

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
NÍVEL MESTRADO

LUCAS FERNANDO KRUG

**INFLUÊNCIA DO BENEFICIAMENTO POR  
PENEIRAMENTO NO COMPORTAMENTO DA CINZA DE  
CASCA DE ARROZ: ESTUDO COMO ADIÇÃO  
POZOLÂNICA EM CONCRETOS**

SÃO LEOPOLDO  
2011

K947i Krug, Lucas Fernando

Influência do beneficiamento por peneiramento no comportamento da cinza de casca de arroz: estudo como adição pozolânica em concretos / Lucas Fernando Krug. -- 2011.

126 f. : 30cm.

Dissertação (mestrado) -- Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, São Leopoldo, RS, 2011.

Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Marlova Piva Kulakowski; Coorientador: Prof. Dr. Cláudio de Souza Kazmierczak.

1. Engenharia civil. 2. Concreto - Casca - Arroz - Cinza. 3. Concreto - Casca - Arroz - Cinza. - Adição pozolânica I. Título. II. Kulakowski, Marlova Piva. III. Kazmierczak, Cláudio de Souza.

CDU 62

LUCAS FERNANDO KRUG

**INFLUÊNCIA DO BENEFICIAMENTO POR  
PENEIRAMENTO NO COMPORTAMENTO DA CINZA DE  
CASCA DE ARROZ: ESTUDO COMO ADIÇÃO  
POZOLÂNICA EM CONCRETOS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção título de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dra. Marlova Piva Kulakowski

**Co-Orientador:** Prof. Dr. Claudio de Souza  
Kazmierczak

**Banca examinadora:** Prof. Dr. Wellington L. Repette  
Prof. Dr. Carlos A. M. Moraes

**FEVEREIRO, 2011.**


**LUCAS FERNANDO KRUG**


**“INFLUÊNCIA DO BENEFICIAMENTO POR  
PENEIRAMENTO NO COMPORTAMENTO DA CINZA DE  
CASCA DE ARROZ: ESTUDO COMO ADIÇÃO  
POZOLÂNICA EM CONCRETOS”**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração: Gerenciamento de Resíduos, da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Aprovada em 24 de março de 2011

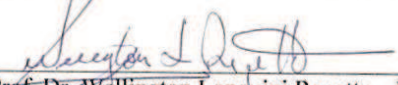
  
Marlova Piva Kulakowski  
Orientadora

  
Claudio de Souza Kazmierczak  
Coorientador

  
Claudio de Souza Kazmierczak  
Coordenador do PPGEC/UNISINOS

BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes – UNISINOS

  
Prof. Dr. Wellington Longuini Repette – UFSC

*Dedico essa conquista aos meus pais, Hélio e Rosana Krug e ao meu irmão Gilmar, por todo amor e compreensão.*

## AGRADECIMENTOS

Deixo aqui registrado estes agradecimentos, para todos que de alguma forma participaram da realização desta conquista.

Primeiramente agradeço a Deus, pela constante presença em minha vida e ter me possibilitado saúde, força e determinação para finalizar esta pesquisa.

À minha orientadora a professora Marlova Piva Kulakowski, que me conduziu, orientou, auxiliou e acompanhou durante todo esse tempo de forma muito carinhosa.

Ao professor Claudio de Souza Kazmierczak, co-orientador deste trabalho pela sua sabedoria e orientação ao longo de toda pesquisa.

Aos demais professores pelos ensinamentos recebidos ao longo desta jornada.

Ao Laboratório de Materiais da Engenharia Civil e seus funcionários Maurício, Jéferson, Daiana, Rodrigo e Angélica por toda a estrutura dada para a realização dos ensaios, e sobretudo pela atenção, dedicação e auxílio durante as atividades experimentais.

Aos bolsistas de iniciação científica, Ana Cláudia, Maiquel, e Rafael Aliatti pela ajuda na realização dos ensaios, companheirismo e dedicação.

A minha grande amiga e colega de projeto, Daiane Calheiro pelo companheirismo durante as atividades do projeto com a cinza de casca de arroz em nossos “infinitos” trabalhos.

Às empresas que gentilmente doaram os materiais para os experimentos, em especial, à Britasinos na pessoa do engenheiro, e colega Emerson, e ITAMBÉ cimentos pela colaboração e fornecimento de materiais.

Ao Santander pelo financiamento da pesquisa.

Aos meus pais Hélio e Rosana, meu irmão Gilmar por todo carinho e compreensão de minha ausência durante as “intermináveis” viagens, e pelo incentivo e palavras de apoio sempre que necessitei.

A minha namorada Alexandra pelo amor e compreensão nas horas difíceis, e palavras de incentivo nesta caminhada.

A todos meus amigos, colegas de mestrado e demais pessoas que de alguma forma estiveram comigo e ajudaram na realização deste trabalho.

## **AGENTES FINANCIADORES**

Banco Santander



Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul



## **RESUMO**

### **INFLUÊNCIA DO BENEFICIAMENTO POR PENEIRAMENTO NO COMPORTAMENTO DA CINZA DE CASCA DE ARROZ: ESTUDO COMO ADIÇÃO POZOLÂNICA EM CONCRETOS**

**LUCAS FERNANDO KRUG**

O concreto é atualmente o material mais utilizado na engenharia. No entanto percebe-se o problema gerado pela extração de recursos naturais e o alto consumo energético para sua produção. Devido a isso, pesquisas vêm sendo desenvolvidas com a incorporação de resíduos da indústria em geral, com a finalidade de reduzir custos energéticos para produção do concreto e ainda possibilitar a destinação adequada para tais resíduos. O objetivo deste trabalho é avaliar a influência do beneficiamento da CCA em concretos produzidos com substituição parcial do cimento Portland, através da caracterização da cinza, e seu desempenho como pozolana. O trabalho inicia-se com a obtenção de CCA, seguida da segregação de parte do material e moagem. Após foram desenvolvidos corpos de prova de concreto para verificar as influências da incorporação deste resíduo no estado fresco, através dos ensaios de abatimento e trabalhabilidade, e no estado endurecido através de ensaios mecânicos e de absorção. Para tanto desenvolveu-se concretos com três traços de água/aglomerante distintos (0,41; 0,49 e 0,57), e com dois teores de substituição (10% e 20%) com os dois tipos de cinza em estudo (natural e peneirada). Após esta etapa os dados foram compilados e analisados a fim de se obter respostas quanto a influência de incorporação do resíduo em questão. Os resultados foram avaliados por análise estatística, indicando que tanto o beneficiamento de peneiramento quanto o teor de substituição apresentam efeitos significativos sobre as propriedades no estado endurecido do concreto. As propriedades no estado fresco também sofreram influência do teor e do tipo de cinza utilizada.



## **ABSTRACT**

### **INFLUENCE OF IMPROVEMENT BY SIEVING IN THE PERFORMANCE OF RICE HUSK ASH: STUDY AS POZZOLANIC ADMIXTURE IN CONCRETE**

**LUCAS FERNANDO KRUG**

Concrete is currently the most employed material in Civil engineering. However one perceives the problem created by the extraction of natural resources and the high energy consumption for its production. Because of this, research has being developed with the incorporation of the waste industry in general, in order to reduce energy costs for production of concrete and still allow for proper disposal for such wastes. The objective this study is to evaluate the influence of processing in the rice husk ash produced concrete with partial replacement of Portland cement, through the characterization of rice husk ash, and his performance as pozolan. The work begins with the acquisition of CCA, followed by the segregation of part the material and grinding. After the specimens were developed in concrete to check the influence of incorporation of this residue in fresh by the writings of subsidence and workability, and hardened state by mechanical and absorption. For both developed into concrete with three water / cimenticious materials ratios (0.41, 0.49 and 0.57), and two levels of replacement (10% and 20%) with the two types of ash studied (natural and screened). After this step the data were compiled and analyzed in order to obtain answers about influence of incorporation of the residue in question. The results were evaluated by statistical analysis, indicating that both the beneficiation screening as the content presented replacing effects significant effect on the properties of the hardened concrete. The fresh properties also influenced the content and type of ash used.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – APARELHO DE VEBE .....	26
FIGURA 2 – FUNIL DE MARSH.....	27
FIGURA 3 – MINI-CONE DE KANTRO .....	28
FIGURA 4 – HASTE DO ENSAIO E ESQUEMA DE PROCEDIMENTO .....	30
FIGURA 5 – MODIFICAÇÕES DO EQUIPAMENTO PARA REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE ABATIMENTO .....	31
FIGURA 6 –CINZA NATURAL (SEM BENEFICIAMENTO) .....	47
FIGURA 7 –MATERIAL RETIDO NA PENEIRA 1,2MM.....	47
FIGURA 8 –MATERIAL PASSANTE NA PENEIRA 1,2MM .....	47
FIGURA 9 –CINZA NATURAL (KIELING, 2009) .....	47
FIGURA 10 –MATERIAL RETIDO NA PENEIRA 1,2MM (KIELING, 2009).....	47
FIGURA 11 –MATERIAL PASSANTE NA PENEIRA 1,2MM (KIELING, 2009) .....	47
FIGURA 12 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO ESTUDO PILOTO.....	50
FIGURA 13 –MOINHO DE BOLAS UTILIZADO .....	50
FIGURA 14 – DIFRATOGRAMA DE RAIOS X DA CINZA NATURAL .....	51
FIGURA 15 – DIFRATOGRAMA DE RAIOS X DA CINZA PENEIRADA.....	52
FIGURA 16 – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA CINZA NATURAL .....	53
FIGURA 17 – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA CINZA PENEIRADA .....	53
FIGURA 18 – MEV DA CINZA NATURAL .....	54
FIGURA 19 – MEV DA CINZA PENEIRADA.....	54
FIGURA 20 –DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO MIÚDO .....	55
FIGURA 21 –DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO.....	56
FIGURA 22 –PLANEJAMENTO DO PROGRAMA EXPERIMENTAL EM FUNÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	58
FIGURA 23 - PRODUÇÃO DO CONCRETO PARA MOLDAGEM DOS CP'S.....	59
FIGURA 24 - PENEIRAMENTO DO CONCRETO FRESCO.....	60
FIGURA 25 - HASTE DE PENETRAÇÃO E AMOSTRA.....	61
FIGURA 26 - EQUIPAMENTO DE CALORIMETRIA SEMI-ADIABÁTICA .....	62
FIGURA 27 - SUPORTE E FUNIL DE MARSH.....	63
FIGURA 28 - SEQÜÊNCIA DO ENSAIO DO MINI-CONE DE KANTRO .....	64
FIGURA 29 –ENSAIO DE ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE.....	66
FIGURA 30 – EXECUÇÃO DO ENSAIO DE ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE .....	66
FIGURA 31 - RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL AOS 7 DIAS.....	71
FIGURA 32 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL AOS 28 DIAS .....	73
FIGURA 33 - RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL AOS 91 DIAS.....	75
FIGURA 34 - RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL AOS 28 DIAS.....	77
FIGURA 35 - ABSORÇÃO CAPILAR DOS TRAÇOS 0,41.....	78
FIGURA 36 - ABSORÇÃO CAPILAR DOS TRAÇOS 0,49.....	78

FIGURA 37 – ABSORÇÃO CAPILAR DOS TRAÇOS 0,57 .....	78
FIGURA 38 – TEMPO DE PEGA PARA OS TRAÇOS DE ÁGUA/GLOMERANTE 0,41.....	81
FIGURA 39 – TEMPO DE PEGA PARA OS TRAÇOS DE ÁGUA/AGLOMERANTE 0,49.....	82
FIGURA 40 – TEMPO DE PEGA PARA OS TRAÇOS DE ÁGUA/AGLOMERANTE 0,57.....	82
FIGURA 41 – PERDA DE ABATIMENTO DOS TRAÇOS 0,41 .....	84
FIGURA 42 – PERDA DE ABATIMENTO DOS TRAÇOS 0,49 .....	84
FIGURA 43 – PERDA DE ABATIMENTO DOS TRAÇOS 0,57 .....	85
FIGURA 44 – ENSAIO FUNIL DE MARSH DOS TRAÇOS 0,41 .....	86
FIGURA 45 – ENSAIO DO FUNIL DE MARSH DOS TRAÇOS 0,49 .....	86
FIGURA 46 – ENSAIO DO FUNIL DE MARSH DOS TRAÇOS 0,57 .....	87
FIGURA 47 – ELEVAÇÃO DA TEMPERATURA SEMI-ADIABÁTICA DE ARGAMASSA DOS TRAÇOS DE ÁGUA/GLOMERANTE 0,41 .....	89
FIGURA 48 – ELEVAÇÃO DA TEMPERATURA SEMI-ADIABÁTICA DE ARGAMASSA DOS TRAÇOS DE ÁGUA/GLOMERANTE 0,49 .....	89
FIGURA 49 – ELEVAÇÃO DA TEMPERATURA SEMI-ADIABÁTICA DE ARGAMASSA DOS TRAÇOS DE ÁGUA/AGLOMERANTE 0,57 .....	90
FIGURA 50 – ELEVAÇÃO DA TEMPERATURA SEMI-ADIABÁTICA DE CONCRETO DOS TRAÇOS DE ÁGUA/AGLOMERANTE 0,41.....	91
FIGURA 51 – ELEVAÇÃO DA TEMPERATURA SEMI-ADIABÁTICA DE CONCRETO DOS TRAÇOS DE ÁGUA/AGLOMERANTE 0,49.....	92
FIGURA 52 – ELEVAÇÃO DA TEMPERATURA SEMI-ADIABÁTICA DE CONCRETO DOS TRAÇOS DE ÁGUA/GLOMERANTE 0,57 .....	92
FIGURA 53 – IMAGENS DE MEV 540X CONCRETO REFERÊNCIA .....	94
FIGURA 54 – IMAGENS DE MEV CONCRETO REFERÊNCIA, AUMENTO 1400 X .....	95
FIGURA 55 – IMAGENS DE MEV E EDS CONCRETO REFERÊNCIA, AUMENTO 6000 X.....	95
FIGURA 56 – IMAGENS DE MEV CONCRETO COM 20% DE CINZA PENEIRADA, AUMENTO 540X..	96
FIGURA 57 – IMAGENS DE MEV 1400X CONCRETO COM 20% DE CINZA PENEIRADA.....	96
FIGURA 58 – IMAGENS DE MEV 6000X E EDS CONCRETO COM 20% DE CINZA PENEIRADA.....	97
FIGURA 59 – IMAGENS DE MEV 540X CONCRETO COM 20% DE CINZA NATURAL .....	98
FIGURA 60 – IMAGENS DE MEV 1400X 6000X CONCRETO COM 20% DE CINZA NATURAL .....	98
FIGURA 61 – ANÁLISE DE EDS CONCRETO COM 20% DE CINZA NATURAL .....	99

