmente adicionada a mistura e o abatimento inicial.

$$Q_{requerida} = Q_{inicial} \cdot \left(\frac{Abat_{requerido}}{Abat_{inicial}} \right)^{0,10}$$

Onde:

Q = consumo de água da mistura;

$Abat.$ = abatimento pelo ensaio do tronco de cone (NBR NM 67);

$0,10$ = valor do coeficiente exponencial, que depende dos materiais empregados.

O método da ABCP/ACI fornece fatores de correção para a quantidade de água de amassamento empregada no caso de usar seixo rolado e/ou areias finas enquadradas na Zona

1 da NBR 7211 (ABNT, 2005), sendo que para a areia muito finas geram um aumento de 10% no consumo de água, e para seixos rolados podem ser reduzidos de 5% a 15% do consumo inicial determinado. A tabela 16 se refere ao método original da ACI, onde mostra duas situações de consumo uma com ar incorporado propositalmente e outra sem ar incorporado com uma redução do consumo de água do amassamento, segundo Boggio (2000) no Brasil não é comum a incorporação de ar, sendo uma prática freqüente em locais que apresentam condições climáticas severas como baixas temperaturas e congelamento da estrutura.

Tabela 16 - Determinação do consumo de água expressa em litros/m³ (ACI 211.1-81)

Consumo de água*, em kg/m ³								
Abatimento em mm	Dimensão máxima característica do agregado, em mm							
	9,5	12,5	19	25	38	50	75	150
Concreto sem ar Incorporado								
25	208	199	187	178	163	154	130	113
75 a 100	228	217	202	193	178	169	145	125
150 a 175	243	228	214	202	187	178	160	-
Mais de 175*	-	-	-	-	-	-	-	-
Teor aproximado de ar aprisionado em 5mm	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Concreto com ar Incorporado								
25 a 50	181	175	166	160	148	142	122	107
75 a 100	202	193	181	175	163	157	133	119
150 a 175	217	205	193	184	172	166	154	-
Mais de 175*	-	-	-	-	-	-	-	-
Teor recomendável total de ar, em %, em função do grau de exposição								
Fraco	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
Moderado	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5	3,0
Severo	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0

e) Determinação da relação água/cimento utilizando as curvas de ABRAMS

Para a determinação do fator água/cimento tanto o método original do ACI como a versão da ABCP recomenda como forma mais precisa de determinar esse fator o emprego das curvas de Abrams, de acordo Boggio (2000) a utilização da resistência do cimento presente no gráfico da figura 19 é fornecida de acordo com o fabricante, então ao adotar esta resistência é

justificada no caso da produção de volumes pequenos de concreto, e no caso de haver execução de ensaios físicos do cimento.

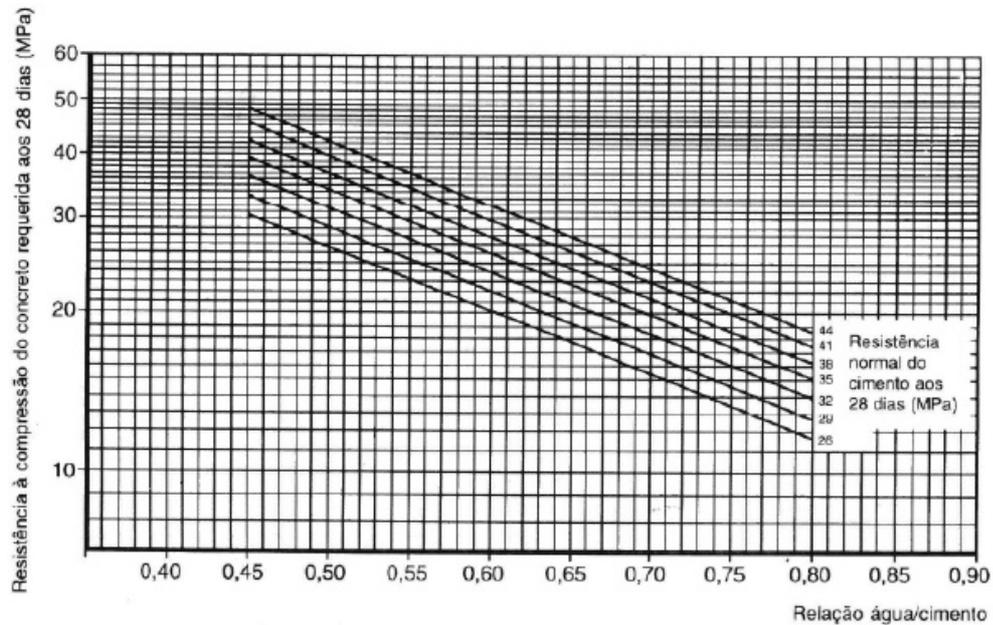


Figura 19 - Gráfico para a determinação da relação água/cimento em função das resistências do concreto e do cimento aos 28 dias de cura (BUCHER, 1989)

f) Cálculo do consumo de cimento

O consumo de cimento C é determinado em relação do consumo de água e do fator água/cimento segundo a equação a seguir:

$$C = \frac{Q_{\text{água}}}{f_{a/c}}$$

Onde:

C = consumo de cimento kg/m^3 ;

$Q_{\text{água}}$ = consumo de água kg/m^3 ;

$f_{a/c}$ = fator água/cimento

g) Estimativa do consumo de agregado graúdo

De acordo com Rodrigues (1998) utilizando a tabela 17 (construída com base em ensaios realizados pela ABCP), pode-se obter o volume máximo de agregado graúdo compactado seco, através do módulo de finura e da dimensão máxima característica do agregado graúdo.

Tabela 17 - Volume compactado seco (Vcs) de agregado graúdo por m³ de concreto, função do Módulo de finura da areia e da Dimensão máxima característica do agregado graúdo

Módulos de Finura da areia	Dimensão Máxima característica do agregado graúdo, em mm				
	9,50	19,00	25,00	32,00	38,00
(MF)	Volume compactado seco (Vcs) de agregado graúdo por m ³ de concreto				
1,80	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,00	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,20	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,40	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,60	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,80	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,00	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,20	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,40	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,60	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Obs.: Os volumes de agregado compactado seco referem-se à mistura de todos os tipos de brita que entram na composição do concreto

Fonte: RODRIGUES (1990)

h) Determinar a massa do agregado miúdo

Pelo método da ABCP a quantidade de areia no traço é determinada pelo método volumétrico admitindo que o volume de concreto, é composto pela soma dos volumes absolutos do cimento, da água, dos agregados e o volume do ar aprisionado. No caso de haver aditivo o seu volume deve ser considerado.

$$C_m = \left[1 - \frac{C}{\gamma_c} + \frac{C_b}{\gamma_b} + \frac{C_{ag}}{\gamma_{ag}} \right] \cdot \gamma_m$$

Onde:

C = consumo de cimento kg/m³;

C_m = consumo da areia kg/m³;

C_b = consumo da brita kg/m³;

C_{ag} = consumo de água kg/m³;

γ_c = massa específica do concreto kg/m³;

γ_b = massa específica da brita kg/m³;

γ_{ag} = massa específica da água kg/m³;

γ_m = massa unitária da areia kg/m³.

i) Determinação do traço unitário

O traço em massa é feita em função das relações dos diversos componentes em relação à massa de cimento.

$$1 : a : b : x$$

Sendo

$a = C_m/C \rightarrow$ quantidade de areia;

$b = C_B/C \rightarrow$ quantidade de brita;

$x = C_{ag}/C \rightarrow$ quantidade de água;

Após determinado o traço teórico, procede-se a mistura experimental, algumas recomendações devem ser tomadas como:

- Tentar reproduzir as condições de obra em laboratório para evitar erros de dosagem;
- A água de amassamento deve ser colocada sempre aos poucos;
- Corrigir o traço caso haja necessidade: na falta de argamassa, adicionar areia, mantendo constante a relação água/cimento e o consumo de cimento; no caso excesso de argamassa, adicionar brita, mantendo constante a relação a/c e consumo de cimento.
- Exsudação (falta de finos na mistura);
- Compensar a absorção de agregados caso seja necessário;

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS EMPREGADOS

Neste item serão demonstradas as caracterizações dos materiais utilizados na confecção do experimento, através de ensaios normatizados e informações dos fabricantes no caso do aglomerante.

3.2.1 Aglomerante (cimento)

O aglomerante utilizado no trabalho experimental segundo a NBR 11578 (ABNT, 1991) é classificado como CP II – Z 32 (Cimento Portland composto com adição de pozolana), com resistência mediana a sulfatos, da classe de resistência a compressão 32 MPa, resistência mínima ao 28 dias. O cimento comercializado no mercado local é proveniente da fábrica da

Nassau, localizada no município de Itaituba/PA, o mesmo é comercializado em sacos de 50 kg. Não foram necessários ensaios em laboratórios, pois os dados coletados foram obtidos junto à equipe técnica da Nassau, essas informações estão contidas na tabela 18.

Tabela 18 - Característica do aglomerante (NASSAU, 2014)

Tipo de ensaios	Cimento Portland (CP II – Z – 32)
Finura – peneira 75 µm	3,30%
Finura – peneira 150 µm	13,30%
Massa específica real (g/cm ³)	3,04 g/cm ³
Massa unitária (g/cm ³)	1,29 g/cm ³
Área específica	371 m ² /kg
Água na pasta de consistência normal	29,90%
Tempo de início de pega	190 min
Tempo de fim de pega	255 min
Expansibilidade Lê Chatelier a quente	0,50 mm
Resistência a compressão (1 dia)	15,90 MPa
Resistência a compressão (3 dia)	24,00 MPa
Resistência a compressão (7 dia)	27,80 MPa
Resistência a compressão (28 dia)	34,50 MPa

3.2.2 Agregado miúdo (Areia)

Foi utilizada na pesquisa experimental areia extraída de jazidas da região circunvizinha e comercializada na cidade de Santarém/PA, ela foi adquirida no comércio local de forma aleatória, ensacada e levada até o Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Federal do Pará IFPA (Campus Santarém). Para a caracterização da areia foram utilizados procedimentos normatizados e se atentou aos seguintes ensaios e normas correspondentes: granulometria segundo a NBR 7217 (ABNT, 1987); determinação do módulo de finura prescrito também na NBR 7217 (ABNT, 1987), determinação da massa específica de acordo com a NBR 9776 (ABNT, 1987), massa unitária de acordo com a NBR 7251 (ABNT, 1982) e a determinação do teor de umidade utilizando a NBR 6467 (ABNT, 1987). A areia empregada na pesquisa experimental foi submetida a uma secagem em estufa a 105 °C (figura 20) durante 48 h para que perdesse toda umidade contida nas amostras, de maneira a não alterar o

fator água/cimento adotados para a determinação do traço. A tabela 20 contém os resultados obtidos durante os ensaios de caracterização da areia.



Figura 20 - Estufa utilizada para secagem do material empregado na pesquisa experimental

3.2.2.1 Massa específica do agregado miúdo – determinação por meio do frasco Chapman.

De acordo com a NBR 9776 (ABNT, 1987), subitem 4.2, o frasco Chapman (figura 21) é feito de vidro composto de dois bulbos e de um gargalo graduado. No estrangulamento existente entre os dois bulbos deve haver um traço que corresponde a 200 cm^3 , e acima dos bulbos situa-se o tubo graduado de 375 cm^3 a 450 cm^3 , conforme figura 21. O frasco deve ser inicialmente aferido, verificando-se os devidos volumes correspondentes às graduações.