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CLASSIFICAÇÃO, COMPOSIÇÃO E CARACTERÍSTICAS DAS ADIÇÕES MINERAIS PARA CONCRETO .....	34
TABELA 2 – CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO CIMENTO .....	46
TABELA 3 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO CIMENTO .....	46
TABELA 4 – RESUMO DE CORPOS DE PROVA DO ESTUDO PILOTO .....	49
TABELA 5 – CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA CCA .....	51
TABELA 6 – CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS CINZAS DE CASCA DE ARROZ. ....	52
TABELA 7 – PROPRIEDADES DO AGREGADO MIÚDO .....	55
TABELA 8 – PROPRIEDADES DO AGREGADO GRAÚDO .....	56
TABELA 9 – ESPECIFICAÇÕES DO ADITIVO .....	57
TABELA 10 – NOMENCLATURA DOS TRAÇOS DE CONCRETO DO PROGRAMA EXPERIMENTAL ..	57
TABELA 11 – ANOVA DO MODELO PARA COMPRESSÃO AXIAL AOS 7 DIAS .....	69
TABELA 12 – PARÂMETRO DAS VARIÁVEIS ANALISADAS PARA COMPRESSÃO AXIAL AOS 7 DIAS .....	70
TABELA 13 – ANOVA DO MODELO PARA COMPRESSÃO AXIAL AOS 28 DIAS .....	72
TABELA 14 – PARÂMETRO DAS VARIÁVEIS ANALISADAS PARA COMPRESSÃO AXIAL AOS 28 DIAS .....	72
TABELA 15 – ANOVA DO MODELO PARA COMPRESSÃO AXIAL AOS 91 DIAS .....	74
TABELA 16 – PARÂMETRO DAS VARIÁVEIS ANALISADAS PARA COMPRESSÃO AXIAL AOS 91 DIAS .....	74
TABELA 17 – ANOVA DO MODELO PARA TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL AOS 28 DIAS .....	76
TABELA 18 – PARÂMETRO DAS VARIÁVEIS ANALISADAS PARA TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL AOS 28 DIAS .....	76
TABELA 19 – EQUAÇÃO E TAXA DE ABSORÇÃO CAPILAR .....	80
TABELA 20 – TABELA RESUMO DOS TEMPOS DE PEGA .....	83
TABELA 21 – TABELA RESUMO DAS ÁREAS DE ESPALHAMENTO DO MINI-CONE DE KANTRO ..	84
TABELA 22 – FLUIDEZ DAS MISTURAS NO FUNIL MARSH EM RELAÇÃO À REFERÊNCIA (%). ....	88

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuário e Abastecimento

CO<sub>2</sub> – dióxido de carbono

SO<sub>2</sub> – dióxido de enxofre

CCA – Cinza de Casca de Arroz

FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

C - carbono

CaO – óxido de cálcio

SiO<sub>2</sub> – óxido de silício

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – óxido de alumínio

MnO – óxido de manganês

MgO – óxido de magnésio

SO<sub>3</sub> – trióxido de enxofre

TiO<sub>2</sub> – óxido de titânio

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – óxido férrico

HCl – ácido clorídrico

Ca(OH)<sub>2</sub> – hidróxido de cálcio

Cd – cádmio

Zn - zinco

Ni - níquel

Pb - chumbo

PF – perda ao fogo

DG – distribuição granulométrica

ME – massa específica

MEV – microscopia eletrônica de varredura

AQ – análise química

DRX – difração de raio-X

FRX - fluorescência de raio-X

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AMBEV – Companhia de Bebidas das Américas

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

MPa – MegaPascal

GPa – GigaPascal

IPT/EPUSP – Instituto de Pesquisas Tecnológicas/ Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	16
1.2	OBJETIVOS.....	17
1.2.1	<i>Objetivo geral.....</i>	<i>17</i>
1.2.2	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>17</i>
1.3	DELIMITAÇÕES DA PESQUISA .....	18
1.4	ESTRUTURA DA PESQUISA .....	19
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>20</b>
2.1	CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO .....	20
2.2	CONCRETO NO ESTADO FRESCO .....	23
2.2.1	<i>Ensaio de parâmetros reológicos no estado fresco .....</i>	<i>25</i>
2.3	POZOLANAS.....	32
2.4	CINZA DE CASCA DE ARROZ.....	35
2.4.1	<i>Casca de arroz .....</i>	<i>35</i>
2.4.2	<i>Geração da cinza de casca de arroz .....</i>	<i>36</i>
2.4.3	<i>Propriedades da cinza de casca de arroz.....</i>	<i>37</i>
2.4.4	<i>Beneficiamento da cinza de casca de arroz.....</i>	<i>39</i>
2.4.5	<i>Concreto com cinza de casca de arroz no estado fresco.....</i>	<i>40</i>
2.4.6	<i>Concreto com cinza de casca de arroz no estado endurecido.....</i>	<i>41</i>
<b>3</b>	<b>PROGRAMA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>43</b>
3.1	VARIÁVEIS.....	43
3.1.1	<i>Variáveis de controle.....</i>	<i>44</i>
3.1.2	<i>Variáveis fixas .....</i>	<i>45</i>
3.1.3	<i>Variáveis não controladas.....</i>	<i>45</i>
3.1.4	<i>Variáveis de resposta .....</i>	<i>45</i>
3.2	MATERIAIS .....	45
3.2.1	<i>Cimento CP-II-F-32 .....</i>	<i>46</i>
3.2.2	<i>Cinza de casca de arroz .....</i>	<i>46</i>
3.2.3	<i>Agregados .....</i>	<i>54</i>
3.2.4	<i>Aditivo redutor de água.....</i>	<i>56</i>
3.3	PLANEJAMENTO DOS EXPERIMENTOS.....	57
3.4	PRODUÇÃO DOS CONCRETOS.....	58
3.5	MÉTODOS DE ENSAIO.....	60
3.5.1	<i>Propriedades no estado fresco .....</i>	<i>60</i>
3.5.2	<i>Propriedades mecânicas .....</i>	<i>64</i>

3.5.3	<i>Absorção de água por capilaridade</i> .....	65
3.5.4	<i>Microscopia eletrônica de varredura (MEV)</i> .....	66
3.6	MÉTODOS DE ANÁLISE DE DADOS .....	67
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>68</b>
4.1	PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	68
4.1.1	<i>Resistência à compressão aos 7 dias</i> .....	69
4.1.2	<i>Resistência à compressão aos 28 dias</i> .....	71
4.1.3	<i>Resistência a compressão aos 91 dias</i> .....	73
4.1.4	<i>Resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias</i> .....	76
4.2	ABSORÇÃO CAPILAR.....	78
4.3	PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO.....	81
4.3.1	<i>Tempo de pega do concreto</i> .....	81
4.3.2	<i>Consistência pelo tronco de mini-cone de Kantro</i> .....	84
4.3.3	<i>Perda da fluidez pelo funil de Marsh</i> .....	86
4.3.4	<i>Evolução da temperatura Semi-Adiabática</i> .....	88
4.4	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) .....	93
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>100</b>
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	100
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	104
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>105</b>
	<b>APÊNDICE</b> .....	<b>111</b>
	<b>ANEXO</b> .....	<b>125</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O arroz está entre os cereais mais consumidos do mundo, sendo que o Brasil é o nono maior produtor mundial. O cultivo de arroz na região Sul do Brasil contribui, em média, com 54% da produção nacional, sendo o Rio Grande do Sul o maior produtor brasileiro, segundo MAPA (2011).

No entanto, o beneficiamento da produção de arroz gera uma elevada quantidade de resíduos tanto no campo como nas unidades industriais.

O aproveitamento integral destes resíduos é uma necessidade cada vez maior na indústria moderna, somado à crise energética mundial que leva à busca de fontes alternativas de energia. Com isso, estes resíduos tornam-se uma atrativa fonte de biomassa que pode ser utilizada na geração de energia (KIELING, 2009).

Do ponto de vista energético, segundo a ANEEL (2011) a biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia. Uma das principais vantagens da biomassa é que, embora de eficiência reduzida, seu aproveitamento pode ser feito diretamente, por intermédio da combustão em fornos, caldeiras etc.

Dentre os resíduos utilizados no processo de geração de energia a partir da Biomassa destacam-se aqueles resultantes da cadeia produtiva do arroz. No processo de beneficiamento do arroz tem-se como resíduo a casca de arroz, que, devido ao seu alto poder calorífico e custo praticamente nulo, vem cada vez mais substituindo a lenha empregada na geração de calor e de vapor (DELLA et al., 2005).

Contudo, após a queima da casca de arroz, sobra a cinza de difícil degradação e com pouquíssimos nutrientes para o solo, contendo um alto teor de sílica e características particularmente inertes segundo Kieling (2009), o que por sua vez torna a sua reciclagem como co-produto potencialmente segura.

A construção civil no Brasil vem recebendo destaque especial no que diz respeito a utilização destes resíduos como co-produtos, principalmente no caso da cinza de casca de arroz que apresenta características pozolânicas originadas de sua estrutura química amorfa. Neste sentido a cinza de casca de arroz é empregada como adição mineral em materiais à base de cimento.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

O material mais utilizado na engenharia desde a antiguidade é o concreto, originalmente baseado em uma mistura de água, agregados e compostos aglomerantes, segundo Helene e Andrade (2007). A problemática reside no fato do concreto utilizar grande quantidade de recursos naturais não renováveis. Somado a isso há geração de resíduos em grande escala.

Neste sentido alguns estudos visam auxiliar na tentativa de redução de produtos que tem originalmente em seu processo de produção a extração de recursos naturais, como o cimento, através da incorporação de resíduos originados na indústria em geral conforme Neville (1997) ou em processos agrícolas.

A incorporação destes materiais pode trazer benefícios econômicos e ambientais. Nas últimas décadas a questão ambiental tem sido alvo de várias pesquisas. Resíduos de processos industriais e agrícolas recebem destaque especial, através da tentativa de incorporação na indústria da construção civil.

Estes materiais, conhecidos como adições minerais, possuem propriedades pozolânicas. Dentre vários, pode-se citar a cinza volante, a escória de alto-forno, a sílica ativa e a cinza de casca de arroz, conforme Mehta e Monteiro (2008).

Conforme Della et al (2005), no processo de beneficiamento do arroz é gerada a casca como resíduo, a qual por questões de caráter econômico e ambiental e somado a sua excelente capacidade calorífica, vem sendo utilizada como combustível no processo de combustão em muitas indústrias, conhecido como biomassa, gerando por sua vez como resíduo uma cinza.

Devido ao considerável volume de CCA gerada nos processos de biomassa, estudos na área da engenharia buscam comprovação de viabilidade técnica de utilização deste resíduo na indústria cimenteira.

Somado a isso, o grande balizador deste trabalho foi a proposta apresentada ao prêmio Santander (KULAKOWSKI, 2008) que vislumbra a aplicação de cinzas beneficiadas por peneiramento, conforme método estudado por Kieling et al (2008), em concretos, do qual obteve-se recursos para o custeio de bolsas de estudo, que possibilitaram o desenvolvimento do trabalho de Calheiro (2011) e do presente trabalho. Nas conclusões apresentadas no mestrado de Kieling (2009), cujo tema foi a influência do beneficiamento por peneiramento nas características da cinza de casca de arroz, é indicado o aprofundamento deste tema com o estudo do emprego de cinzas peneiradas e moídas em concretos. Neste sentido, o intuito do

presente trabalho visa validar os estudos elaborados por Kieling (2009) estudando o desempenho de concretos com a adição da CCA beneficiada.

A utilização da CCA como material pozolânico em concreto é justificada por vários motivos, dentre eles:

- Redução de descarte inadequado da cinza ao meio ambiente, como cursos de água, por exemplo;
- Redução de emissões atmosféricas e custos energéticos na produção do cimento Portland;
- Melhoria de características de concretos e argamassas.

Entretanto, devido ao fato da cinza apresentar certa heterogeneidade granulométrica e de fases devido ao processo de queima, surgiu a questão balizadora deste estudo:

“A segregação da cinza de casca de arroz via peneiramento influencia nas propriedades do concreto quando a CCA é utilizada em substituição parcial do cimento Portland?”

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar a influência do peneiramento e do teor da cinza de casca de arroz nas propriedades de concretos, quando utilizada em substituição parcial ao cimento Portland.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos que motivam a realização deste trabalho são:

- Avaliar a influência do peneiramento nas propriedades das misturas de concreto com adição de CCA no estado fresco;
- Avaliar a influência do peneiramento da CCA nas propriedades mecânicas do concreto no estado endurecido;
- Verificar a influência do teor de substituição da CCA nas propriedades do concreto no estado fresco;

- Verificar a influência do teor de substituição da CCA nas propriedades do concreto no estado endurecido;
- Verificar a existência de interações entre os fatores estudados, tais como relação água/aglomerante, teor de substituição e o beneficiamento da CCA por peneiramento.

### 1.3 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

Tendo definido o objeto de estudo e objetivos da pesquisa, pode-se traçar as limitações da pesquisa.

Diversos são os fatores que influenciam a pozolanicidade, o desempenho mecânico e demais propriedades de materiais à base de cimento quando são incorporadas adições minerais. Dentre os fatores estão a relação água/aglomerante, o tipo de cimento, o teor de substituição de cimento, o adensamento e cura. Em relação à CCA, acrescenta-se ainda a temperatura de queima e tempo de moagem da adição mineral em estudo.

Tendo em vista a impossibilidade de avaliação do grau de influência de cada fator, fez-se necessário estabelecer os limites do programa experimental a ser desenvolvido. Ressaltando-se:

Tipo de cimento: como o objetivo geral desta pesquisa é avaliar a influência do beneficiamento da CCA em concretos produzidos com substituição parcial do cimento Portland, decidiu-se trabalhar com somente um tipo de cimento. O escolhido é um cimento livre de adições pozolânicas conforme a Norma ABNT NBR 11578: 1991, trata-se do CII-F-32.

Tempo de moagem da CCA: adotou-se somente um tempo de moagem da cinza de casca de arroz.

Percentual de substituição do cimento: os percentuais de substituição do cimento pela cinza adotados nesta pesquisa basearam-se em estudos já existentes sobre o assunto.

Cura: os procedimentos de cura que serão adotados são baseados nas especificações da Norma ABNT NBR 7215: 1996 para o ensaio de resistência a compressão axial.

Tipo de cinza: adotou-se para o trabalho somente cinza de casca de arroz originada no mesmo lote de produção de uma empresa de bebidas da região de Porto Alegre. Portanto com condições iguais de processo, tempo e temperatura de exposição de queima.

#### **1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA**

O trabalho apresenta a seguinte estrutura:

No presente capítulo apresenta-se a introdução, delimita-se o tema, formula-se a questão de estudo, definem-se os objetivos, geral e específicos, e justifica-se a realização deste trabalho.

O capítulo 2 é dedicado a uma revisão bibliográfica sobre pozolanas, em especial a cinza de casca de arroz, o beneficiamento da cinza de casca de arroz e a influência desta no concreto em estado fresco, em sua resistência mecânica e na durabilidade.

No capítulo 3 será apresentado programa experimental, com materiais e métodos utilizados no trabalho.

Os resultados obtidos são apresentados no capítulo 4, bem como a análise destes.

Finalmente, o capítulo 5, é destinado à conclusão obtida durante a análise dos resultados.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O concreto comumente composto da mistura de cimento Portland, areia, brita e água, é o material de construção mais utilizado no mundo. Seu consumo mundial encontra-se em torno de 11 bilhões de toneladas métricas anualmente, sendo, portanto, depois da água o material mais consumido pela humanidade segundo Mehta e Monteiro (2008). Para Helene e Andrade (2007), o concreto é uma das descobertas mais interessantes da história do desenvolvimento da humanidade e sua qualidade de vida. Neste sentido, a revisão bibliográfica aborda embasamento teórico em conceitos de concreto tanto no estado fresco quanto no endurecido, pois ambos são focos de estudo do presente trabalho.

### **2.1 CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO**

Helene e Andrade (2007) explicam o concreto como um material com duas fases distintas, o estado fresco e o estado endurecido. O estado fresco corresponde a um período em geral da ordem de 1 hora a 5 horas, ou seja, tempo necessário para o material ser misturado, transportado, lançado e adensado. Enquanto que a fase do estado endurecido corresponde desde o início da hidratação estendendo-se por toda vida da estrutura.

Mehta e Monteiro (2008) explicam pelo menos três razões da grande utilização do concreto, tendo em vista que este não é nem tão duro, nem tão resistente quanto o aço.

A excelente resistência à água é a primeira razão. Diferente da madeira e do aço, a capacidade de resistir a presença de água sem graves deteriorações torna-o o material mais adequado para obras de controle, armazenamento e transporte de águas, tais como aquedutos, barragens e cisternas, já construídas pelos romanos, e ainda revestimentos de canais e pavimentos em quase todos os lugares do mundo, segundo Mehta e Monteiro(2008). Os autores apresentam também a utilização do concreto em conjunto com o aço sob a premissa de ambos atuarem na resistência de esforços a tração (concreto armado) em elementos estruturais, como estacas, fundações, sapatas, vigas e muros.

A segunda razão da grande utilização do concreto, diz respeito à facilidade com a qual elementos estruturais podem ser obtidos através de uma variedade de formas e tamanhos.

Já a terceira razão da popularidade do concreto, segundo Mehta e Monteiro (2008), é o custo de sua produção, e a rápida disponibilidade do material para uma obra. Pois os componentes do concreto – agregados, água e o cimento Portland – são facilmente encontrados em todos os lugares do mundo e com custos relativamente baixos.

No estado endurecido algumas propriedades são fundamentais e desejáveis no concreto. Dentre as propriedades Helene e Andrade (2007) citam resistência à compressão, massa específica, coeficiente de dilatação térmica, resistência à tração, módulo de elasticidade, e ainda permeabilidade, retração e absorção:

1. Resistência à compressão: para que uma estrutura de concreto armado atenda os requisitos de segurança sob o ponto de vista estrutural, a resistência deve ser garantida, avaliada e registrada ao longo do processo de produção. De acordo com a normalização, várias são as etapas para a determinação da resistência a compressão de concretos, desde a coleta das amostras (ABNT NBR NM 33:94, os procedimentos de moldagem e cura dos corpos-de-prova (ABNT NBR 5738:2003, até a execução do ensaio pela Norma ABNT NBR NM 101:1996 que define tratamentos dos corpos-de-prova, velocidade de carregamento dentre outras condições, segundo Helene e Andrade (2007).

2. Massa específica: De acordo com a ABNT NBR 6118: 2003 os concretos estruturais devem ter massa específica compreendida entre  $2.000\text{Kg/m}^3$  e  $2.800\text{Kg/m}^3$ . No entanto para Mehta e Monteiro, com base na massa específica o concreto pode ser classificado em três amplas categorias: *Concretos de densidade normal*, comumente usado para fins estruturais. *Concreto leve*, usado para designar o concreto com massa específica menor que  $1.800\text{ Kg/m}^3$ . *Concreto pesado*, usado em blindagem contra radiação, com agregados de alta densidade e geralmente possui massa específica maior que  $3.200\text{ kg/m}^3$ .

3. Coeficiente de dilatação térmica: o coeficiente de dilatação térmica depende da natureza dos agregados, mas segundo a Norma ABNT NBR 6118:2003 para efeito de análise estrutural este pode ser admitido com sendo  $\alpha = 10^{-5}\text{m}/^\circ\text{C}$ .

4. Resistência à tração: Para obter a tração indireta pelo método da compressão diametral deve ser empregado o método de ensaio descrito pela Norma ABNT NBR 7222: 1994. Tal norma preconiza que os procedimentos de moldagem e cura dos corpos de prova são os mesmos do ensaio de compressão. Para o ensaio de resistência a tração por compressão diametral, os corpos de prova não são capeados em seu topo e seu procedimento de ensaio em prensa necessita a posição horizontal.

5. Módulo de elasticidade: Para Helene e Andrade (2007) muitas variáveis podem interferir no módulo de elasticidade de um concreto. Dentre as variáveis pode-se citar a resistência a compressão, consistência do concreto no estado fresco, volume de pasta por metro cúbico de concreto, teor de umidade dos corpos de prova no momento do ensaio,

dimensão máxima característica do agregado graúdo, dimensão dos corpos de prova e a natureza da rocha do agregado graúdo. A norma que preconiza e descreve o ensaio do módulo de elasticidade no Brasil é a Norma ABNT NBR 8522: 2003.

6. Retração: Segundo Helene e Andrade (2007), é a redução do volume do concreto ao longo do tempo devida a perda de água da pasta de cimento e alterações físico-químicas internas.

7. Permeabilidade e absorção: Para Neville (1997), o concreto é um material que por sua própria composição é necessariamente poroso, devido ao fato de não ser possível preencher todos os vazios do agregado com a pasta de cimento. Desta forma, a absorção é um processo físico pelo qual o concreto retém água nos poros e condutos capilares; e, permeabilidade como a propriedade física que identifica a possibilidade de passagem de água através do material. Esta passagem pode ocorrer sob pressão, por difusão através dos condutos capilares ou ainda por capilaridade.

Para obtenção da absorção de concreto, Petry (2004) seguiu as recomendações de pré-condicionamento e ensaio de absorção da RILEM TC 116-PCD. Esta recomendação preconiza que os corpos de prova tenham uma concentração de umidade em equilíbrio e distribuição uniforme de água evaporável anterior à execução do ensaio.

Frizzo (2001) realizou o pré-condicionamento segundo recomendação da RILEM da seguinte maneira: Após a desmoldagem dos corpos de prova originais, de dimensões de 15 cm de diâmetro por 30 cm de altura, estes foram estocados em câmara úmida até a idade de 49 dias; Após os 49 dias os corpos de prova foram retirados da câmara úmida e serrados com discos diamantados descartando-se as extremidades. Dos corpos de prova originais foram obtidos através de cortes com serra vários corpos de prova cilíndricos, dos quais parte deles foi utilizada somente para obtenção dos parâmetros de pré-condicionamento. Foram estabelecidos 14 dias para redistribuição de umidade, 10 dias para pré-secagem, 10 dias para determinação dos parâmetros, 3 dias para selagem lateral, um dia para corte e 4 dias para imprevistos, que quando não utilizados eram acrescentados ao período de redistribuição de umidade.

O ensaio de absorção capilar de água utilizado por Frizzo (2001) foi realizado da seguinte maneira:

1. A água e o ambiente do ensaio eram mantidos a ( $20^{\circ}\text{C} \pm 1$ );



2. A face curva dos corpos de prova era selada com verniz poliuretânico, e o topo coberto com um capuz plástico;
3. Os corpos de prova eram imersos em água até uma profundidade de 3mm;
4. A ascensão de água por absorção era medida pelo peso dos corpos de prova em intervalos de 10 minutos, 1 hora, 4 horas e 24 horas.
5. A água de absorção era registrada e para cada intervalo de tempo calculada pela equação 1.

$$W(t) = m(t) - m_0 \quad \text{Equação 1}$$

onde :

**W** = a diferença de massa do corpo de prova no tempo considerado;

**m** = a massa do corpo de prova no tempo considerado

**m<sub>0</sub>** = a massa inicial do corpo de prova

6. A absorção de água foi expressa por unidade de área da superfície de ensaio (g/m<sup>2</sup>).

Neste item foram apresentadas as propriedades desejáveis do concreto no estado endurecido, enquanto que no item a seguir serão apresentadas as propriedades do concreto no estado fresco.

## 2.2 CONCRETO NO ESTADO FRESCO

Para Ferraris (1999) o concreto pode ser entendido como uma concentração de partículas sólidas em suspensão, representado pelos agregados, em um líquido viscoso, no caso, a pasta de cimento. Esta pasta, não se configura como um líquido totalmente homogêneo, pelo fato de ser composta por partículas (grãos de cimento) e um líquido (água). No entanto, Ferraris afirma que em uma escala macroscópica, o concreto fresco flui como um líquido.

Termos como trabalhabilidade, consistência, capacidade de escoamento, mobilidade e capacidade de bombeamento estão sendo utilizados para descrever o comportamento do concreto no estado fresco, conforme Wallevik (2006).

No entanto, para Mehta e Monteiro (2008) diversas pesquisas estão sendo desenvolvidas com o intuito de definir propriedades de escoamento do concreto no estado fresco, mas os métodos de ensaio utilizados não determinam propriedades reológicas

semelhantes para um mesmo concreto, devido a diferenças quanto a técnicas e equipamentos utilizados, bem como habilidade do operador empregada em cada ensaio.

Para Netto (2006), a adição pozolânica em concretos de cimento Portland proporciona benefícios tanto no comportamento mecânico e de durabilidade quanto à sua reologia no estado fresco. Castro (2007) afirma que a adição de CCA na mistura possibilita que a matriz da pasta fique mais densa devido à elevada área específica de sílica presente na cinza.

Outros autores complementam afirmando que fatores como forma e tamanho dos grãos da adição pozolânica, bem como a tensão superficial, são fatores que influenciam na reologia no estado fresco do concreto. Mehta e Monteiro (2008) abordam alguns fatores que influenciam na trabalhabilidade do concreto, sendo eles:

Consumo de água - quando o teor de água aumenta a consistência fica mais fluída. Em consistências muito fluídas a mistura tende a segregar e exsudar, enquanto que uma mistura com consistência muito seca pode gerar dificuldades de lançamento e adensamento, causando segregação no lançamento;

Consumo de cimento - para os autores, misturas com consumo elevado de cimento ou ainda alta proporção de finos, embora apresentem excelente coesão, tendem a apresentar viscosidade elevada;

Características do agregado - o tamanho das partículas do agregado graúdo influencia diretamente na quantidade de água necessária para a consistência desejada na mistura. Já para os agregados miúdos, salienta-se que areias muito finas ou angulosas requerem maior quantidade de água para atingir determinada consistência;

Aditivos e adições - a incorporação de determinados aditivos redutores de água ou plastificantes permite que seja mantida a quantidade de água, e proporcione o ajuste em determinada consistência. Os autores afirmam ainda que quando adicionados materiais pozolânicos na mistura, estes tendem a reduzir a exsudação e aumentam a coesão do concreto, afirmam também que, cinzas volantes quando substituem parcialmente o agregado miúdo, tendem a aumentar a consistência da mistura com um dado consumo de água.

Golaszewski e Szwabowski (2004) afirmam que a razão entre a tensão de cisalhamento / tensão de escoamento é a primeira condição da trabalhabilidade. Logo o estudo da relação entre a condição estrutural e a tensão de escoamento do concreto fresco é necessário para o conhecimento e controle da trabalhabilidade da mistura, e por consequência

sua aplicação. Portanto, concluíram que para o estudo sobre reologia, o material deve ser avaliado sob dois aspectos: tensão de escoamento e viscosidade plástica.

A tensão de escoamento em termos práticos traduz a força que necessita ser aplicada ao concreto para que ele entre em movimento, ou seja, passe a escoar, enquanto que a viscosidade plástica expressa a resistência do concreto para continuar escoando sob a ação de determinada força, segundo Sahmaram, Christiano e Yaman (2006).

Para Petit *et al* (2007), a previsão dos parâmetros reológicos está se tornando cada vez mais importante para as novas gerações de concretos, e para o entendimento das condições de concretagens. Neste sentido, diversos estudos abordam o comportamento reológico de materiais a base de cimento. No entanto, a maioria dos modelos propostos descreve apenas variações dos parâmetros iniciais e não a tensão de escoamento e a viscosidade plástica propriamente ditos.