Figura 21 - Determinação da massa específica do agregado miúdo por meio do frasco de Chapman

Para o procedimento do ensaio, coloca-se água no frasco até a marca de 200cm³, deixando-o em repouso, para que a água aderida às faces internas escorra totalmente, em seguida coloca-se cuidadosamente 500g de agregado miúdo seco no frasco no qual deve ser devidamente agitado para eliminação das bolhas de ar. A amostra deve ser colhida de acordo com os critérios da NBR 7216 (ABNT, 1955), a amostra deve ser seca em estufa por 24 horas com temperaturas que variam entre 105 °C a 110 °C. A leitura no nível atingido pela água no gargalo do frasco indica o volume em cm³, ocupado pelo conjunto água-agregado. Nos ensaios realizados neste trabalho foram utilizadas 02 (duas) amostras que ficaram em repouso por 24 horas devidamente protegido para que não houvesse evaporação da água. Através da equação proposta na NBR 9776 (ABNT, 1987), subitem 7.1, determina-se a massa específica do agregado miúdo.

$$\gamma = \frac{500}{L - 200}$$

onde,

γ = massa específica do agregado miúdo; deve ser expresso em g/cm³;

L = leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo).

3.2.2.2 Massa unitária – estado solto

Massa unitária é a relação entre a massa de um agregado e seu volume compreendendo o volume aparente e o volume de vazios intergranulares. Conforme a NBR 7251 (ABNT, 1982), para a determinação da amassa unitária, utiliza-se para este ensaio um recipiente material metálico, onde a amostra é colocada sem qualquer adensamento, dessa forma reproduzindo a situação da obra.

Neste trabalho, foi utilizado o seguinte material: uma balança com limite de erro de aproximadamente 0,5% das massas a determinar; recipiente paralelepípedo de material metálico com 4000 cm³ de volume e 200 mm x 200 mm de base com 100 mm de altura; concha para lançar o material; haste para regularizar o agregado; pincel para limpeza da balança, e uma amostra do agregado miúdo, que fora posto por 24 horas em temperaturas que variam entre 105 °C a 110 °C.

A amostra ensaiada deve ter no mínimo o dobro do volume do recipiente utilizado, o enchimento do recipiente deve ser feito com uma altura de lançamento não superior a 10 a 12 cm da borda para simular as condições de obra. Após encher o recipiente em demasia,

utilizando uma régua metálica faz-se a arrasadura da superfície eliminando o excesso, em seguida pesa-se a amostra. Através da equação abaixo, determina-se a massa unitária.

$$\delta = \frac{(m_{ra} - m_r)}{V_{rec}}$$

Onde:

δ = massa unitária;

m_r = peso do recipiente vazio;

m_{ra} = peso do recipiente com agregado;

V_{rec} = volume do recipiente.

3.2.2.3 Granulometria dos agregados miúdos

Para a caracterização granumétrico da areia empregada no experimento, seguiram-se as recomendações descritas na NBR 7217 (ABNT, 1987), descreve a caracterização granumétrico é o processo utilizado para a determinação da percentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de partículas representa na massa total ensaiada. Através dos resultados obtidos desse ensaio é possível a construção da curva de distribuição granulométrica mostrada na figura 43.

Na determinação da granulometria empregou-se uma peneiradeira mecânica, onde foram adaptadas peneiras com telas de tecido metálico da Série Normal, como descritas na NBR 5734 (ABNT, 1986), a figura 22 mostra a peneiradeira com as peneiras acopladas. Para o ensaio da areia utilizada na pesquisa experimental deste trabalho procedeu-se da seguinte maneira: encaixou-se as peneiras da série normal, previamente limpas, numa seqüência crescente de aberturas da base para o topo do conjunto. Sob a peneira inferior (0,075 mm) foi colocado um fundo onde coletou-se o material que não foi retido nas peneiras.

Em seguida, coloca-se a amostra seca obtida no ensaio de material pulverulento sobre o conjunto de peneiras tampando, a seguir, a peneira superior. Então, promove-se a agitação mecânica do conjunto em um intervalo de 5 a 15 minutos, para este trabalho foi utilizado 15 minutos. Após a agitação mecânica, remove-se o material retido em cada peneira para uma bandeja para posterior pesagem. Escova-se a tela em ambos os lados para limpar a peneira. O material removido pelo lado interno é considerado como retido (juntar na bandeja) e o despreendido na parte inferior como passante (juntar com o material retido da peneira imediatamente inferior).



Figura 22 - Peneiradeira Mecânica com as peneiras da Série Normal utilizada na caracterização da granulometria da areia

3.2.3 Agregado graúdo natural e do resíduo da construção civil (resíduo da indústria cerâmica vermelha)

O seixo rolado foi o agregado graúdo utilizada na pesquisa experimental devido a sua disponibilidade no mercado local e suas características, a NBR 6502 (ABNT, 1995) define pedregulho como solos formados por minerais ou partículas de rocha, com diâmetro compreendido entre 2,00 mm até 60 mm quando arredondados ou semi-arredondados, são denominados de cascalho ou seixo. Os agregados do resíduo da construção civil podem ser constituídos de várias formas, por exemplo: fragmentos de concretos, argamassas, cerâmicas e outros materiais secundários, obtidos pela britagem e outras operações de descontaminação. Devido a essa conformação eles podem apresentar uma grande variação na sua composição (CONAMA, 2002).

Neste trabalho de pesquisa foi utilizado como resíduo da construção civil o resíduo da indústria cerâmica vermelha (RCV) local, segundo Redivo (2011), pode-se considerar como resíduos cerâmicos as peças inteiras, de tijolos e telhas que após a queima nos fornos, não apresentam as propriedades técnicas requeridas na comercialização e fragmentos devido à quebra das peças durante a retirada do forno, durante o armazenamento, transporte e destinação final, esses resíduos podem ser também chamados de cacos. O seixo utilizado nas obras na cidade de Santarém é proveniente de cidades vizinhas que chegam até Santarém através de vias fluviais em balsas ou em caminhões, o material foi adquirido no comércio local, e sua origem é da comunidade do Pariçó município de Monte Alegre/PA.



Figura 23 - Seixo utilizado no traço experimental

O resíduo cerâmico foi coletado no pátio de duas indústrias locais, onde são produzidas tijolos e telhas, o resíduo foi colido de forma aleatória sem uma proporção definida de cacos de tijolos ou de telhas. Após determinado a quantidade o material necessário para o experimento, tanto o seixo como o resíduo cerâmico foram ensacados e levados até o Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Federal do Pará IFPA (Campus Santarém). Para que fossem utilizados no concreto experimental os resíduos da indústria cerâmica vermelha (RCV) passaram por um processo de britagem para se alcançar o tamanho requerido para o experimento, utilizou-se para isso um britador de mandíbula conforme as figuras 24 e 25, que foi previamente graduado para o tamanho equivalente do diâmetro máximo do seixo.



Figura 24 - Britador de mandíbula utilizado para britar o resíduo da indústria cerâmica



Figura 25 - Processo de britagem do resíduo da indústria cerâmica

Este processo fez com que os agregados obtenham um formato menos lamelar, devido à forma como as peças de tijolos e telhas se fragmentam. Para a caracterização do agregado graúdo foram utilizados procedimentos normatizados e se atentou aos seguintes ensaios e normas correspondentes: granulometria segundo a NBR 7217 (ABNT, 1987); determinação da massa específica de acordo com a NBR 9776 (ABNT, 1987), massa unitária de acordo com a NBR 7251 (ABNT, 1982), ensaio de abrasão “Los Angeles” NBR NR 51 (ABNT, 2001), medição do teor de umidade total NBR 9939 (ABNT, 1987) e absorção de água NBR NR 53 (ABNT, 2003).

O seixo e o resíduo da indústria cerâmica vermelha (RCV) empregados na pesquisa experimental foram submetidos a uma secagem em estufa a 105 °C durante 48 h para que perdesse toda umidade contida nas amostras, de maneira a não alterar o fator água/cimento adotados para a determinação do traço. As tabelas 23 e 24 contêm os resultados obtidos durante os ensaios de caracterização do seixo e o resíduo da indústria cerâmica vermelha.

3.2.3.1 Massa específica do agregado graúdo – processo da balança

O princípio deste ensaio baseia-se na lei de Arquimedes: "Todo corpo imerso num fluido está sujeito a uma força de baixo para cima igual ao peso do líquido por ele deslocado". O valor do empuxo pode ser determinado pela diferença entre a massa de uma amostra em condições normais (m) e sua massa imersa (m_i). Se o fluido em questão for água (densidade igual a 1) o valor desta força em kgf será numericamente igual ao volume da amostra (em dm^3). Segundo a NBR NM 53 (ABNT, 2003), prepara-se a amostra e pesando o agregado em estado seco (m) em seguida, tara-se a balança com o recipiente que conterá a amostra quando imersa na água, coloca-se a amostra no recipiente imerso e faz-se a pesagem imersa (m_i), a

equação abaixo mostra o procedimento matemático para determinar a massa específica do agregado graúdo.

$$d_1 = \frac{m}{m - m_i}$$

Onde:

d_1 = massa específica;

m = peso do material seco;

m_i = peso do material imerso na água;

3.2.3.2 Massa unitária – estado solto

A determinação da massa unitária segue as orientações prescritas na NBR 7251 (ABNT, 1982), e seguem os mesmos preceitos descritos no item 3.2.2.2.

3.2.3.3 Análise Granulométrica

A granulometria dos agregados graúdos naturais e do resíduo da construção civil (resíduo da indústria cerâmica) foi realizado segundo a NBR 7217 (ABNT, 1987) e os resultados da granulometria do agregado graúdo natural (seixo) como do agregado graúdo proveniente do resíduo da indústria cerâmica vermelha (RCV) estão contidos nas tabelas 21 e 22 respectivamente.

3.2.3.4 Ensaio abrasão Los Angeles

O ensaio por abrasão Los Angeles é orientado pela NBR NR 51 (ABNT, 2001) e consiste em submeter cerca de 5.000 g de agregado graúdo (material retido na peneira # 4 com abertura 4,80 mm) a 500 revoluções para graduações A, B, C e D ou até 1.000 revoluções para graduações E, F e G, no interior do cilindro de uma máquina Los Angeles ($v = 33$ rpm), onde são colocadas 10 esferas padronizadas de aço são adicionadas ao agregado, causando um efeito danoso.



Figura 26 - Máquina “Los Angeles”

Após fim das revoluções é retirado o material do tambor e peneirá-lo em peneira com abertura de 1,7 mm, esse material deve ser lavado, secado e colocado em estufa a temperatura em torno de 105 °C, após secar na estufa o material é pesado em balança com precisão de 1 g.



Figura 27 – Seixo: a) Material antes do ensaio e b) material após o ensaio



Figura 28 – Resíduo de cerâmica vermelha: a) Material antes do ensaio e b) material após o ensaio

A resistência à abrasão mede, portanto, a capacidade que o agregado tem de se não alterar quando manuseado: carregamento, basculamento, estocagem. Mede também a friabilidade, isto é, a tendência do agregado desagregar.

3.2.3.5 Absorção de água

Segundo Fonseca (2006), a capacidade de absorção de água é uma propriedade muito importante que deve ser avaliada na produção de concreto. Devido à utilização do agregado graúdo do resíduo da indústria da cerâmica vermelha (RCV) em alguns traços é de fundamental importância que determine a absorção de água deste tipo de agregado tendo em vista a sua grande porosidade. De acordo com Fonseca (2006), observou-se que não seria possível utilizar a NBR NM 53 (ABNT, 2003) de forma direta, pois a referida norma se aplicada somente a agregados graúdos naturais.

Neste trabalho adotou-se uma metodologia para a determinação da absorção de água semelhante às adotadas por Dias (2004) e Fonseca (2006), devido a característica de aridez dos do agregado graúdo do resíduo da indústria da cerâmica vermelha (RCV) pela água é necessário caracterizar seu comportamento no momento de confeccionar a mistura, a metodologia do ensaio objetiva determinar a taxa de absorção de água com o tempo de contato do agregado com ela.

A metodologia proposta por Dias (2004) e Fonseca (2006), consistem em imergir uma massa seca do agregado graúdo do resíduo da indústria da cerâmica vermelha (RCV), contida em um cesto metálico, monitorando a variação da massa na balança hidrostática acoplada com resolução de 0,1 g. Para este trabalho adotou-se uma metodologia em que a massa seca de 6 (seis) amostras foram colocadas em um recipiente com água, estas amostras ficaram imersos por 2 (duas) horas, após este período foi medido a massa de cada amostra e colocadas em estufa por períodos determinados de uma em uma, sendo que a primeira amostra ficou na estufa por uma hora e a última ficou por seis horas. Os valores obtidos durante o ensaio estão contidos na tabela 25, e representado graficamente pela figura 46.

3.2.3.6 Resultado dos ensaios dos agregados graúdo

Nas tabelas 23 e 24 estão mostrados respectivamente os resultados obtidos durante os ensaios de caracterização do agregado graúdo natural e do resíduo da indústria cerâmica vermelha.

3.3 MÉTODO E ENSAIOS REALIZADOS

Como o objetivo geral deste trabalho de pesquisa é analisar a viabilidade técnica da utilização de resíduos gerados na fabricação de artefatos de cerâmica vermelha (tijolos e telhas) proveniente da indústria cerâmica vermelha na cidade de Santarém, como agregado graúdo na confecção de concreto de cimento Portland através da substituição parcial ou total do agregado graúdo natural por este resíduo sem a utilização de aditivos. Montou-se a seguinte seqüência a ser desenvolvida no laboratório:

- Determinação da dosagem do concreto utilizado no experimento através do método da ABCP/ACI;
- Determinação do grau de absorção de água do agregado graúdo reciclado do resíduo da indústria de cerâmica vermelha;
- Determinação da consistência do concreto no estado fresco através do abatimento de tronco de cone;
- Determinação da resistência mecânica do concreto no estado endurecido, através do ensaio de compressão.

3.3.1 Determinação da dosagem do concreto utilizado no experimento

Segundo Fusco (2008) o objetivo principal da dosagem do concreto é alcançar à resistência a compressão necessária para determinadas finalidades, com uma trabalhabilidade adequada que possibilite o seu lançamento e a moldagem das peças estruturais. Para alcançar a resistência mecânica do concreto requerida na pesquisa experimental, foi necessário que se estabelecesse uma dosagem de forma a determinar a melhor proporção entre os materiais que constituem a mistura experimental, levando-se em consideração a trabalhabilidade requerida, envolvendo o processo de mistura, lançamento e adensamento, bem como as condições estabelecidas na pesquisa experimental, quanto à resistência a compressão.

Para determinação dos traços de concreto com resíduos cerâmicos vermelha, primeiramente foi estabelecido um traço chamado de traço de referência, onde foi utilizado o agregado graúdo natural (seixo), o qual será usado como parâmetro de comparação. Em seguida, foram definidos 03 (três) traços com substituição parcial do agregado graúdo natural e 01 (um) traço com substituição total do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo do

resíduo da indústria cerâmica vermelha (RCV), na substituição parcial, tem-se os valores percentuais de 20%, 30% e 50

3.3.2 Confeccção e cura dos corpos-de-prova

A NBR 12655 (ABNT, 2006) no subitem 7.2.3.1 considera para os critérios de aceitação do concreto para lotes com números de $6 \leq n < 20$, para se determinar o valor estimado da resistência característica à compressão $f_{ck, est}$, na idade especificada foi confeccionado o mínimo de 6 (seis) corpos-de-prova para se determinar a sua resistência característica à compressão $f_{ck, est}$ de cada traço.

Dessa forma para o programa experimental foram confeccionados 12 (doze) corpos-de-prova para cada traço da tabela 12, sendo que 6 (seis) corpos de prova foram utilizados na idade de 7 (sete) dias, outros 6 (seis) para os 28 dias. Para a confecção dos corpos-de-prova, foram utilizados moldes cilíndricos com diâmetro de 10 cm e altura igual a 20 cm segundo a NBR 5738 (ABNT, 2003), antes da confecção dos corpos-de-prova os moldes receberam uma fina camada de óleo vegetal para facilitar a desmoldagem, a figura 29 mostra os corpos-de-prova preparados já com a camada de óleo vegetal.



Figura 29 - Moldes cilíndricos de 10x20 cm para confecção de corpo de prova

Para a confecção das misturas dos concretos utilizados no experimento, foram utilizados os equipamentos disponíveis no Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Federal do Pará – IFPA (Campus Santarém). Utilizou-se uma betoneira com capacidade do tambor igual a 145 litros e velocidade próxima a 34 rotações por minuto. O volume de concreto produzido para cada traço ficou próximo de 40 litros, o que corresponde em torno de 30 % da capacidade do tambor da betoneira.



Figura 30 - Betoneira utilizada na confecção do traço experimental

Todo o material foi devidamente medido nas proporções devidas para cada traço em massa como devido o desvio padrão adotado e a condição segundo a NBR 12655 (ABNT, 2006), como demonstrado nas figuras 31, 32, 33, 34 e 35.



Figura 31 - Pesagem do aglomerante (cimento Portland)



Figura 32 - Pesagem do agregado miúdo natural (areia)



Figura 33 - Pesagem do agregado gráúdo natural (seixo)



Figura 34 - do agregado gráúdo do resíduo da indústria cerâmica vermelha (RCV)



Figura 35 - Proporção do em massa material utilizado na confecção de um dos traços

Feito a medida das proporções dos componentes os mesmos foram colocados no tambor da betoneira na seguinte ordem: 50% da água de amassamento requerido no traço, em seguida o agregado gráúdo, o aglomerante (cimento), o agregado miúdo e o restante da água foi adicionado conforme a necessidade, em virtude da consistência, do abatimento do tronco de cone, e de possíveis correções em função do método de dosagem escolhido.

Devido o fato de que o agregado gráúdo do resíduo da indústria cerâmica vermelha (RCV) apresentar um valor relativamente grande de absorção de água, o mesmo foi

umedecido por uma hora antes da confecção do traço com suas porcentagens requeridas, conforme a figura 36. Pois de outra forma poderia influenciar na trabalhabilidade e no ensaio de abatimento de tronco de cone. A quantidade de água utilizada foi em função da média obtida na tabela 25 em função da massa do agregado graúdo do resíduo da indústria cerâmica vermelha (RCV).



Figura 36 - Adição de água em função da absorção de água do agregado graúdo do resíduo da indústria cerâmica vermelha (RCV)



Figura 37 - Graduação da quantidade de água colocada dentro da mistura

Tem-se também, que nos traços experimentais o agregado graúdo natural é o seixo e o próprio método da ABCP/ACI já fornece fatores de correção para a quantidade de água de amassamento empregada no caso de usar seixo rolado e/ou areias finas enquadradas na Zona 1 da NBR 7211 (ABNT, 2005), sendo que para a areia muito finas geram um aumento de 10% no consumo de água, e para seixos rolados podem ser reduzidos de 5% a 15% do consumo inicial determinado, e a introdução do agregado do resíduo da indústria da cerâmica vermelha (RCV) sem uma prévia umedecida poderia influenciar ainda mais na reologia do concreto estado fresco e uma distorção nos valores da resistência mecânica no estado endurecido do concreto. A figura 38 mostra a realização do ensaio de abatimento de tonco de cone (*Slump Test*).



Figura 38 - Execução do abatimento de tronco de cone (Slump test)

No processo de confecção dos corpos-de-prova o adensamento utilizado foi através de vibração, a NBR 5738 (ABNT, 2003) no subitem 7.4.1 estabelece a escolha do tipo de adensamento conforme o abatimento de tronco de cone determinado pela NBR NM 67 (ABNT, 1996), que no caso do experimento pode se tanto com haste (adensamento manual) ou por vibração devido o abatimento está no intervalo entre 30 mm a 150 mm.

Nos subitens 7.4.3.1 e 7.4.3.2 da NBR 5738 (ABNT, 2003) são indicados os procedimentos de adensamento por meio de vibrador, primeiramente coloca-se o concreto no molde em camadas de volume aproximadamente igual, o vibrador deve ser introduzido apenas uma vez no centro do corpo de prova ao longo do seu eixo, a vibração deve ser cessada quando a superfície do concreto apresentar um aspecto relativamente liso e praticamente não houver mais o aparecimento de bolhas de ar na superfície, evitando a vibração demasiada para que não ocorra segregação do agregado graúdo. O tempo de vibração depende da consistência do concreto e da eficiência do vibrador.



Figura 39 - Adensamento dos corpos de prova através de vibração

Após a moldagem dos corpos-de-prova eles foram colocados a em local reservado de maneira que nada possa perturbar a pega e o início da cura durante as primeiras 24 horas no caso de corpos-de-prova cilíndricos.



Figura 40 – Corpos-de-prova protegidos, nas primeiras horas para que não sofram influência das intempéries

Para a cura dos corpos-de-prova foi adotado a chamada cura em tanque com água saturada de hidróxido de cálcio, segundo Pinto (2009) este tipo de cura tem como objetivo evitar a saída dos íons de cálcio para a água. Antes dês serem armazenados os corpos-de-prova devem ser identificados.



Figura 41 – Corpos-de-prova imersos em água saturada de hidróxido de cálcio
(http://2.bp.blogspot.com/_OSuuUYX1Bhk/S5zNMRkm5OI/AAAAAAAAAvC/PwJky-j9-TE/s400/DSC08886.JPG)

Depois do período de cura de 7 (sete) e 28 (vinte e oito) dias no tanque com água saturada de hidróxido de cálcio, os corpos-de-prova são retirados para serem submetidos aos ensaios de carga de compressão axial. No processo de confecção as superfícies das suas extremidades inferiores e superiores podem apresentar irregularidades, que podem ser corrigidos por capeamento ou retificação de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2003).

Neste experimento foi escolhido o processo de retificação, segundo o subitem 9.4.1 da NBR 5738 (ABNT, 2003), o processo de retificação consiste na remoção por meio mecânico de uma camada fina camada da superfície superior do corpo-de-prova, nesse processo foi utilizada uma retificadora conforme a figura 42.



Figura 42 - Retificador de corpo-de-prova

4 RESULTADOS OBTIDOS

4.1 RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DOS AGREGADOS

O presente capítulo apresenta os resultados obtidos durante o programa experimental, tanto na caracterização dos elementos constituintes, como na confecção do concreto, os ensaios realizados no estado fresco e no estado endurecido.

4.1.1 Resultados da caracterização do agregado miúdo (areia)

O resultado da granulometria do agregado miúdo obtido após o peneiramento mecânico do material está representado na tabela 19 e na curva granulométrica da figura 43.

Tabela 19 - Caracterização da areia utilizada na pesquisa experimental, ensaio de Granulometria

AMOSTRA: Agregado miúdo - areia natural							
ORIGEM: Município de Santarém/PA							
Peneiras (mm)	Pesos (g)	Porcentagens		Limites da ABNT-NBR 7211 (Porcentagens Acumuladas)			
		Retido (%)	Acumulado (%)	Muito Fina	Fina	Média	Grossa
9,5	0,00	0	0	0	0	0	0
6,3	0,00	0	0	0 - 3	0 - 7	0 - 7	0 - 7
4,8	0	0,00	0,00	0 - 5	0 - 10	0 - 11	0 - 12
2,4	4,00	0,40	0,40	0 - 5	0 - 15	0 - 25	0 - 40
1,2	38,00	3,80	4,20	0 - 10	0 - 25	10 - 45	30 - 70
0,6	102,00	10,21	14,41	0 - 20	21 - 40	41 - 65	66 - 85
0,3	522,00	52,25	66,67	50 - 85	60 - 68	70 - 92	80 - 95
0,15	306,00	30,63	97,30	85 - 100	90 - 100	90 - 100	90 - 100
0,075	26,00	2,60	99,90	////////	////////	////////	////////
Fundo	1,00	0,10	100	100	100	100	100
Totais	999,00	100,00	////////	////////	////////	////////	////////
Módulo de Finura: 1,83							
Diâmetro Máximo Característico: 1,20 mm							

O gráfico de granulometria da areia apresentado na figura 43 mostra um comportamento granulométrico contínuo, isto é bem graduada, da areia empregada no experimento.