### **2.2.1 Ensaios de parâmetros reológicos no estado fresco**

Existem ensaios que medem apenas um parâmetro reológico, e ensaios mais completos que possibilitam a obtenção dos dois parâmetros de concretos no estado fresco. Salienta-se que alguns deles não fornecem propriamente os parâmetros tensão de escoamento e viscosidade plástica, mas apenas medidas indiretas que possibilitam a compreensão da reologia do material em termos de trabalhabilidade (através do abatimento ou espalhamento da mistura), fluidez e coesão.

#### **2.2.1.1 Ensaios que medem um parâmetro reológico**

Reis (2008) apresenta alguns exemplos de ensaios que medem apenas um parâmetro reológico, tais como abatimento tronco de cone, penetração, viscosímetro de tubo rotativo e ensaio de k-slump, para obtenção da tensão de escoamento. Enquanto que ensaios como VeBe, LCL, ensaio de vibração, cone de escoamento (Cone ou funil de Marsh), Caixa L e Orimet medem a viscosidade plástica, Marangon (2006) também utiliza para obtenção de viscosidade o ensaio de fluidez no Funil “V”.

Para Castro (2007), o Abatimento de Tronco Cone é um ensaio bastante usado cotidiano e de simples execução, que pode detectar pequenas modificações na mistura através do teor de água da mistura original. A Norma ABNT NBR NM 67:1998 regulamenta o ensaio no Brasil.

O Consistômetro de VeBe, segundo Castro (2007), é um ensaio que objetiva determinar a consistência do concreto fresco através da avaliação da capacidade da mistura mudar de forma quando submetida à vibração com o auxílio do equipamento consistômetro Ve-Be, conforme Figura 1.



**Figura 1 – Aparelho de VeBe**

Segundo a norma DNIT 064/2004 – ME – Pavimento rígido – Determinação da consistência do concreto pelo consistômetro de VeBe – Método de ensaio que regulamenta este ensaio no Brasil, o equipamento Consistômetro VeBe é descrito da seguinte forma:

[...] Mesa vibratória com 38 cm de comprimento, 26cm de largura e 30,5cm de altura, assentada em placas de borracha, à qual possa ser fixado o recipiente metálico e que, em funcionamento, produza frequência de 3.000 hertz com amplitude entre 0,4mm e 0,5mm. Deve ser periodicamente aferida por processo mecânico ou elétrico, para garantir os valores de frequência e amplitude de vibração fixados.

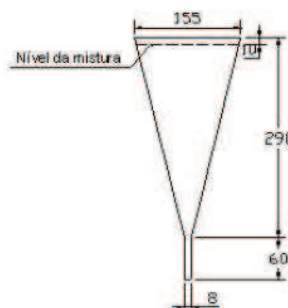
De maneira simplificada este ensaio visa determinar o tempo necessário para que o tronco de cone de concreto fresco moldado em equipamento padronizado se transforme em um cilindro sob a ação de uma determinada vibração também padronizada.

Já o ensaio de fluidez de Cone Marsh (ou funil Marsh), segundo Roussel e Lê Roy (2005) é um teste de fluidez utilizado como ferramenta de controle de qualidade de pastas de cimentos e rejuntas. Ainda segundo os autores este teste varia de país para país, mas o princípio é geralmente o mesmo. Pois de maneira simplificada consiste em determinar o tempo necessário para que uma determinada quantidade de material colocada sobre o funil (ou cone) leva para escoar pelo orifício do mesmo. De acordo com Hallal et al (2010), este tempo representa a fluidez do material, ou seja, quanto maior o tempo de escoamento menos fluído é

o material. A Figura 2 ilustra o funil Marsh completo, sendo a parte “A” com a estrutura de suporte e a parte “B” as dimensões do funil.



(a) Suporte com funil



(b) Vista lateral do funil

**Figura 2 – Funil de Marsh**

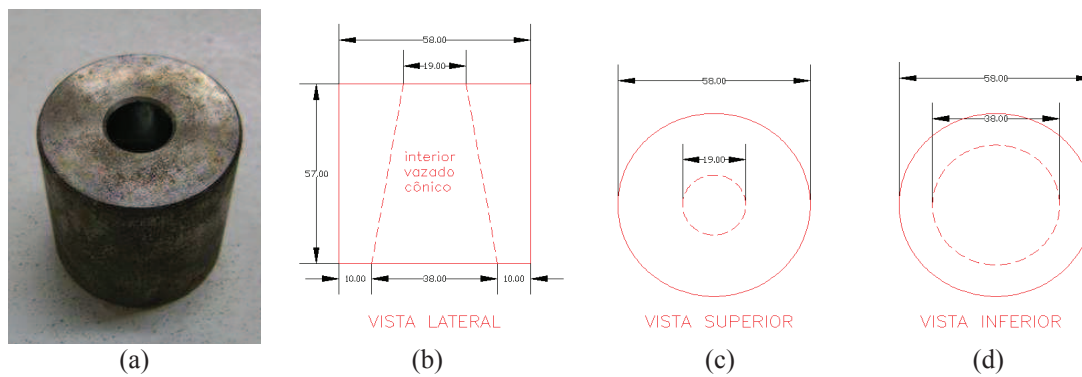
O ensaio de funil Marsh é regulamentado pela norma americana ASTM C 939/87. No entanto, no Brasil, deve ser seguido as prescrições da Norma ABNT NBR 7682: 1991. De maneira simplificada a norma cita que a execução do Ensaio do Cone de Marsh deve ser feito seguindo os seguintes passos:

1. Umedecer o interior do cone antes da realização de cada ensaio;
2. Posicionar o cone corretamente em seu suporte, de maneira a garantir seu nivelamento;
3. Alinhar a proveta ou recipiente graduado com o eixo do funil;
4. Fechar a abertura inferior do cone com o dedo ou registro e lançar a amostra para dentro do cone;
5. Abrir a abertura inferior e no momento em que a calda atingir o fundo da proveta, e no mesmo instante acionar o cronômetro;
6. Parar o cronômetro quando o béquer graduado for preenchido com o volume da pasta pré-determinado.

Neste sentido o tempo necessário para o preenchimento do béquer com o volume de pasta representa quão fluida a mistura é considerada.

Já o ensaio de abatimento através do minitronco de cone foi desenvolvido por Kantro em 1980, e consiste na determinação do abatimento da calda de cimento por meio do minitronco. Segundo Lima (2009), o ensaio de mini-cone de Kantro mostra-se vantajoso em

comparação do ensaio do funil de Marsh por se tratar de um procedimento rápido e de consumo menor de materiais. O mini-cone de Kantro pode ser visualizado na Figura 3.



**Figura 3 – Mini-cone de Kantro**

Segundo Mikanovic e Jolicoeur (2008) o ensaio de mini-cone ou também chamado de miniabatimento, consiste em fazer um ensaio com uma pequena quantidade de pasta usando o cone com dimensões reduzidas como mostrado na Figura 3 e obter a área de espalhamento da pasta, possibilitando assim a avaliação de alterações de fluidez de pastas de cimento com o tempo.

Segundo Chandra e Bjornstron (2002), a diminuição da área de espalhamento ao longo do tempo denominada como diminuição da fluidez, é influenciada pelo processo de hidratação do cimento. Sendo que a aceleração da hidratação vai aumentar a perda de fluidez do material.

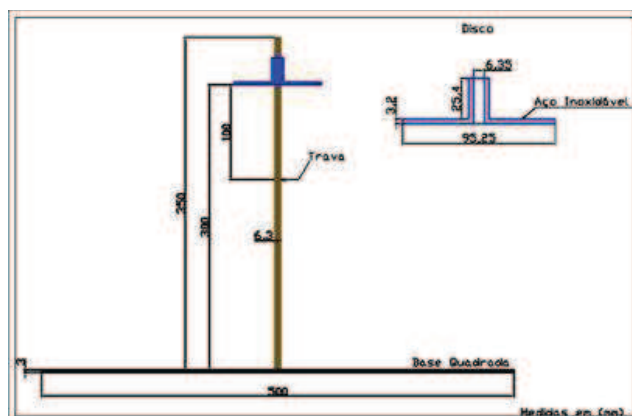
Camões (2005) desenvolveu um trabalho com o mini-cone de Kantro e o funil de Marsh, e afirma que a inclusão de adições minerais afeta o comportamento reológico das pastas, e a dosagem de aditivos plastificantes deve ser determinada considerando a presença destas adições. Desta maneira a quantidade de aditivo plastificante a acrescentar em pastas deve ser referida em relação à quantidade total de pó e não somente em função do teor de cimento utilizado na composição.

Para Lima (2009), e Aydin, Aytaç e Ramyar (2009) ambos os ensaios, funil de Marsh e mini-cone de Kantro possibilitam analisar a fluidez das pastas ou caldas de cimento. No entanto, o ensaio de mini-cone de Kantro está relacionado com a tensão de escoamento, enquanto que o funil de Marsh está relacionado com a viscosidade plástica do material.

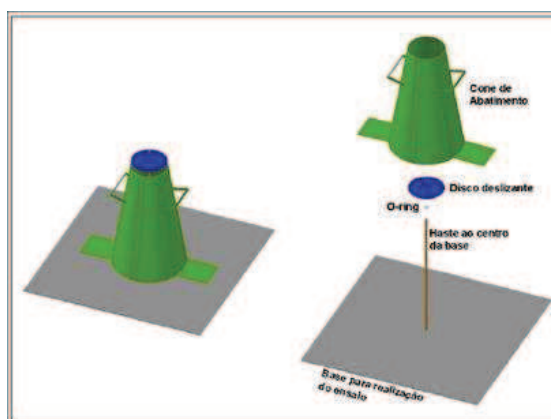
### 2.2.1.2 Ensaios que medem dois parâmetros reológicos

Dentre os ensaios que medem os dois parâmetros reológicos simultaneamente (tensão de escoamento e viscosidade plástica), pode-se citar o ensaio de abatimento de tronco de cone modificado e o reômetro.

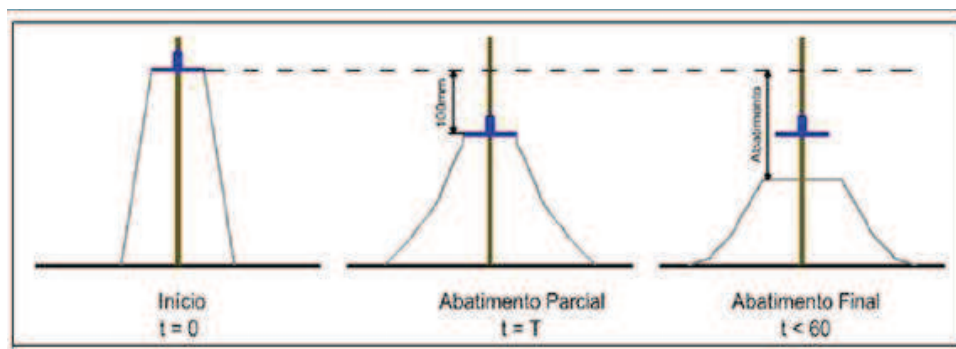
O Ensaio de abatimento de tronco de cone modificado possibilita a obtenção de medidas relacionadas com a viscosidade plástica do material (REIS, 2008) a partir da modificação ou aperfeiçoamento do ensaio de abatimento de tronco de cone tradicional, pois este é capaz de medir somente propriedades relacionadas com a tensão de escoamento. Os autores da modificação (FERRARIS e DE LARRARD,1998) com o objetivo de caracterizar também a viscosidade plástica decidiram se basear em uma taxa média de abatimento durante o ensaio, logo intervalos de tempo necessários para se alcançar uma altura intermediária entre os abatimentos iniciais e finais se tornaram a melhor maneira de descrever a viscosidade do concreto. Logo, a modificação do ensaio original consistiu na adoção de um disco deslizando por uma haste localizada no centro da placa de base horizontal com o objetivo de monitorar o tempo gasto para se atingir um abatimento de 100 mm, através de um cronômetro. Sendo que este cronômetro é acionado por um operador, no momento em que o molde de tronco de cone é retirado e, parado quando o disco deslizando colocado sobre o concreto fresco atinge a marca do 100mm e travado nesta posição. Depois de estabilizado o abatimento, ou decorrido um minuto após o início do ensaio, deve-se remover o disco deslizando e medir o abatimento com a régua. Reis (2008), através da Figura 4, ilustra a haste do ensaio (A) e o esquema de montagem e procedimento do ensaio (B) e (C), respectivamente.



A – Detalhe da haste de ensaio



B – O equipamento em partes



C – Esquema de procedimento de ensaio

**Figura 4 – Haste do ensaio e esquema de procedimento**  
 Fonte: CASTRO (2007)

A Figura 5 ilustra de maneira clara o disco e a haste usados por Ferraris e De Larrard para a modificação do ensaio.





**Figura 5 – Modificações do equipamento para realização do ensaio de abatimento**  
 Fonte: FERRARIS E DE LARRARD (1998)

Os autores da modificação do ensaio, para a obtenção dos parâmetros reológicos desenvolveram equações onde a tensão de escoamento e a viscosidade plástica estão relacionadas com o abatimento final e com o tempo de abatimento parcial do concreto no estado fresco. Para a tensão de escoamento a equação é:

$$\tau_0 = \frac{\rho}{347} (300 - S) + 212 \quad \text{Equação 2}$$

onde  $\rho$  é a densidade do concreto em [kg/m<sup>3</sup>] e  $S$  é o abatimento final em [mm].

Já para o cálculo da viscosidade plástica as equações propostas pelos autores são:

$$\mu = 1,08 \cdot 10^{-3} (S - 175) \rho T \quad \text{Equação 3}$$

$$\mu = 25 \cdot 10^{-3} \rho T \quad \text{Equação 4}$$

onde  $\mu$  é a viscosidade plástica em [Pa.s] e  $T$  é o tempo de abatimento parcial em [s].

Contudo, a utilização do tronco de cone modificado é indicado para concretos com abatimento superiores a 100 mm, tornando assim seu uso inviabilizado para concretos com abatimentos inferiores a este limite. Desta maneira, para concretos convencionais, que possuem abatimento em torno de 80 mm, o uso do tronco de cone modificado não é apropriado.

Para Castro (2007), os Reômetros são equipamentos que avaliam as propriedades reológicas de fluidos e suspensões, pois permitem estudar o comportamento da tensão de escoamento e da viscosidade plástica em função de variáveis como tempo e temperatura. O autor cita demais pesquisadores como STEIN (1986), que afirmam que os diversos reômetros

disponíveis comercialmente possuem seu funcionamento baseado em dois princípios básicos, sendo o primeiro deles, o reômetro em que o torque aplicado ao fluido é controlado, avaliando-se portanto o cisalhamento resultante. E o segundo, em que o cisalhamento aplicado ao material é controlado, avaliando-se assim a força necessária para tal cisalhamento.

Dessa maneira, segundo Castro, Libório e Pandolfelli (2009), os reômetros são equipamentos precisos e objetivos não somente para pesquisas, mas também destinados a estudos práticos e medidas de controle de qualidade do material, devido ao ensaio da maioria dos reômetros ser totalmente controlado por computador.

### 2.3 POZOLANAS

Há cerca de 2000 mil anos os romanos já utilizavam em suas edificações um material de origem vulcânica, a cinza denominada de “pulvis putelonis” presente na região da Baía de Nápoles (Itália). Este material mais tarde denominado de pozolana, foi empregado em muitas edificações do Império Romano, e muitas delas ainda são testemunhas de seu desempenho satisfatório, como o Coliseu em Roma, construído de 80 e 70 a.C. (MASSAZZA;1998, KLEMM; 1989 apud CORDEIRO; 2006).

Em seu trabalho, Duart (2008) divide adições minerais em três tipos:

- **Inertes** - adições que não apresentam reação química considerável quando adicionadas ao concreto, por exemplo, o filler calcário;

- **Hidráulicas** - adições que reagem na presença de água, produzindo características cimentantes, como, por exemplo, a Escória de Alto Forno;

- **Pozolanas** - adições que na presença de água reagem com o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), chamadas de ativadoras da reação Pozolânica, a cinza volante, sílica ativa e a CCA são exemplos destas adições.

Para Moraes (2001), as pozolanas são materiais que podem ter origem natural ou artificial possuindo em sua constituição química sílica em forma ativa (vítrea). Dentre as naturais citam-se as cinzas vulcânicas, terras diatomáceas calcinadas e argila calcinada, enquanto que nas pozolanas artificiais encontram-se a sílica ativa, cinza volante e a CCA.

Outra classificação semelhante é defendida por Mehta e Monteiro (2008), que dividem em materiais pozolânicos naturais e materiais de subprodutos. Nos naturais, o processamento

é feito exclusivamente com a finalidade de produção de uma pozolana, consistindo basicamente em britagem, moagem, separação de tamanhos e até ativação térmica do material. Os materiais de subprodutos podem ou não exigir algum processo de beneficiamento, tal como secagem, pulverização, segregação e até moagem, antes de sua utilização como adição mineral ou pozolânica.

A Norma ABNT NBR 12653:1992 define material pozolânico como:

[...] Materiais silicosos ou silicoaluminosos que, por si só, possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, quando finamente divididos e na presença da água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos com propriedades aglomerantes.

A classificação apresentada pela Norma ABNT NBR 12653:1992 divide os materiais pozolânicos em naturais e artificiais. As pozolanas naturais são materiais de origem vulcânica ou de origem sedimentar com aproximadamente 65% de  $\text{SiO}_2$  em sua composição. Já dentre as pozolanas artificiais são citadas a argila calcinada, a cinza volante e outros materiais como escórias siderúrgicas e cinzas de resíduos vegetais.

Mehta e Monteiro (2008) apresentam uma classificação incluindo composição e características das adições para o concreto, conforme a Tabela 1. Moraes (2001) afirma ainda que, estes materiais pozolânicos quando utilizados em substituição parcial do cimento trazem benefícios tecnológicos e melhoria de algumas propriedades. A produção de concretos com misturas de aglomerantes bem proporcionadas resultam na produção de um material com menor porosidade e permeabilidade.

Tabela 1 – Classificação, composição e características das adições minerais para concreto

Classificação	Composição química e mineralógica	Características da partícula
<b>Cimentantes</b>		
Escória granulada de alto-forno (cimentante)	Na maior parte silicato vítreo contendo principalmente cálcio, magnésio, alumínio, e sílica. Componentes cristalinos do grupo melilita podem estar presentes em pequenas quantidades.	O material não processado é da dimensão da areia e contém de 10 a 15% de umidade. Antes de ser usado, é seco e triturado em partículas menores de 45 $\mu\text{m}$ (cerca de 500 $\text{m}^2/\text{Kg}$ Blaine). As partículas têm textura áspera.
Cinzas Volantes com alto teor de cálcio (cimentantes e pozolânicas)	Na maior parte silicato vítreo contendo principalmente cálcio, magnésio, alumínio e álcalis.  A pequena quantidade de matéria cristalina presente geralmente consiste em quartzo e $\text{C}_3\text{A}$ ; cal livre e periclásio podem estar presentes no caso de carvões com alto teor de enxofre. O carbono não queimado é menor do que 2%.	O pó corresponde a 10-15% de partículas maiores de 45 $\mu\text{m}$ (normalmente 300-400 $\text{m}^2/\text{Kg}$ Blaine). A maioria das partículas são esferas sólidas com diâmetro menor que 20 $\mu\text{m}$ . A superfície de partícula normalmente é lisa, mas não tão limpa quanto as cinzas volantes com baixo teor de cálcio.
<b>Pozolanas altamente reativas</b>		
Sílica ativa condensada	Consiste essencialmente de sílica pura na forma não-cristalina.	Pó extremamente fino, consistindo em esferas sólidas de de 0,1 $\mu\text{m}$ de diâmetro médio (área superficial específica cerca de 20 $\text{m}^2/\text{g}$ , por adsorção de nitrogênio)
Cinza de Casca de arroz	Consiste essencialmente de sílica pura na forma não-cristalina.	As partículas normalmente são menores do que 45 $\mu\text{m}$ , mas são altamente celulares (área superficial específica de 40 a 60 $\text{m}^2/\text{g}$ , por adsorção de nitrogênio)
<b>Pozolanas comuns</b>		
Cinza volante com baixo teor de cálcio	Na maior parte silicato vítreo contendo alumínio, ferro e álcalis.  A pequena quantidade de matéria cristalina presente consiste geralmente de quartzo, mulita, silimanita, hematita, e magnetita.	O pó corresponde a 15-30% de partículas maiores do que 45 $\mu\text{m}$ (normalmente 200 a 300 $\text{m}^2/\text{kg}$ Blaine). A maioria das partículas são esferas sólidas com diâmetro médio de 20 $\mu\text{m}$ . Cenosferas e pleosferas podem estar presentes.
Materiais naturais	Além de vidro de aluminossilicato, as pozolanas naturais contêm quartzo, feldspato e mica.	As partículas são moídas a menos de 45 $\mu\text{m}$ e têm textura áspera.
<b>Pozolanas pouco reativas</b>		
Escória de alto-forno resfriada lentamente, cinzas de forno, escória de caldeira, palha de arroz queimada em campo.	Consistem essencialmente de materiais de silicato cristalino e apenas uma quantidade pequena de matéria não-cristalina.	Os materiais devem ser pulverizados em partículas de dimensões muito finas para desenvolver alguma atividade pozolânica. As partículas moídas são de textura áspera.

Fonte: Mehta e Monteiro (2008)

## **2.4 CINZA DE CASCA DE ARROZ**

Neste item serão tratados aspectos do ciclo da CCA, desde um breve conhecimento do panorama mundial de produção, a problemática do descarte da casca gerada no beneficiamento, e algumas alternativas de aproveitamentos deste resíduo. É apresentada ainda a influência da cinza de casca de arroz quando incorporadas a concretos.

### **2.4.1 Casca de arroz**

Devido a uma considerável aceitação como alimento, o arroz está entre os cereais mais consumidos no mundo, e sua produção difundiu-se por todos os continentes, exceto na Antártida, segundo FAO (2011), a estimativa de produção mundial do arroz em 2011 é de 700 milhões de toneladas.

No Brasil, em 2009, segundo o IBGE (2009), a estimativa de produção foi de 12,7 milhões de toneladas, destacando-se a região sul do País, que ocupa a primeira colocação com 40,9 % da produção de cereais.

Sendo o arroz uma gramínea do gênero *Oriza L.* sua produção necessita, essencialmente, de solo com muita umidade. Esta planta produz como fruto o cereal arroz. Este cereal para ser consumido como alimento humano recebe um processo de beneficiamento em indústrias. No processo de beneficiamento do arroz, em torno de 20% do seu peso torna-se resíduo, trata-se da casca do grão. Segundo Della et al (2001), trata-se de um material abrasivo e constitui-se em um grave e dispendioso problema devido ao fato de possuir baixo valor nutritivo, reduzida densidade e difícil eliminação.

Embora modificada por fatores como o tipo ou espécie cultivada, solo, fatores climáticos e até produtos químicos utilizados, como fertilizantes, a composição química da casca do arroz é composta aproximadamente de 54% de celulose e hemicelulose, 26% de lignina e 20% de sílica em base anidra (CORDEIRO, 2006).

Um dos destinos dados a esta casca originada do beneficiamento do grão, devido ao grande volume gerado e ao considerável poder calorífico, é o emprego em processos de cogeração de energia. Duart (2008) afirma que é prática comum em indústrias de beneficiamento de arroz o uso da casca como combustível no processo, gerando uma quantidade considerável de cinza, a qual ainda não tem destinação específica, sendo na maioria dos casos descartada inadequadamente no meio ambiente.

Houston (1972) caracteriza a casca de arroz como um revestimento ou capa protetora que é formada durante o crescimento do grão. Possuindo baixa densidade e considerável volume, consiste em um material fibroso composto de aproximadamente 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de resíduos inorgânicos. Entre 95 e 98% do resíduo orgânico é constituído de sílica com estrutura amorfa hidratada o que representa 20% do total da casca.

Devido à presença de sílica em sua composição, tal cinza desperta interesse de pesquisadores. Tais pesquisas objetivam a caracterização desta cinza e buscam o emprego como adição mineral em cimentos e concretos, pois possui propriedades pozolânicas desejáveis nestes compostos, (PRUDENCIO, SANTOS E DAFICO, 2003 e VAGHETTI, 2005).

A cinza resultante do processo de queima da casca tem suas características pozolânicas diretamente relacionada a dois fatores, temperatura de queima (SANTOS, 1997) e grau de moagem, conforme exposto a seguir.

#### **2.4.2 Geração da cinza de casca de arroz**

De acordo com Della (2005), a rápida combustão e o considerável poder calorífico tornam a casca de arroz uma boa opção de combustível. A casca de arroz também tem função ambiental, já que é uma biomassa renovável derivada de um resíduo agroindustrial.

Por se tratar da casca de um grão, a superfície de contato dessa biomassa é maior, o que garante seu poder calorífico, e, por apresentar pouca umidade garante facilmente sua combustão. O fato de o arroz ser produzido no Brasil todo, garante a alta disponibilidade dessa biomassa, porém segundo a Carbono Social (2009), os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Mato Grosso, Maranhão, Pará e Tocantins onde as produções de arroz são maiores, o fornecimento é mais rápido.

Somado a estes fatos, de acordo com Cordeiro (2006), a evolução tecnológica nas últimas décadas no beneficiamento de arroz no Brasil tornou necessária a produção de grande quantidade de vapor pelas indústrias, que inicialmente era obtida pela queima de lenha ou óleo nas fornalhas. O autor complementa que, em função da disponibilidade da casca de arroz, de seu elevado poder calorífico de aproximadamente 15 MJ/Kg, e do custo praticamente nulo, a casca mostra-se como uma alternativa eficiente de combustível como biomassa. No entanto,

segundo a Carbono Social (2009), para usar a casca de arroz como combustível, é necessário a construção de um galpão para armazenamento e secagem dessa biomassa.

O uso da biomassa com casca de arroz está sendo empregado também na produção de energia elétrica. Segundo a Eletrosul (2008), existem empresas na fronteira do Rio Grande do Sul que suas plantas industriais chegam a produzir 4,5 MW de energia, suficientes para suprir o consumo da fábrica e vender o excedente no mercado, pois são queimadas diariamente 180 toneladas de casca de arroz, o equivalente a 50 carretas carregadas com o resíduo por dia.

Como resultado deste processo de produção de vapor ou energia com a queima da casca de arroz, tem-se o resíduo denominado cinza de casca de arroz (CCA). De acordo com Rego (2001) na combustão da casca, 20% do material torna-se cinza. Devido ao grande volume de cinza que é gerado somado às características da cinza, tal resíduo é estudado no meio acadêmico buscando diferentes alternativas de utilização. Como uma das alternativas pode-se citar o emprego da CCA como adição pozolânica em materiais compósitos, em substituição parcial ao cimento Portland. Contudo para que este tipo de emprego ocorra é necessário que a cinza possua certas características. Estas características, que serão vistas a seguir, são diretamente influenciadas por alguns parâmetros de queima ou combustão da casca, assim como pela moagem.

### **2.4.3 Propriedades da cinza de casca de arroz**

Silveira (1996) afirma que a CCA pode apresentar colorações que variam entre o preto, o cinza e o branco rosado, estando associadas ao processo de combustão e as transformações estruturais ocorridas frente a variação da temperatura de queima.

O controle da temperatura de queima é um dos fatores que limitam o uso da CCA, porque determina o teor de sílica amorfa e por conseqüência sua pozolanicidade (SANTOS, 1997), pois quanto maior o teor de material amorfo, mais quimicamente reativo será o material (SANTOS, 2006).