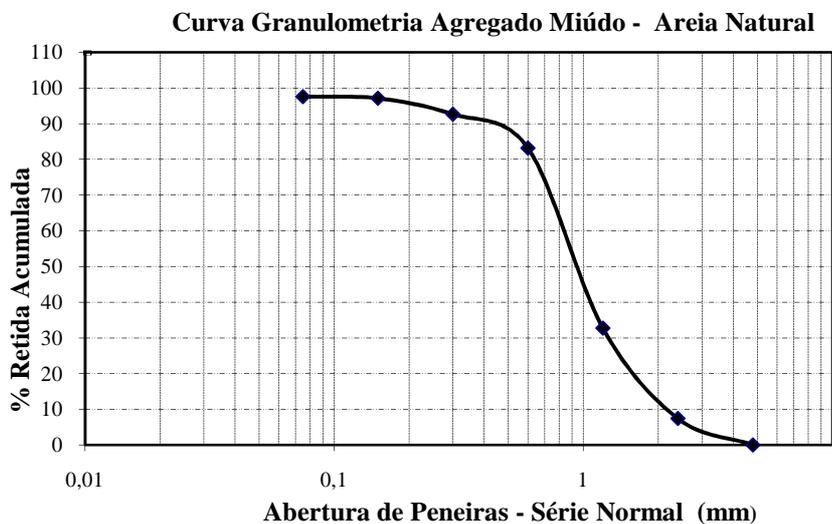


Figura 43 - Curva granulométrica da areia utilizada na pesquisa experimental

A tabela 20 apresenta os resultados obtidos durante os ensaios de caracterização do agregado miúdo (areia) utilizado na determinação dos traços deste trabalho.

Tabela 20 - Resultados obtidos durante ensaios de caracterização da areia utilizada na pesquisa experimental

MATERIAL: Agregado miúdo - areia		
ORIGEM: Cidade de Santarém/PA		
Ensaio	Norma Utilizada	Resultados Obtidos
Módulo de Finura	NBR 7217 (ABNT, 1987)	1,83 (Areia Fina)
Massa Específica	NBR 9776 (ABNT, 1987)	2,63 kg/dm³
Massa Unitária	NBR 7251 (ABNT, 1982)	1,50 kg/dm³
Teor de Umidade	NBR 6467 (ABNT, 1987)	2,00 %

4.1.2 Resultados da caracterização do agregado graúdo natural e do resíduo da indústria da cerâmica vermelha (RCV)

A granulometria do agregado graúdo natural e do resíduo da indústria da cerâmica vermelha (RCV) foi realizada segundo a NBR 7217 (ABNT, 1987) e os resultados da granulometria do agregado graúdo natural (seixo) como do agregado graúdo da indústria da

cerâmica vermelha (RCV) estão contidos nas tabelas 21 e 22 e representadas nos gráficos das figuras 24 e 25 respectivamente.

Tabela 21 - Caracterização do seixo utilizado na pesquisa experimental, ensaio de Granulo

AMOSTRA: Agregado graúdo – seixo rolado								
ORIGEM: Pariçó – Município de Monte Alegre/PA								
Peneiras (mm)	Pesos (g)	Porcentagens		Cálculo M.F	Limites da ABNT-NBR 7211 (% - porcentagens acumuladas)			
		% Retido	% Acumulado		Graduação 0	Graduação 1	Graduação 2	Graduação 3
50	0,00	0	0	//////////	--	--	--	0
37	0,00	0	0	0	--	--	--	0 - 30
32	0,00	0,00	0,00	//////////	--	--	0	75 - 100
25	0,00	0,00	0,00	//////////	--	0	0 - 25	87 - 100
19	26,67	1,33	1,33	1,33	--	0 - 10	75 - 100	95 - 100
12,5	744,67	37,23	38,57	//////////	0	--	90 - 100	--
9,5	787,33	39,37	77,93	77,93	0 - 10	80 - 100	95 - 100	--
6,3	259,33	12,97	90,90	//////////	--	92 - 100	--	--
4,8	36,00	1,80	92,70	92,70	80 - 100	95 - 100	--	--
2,4	38,00	1,90	94,60	94,60	95 - 100	--	--	--
Fundo	108,00	5,40	100,00	100	--	--	--	--
Totais	2000,00	100,00	100,00	//////////	//////////	//////////	//////////	//////////

Módulo de Finura: 2,67

Diâmetro Máximo Característico: 19 mm

O agregado graúdo natural (seixo) apresenta uma curva granulométrica cujo primeiro trecho apresenta continuidade, e um segundo trecho tendendo a descontinuidade como mostrada na figura 44.

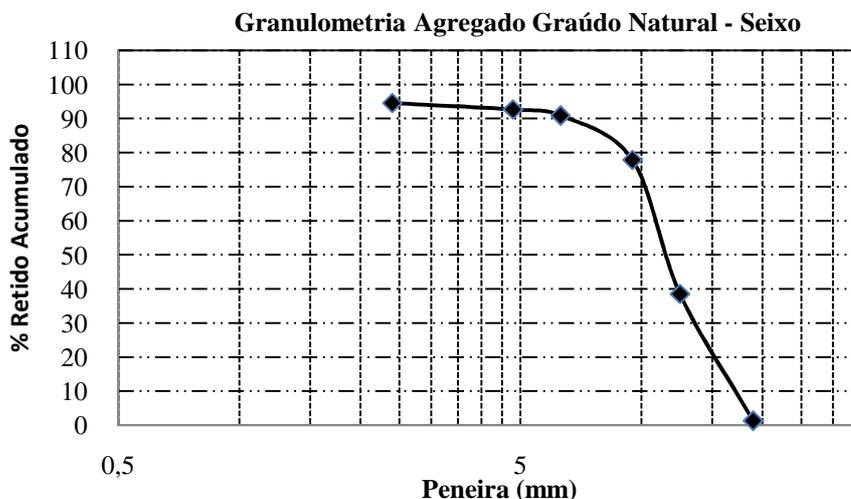


Figura 44 - Curva granulométrica do seixo utilizada na pesquisa experimental

Tabela 22 - Caracterização do resíduo da indústria cerâmica vermelha utilizada na pesquisa experimental, ensaio de Granulometria

AMOSTRA: Agregado graúdo – resíduo da indústria de cerâmica vermelha (RCV)								
ORIGEM: Município de Santarém/PA								
Peneiras (mm)	Pesos (g)	Porcentagens		Cálculo	Limites da ABNT-NBR 7211 (% - PORCENTAGENS ACUMULADAS)			
		% Retido	% Acumulado		M.F	Graduação 0	Graduação 1	Graduação 2
50	0,00	0	0	//////////	--	--	--	0
37	0,00	0	0	0	--	--	--	0 - 30
32	0,00	0,00	0,00	//////////	--	--	0	75 - 100
25	0,00	0,00	0,00	//////////	--	0	0 - 25	87 - 100
19	104,00	5,20	5,20	5,20	--	0 - 10	75 - 100	95 - 100
12,5	788,00	39,40	44,60	//////////	0	--	90 - 100	--
9,5	462,00	23,10	67,70	67,70	0 - 10	80 - 100	95 - 100	--
6,3	354,00	17,70	85,40	//////////	--	92 - 100	--	--
4,8	110,00	5,50	90,90	90,90	80 - 100	95 - 100	--	--
2,4	134,00	6,70	97,60	97,60	95 - 100	--	--	--
Fundo	48,00	2,40	100,00	100	--	--	--	--
Totais	2000,00	100,00	100,00	//////////	//////////	//////////	//////////	//////////

Módulo de Finura:
Diâmetro Máximo Característico: 19 mm

Observa-se que o gráfico granulometria do agregado graúdo a partir dos resíduos da indústria de cerâmica vermelha (RCV) representado na figura 45, apresentou uma boa continuidade garante que a maioria dos vazios sejam preenchidos pelos seus grãos.

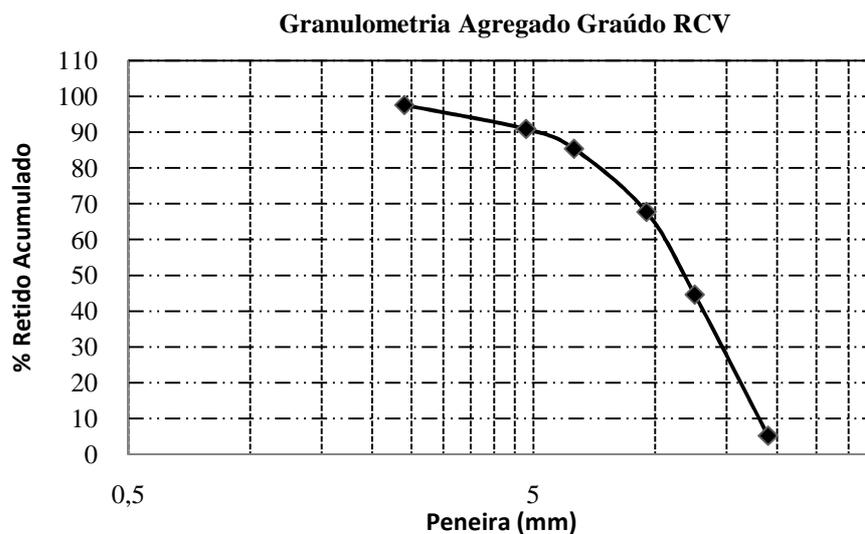


Figura 45 - Curva granulométrica do resíduo da indústria de cerâmica vermelha (RCV) utilizada na pesquisa experimental

Nas tabelas 23 e 24 são mostrados os resultados obtidos durante os ensaios para determinação do módulo de finura, massa específica, massa unitária, abrasão “Los Angeles” e absorção de água dos agregados graúdos naturais e dos resíduos da indústria da cerâmica vermelha (RCV).

Tabela 23 - Resultados obtidos durante ensaios de caracterização do agregado graúdo natural utilizado na pesquisa experimental

MATERIAL: Seixo lavado		
ORIGEM: Comunidade do Pariçó – Monte Alegre/PA		
Ensaio	Norma Utilizada	Resultados Obtidos
Módulo de Finura	NBR 7217 (ABNT, 1987)	2,67
Massa Específica	NBR 9776 (ABNT, 1987)	2,63 kg/dm³
Massa Unitária	NBR 7251 (ABNT, 1982)	1,62 kg/dm³
Abrasão “Los Angeles”	NBR NR 51 (ABNT, 2001)	74,94 %
Absorção de água	NBR NR 53 (ABNT, 2003)	-
Teor de Umidade	NBR 9939 (ABNT, 1987)	1,20 %

Tabela 24 - Resultados obtidos durante ensaios de caracterização do agregado graúdo do resíduo da indústria cerâmica vermelha utilizada na pesquisa experimental

MATERIAL: Resíduo da indústria de cerâmica vermelha (RCV)		
ORIGEM: Santarém/PA		
Ensaio	Norma Utilizada	Resultados Obtidos
Módulo de Finura	NBR 7217 (ABNT, 1987)	-
Massa Específica	NBR 9776 (ABNT, 1987)	1,15 kg/dm³
Massa Unitária	NBR 7251 (ABNT, 1982)	1,24 kg/dm³
Abrasão “Los Angeles”	NBR NR 51 (ABNT, 2001)	39,73%
Absorção de água	NBR NR 53 (ABNT, 2003)	13,90 %
Teor de Umidade	NBR 9939 (ABNT, 1987)	1,50 %

4.1.3 Absorção de água do resíduo da indústria da cerâmica vermelha (RCV)

Os valores obtidos durante o ensaio de absorção de água do agregado graúdo do resíduo da indústria de cerâmica vermelha (RCV), estão contidos na tabela 25, e representado graficamente pela figura 30.

Tabela 25 – Absorção de água pelo agregado graúdo do resíduo da indústria da cerâmica vermelha (RCV) em função do tempo de secagem em estufa

Tempo de saturação (hs)	Tempo de secagem a 105 °C (hs)	Massa saturada (g)	Massa seca em estufa (g)	Absoção de água (%)
2	1	1300,448	1132,733	12,90%
2	2	1300,235	1119,146	13,93%
2	3	1300,065	1116,254	14,14%
2	4	1300,292	1116,060	14,17%
2	5	1300,455	1116,979	14,11%
2	6	1300,560	1117,060	14,11%

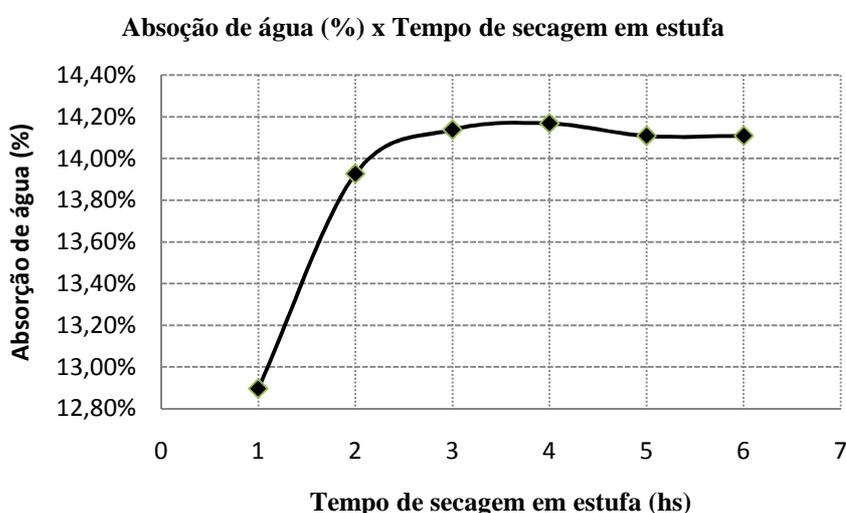


Figura 46 - Curva de absorção de água em porcentagem em função do tempo de secagem em estufa do RCV

Segundo Barra (1996) apud Leite (2001), a capacidade de absoção do material cerâmico calculada em função da massa do material seco em estufa para frações entre 12 – 20 mm (tabela – 6), fica entorno de 14,40 %, e de acordo com a metodologia adotada por Dias (2004) e Fonseca (2006) o valor máximo encontrado para absorção de água para este tipo de agregado graúdo foi de 16,08 %, onde em determinado período de tempo a taxa de absorção permanece constante, neste trabalho, o valor máximo obtido de absorção de água foi de 14,17 %, permanecendo completamente constante a partir de 14,11 % para um período de seis horas, o que mostra que os valores encontrados neste trabalho seguem um comportamento encontrado em outros trabalhos relacionados ao tema.

4.1.4 Determinação da dosagem do concreto utilizado no experimento

Utilizando os dados obtidos no laboratório, quanto às propriedades físicas dos materiais constituintes e sua proporção dentro das misturas utilizadas na pesquisa experimental, com base nesses ensaios executados e utilizando o método da ABCP/ACI, obtiveram-se os traços contidos na tabela 26.

Tabela 26 - Quantidade dos materiais utilizados nos traços

Traços	Cimento (kg)	Areia (kg)	Seixo (kg)	Resíduo cerâmico (kg)	Fator a/c	Água (ml)
TR-1 (traço de referência)	8,50	7,82	17,00	-	0,52	4.010,0
TCV-20* (traço com 20% de substituição do agregado graúdo natural pelo RCV)	10,50	9,66	16,80	4,20	0,52	4.410,0
TCV-30 (traço com 30% de substituição do agregado graúdo natural pelo RCV)	8,50	7,82	11,90	5,10	0,52	4.000,0
TCV-50 (traço com 50% de substituição do agregado graúdo natural pelo RCV)	8,50	7,82	8,50	8,50	0,52	3.600,0
TCV-100 (traço com 100% de substituição do agregado graúdo natural pelo RCV)	8,50	7,82	-	17,00	0,52	6.850,0

4.2 RESULTADOS OBTIDOS PARA O CONCRETO

4.2.1 Estado fresco

Foi realizado para cada traço o ensaio de abatimento do tronco de cone (slump test), imediatamente após a mistura de acordo com a norma ABNT NM 67: 1996, a Tabela 27 apresenta os resultados dos ensaios de abatimento para cada traço de concreto produzido.

Tabela 27 - Quantidade dos materiais utilizados nos traços

Traços	Abatimento de tronco de cone em mm (<i>Slump test</i>) Requerido	Abatimento de tronco de cone em mm (<i>Slump test</i>) Medido
TR-1 (traço de referência)	80 ± 20	84
TCV-20 (traço com 20% de substituição do agregado graúdo natural pelo RCV)	80 ± 20	65
TCV-30 (traço com 30% de substituição do agregado graúdo natural pelo RCV)	80 ± 20	65
TCV-50 (traço com 50% de substituição do agregado graúdo natural pelo RCV)	80 ± 20	60
TCV-100 (traço com 100% de substituição do agregado graúdo natural pelo RCV)	80 ± 20	60

Obs.: Valores obtidos após o ajuste no traço

A figura 47 representa os resultados obtidos durante o ensaio de abatimento de tronco de cone, observa-se que quanto maior o percentual de adição do RCV, menor será o abatimento.

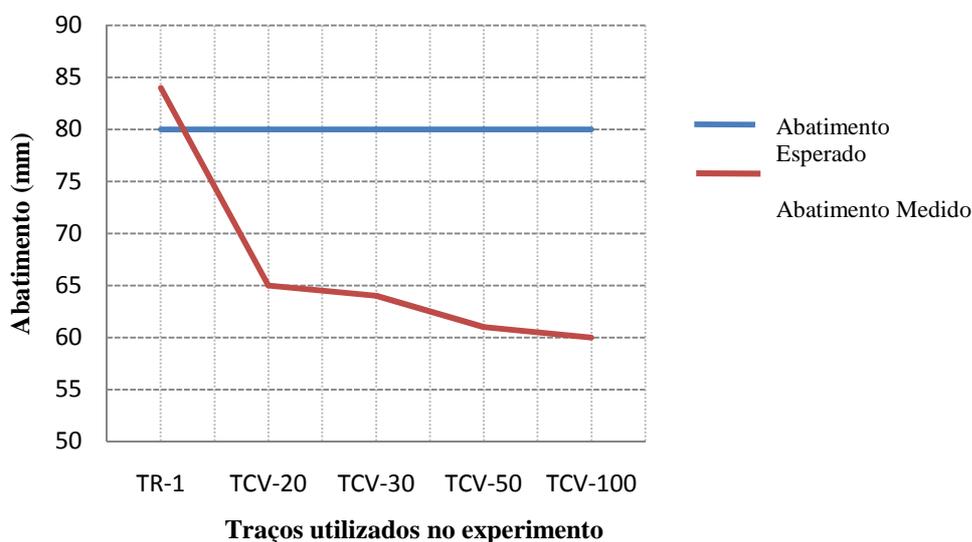


Figura 47 - Decréscimo do abatimento em função do acréscimo do RVC

A diminuição da medida de abatimento pode está relacionada com o modulo de finura da areia (areia fina) e com a capacidade de absorção de água que os resíduos cerâmicos

possuem. Os resultados obtidos no abatimento de tronco de cone comprovam as observações feitas durante a confecção dos traços com resíduo da indústria cerâmica vermelha (RVC). Durante a etapa de mistura do material na betoneira, observou-se que a consistência da mistura de cada traço era menor, conforme o aumento do percentual de adição de resíduo da indústria cerâmica vermelha (RVC).

A figura 42 está relacionada às misturas com substituição parcial do agregado graúdo natural pelo resíduo da indústria cerâmica vermelha (RCV), no momento em que foi introduzido o 50% da água de amassamento, o aglomerante, o agregado graúdo natural (seixo) e o agregado de resíduo da indústria cerâmica vermelha (RVC) nas proporções da tabela 26, observou-se que durante alguns ciclos da betoneira o agregado natural é envolvido completamente pela pasta (cimento e água) formando pequenos torrões, enquanto que os agregados graúdos de resíduo da indústria cerâmica vermelha (RVC) apresentam um aspecto lavado, havendo pouca aderência da pasta com a sua superfície, provavelmente em virtude de a sua superfície apresentar aspecto liso devido o processo de queima da mistura da argila.



Figura 48 - Momento da mistura (TCV-30) do aglomerante e dos agregados graúdos na proporção de 70% de agregado graúdo natural e 30 de RVC

No segundo momento quando foi introduzido o agregado miúdo (areia) à mistura, observou-se que o concreto começou apresentar um aspecto de “farofa” mais homogênea devido à formação da argamassa (cimento, areia e água), e que a formação desta argamassa durante o processo de mistura dentro do tambor da betoneira envolver melhor os agregados graúdos, mas com pouca trabalhabilidade conforme a figura 49.



Figura 49 - Observa-se o aspecto de “farofa” da mistura TCV-30

Com o acréscimo da água de amassamento restante, o concreto apresentou um aspecto mais coeso e consistente, onde os agregados graúdos estão totalmente envolvidos pela argamassa. Este comportamento foi observado em todos os traços com substituição parcial ou total do agregado graúdo natural pelo de resíduo da indústria cerâmica vermelha (RVC). A figura 50 mostra um comportamento do abatimento de tronco de cone com a mistura bastante coesa, mas com boa trabalhabilidade.



Figura 50 - Aspecto mais coeso das misturas com substituição do agregado natural pelo agregado RCV após a retirada da betoneira para execução do abatimento de tronco de cone.

4.2.2 Estado endurecido – resistência a compressão axial NBR 5739 (ABNT, 2007)

Após o período de cura os corpos de prova foram submetidos a ensaios de resistência a compressão axial, até a data de ensaio os corpos de prova foram mantidos à cura no tanque com água saturada de hidróxido de cálcio, depois de retirados do tanque os corpos-de-prova passaram pelo processo de retificação da sua superfície para retirar as imperfeições ocorridas durante o processo de moldagem de acordo com NBR 5738 (ABNT, 2003).

Foram confeccionados 12 (doze) corpos-de-prova para cada traço, sendo que 6 (seis) foram rompidos nos primeiros 7 (sete) dias e 6 (seis) para os 28 (vinte e oito) dias. Antes de serem levados a prensa, foi colocado nas extremidades dos corpos-de-prova um cape metálico com uma camada de borracha tipo neoprene para uniformizar a transmissão da carga de compressão. A figura 51 mostra a seqüência do ensaio de compressão axial de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007).

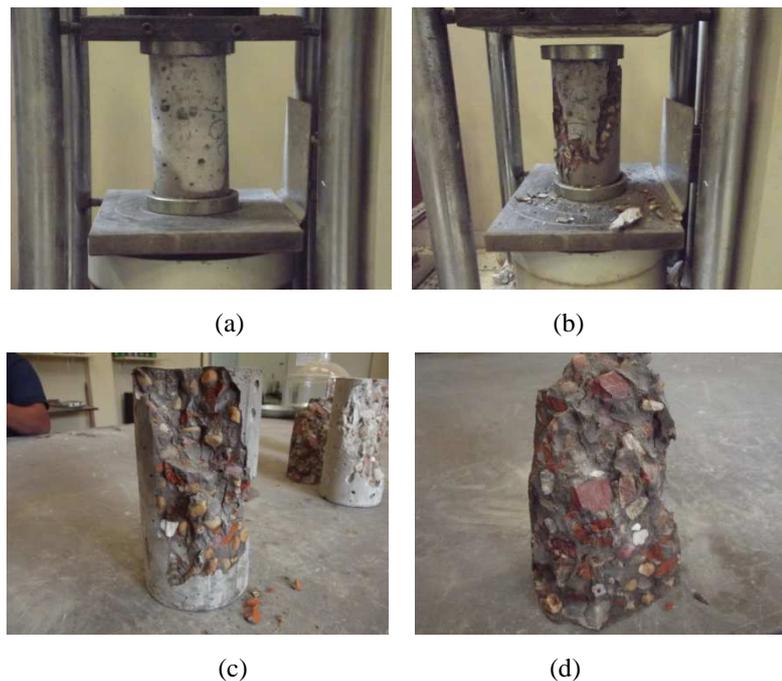


Figura 51 – (a) Começo do ensaio a compressão, (b) ruptura do corpo-de-prova, (c) e (d) corpos-de-prova após a ruptura.