Tais estudos já foram desenvolvidos desde a década de 1970, por Mehta e Pitt (1977) apud Santos (1997), onde ficou evidenciada a influência da temperatura de queima na cristalinidade da sílica, pois obtiveram cinzas com alta reatividade através da queima controlada com temperaturas inferiores a 550 °C.

Contudo, Duart (2008) afirma que na literatura não existe um consenso sobre a temperatura ideal de queima da casca do arroz. Para a maioria dos autores os valores apresentados como ideais situam-se entre 500° C e 1100 °C, o que demonstra a indefinição deste parâmetro. No entanto é consenso que para fins de pozolanicidade, a quantidade de fases cristalinas na sílica deve ser a menor possível, originadas, portanto de processos com temperaturas não elevadas e resfriadas naturalmente.

Neville (1997) afirma que a casca do arroz é um resíduo natural de interesse para uso no concreto, por possuir um alto teor de sílica, desde que sua combustão seja entre 500 e 700°C, o que resulta em um material amorfo com estrutura porosa.

Hoppe (2008) destaca que a problemática para a incorporação da CCA para a produção de concreto através da substituição parcial do cimento reside no fato das cinzas não serem homogêneas. Pois para seu emprego como material pozolânico as características de homogeneidade e reatividade devem ser garantidas pelo processo de queima através de qualidade e padrão de queima adequado.

Conforme Della (2001), a CCA pode ser obtida por processos de queima tipo “grelhas”. Neste processo, a casca é queimada em grelhas dispostas paralelamente, originando cinzas com granulometrias diferentes, decorrentes de distintos gradientes de temperatura em função da disposição da casca de arroz sobre as grelhas. Como consequência tem-se cinzas com diferentes colorações, granulometrias e potenciais de pozolanicidade.

Já Rukzon, Chindapasirt e Mahachai (2009), realizaram estudos sobre o efeito da moagem nas propriedades físicas e químicas da CCA. Concluíram que não existem diferenças significativas na composição química de cinzas do mesmo lote com finuras diferentes devido a tempos de moagem distintos. Já quanto a pozolanicidade, comprovaram a eficiência de maiores tempos de moagem, pois mesmo com a dificuldade de dispersão, cinzas com tempos de moagem mais elevados tendem a apresentar melhores resultados de ensaios mecânicos de compressão.

Também para Hoppe (2008), o tempo de moagem ao qual a CCA é exposta exerce influência significativa na reatividade da cinza. Pois o processo de moagem proporciona um maior refinamento dos grãos da amostra, o que também buscou estudar Calheiro (2011) através da incorporação de aditivos ajudantes de moagem. Calheiro (2011), integrante do mesmo grupo de projeto do presente trabalho, teve como objetivo tornar mais eficiente a



moagem através da utilização da incorporação de aditivos ajudantes de moagem, no sentido de mostrar se o grau de moagem influencia nas propriedades da CCA.

A cinza gerada pela combustão a céu aberto ou não controlada em fornos possui uma considerável proporção de minerais de sílica reativa menos cristalina, tal como a cristobalita e a tridimita, e por isso deve ser finamente moída para desenvolver atividade pozolânica (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Kieling (2009) verificou que a CCA natural, ou, mais especificamente, imediatamente após o processo de combustão apresenta-se como um material heterogêneo, tanto pelo tamanho das partículas quanto pela coloração em decorrência dos processos geradores, e sugere a necessidade do processo de beneficiamento ou segregação granulométrica (peneiramento). Salieta ainda que esta é uma discussão muito pouco encontrada na literatura. Cabe salientar que o trabalho de Kieling (2009) foi motivador desta pesquisa, pois auxiliou na elaboração da questão balizadora deste estudo, e através do qual se percebeu a necessidade de maiores aprofundamentos sobre a influência do peneiramento na produção de concretos, o que motivou o desenvolvimento deste trabalho.

#### **2.4.4 Beneficiamento da cinza de casca de arroz**

Alguns trabalhos buscam estudar e analisar o efeito do beneficiamento da CCA dos processos de segregação por peneiramento e moagem no resultado de qualidade, desempenho e durabilidade de concretos. Dentre os trabalhos pode-se citar Hoppe (2008), Duart (2008), Meira (2009) e Kieling (2009).

Hoppe (2008) estudou a influência da moagem da CCA na carbonatação do concreto. O autor em suas conclusões afirma que, concretos com a utilização de cinzas com o beneficiamento de moagem possuem maior durabilidade em relação ao concreto com utilização de cinza in natura ou sem moagem. O autor concluiu ainda que o processo de moagem proporciona um efeito benéfico aos concretos, pois ocasiona um decréscimo no tamanho das partículas aumentando a reatividade da cinza e diminuindo a carbonatação, logo possibilitam a obtenção de concretos com maior durabilidade.

Duart (2008) e Meira (2009) também realizaram estudos sobre a influência da moagem da CCA como material pozolânico em concretos. Meira (2009) comprova a viabilidade técnica para o emprego de CCA natural, sem moagem, pois em seus ensaios as

variáveis estudadas obtiveram resultados satisfatórios. Isso devido a substituições de até 15% desenvolverem resistências axiais superiores à referência e retrações inferiores.

#### **2.4.5 Concreto com cinza de casca de arroz no estado fresco**

Para Netto (2006), inúmeros benefícios são proporcionados ao concreto de cimento Portland quando ocorre a adição pozolânica, não somente quanto ao comportamento mecânico e de durabilidade no estado endurecido mas também em relação a reologia da mistura no estado fresco.

Netto (2006) afirma ainda que, a adição de CCA ao concreto, torna a mistura mais densa. Isto devido à elevada área específica da sílica que está presente na cinza, e também pelo efeito filler gerado pela presença de carbono que não entrou em combustão no processo de queima da casca.

Salas et al (2009), desenvolveram um estudo com o objetivo de comparar o desempenho de duas cinzas, sem o beneficiamento de moagem, em substituição parcial do cimento Portland. A primeira consistia na cinza convencional, enquanto que a segunda recebia um tratamento químico anterior a sua queima, sendo que os dois tipos de cinza foram obtidos por processo de queima de temperatura iguais. A cinza com tratamento químico mesmo apresentando coloração branca apresentou maior área específica e maior atividade pozolânica.

Os autores (SALAS et al, 2009) concluem que tanto a cinza convencional, quanto a tratada quimicamente, aumentam a demanda de água para a trabalhabilidade necessária do concreto, necessitando dosagens de aditivos plastificantes na mistura. Em função disto, estes apresentavam evidências de segregação o que por consequência diminui a eficiência nas propriedades mecânicas. Para estes autores, o beneficiamento de moagem e a substituição do aditivo superplastificante por um redutor de água poderiam melhorar o desempenho destes concretos.

Logo, devido à elevada área superficial, a CCA necessita uma demanda maior de água para obtenção de consistências adequadas segundo Santos (1997) o que também comprovou Chindaprasirt, Kanchanda, Sathonsaowaphak e Cao (2006).

Para Isaia (1995), o efeito das pozolanas tal como a adição de CCA, possui influência principalmente sobre a microestrutura da mistura, não somente devido às reações pozolânicas,

mas também ao efeito físico das pequenas partículas, pois torna a mistura mais densa, mais compacta e por consequência mais uniforme e homogênea.

Duart (2008) cita outros efeitos da adição de pozolanas, como a CCA, dentre eles, a redução do calor de hidratação, provocando uma menor elevação da temperatura do concreto e a diminuição da exsudação em função do efeito microfiller.

#### **2.4.6 Concreto com cinza de casca de arroz no estado endurecido**

O desempenho das propriedades mecânicas de concretos produzidos com substituição parcial do cimento Portland varia de acordo com o percentual de substituição. Ganesan, Rajagopal e Thangavel (2008) estudaram concretos com até 35% de substituição, e obtiveram resultados de compressão aos 3, 7 e 28 dias de idade. Os autores afirmam que devido à reação pozolânica da cinza, bem como sua superfície específica elevada, além da presença de sílica reativa, pode-se produzir concretos com até 30% de substituição do cimento Portland, pois a resistência não variou significativamente, quando comparado com concreto convencional de referência.

Embora não exista consenso na literatura quanto a teores ideais de substituição de cimento Portland pela CCA, alguns autores afirmam que percentuais como 10 e 15% tornam-se significativos, pois nesta faixa a cinza apresenta-se com valores mais significativos quando comparados à referência (POUEY, 2006). Cordeiro (2006) afirma que para percentuais acima de 20% torna-se necessário um maior consumo de aditivo superplastificante. Contudo, Silveira (2007) afirma que sob o ponto de vista da reação álcali-agregado o teor ideal de substituição gira em torno de 35%.

Já Gastaldini et al (2009) desenvolveram um estudo produzindo concretos com teores de 10%, 20% e 30% de substituição de cimento, e afirmam que devido à presença de grande quantidade de amorfos altamente reativos de SiO<sub>2</sub> presentes na CCA, a resistência mecânica do concreto referência foi superada facilmente. Contudo concluem que o teor ideal de substituição é 20%, pois encontraram aumentos de resistência na ordem de 30% com esta substituição em relação ao concreto de referência.

Quanto ao desempenho de concretos produzidos com cinzas obtidas com diferentes tempos de moagem, Rukzon, Chindaprasirt e Mahachai (2009) constataram que quando se

obtem dispersão adequada no processo de produção do concreto, este possui elevadas resistências devido a reações pozolânicas e de efeito de enchimento do material.

Duart (2008) complementa afirmando que a adição de cinza da casca de arroz no concreto tende a aumentar a durabilidade deste devido à redução da porosidade e refinamento dos poros.

Meira (2009) investigou o módulo de elasticidade de concretos com adição de CCA aos 91 dias e obteve resultados satisfatórios, pois apesar das misturas com adição apresentarem valores inferiores ao concreto de referência, estas diferenças foram pouco significativa.

### **3 PROGRAMA EXPERIMENTAL**

Tendo em vista os objetivos propostos, que enfocam a avaliação da influência do peneiramento da CCA em concretos produzidos com substituição parcial do cimento Portland, investigou-se misturas com aglomerante composto por diferentes teores de CCA residual, comparando os efeitos de uma cinza beneficiada pelo método proposto e uma não beneficiada. Estas cinzas foram testadas em diferentes traços de concretos, e por fim comparados com o concreto tomado como referência sem substituição do cimento.

A investigação experimental dividiu-se em três etapas que objetivaram a obtenção dos resultados e conclusões finais, colaborando para as respostas dos questionamentos balizadores deste estudo.

A primeira etapa consistiu-se na coleta da CCA gerada em uma indústria de bebida no Vale dos Sinos (ANBEV - Companhia de Bebidas das Américas) que utiliza biomassa no sistema de produção, para produção de calor, e de energia. Ainda nesta fase realizou-se um estudo piloto com o intuito de fixar o tempo de moagem para a cinza coletada através de ensaios de pozolanicidade de argamassas através da Norma ABNT NBR 5752:1992, bem como início da moagem de material necessário para desenvolvimento do estudo.

A segunda etapa destinou-se para os ensaios mecânicos e de durabilidade no estado endurecido. Salienta-se que os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

Na terceira etapa do estudo, realizaram-se ensaios de trabalhabilidade do concreto no estado fresco, objetivando a caracterização reológica do concreto produzido com substituição parcial do cimento Portland por CCA.

#### **3.1 VARIÁVEIS**

A diretriz deste estudo permitiu a determinação de consistências no estado fresco, bem como a obtenção de resistências mecânicas no estado endurecido. Para que a investigação fosse desenvolvida a partir das variáveis envolvidas, foram fixadas as condições de ensaios, como percentuais de substituição do cimento Portland pela CCA, as relações de água/aglomerante e a idade de cura do concreto para ensaios mecânicos.

Portanto, as variáveis e os níveis de estudo envolvidos nesta pesquisa são apresentados na seqüência.

### 3.1.1 Variáveis de controle

As variáveis classificadas como de controle nesta investigação experimental são:

- Relação água/aglomerante, com níveis de estudo de 0,41; 0,49 e 0,57. A escolha de diferentes relações água/aglomerante visa a obtenção de níveis de resistências distintos com o objetivo de verificar a eficiência da substituição por cinza em cada nível além das características reológicas de cada mistura;

- Teor de CCA em substituição ao cimento, com níveis de 0, 10 e 20%. Os teores escolhidos foram baseados em estudos já existentes sobre a CCA, conforme revisão bibliográfica e objetivam verificar a influência do aumento do percentual de substituição do cimento pela cinza em estudo. A substituição do cimento por CCA foi feita em massa com compensação de volume, conforme a **Equação 5**:

$$M_{cca} = \frac{\text{Massa}_{cim}}{\text{Massa esp.}_{cim}} \times \text{Massa esp.}_{cca} \quad \text{Equação 5}$$

Sendo: **Massa<sub>cim</sub>** = a massa de cimento à ser substituída; **Massa esp.<sub>cim</sub>** = a massa específica do cimento e **Massa esp.<sub>cca</sub>** = a massa específica da CCA.

- Tipo de beneficiamento, sendo as amostras de CCA não peneirada ou natural e segregada por peneiramento, ambas moídas em moinhos de bolas. A escolha de utilização destes dois tipos de cinzas visa atingir os objetivos propostos e ainda responder a questão que baliza este estudo, de verificar a influência do peneiramento da CCA em substituição ao cimento Portland nas propriedades do concreto. Devido ao fato de ambas cinzas serem moídas deixará de ser mencionada a palavra moída antes do tipo de cinza, passando apenas à serem denominadas de: **CCA peneirada** (entende-se cinza moída peneirada) e **CCA natural** (entende-se cinza moída natural).

- Tempo de cura ou idade de ensaio, com níveis de 7, 28 e 91 dias. Aos 7 dias serão realizados ensaios somente de resistência à compressão axial, aos 28 dias de cura serão realizados ensaios de resistência à compressão axial, tração por compressão diametral e absorção capilar, enquanto que aos 91 dias será realizado ensaio de compressão axial.

### **3.1.2 Variáveis fixas**

As variáveis tomadas como fixas são:

- Tipo de adição mineral, empregando-se CCA de uma única origem.
- Tipo de cimento Portland, selecionando-se o CP II F - 32;
- Cura - o processo de cura seguiu os procedimentos e recomendações da Norma ABNT NBR 7215: 1996. Fatores como umidade relativa e temperatura foram fixados e iguais para todas as misturas a serem produzidas.