Os resultados referentes ao ensaio de resistência à compressão axial aos 7 (sete) e 28 (vinte e oito) dias estão apresentados na Tabela 28 e 29. A tabela 28 apresenta a resistência à compressão axial para cada corpo-de-prova, bem como a média obtida para cada grupo de corpo-de-prova correspondente a cada traço desenvolvido neste trabalho. Enquanto que a tabela 29 apresenta o ganho de resistência para cada traço em função do período de cura do concreto em MPa e em porcentagem

Tabela 28 -- Resultados dos ensaios a compressão dos corpos-de-prova nas idades de 7 e 28 dias calculados a parti da expressão $f_{cj} = f_{ck} + 1,65S_d$

Traço	Número do Corpo-de-prova	Para idade de 7 dias			Para idade de 28 dias		
		Carga (kN)	Resistência à Compressão f_c (Mpa)	Resistência Média à Compressão f_{cm} (Mpa)	Carga (kN)	Resistência à Compressão f_c (Mpa)	Resistência Média à Compressão f_{cm} (Mpa)
Padrão	CP-01	157,23	20,02	20,21	207,94	26,48	27,05
	CP-02	160,18	20,39		213,44	27,18	
	CP-03	158,45	20,17		212,32	27,03	
	CP-04	157,89	20,10		208,89	26,60	
	CP-05	159,05	20,25		213,52	27,19	
	CP-06	159,42	20,30		212,51	27,06	
TCV-20	CP-07	163,62	20,83	20,60	220,75	28,11	27,85
	CP-08	160,82	20,48		217,91	27,75	
	CP-09	157,29	20,03		209,98	26,74	
	CP-10	162,81	20,73		221,28	28,17	
	CP-11	163,18	20,78		219,48	27,94	
	CP-12	157,46	20,05		211,55	26,94	
TCV-30	CP-13	159,19	20,27	19,70	209,24	26,64	26,03
	CP-14	166,61	21,21		203,81	25,95	
	CP-15	154,18	19,63		193,40	24,63	
	CP-16	146,25	18,62		184,92	23,54	
	CP-17	152,58	19,43		205,13	26,12	
	CP-18	155,34	19,78		208,84	26,59	
TCV-50	CP-19	161,49	20,56	18,53	213,25	27,15	23,16
	CP-20	130,55	16,62		169,78	21,62	
	CP-21	149,24	19,00		192,79	24,55	
	CP-22	132,40	16,86		160,54	20,44	
	CP-23	143,58	18,28		171,01	21,77	
	CP-24	147,46	18,78		193,25	24,61	
TCV-100	CP-25	74,74	9,52	9,93	88,60	11,28	12,02
	CP-26	69,63	8,87		84,42	10,75	
	CP-27	84,04	10,70		102,14	13,01	
	CP-28	79,13	10,08		99,34	12,65	
	CP-29	77,88	9,92		96,21	12,25	
	CP-30	78,09	9,94		92,57	11,79	

O gráfico da figura 52 corresponde a resistência à compressão do concreto para cada traço deste trabalho após 7 (sete) dias de cura.

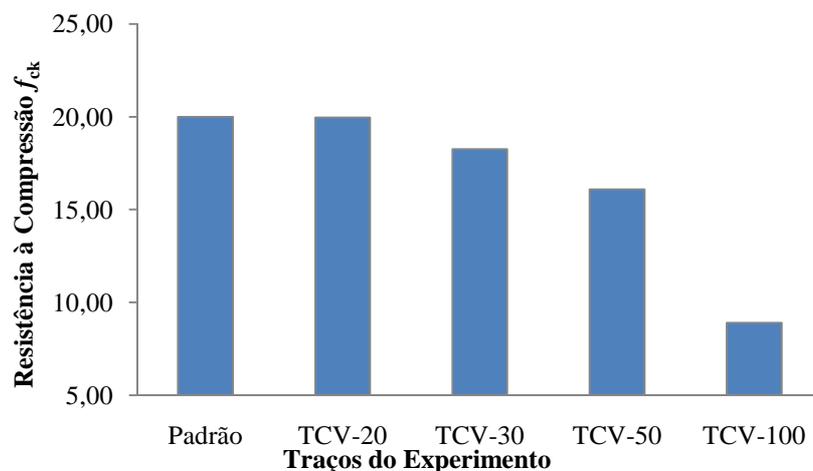


Figura 52 - Gráfico que mostra a variação da resistência do concreto para cada traço a 7 dias de cura

Na idade de 7 dias de cura os concretos utilizados no experimento apresentou o seguinte intervalos de resistência à compressão axial:

- a) No concreto padrão utilizado como referência tem-se o seguinte intervalo de 20,02 a 20,39 MPa com uma variação de 1,81%;
- b) Para o concreto com substituição de 20% de agregado graúdo natural pelo resíduo da indústria cerâmica vermelha (traço TCV-20), apresentou um intervalo de 20,03 a 20,83 MPa com uma variação de 3,84 %, observa-se que a variação entre mínimo e máximo dos valores de resistência a compressão aumentou devido a substituição de RVC;
- c) No concreto com substituição de 30% de agregado graúdo natural pelo resíduo da indústria cerâmica vermelha (traço TCV-30), apresentou um intervalo de 18,62 a 20,27 MPa com uma variação de 8,14 %, esse comportamento pode está relacionado com a falta de homogeneização do agregado graúdo;
- d) Para o concreto com substituição de 50% de agregado graúdo natural pelo resíduo da indústria cerâmica vermelha (traço TCV-50), apresentou um intervalo de 16,62 a 20,56 MPa com uma variação de 19,16 %, quanto maior a falta de homogeneização do agregado graúdo maior a variação entre a resistência dos corpos-de-prova no mesmo traço;
- e) No concreto com substituição de 100% de agregado graúdo natural pelo resíduo da indústria cerâmica vermelha (traço TCV-100), o intervalo de 8,87 a 10,70 MPa

apresentou uma variação de 17,10 %, possivelmente em função do formato do agregado graúdo, o seu arranjo dentro da argamassa e taxa de absorção de água;

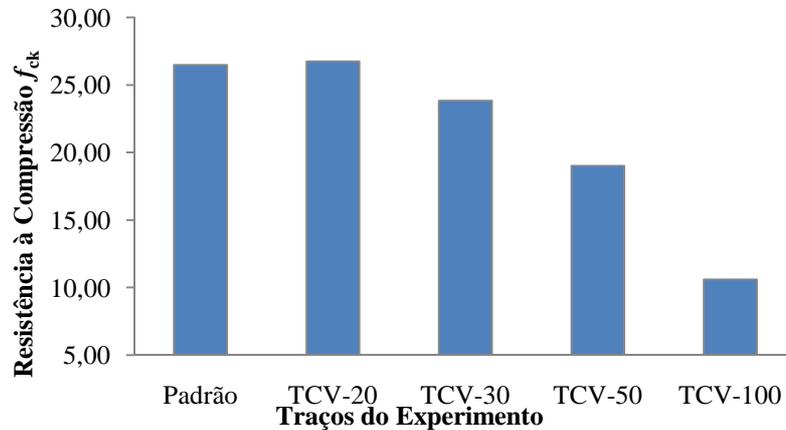


Figura 53 - Gráfico que mostra a variação da resistência do concreto para cada traço a 28 dias de cura

Para a idade de 28 dias de cura os concretos utilizados no experimento apresentaram os seguintes intervalos de resistência à compressão axial, com comportamento semelhante a idade de 7 dias:

- Para o concreto padrão utilizado como referência tem-se o seguinte intervalo na resistência a compressão de 26,60 a 27,19 MPa com uma variação de 2,17%;
- No concreto com substituição de 20% de agregado graúdo natural pelo resíduo da indústria cerâmica vermelha (traço TCV-20), apresentou um intervalo de 26,74 a 28,17 MPa com uma variação de 5,08 %, observa-se que a variação entre mínimo e máximo dos valores de resistência a compressão aumentou devido a substituição de RCV, observou-se que a diferença de variação do traço padrão para o traço TCV-20 equivale aproximadamente ao dobro da variação daquele;
- Para o concreto com substituição de 30% de agregado graúdo natural pelo resíduo da indústria cerâmica vermelha (traço TCV-30), apresentou um intervalo de 23,54 a 26,64 MPa com uma variação de 11,64 %, esse comportamento se assemelha aos valores obtidos na idade de 7 dias de cura, em que valor da variação cresce de acordo com aumento da porcentagem da substituição do agregado graúdo natural pelo RCV em comparação ao traço padrão;

- d) Para o concreto com substituição de 50% de agregado graúdo natural pelo resíduo da indústria cerâmica vermelha (traço TCV-50), apresentou um intervalo de 20,44 a 27,15 MPa com uma variação de 24,71 %, o crescimento da variação da resistência a compressão do traço TCV-50 também está relacionado ao aumento da substituição do agregado graúdo natural pelo RCV;
- e) No concreto com substituição de 100% de agregado graúdo natural pelo resíduo da indústria cerâmica vermelha (traço TCV-100), apresentou o intervalo de 10,75 a 13,01 MPa apresentou uma variação de 10,22 %, a variação entre as idades de 7 dias e 28 dias um ganho de resistência pequena em relação a outros traços utilizados neste trabalho, principalmente ao concreto padrão.

A tabela 29 apresenta o ganho de resistência à compressão axial para cada traço utilizado neste trabalho, nota-se que a evolução da resistência de 7 dias de cura para 28 dias, para o traço padrão o ganho de resistência foi de 6,83 MPa correspondendo a 25,26 %, observou-se também que o concreto confeccionado com o traço TCV-20 com substituição de 20 % de agregado graúdo natural pelo agregado graúdo do resíduo da indústria cerâmica vermelha (RCV) apresentou uma resistência ligeiramente maior que a do concreto padrão sendo de 7,24 MPa que corresponde a 26,01 % de ganho de resistência, esse comportamento foi observado nas duas idades de rompimento.

Tabela 29 - Evolução da resistência do concreto no decorrer do tempo de cura

Traço	Resistência do Concreto f_c (MPa)		Ganho de resistência (MPa)	Evolução da resistência (%)
	7 dias	28 dias		
Padrão	20,21	27,05	6,83	25,26%
TCV-20	20,60	27,85	7,24	26,01%
TCV-30	19,70	26,03	6,33	24,31%
TCV-50	18,53	23,16	4,63	20,00%
TCV-100	9,93	12,02	2,09	17,38%

O gráfico da figura 54 demonstra de forma ilustrativa o ganho de resistência à compressão axial para cada traço utilizado neste trabalho

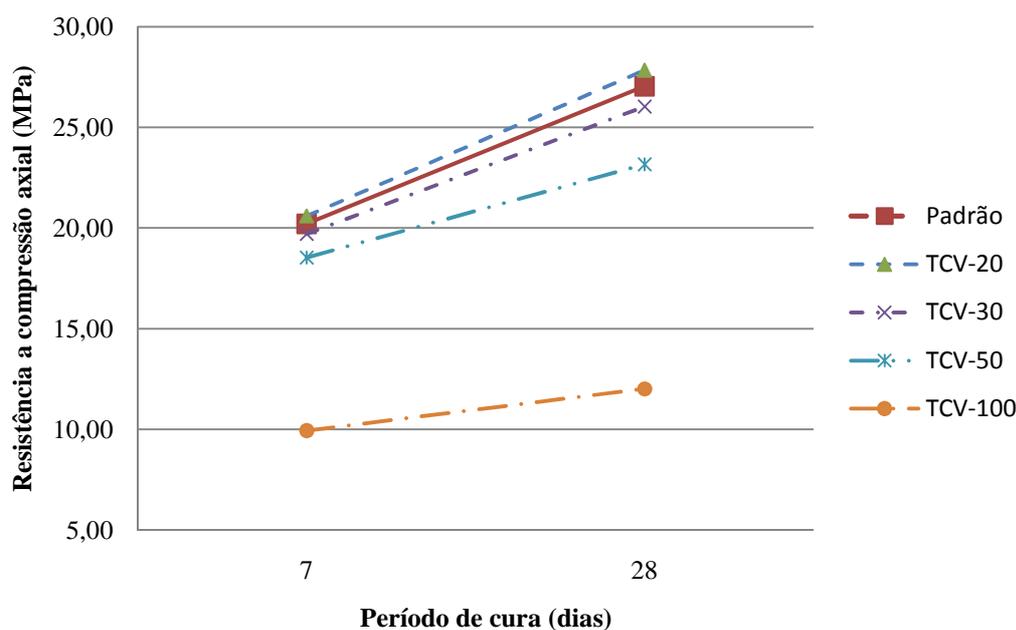


Figura 54 - Evolução da resistência em função do período de cura

Para o concreto confeccionado com traço TCV-30 correspondente a substituição de 30% do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo do resíduo da indústria cerâmica vermelha (RCV), mostra um ganho de resistência de 6,33 MPa o que vale a 24,31 % de ganho de resistência, ficou próximo aos valores obtidos no traço padrão. O concreto fabricado com substituição de 50 % de agregado graúdo natural pelo agregado graúdo do resíduo da indústria cerâmica vermelha (RCV), se obteve valores inferiores em relação aos traços anteriores, como era de se esperar, apesar disso, os valores se mantiveram próximos aos do concreto de referência onde o ganho de resistência para o traço TCV-50, foi de 4,63 MPa que corresponde a 20,00 %, enquanto que o padrão apresentou com 25,26 %.

O concreto obtido a partir do traço com 100 % de substituição de agregado graúdo natural pelo agregado graúdo do resíduo da indústria cerâmica vermelha (RCV), apresentou um ganho de resistência muito pequeno em relação ao concreto padrão, o seu ganho foi apenas de 2,09 MPa, que corresponde a um ganho de 17,38 %, esse comportamento pode ser devido as características estudadas em itens anteriores, que mostraram um comportamento de baixa resistência, grande porosidade e uma taxa elevada de absorção de água.

Na tabela 30 estão mostrados os valores da resistência média a compressão f_{cm} em MPa, desvio padrão S_d a partir dos valores obtidos durante os ensaios de compressão axial no

laboratório, fator de segurança em % para cada concreto confeccionado e a resistência característica dos concretos a compressão axial f_{ck} em MPa, para 7 e 28 dias de cura.

Tabela 30 - Valores correspondentes a resistência característica do concreto, desvio padrão e fator de segurança

Traço	7 dias				28 dias			
	Resist. Média Comp. f_{cm} (Mpa)	Desvio Padrão (S_d)	Fator de segurança (%)	Resist. Caract. Comp. f_{ck} (Mpa)	Resist. Média Comp. f_{cm} (Mpa)	Desvio Padrão (S_d)	Fator de segurança (%)	Resist. Caract. Comp. f_{ck} (Mpa)
Padrão	20,21	0,1362	0,67%	19,99	27,05	0,3359	1,24%	26,49
TCV-20	20,60	0,3885	1,89%	19,96	27,85	0,6716	2,41%	26,74
TCV-30	19,70	0,8783	4,46%	18,26	26,03	1,3323	5,12%	23,84
TCV-50	18,53	1,4768	7,97%	16,10	23,16	2,5157	10,86%	19,02
TCV-100	9,93	0,6194	6,24%	8,91	12,02	0,8526	7,09%	10,62

5 ANÁLISE DOS VALORES OBTIDOS

Neste capítulo serão discutidos e analisados os dados obtidos durante ao desenvolvimento dos traços, caracterização dos componentes constituintes dos traços de concreto utilizados neste trabalho, os estados fresco e endurecido do concreto.

5.1 MÉTODO UTILIZADO PARA DOSAGEM

A elaboração do traço inicial foi baseada nas características ensaiadas no laboratório dos componentes constituintes, como: composição granulométrica, módulo de finura e as massas unitárias e específicas, de certa forma esses ensaios de caracterização são rápidos e fáceis de serem realizados, podendo ser utilizados até os valores já conhecidos para os materiais locais.

Em virtude do método da ABCP/ACI proporcionar uma mistura plástica com baixos teores de área e menores consumos de pasta, faz com que as características dos agregados graúdos prevaleçam principalmente a sua resistência mecânica a compressão. Nesse aspecto os traços iniciais são mais econômicos e de simples ajuste, mantendo a relação água/cimento constante, apesar do aumento do consumo de água (RODRIGUES, 1990; VERÇOZA, 1986). Diante destes aspectos se justifica a utilização deste método para a elaboração dos traços experimentais, já que a proposta é que as condições do laboratório sejam próximo do utilizado no canteiro de obra.

5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NO LABORATÓRIO

5.2.1 Caracterização dos materiais

Durante a caracterização dos materiais constituintes dos concretos, observou-se que o agregado miúdo apresentou valores que o caracterizaram como areia fina, ficando dentro do limite aceitável para aplicação do método da ABCP/ACI, o referido método estabelece que o agregado miúdo deve apresentar módulos de finura maior ou igual a 1,80, neste trabalho a areia possui módulo de finura igual a 1,83, ficando dentro do limite para sua utilização pelo método do ABCP/ACI. A areia utilizada apresentou um teor de umidade de 2% no momento de confecção dos traços, requerendo uma correção na quantidade de água de amassamento.

Em relação aos agregados graúdos estes apresentaram valores de caracterização bastante diferentes, principalmente no que diz respeito às massas unitária e específica, sendo que do agregado graúdo do resíduo da indústria cerâmica vermelha (RCV), apresentou valores abaixo dos obtidos para os agregados naturais (seixo). Para os valores de abrasão “Los Angeles” o agregado graúdo natural (seixo), demonstrou valores percentuais maiores que agregado graúdo do resíduo da indústria cerâmica vermelha (RCV), mostrando um desempenho melhor do RCV, quanto ao desgaste e a tendência dos agregados desagregar.

Quanto a absorção de água pelo agregado graúdo, devido a porosidade natural característica dos materiais da cerâmica vermelha, apresenta valores bastantes elevados entorno de 13,90 %, que de forma direta pode influenciar nas propriedades do concreto tanto no estado fresco, como a trabalhabilidade, aumento no consumo de água de amassamento, abatimento do tronco de cone, quanto no estado endurecido no que diz respeito à resistência a compressão axial, devido principalmente a baixa resistência a compressão do próprio agregado graúdo proveniente do resíduo da indústria da cerâmica vermelha (RCV).

5.2.2 Estado fresco e endurecido

No estado fresco algumas características das misturas foram observadas, principalmente nas misturas em que houve a substituição parcial e total do agregado graúdo natural pelos resíduos da indústria de cerâmica vermelha (RCV).

- Antes de serem introduzidos na mistura os agregados graúdos de resíduo da indústria cerâmica vermelha (RCV) foram umedecidas por uma hora para que não houvesse uma absorção excessiva por parte deste agregado da água amassamento, causando uma má formação da matriz, devido a pouca água de hidratação do aglomerante;

- As misturas com substituição apresentaram durante alguns ciclos da betoneira que o agregado natural foi envolvido completamente pela pasta (cimento e água) formando pequenos torrões, enquanto que os agregados graúdos de resíduo da indústria cerâmica vermelha (RCV) apresentam um aspecto lavado, havendo pouca aderência da pasta com o RCV, provavelmente em virtude de a sua superfície apresentar aspecto liso devido o processo de queima da mistura da argila, outra possível causa é a umidade já presente no agregado RCV, onde pode ter se formado uma pequena lâmina de água devido a umidade já presente no agregado, dificultando a aderência da pasta em sua superfície no primeiro instante;

- Apesar de ser tomado o cuidado de umedecer o agregado RCV antes de colocar esse material na betoneira no momento da mistura ainda assim, observou-se que valores do abatimento de tronco de cone (*Slump Test*) diminuíram para os traços com substituição parcial ou total do agregado graúdo pelo agregado graúdo proveniente dos resíduos da indústria cerâmica vermelha (RCV).

Para o estado endurecido, tem-se que, de acordo com os valores obtidos nos ensaios a compressão axial dos concretos utilizados neste trabalho, observou-se que quanto maior a quantidade de agregado graúdo natural é substituída pelo agregado graúdo proveniente dos resíduos da indústria de cerâmica vermelha (RCV) menor será a sua resistência característica do concreto. Observa-se que nos concreto em que a substituição não ultrapassou valores equivalentes a 30 % em massa, a resistência característica ficou próximo dos valores do concreto padrão, foi o caso do traço TCV-20 e TCV-30.

Entretanto, observou-se que quanto maior a proporção da substituição entre os agregados graúdos, menor e a sua resistência a compressão axial, e vai se afastando dos valores obtidos no concreto padrão, que neste trabalho serve como parâmetro de comparação. Esse comportamento se dá devido às características dos materiais utilizados como agregado graúdo reciclado que substituem os agregados naturais, isso mostra uma baixa homogeneidade entre estes agregados.

Porém para o concreto com 20 % de substituição do agregado graúdo natural, neste caso o traço TCV-20 apresentou valores ligeiramente maiores que o concreto utilizado como padrão, este comportamento se dá devido a uma melhor proporção de argamassa e agregado graúdo. Para o concreto em que a substituição foi 50 %, apesar de apresentar valores de ganho de resistência em porcentagem próximo do concreto padrão a sua resistência característica a compressão ficou muito abaixo do valor esperado para este trabalho. Quanto ao concreto com substituição de 100 % de agregado graúdo natural pelo graúdo proveniente dos resíduos da indústria de cerâmica vermelha (RCV), os valores estão muito abaixo dos valores do concreto padrão. Esse comportamento é influenciado pelas propriedades do agregado graúdo utilizados neste traço.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foi apresentado o estudo que trata da viabilidade de utilização do resíduo da indústria de cerâmica vermelha (RCV) da cidade de Santarém/PA, na confecção de concreto através da substituição parcial e/ou total do agregado graúdo natural por este.

A partir dos estudos de campo, bibliográfico, dos ensaios experimentais realizados no laboratório, algumas considerações a cerca dos dados e valores obtidos no laboratório tanto para o estado fresco como no estado endurecido.