### **3.1.3 Variáveis não controladas**

Encontram-se nestas variáveis a temperatura e umidade relativa do ambiente de produção e moldagens dos corpos de prova.

### **3.1.4 Variáveis de resposta**

Estas variáveis referem-se às propriedades a serem medidas para avaliação dos concretos com CCA, sendo elas no estado fresco e endurecido:

- Resistência à compressão axial;
- Tração por compressão diametral;
- Absorção por capilaridade;
- Tempo de escoamento funil Marsh;
- Área de espalhamento mini-cone de abatimento;
- Tempo de pega do concreto;
- Temperatura devido a hidratação.

## **3.2 MATERIAIS**

Os materiais que foram empregados nesta pesquisa são apresentados na sequência.

### 3.2.1 Cimento CP-II-F-32

O cimento a ser utilizado é o CP II F – 32, determinado pelo fato de não possuir adição pozolânica em sua composição de acordo com a Norma ABNT NBR 11578: 1991, e ainda por ser um cimento bastante utilizado e de prática comum das concreteiras comerciais.

Apresenta-se a caracterização química e física do cimento utilizado conforme descrição fornecida pelo fabricante (Itambé Cimentos) de acordo com o lote de produção. A Tabela 2 mostra os resultados dos ensaios químicos enquanto que a Tabela 3 mostra os resultados da caracterização física do cimento utilizado, conforme relatório do fabricante.

Tabela 2 – Caracterização química do cimento

QUÍMICOS									
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Perda ao Fogo	CaO Livre	Resid. Insol.	Equiv. Alcal.
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
4,07	18,49	2,55	59,79	5,35	3,11	5,42	1,04	1,54	0,62

Tabela 3 – Caracterização física do cimento

FÍSICOS										
Exp. Quente	Tempo de pega		Cons. Normal	Blaine	#200	#325	Resistência à compressão			
	Início	Fim					1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
mm	h:min	h:min	%	cm <sup>2</sup> /g	%	%	MPa	MPa	MPa	MPa
1,00	03:20	04:00	25,2	3.130	6,80	20,90	9,3	24,0	31,0	42,2

### 3.2.2 Cinza de casca de arroz

A CCA utilizada neste trabalho é oriunda do processo de combustão em caldeira da empresa AMBEV de Viamão/RS, que utiliza casca de arroz como combustível. Neste sistema contínuo a casca de arroz é alimentada automaticamente, modulada de acordo com a pressão de vapor da caldeira. O material atravessa a fornalha, com temperatura que varia entre 600 a 700°C, por meio de uma grelha deslizante durante 9 minutos. A velocidade da grelha altera conforme a quantidade de casca que está sendo alimentada, bem como a vazão de ar que entra no sistema. As amostras coletadas na indústria foram transportadas dentro de sacos de polipropileno até o Laboratório de Materiais de Construção da UNISINOS, onde foram armazenadas em local protegido de chuva e umidade, até que fossem utilizadas.



### 3.2.2.1 Peneiramento da CCA

O processo de peneiramento da cinza consistiu em eliminar possíveis partículas que contaminassem o restante da amostra, tais como grumos de cascas que não foram queimadas de forma homogênea, ou ainda grumos que ficaram expostos a um tempo maior de queima, passando assim para a fase cristalina (com mudança de cor).

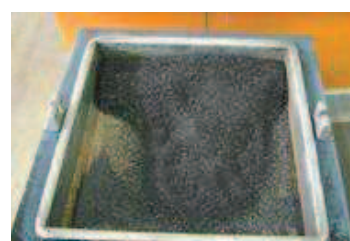
Realizou-se peneiramento por agitador de peneiras durante 10 minutos utilizando uma malha de peneira de 1,2mm. A escolha da peneira de 1,2mm foi a mesma do trabalho de Kieling (2009), integrante do projeto de cinza de casca de arroz, que utilizou esta peneira como abertura de corte através de uma análise visual, e comprovou a eliminação de material mais grosseiro, o que tornou o material com maior homogeneidade. Salienta-se que aproximadamente 10% de massa foi retida na peneira 1,2mm. A Figura 6 mostra a cinza natural conforme coletada. O material retido em forma de grumos com coloração diferente encontra-se na Figura 7. Já a passante na peneira 1,2mm encontra-se na Figura 8.



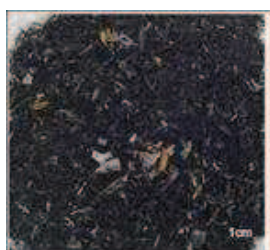
**Figura 6 –Cinza Natural (sem beneficiamento)**



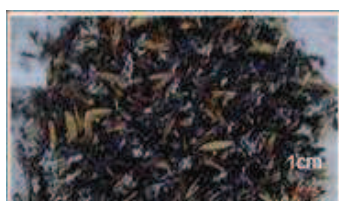
**Figura 7 –Material retido na peneira 1,2mm**



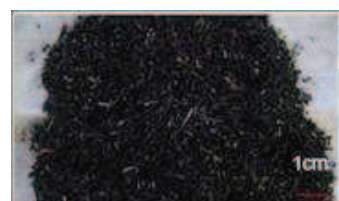
**Figura 8 –Material passante na peneira 1,2mm**



**Figura 9 –Cinza natural (Kieling, 2009)**



**Figura 10 –Material retido na peneira 1,2mm (Kieling, 2009)**



**Figura 11 –Material passante na peneira 1,2mm (Kieling, 2009)**

Salienta-se que a empresa fonte de geração da cinza utilizada por Kieling (2009) é a mesma utilizada neste trabalho, com um intervalo de tempo de aproximadamente 2 anos. Pode-se realizar uma comparação visual com a Figura 9, que apresenta a cinza natural utilizada por Kieling, enquanto que na Figura 10 e Figura 11, visualiza-se o material retido na peneira 1,2mm e o material passante nesta peneira respectivamente.

Através de comparação visual entre cinzas originadas na mesma empresa com intervalo de 2 anos, percebe-se que a cinza mais recente (utilizada no presente trabalho) apresenta aspecto mais homogêneo e com uma quantidade menor de cascas não queimadas. O que possibilita afirmar que a empresa aumentou sua eficiência de queima tornando seu resíduo mais homogêneo.

#### 3.2.2.2 Moagem da CCA

Como mostrado pela bibliografia, para que a cinza possua propriedades pozolânicas, esta deve ser finamente moída. No trabalho de Santos (1997) e Kieling (2009), as autoras observaram que após moagem de 2 horas, as cinzas já apresentavam desempenho satisfatório. Porém, Prudêncio Jr., Santos e Dafico (2003) analisaram outras cinzas e obtiveram o melhor desempenho da moagem em 4 horas. Salienta-se, no entanto que o moinho utilizado por Santos e Dafico (2003) não é o mesmo de Kieling (2009), o que proporciona diferenças na moagem e, conseqüentemente, nas características da cinza.

Portanto como o objetivo do trabalho é de avaliar a influência do processo de beneficiamento por peneiramento, somado ao fato de cada moinho em função de suas características, produzirem diferenças nos materiais obtidos mesmo em tempos iguais, foi adotado como tempo ideal de moagem conforme estudo piloto e estudo realizado por Kieling (2009) (balizador e motivador do presente trabalho) o tempo de 1 hora para todas as dosagens a serem realizadas. Para tanto a cinza foi moída em moinho de bolas (Gira moinho horizontal de dois andares; modelo CT – 240; marca Servitech) do Laboratório de Materiais de Construção da Unisinos.

O programa experimental piloto baseou-se primeiramente na produção de amostras de argamassa com cimento, tomando como referência moldes cilíndricos metálicos medindo 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura. Após foram moldadas amostras com substituição parcial do cimento em 35% em massa, sendo esta corrigida pela compensação de volume, para os seguintes tempos de moagem: 1 hora, 2 horas, 3 horas, 6 horas e 10 horas. Para cada tempo de

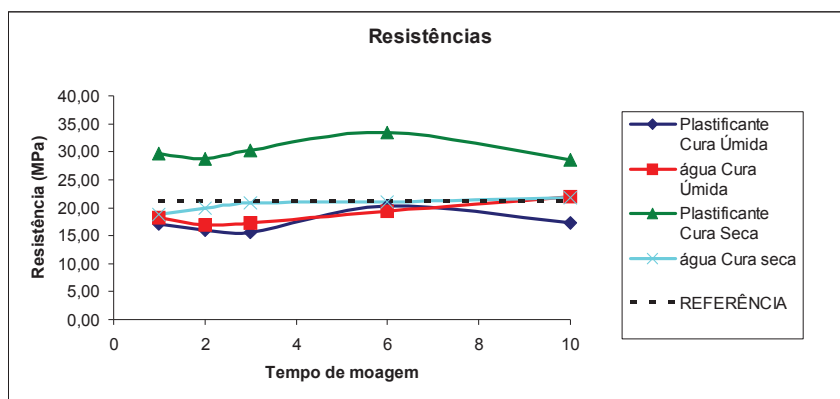
moagem moldou-se 24 corpos de prova, sendo 12 com adição do plastificante e outros 12 com adição de água para atingir a consistência fixada. Para a execução deste ensaio foram utilizadas as normas ABNT NBR 7215:1996 – Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão; e, a ABNT NBR 5752:1992 – Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland – Índice de atividade pozolânica com cimento. A Tabela 4 exemplifica a quantidade de corpos de prova produzida na fase de estudo piloto.

**Tabela 4 – Resumo de corpos de prova do estudo piloto**

	Cura Úmida (ajuste da consistência c/ adição de água)	Cura Seca (ajuste da consistência c/ adição de água)	Cura Úmida (ajuste da consistência c/ plastificante)	Cura seca (ajuste da consistência c/ plastificante)
Referência	6			
1 horas	6	6	6	6
2 horas	6	6	6	6
3 horas	6	6	6	6
6 horas	6	6	6	6
10 horas	6	6	6	6

Após a moldagem dos corpos de prova em moldes cilíndricos, realizou-se a desenforma e posteriormente a cura durante 28 dias, com duas maneiras distintas sugeridas pelas normas acima citadas. A primeira consistiu no processo de cura convencional para determinação da resistência à compressão do cimento Portland, onde é realizada em câmara úmida com umidade e temperatura controlada, imersos em solução saturada com cal. Na segunda maneira de cura utilizou-se processo a seco, onde as amostras foram envolvidas por embalagens a fim de não perderem umidade para o meio, e colocadas em estufas com temperatura controlada em 40°C de acordo com as normas sobre atividade pozolânica.

Depois dos 28 dias de cura, os corpos-de-prova foram submetidos a testes mecânicos de resistência à compressão, especificados de acordo com a Norma ABNT NBR 7215: 1996 conforme Figura 12. Os ensaios foram executados no Laboratório de Materiais de Construção da Unisinos, em um “Pórtico para ensaios de compressão e flexão”, marca Contenco, modelo I4079, classe II, com capacidade de carga de 30 toneladas.



**Figura 12 - Resistência à compressão do estudo piloto**

Considerando o fator tempo de moagem utilizado, concluiu-se que os valores correspondentes a 1h e 6h tendem a ser os mais elevados, e a partir de 6h há uma queda aparente na resistência. Portanto, por questão de custo, optou-se por adotar o tempo de moagem de uma hora para elaboração do programa experimental definitivo.

Para o programa experimental definitivo a CCA foi moída a seco, em um moinho de porcelana com capacidade de 7,5L, carregado com 5 kg de esferas de alumina de diferentes diâmetros e 1kg de cinza a uma velocidade de 45 rpm. A quantidade de esferas e cinza foi determinada segundo Silveira (1996) e Pouey (2006), pois utilizaram um equipamento equivalente ao usado para esse trabalho. A Figura 13 ilustra o moinho de bolas utilizado.



**Figura 13 –Moinho de bolas utilizado**

### 3.2.2.3 Caracterização da CCA

Após a determinação do tempo ideal de moagem realizou-se a caracterização física e química das cinzas a serem utilizadas para as moldagens obtendo-se para tanto, a análise

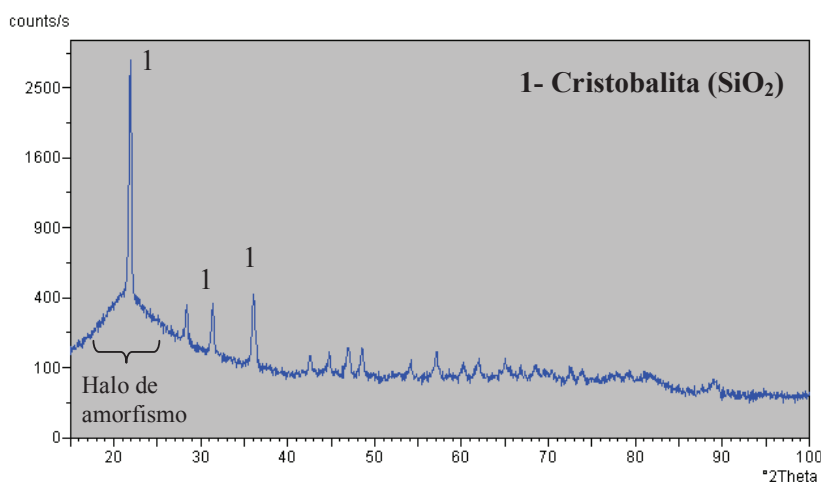
química por Fluorescência de Raios X (FRX), Difratoograma de Raios X (DRX), distribuição granulométrica por difração a laser, BET para obtenção da área superficial e massa específica de acordo com a Norma ABNT NBR NM 23:2000 da cinza em estudo, e ainda Microscopia Eletrônica de Varredura para verificação de formato das partículas.

Na Tabela 5, encontra-se a caracterização química das cinzas obtidas no ensaio de Fluorescência de Raios X. Os difratogramas de raios x das cinzas sem peneiramento e peneirada são apresentados nas Figura 14 e Figura 15, respectivamente.