- As indústrias ceramistas vermelhas na cidade de Santarém/PA, durante o processo de fabricação das peças como tijolos e telhas, geram um grande volume de resíduos, que na maioria das vezes são depositados em locais inadequados, causando impactos ambientais, econômicos e sociais, no seu entorno, não só pela produção de resíduos mais em toda cadeia produtiva, desde a retirada da matéria prima nos barrancos ou leitos de rios, durante o processo de transporte da matéria prima até o pátio das indústrias e no processo de queima com emissão de gases poluentes;
- Os resíduos de cerâmica vermelha podem ser considerados como materiais inertes, devido ao processo de fabricação, ou seja, não reage em condições normais, sendo este descartado na natureza ou como componente na mistura de confecção de concreto, principalmente em relação ao aglomerante hidráulico. Apesar de ser inerte, é necessário buscar novas alternativas para sua utilização e diminuir o descarte inadequado. Portanto, uma dessas alternativas é a sua utilização, aproveitamento como substituto parcial do agregado graúdo natural na confecção de concreto;
- No processo de dosagem e confecção dos concretos foram mantidas a mesma relação água/cimento e diferentes percentuais de substituição do agregado graúdo natural pelo graúdo proveniente dos resíduos da indústria de cerâmica vermelha (RCV) nos traços, a consistência e trabalhabilidade não foram afetadas significativamente, se levado em consideração o abatimento de tronco de cone que diminuiu em função do percentual de substituição do agregado graúdo natural e do proveniente dos resíduos da indústria de cerâmica vermelha (RCV), em virtude da alta taxa de absorção de água do RCV, característica dos materiais cerâmicos;
- Devido à absorção de água do graúdo proveniente dos resíduos da indústria de cerâmica vermelha (RCV) ser elevado, em comparação com os valores encontrados na

literatura consultada para agregados obtidos a partir de demolição da construção civil, para evitar a sucção excessiva da água de amassamento nos primeiros instantes da mistura na betoneira, houve a necessidade de se misturar parte da água relacionando a capacidade de absorção de água, antes da mistura com cimento;

- Observou-se que os valores de abatimento de tronco de cone para cada traço diminuíram conforme o aumento do percentual de substituição do gráudo natural pelo agregado gráudo proveniente dos resíduos da indústria de cerâmica vermelha (RCV).
- Em virtude da massa específica do agregado gráudo proveniente dos resíduos da indústria de cerâmica vermelha (RCV) ser menor do que a do agregado natural (seixo) utilizado neste trabalho, os traços com o agregado dos resíduos da indústria de cerâmica vermelha (RCV) foram estabelecidos a partir da substituição parcial ou total em massa do agregado gráudo natural, através de porcentagens estabelecidas previamente;
- Não se observou nenhuma dificuldade que comprometesse significativamente a trabalhabilidade, quanto ao uso dos agregados gráudos proveniente dos resíduos da indústria de cerâmica vermelha (RCV) ao longo do desenvolvimento dos traços com substituição parcial ou total, não se observou dificuldades no seu manuseio, como: no lançamento, no adensamento, não houve segregação dos materiais e nem excesso de exsudação durante a confecção dos corpos-de-prova;
- A substituição total do agregado gráudo natural pelo agregado gráudo proveniente dos resíduos da indústria de cerâmica vermelha (RCV) provocou uma queda significativa na resistência do concreto à compressão axial em comparação com o concreto padrão, a queda ficou em torno dos 59,90 % para a resistência característica (f_{ck}) de acordo com a tabela 30;
 - Em uma situação inversa o concreto produzido a partir do traço TCV-20 com substituição parcial de 20% do agregado gráudo natural pelo agregado gráudo proveniente dos resíduos da indústria de cerâmica vermelha (RCV) apresentou um aumento na resistência a compressão axial em relação ao concreto padrão em torno de 1,00 %, pode-se considerar de que as resistências são praticamente iguais, observa-se que esse percentual se assemelha a faixa de resistência estudada neste trabalho é possível a sua utilização dos resíduos da indústria de cerâmica vermelha (RCV) como

agregado graúdo para concretos convencionais até a resistência de 25 MPa, dentro desse percentual;

- Observou-se que os concretos produzidos a partir dos traços TCV-30 com substituição parcial de 30% e TCV-50 com substituição parcial de 50% do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo proveniente dos resíduos da indústria de cerâmica vermelha (RCV) apresentaram uma queda na suas resistências a compressão axial em relação ao concreto padrão em torno de 10,00 % e 28,20 % respectivamente, pode-se considerar de que as resistências são praticamente iguais;
- Vários fatores podem ter contribuído para a perda de resistência mecânica a compressão axial dos concretos com substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo proveniente dos resíduos da indústria de cerâmica vermelha (RCV), a menor resistência do RCV, a alta taxa de absorção de água desse tipo de agregado, o formato dos agregados, o fator água/cimento, a menor resistência da interface pasta-agregado.

Quanto à substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo proveniente dos resíduos da indústria de cerâmica vermelha (RCV), esse tipo de mistura não inviabiliza a produção do concreto com resistência até 25 MPa, mas exige o conhecimento da absorção de água e o tempo de saturação, para poder se estimar a quantidade de água da mistura, para que haja água suficiente para o amassamento e trabalhabilidade e uma melhor absorção pelo agregado RCV, até mesmo para concretos com resistências maiores que o abordado neste trabalho, é interessante que se faça estudos abordem outras propriedades tanto para o estado fresco quanto para o estado endurecido.

Para o concreto com substituição de 100 % do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo proveniente dos resíduos da indústria de cerâmica vermelha (RCV) mostrou uma resistência muito pequena, sendo que o concreto produzido por este material pode ser empregado na confecção de camadas niveladoras de piso, e pisos de calçamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI-318 (1995) Building code requirements for reinforced concrete. American Concrete Institute, Detroit.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA – ABC. Anuário Brasileiro de Cerâmica 2002. São Paulo: 2002. 194p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 51. AGREGADOS GRAÚDOS – Ensaio de abrasão Los Angeles. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NM 53 – AGREGADO GRAÚDO: determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248 – AGREGADOS: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM ISO 3310-1; Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5732. cimento Portland comum. Rio de Janeiro, 1991a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5733. cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5735. cimento Portland de alto-forno. Rio de Janeiro, 1991c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5736. cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro, 1991d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5737. cimento Portland resistente a sulfatos. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738. Confeção e cura de corpos de prova de concreto cilíndricos ou prismáticos: Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Ensaio de Compressão de Corpos-de-prova Cilíndricos de Concreto. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739. Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto: Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118. Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6467. Agregados – Determinação do inchamento do agregado miúdo. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211. Agregado para concreto: Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7217. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7251. Agregados em estado solto. Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8953. Concreto para fins estruturais – Classificação por grupos de resistência, massa específica e consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9776 Agregado – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do Frasco de Chapman: Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9935. Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004. Classificação de Resíduos. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11578. cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991e.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11768. Aditivos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655. – CONCRETO – Preparo, Controle e Recebimento. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15116. Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. Fabricação do cimento. 2009. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/fabricacao/fabricacao>. Acesso em: 13 jul. 2014

ALHADAS, Miguel Fernando Schettini. **Estudo da influência do agregado graúdo de diferentes origens mineralógicas nas propriedades mecânicas do concreto.** (Tese de Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

ANDRADE, Jairo José de Oliveira; TUTIKIAN, Bernardo F. Resistência mecânica do concreto. ISAIA, Geraldo Cechella (org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011, 1v, p. 615-672.

ÂNGULO, Sérgio.C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico dos concretos**. São Paulo: USP, 2005, 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ÂNGULO, Sérgio C.; FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. Concreto com agregado reciclado. ISAIA, Geraldo Cechella (org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011, 2v, p. 1731-1768.

ARNDT, Josué A.; SOUZA, Joelcio de; BIANCHINI, Maurício. **Influência do índice de forma do agregado graúdo na resistência a compressão do concreto**. In: 49º CBC 2007 – Congresso Brasileiro do Concreto. Setembro 2007.

BATTAGIN, Arnaldo Forti. Cimento Portland. ISAIA, Geraldo Cechella (org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011, 1v, p. 185-231.

BICCA, I. da S. **Estudo da viabilidade de utilização do rejeito cerâmico, como agregado graúdo, na produção de concreto com características estruturais**. 2000. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000

BOGGIO, Aldo J. **Estudo comparativo de métodos de dosagem de concretos de cimento Portland**. 2000. 182 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

BUSTAMANTE, Gladstone Motta; BRESSIANI, José Carlos. **A indústria cerâmica brasileira**. São Paulo, Maio 2000, ABCERAM. Disponível em: www.abceram.org.br. Acesso em: 14 jul. 2014

CARNEIRO, A. M. P.; **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

CARVALHO, Roberto Chust; FILHO, Jasson Rodrigues de Figueiredo. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. São Paulo: PINI, 2009. 589p.

CASSA, J. C. S.; BRUM, I. A. S.; CARNEIRO, A. P.; COSTA, D. B. **Diagnóstico dos setores produtivos de resíduos na região metropolitana de Salvador – BA**. Salvador: EDUFA; Caixa Econômica Federal, 2001. Cap. 2. Projeto Entulho Bom.

CASTRO, R. J. de S.. **Formulação e caracterização de matérias-primas para revestimento cerâmico Semi-Poroso com adição de chamote de telhas.** 2008. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Dos Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, Resolução n.307, de 5 de julho de 2002.

DAL MOLIN, D. C. C.; **Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas dos concretos de alta resistência com e sem adições de microssílica.** São Paulo, EPUSP, 1995. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

FERREIRA, R. L. da S. **Identificação e disposição final dos resíduos sólidos gerados na fabricação de cerâmica vermelha no Vale do Assú/RN.** 2012. 66 f. Monografia (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Angicos, 2012.

FILHO, Wandemir.M.S. & NETO, Stoessel.F.S. **Resíduos sólidos na construção civil.** Belém- PA: UNAMA, 2005.

FREITAS JUNIOR, G. de. **Revegetação de mata ciliar em áreas de extração de argila no Município de São Roque do Canaã-ES.** 2009. 165 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) - Centro Universitário de Araraquara, Araraquara, 2009.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Tecnologia do Concreto Estrutural: Tópicos aplicados.** 2. ed. São Paulo: Editora PINI, 2008.

GALDINO, Tevenilson Laerte de Medeiros. **Aproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha como agregado graúdo no concreto convencional,** 2013. 58f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2013.

GRIGOLETTI, G. de C.. **Caracterização de impactos ambientais de indústrias de cerâmica vermelha no Estado do Rio Grande do Sul.** 2001. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

HELENE, Paulo, TUTIKIAN, Bernardo F. Dosagem dos concretos de cimento Portland. ISAIA, Geraldo Cechella (org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo: IBRACON, 2011, 1v, p. 415-452.

ISAIA, Geraldo Cechella. A evolução do concreto estrutural. ISAIA, Geraldo Cechella (org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo: IBRACON, 2011, 1v, p. 1-55.

LEITE, M. B.; **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001. 290 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEVY, S. M.; **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria.** (Tese Doutorado). Escola Politécnica, São Paulo, 2001.

LIMA, Alexandre Martins de. **Influência de três tipos de tratamento físicos na resistência à compressão de compósitos cimento-madeira à base de resíduos de serraria.** 2005. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

MACEDO, R. S. et al. Estudo de argilas usadas em cerâmica vermelha. Campina Grande: Cerâmica n.54, 2008. 411 – 417.

MARTIN, J. F. M. Aditivo para concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações.** São Paulo: IBRACON, 2015, 1v, p. 318-406.

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

NETO, Claudio Sbrighi. Agregados naturais, britados e artificiais para concreto. ISAIA, Geraldo Cechella (org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo: IBRACON, 2011, 1v, p. 185-231

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 2 ed. São Paulo. PINI, 1997.

NUNES, M. B. **Impactos ambientais na indústria de cerâmica vermelha.** Rio de Janeiro: Rede de Tecnologia e Inovação - REDETEC, 2012.

OLIVEIRA, M.C.; MAGANHA, M. F. B. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmicas brancas e de revestimento.** São Paulo: CETESB, 2006.

PESSOA, J. M. A. de P. **Tecnologias e técnicas apropriadas para o desenvolvimento sustentável: O caso da indústria cerâmica de Russas - CE.** 2004. 103 f. Dissertação (Curso de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

RECENA, F. A. P. **Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland.** 2. ed. Porto Alegre: EdiPUCRS, 2011.

REDIVO, I. M. **Utilização de resíduo de cerâmica vermelha em misturas com solo para construção de camadas de pavimentos com baixo volume de tráfego.** 2011. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

RODRIGUES, Publio Penna Firme. **Parâmetros de Dosagem do Concreto.** ET-67. 3ª Ed. São Paulo: IBRACON - Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.

ROMANO, Roberto Cesar de O.; CARDOSO, Fábio A.; PILLEGGI Rafael G. Propriedades do concreto no estado fresco. ISAIA, Geraldo Cechella (org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011, 1v, p. 453-500.

ROSSIGNOLO, João Adriano. **Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações**. São Paulo: Pini, 2009

SILVA, M. Antônio da; FILHO, R. Dias Toledo; PFEIL, M. Schubert. **Desenvolvimento e caracterização experimental de concretos autoadensáveis de alto desempenho contendo seixo rolado**. In: 3º Congresso Ibero-americano sobre betão Auto-compactável Avanços e oportunidades, Madrid, 3 e 4 de Dezembro de 2012.

TARTUCE, Ronaldo; GIOVANNETTI, Edio. **Princípios básicos sobre concreto de cimento Portland**. São Paulo: PINI: Ibracon, 1990. 107p.