**Tabela 5 – Caracterização química da CCA**

	Ensaio Químico												Perda ao Fogo
	Si	Zn	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Cl	S	P	Al	Mg	
CCA Natural (%)	76,395	ND	ND	0,039	ND	0,046	0,602	ND	0,001	0,115	ND	ND	7,938%
CCA Peneirada(%)	72,565	ND	ND	0,039	ND	0,051	0,593	ND	0,046	0,124	ND	ND	7,177%

Cabe salientar que segundo a Norma ABNT NBR 12653:1992 esta cinza pode ser classificada como material pozolânico do tipo E quando analisada perante o aspecto de exigências químicas, pois a soma dos componentes  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  deve ser superior a 70%, condição que é satisfeita pelas cinzas em estudo. No entanto a perda ao fogo segundo a prescrição da norma deve ser inferior a 6% para materiais pozolânicos tipo E. Acredita-se que este fator não seja relevante, uma vez que muitos autores empregaram em seus trabalhos CCA com perda ao fogo superior a 7% (ISAIA; 1995, SILVEIRA; 2007, EL-DAKROURY, GASSER; 2008, entre outros).



**Figura 14 – Difratoograma de Raios X da Cinza natural**

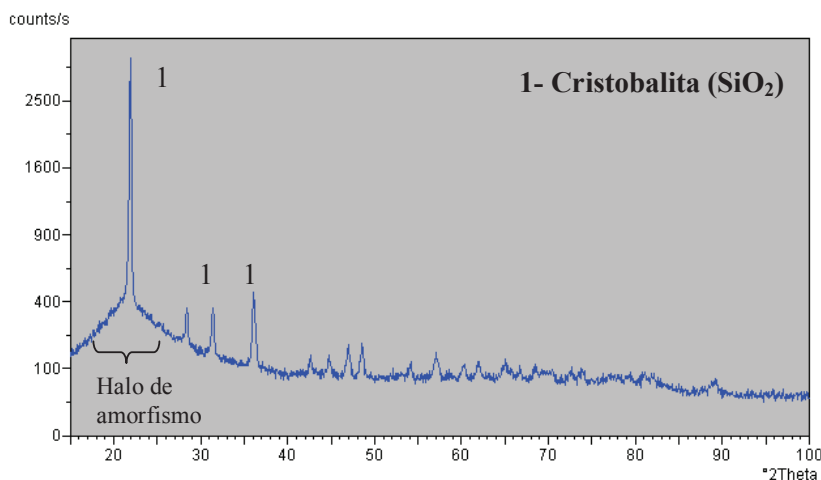


Figura 15 – Difratoograma de Raios X da Cinza peneirada

Embora tenha sido evidenciado a presença de picos no difratograma de Raio-X, observa-se que ambas as cinzas apresentam o halo de amorfismo que corresponde ao desvio da linha base entre os ângulos de 15 e 30 graus, indicando, conforme explica Tashima (2006), um certo grau de amorficidade do material. Os difratogramas também apresentam picos cristalinos que correspondem a cristobalita (SiO<sub>2</sub>).

Na Tabela 6 apresenta-se a caracterização tanto da cinza peneirada quanto da cinza natural, obtida pelo ensaio de distribuição granulométrica por difração a laser. Enquanto que a Figura 16, e Figura 17 ilustram, respectivamente, a distribuição granulométrica da cinza natural e cinza peneirada.

Tabela 6 – Caracterização granulométrica das cinzas de casca de arroz.

Análise granulométrica	Cinza natural	Cinza peneirada
Diâmetro médio, μm	25,57	28,50
Diâmetro <10%, μm	4,00	4,43
Diâmetro < 50%, μm	25,35	27,11
Diâmetro < 90%, μm	46,97	53,99

Cabe salientar que o diâmetro médio obtido para ambas as cinzas encontram-se de acordo com o obtido por Pouey (2006) que utilizou equipamento semelhante e obteve diâmetro médio para sua cinza em torno de 33,73 μm para o tempo de moagem de uma hora.

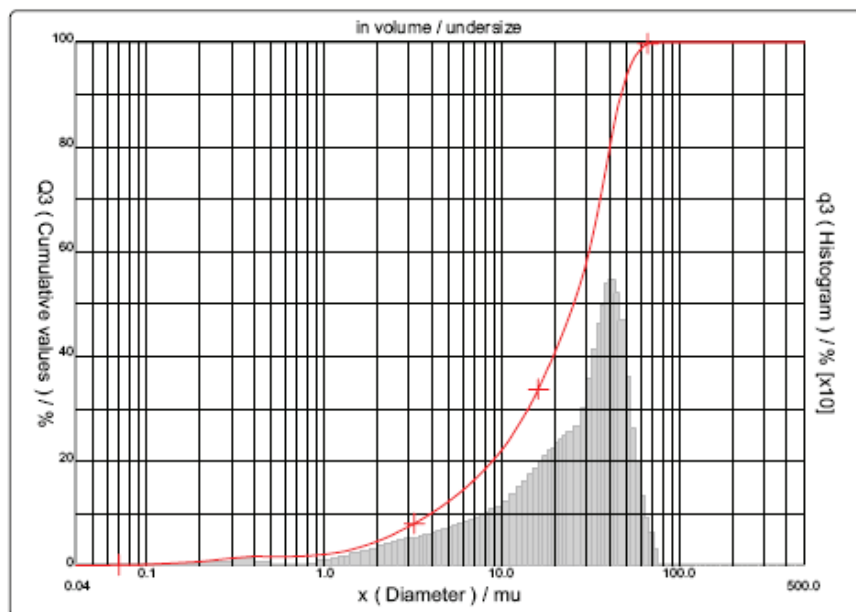


Figura 16 – Distribuição granulométrica da cinza natural

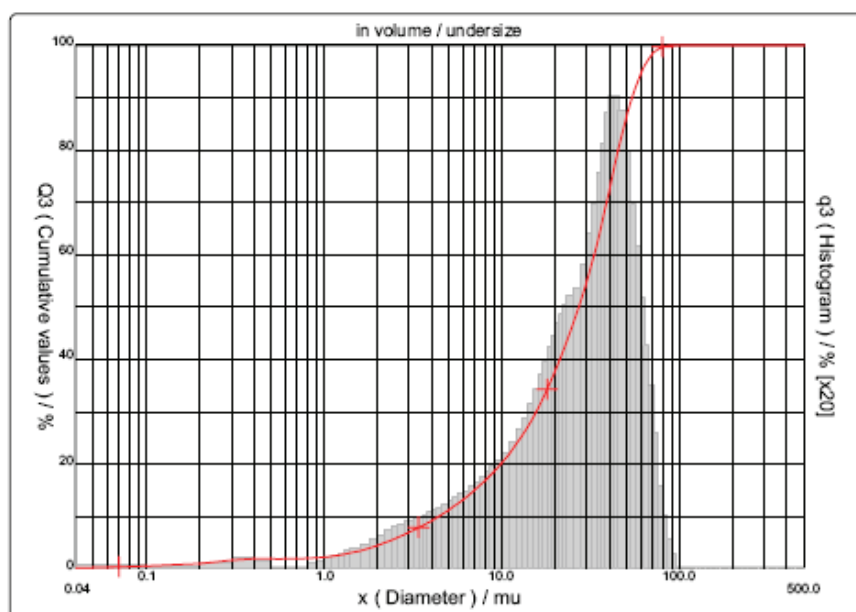


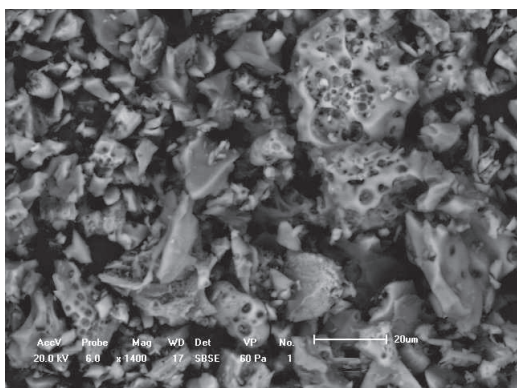
Figura 17 – Distribuição granulométrica da cinza peneirada

Na análise de área superficial no ensaio de BET, obtida a partir do volume de nitrogênio adsorvido, obteve-se  $32.406 \text{ cm}^2/\text{g}$  para a cinza natural e  $33.850 \text{ cm}^2/\text{g}$  para a cinza peneirada, ambos realizados pelo Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER), na UFRGS. Ao se comparar com Cordeiro (2009), que produziu cinzas com temperaturas de queima de  $500 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $40.710 \text{ cm}^2/\text{g}$ ),  $650 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $43.260 \text{ cm}^2/\text{g}$ ),  $800 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $14.660 \text{ cm}^2/\text{g}$ ), a área superficial de ambas as

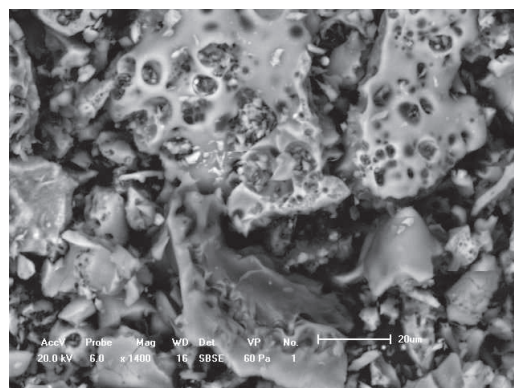
cinzas encontram-se numa faixa de acordo com a produzida em laboratório por Cordeiro (2009).

Já quanto a massa específica obteve-se  $1,98 \text{ g/cm}^3$  para a cinza natural e  $2,1 \text{ g/cm}^3$  para a cinza peneirada. Estes valores encontram-se próximos aos obtidos pela CCA utilizadas por Ganesan, Rajagopal e Thagavel (2008), pois obtiveram massa específica de  $2,06 \text{ g/cm}^3$ .

Para melhor conhecimento do formato das cinzas optou-se pela realização de ensaios mais minuciosos. Por isso realizou-se o ensaio de Microscopia eletrônica de varredura (MEV) para ambas as cinzas, após o processo de moagem. A Figura 18 ilustra a cinza natural e a Figura 19 apresenta a cinza peneirada.



**Figura 18 – MEV da cinza natural**



**Figura 19 – MEV da cinza peneirada**

### 3.2.3 Agregados

A determinação das características físicas dos agregados foi baseada nos seguintes procedimentos:

- Composição granulométrica Norma ABNT NBR NM 248: 2003;
- Massa específica do agregado miúdo – Norma ABNT NBR 9776: 1987;
- Massa específica do agregado graúdo – Norma ABNT NBR 9937: 1987;
- Massa unitária solta – Norma ABNT NBR 7251: 1982.

#### 3.2.3.1 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado consiste em areia natural de origem quartzosa proveniente do estuário do Guaíba. As características físicas foram determinadas conforme as Normas

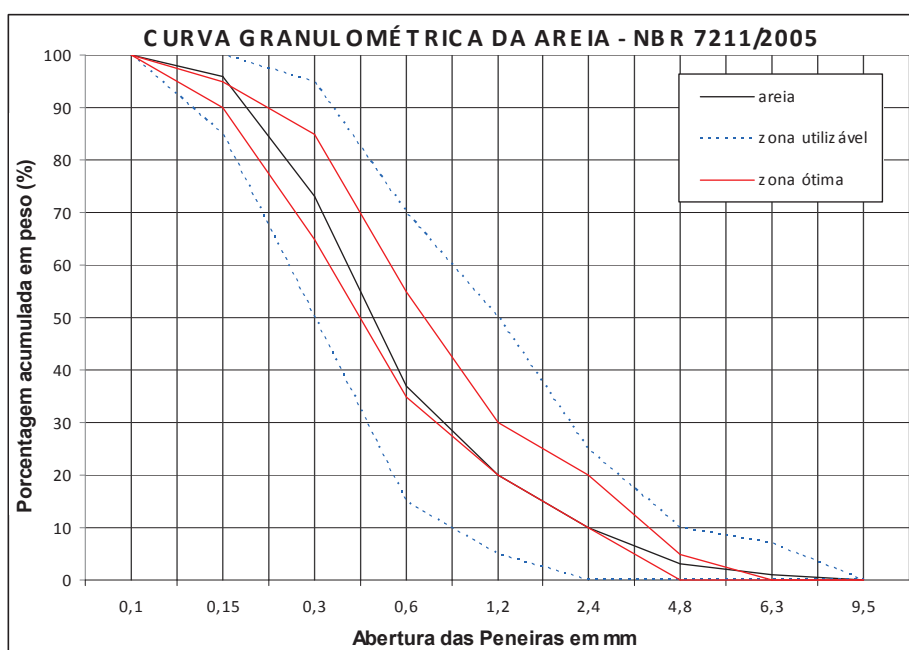


Brasileiras ABNT NBR NM 248: 2003 e ABNT NBR 9776: 1987. A Tabela 7 apresenta as propriedades do agregado miúdo.

**Tabela 7 – Propriedades do agregado miúdo**

<b>Agregado miúdo</b>	
Massa unitária solta (g/cm <sup>3</sup> )	1,47
Massa específica - Chapmann (g/cm <sup>3</sup> )	2,58
Massa específica – Picnômetro (g/cm <sup>3</sup> )	2,48
Módulo de finura	2,39
Dimensão máxima (mm)	4,8

A distribuição granulométrica do agregado miúdo é apresentada na Figura 20.



**Figura 20 – Distribuição granulométrica do agregado miúdo**

### 3.2.3.2 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado é de origem basáltica. Foram determinadas características como massa unitária solta conforme a Norma ABNT NBR 7251:1982, massa específica e diâmetro máximo, conforme Norma ABNT NBR 9937:1987. As propriedades do agregado graúdo são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Propriedades do agregado graúdo

Agregado graúdo	
Massa unitária solta $\text{g/cm}^3$	1,53
Massa específica – Balança hidrostática $(\text{g/cm}^3)$	2,80
Módulo de finura	7,05
Dimensão máxima	25
Absorção (%)	1,54

Na Figura 21 é apresentada a distribuição granulométrica do agregado graúdo.

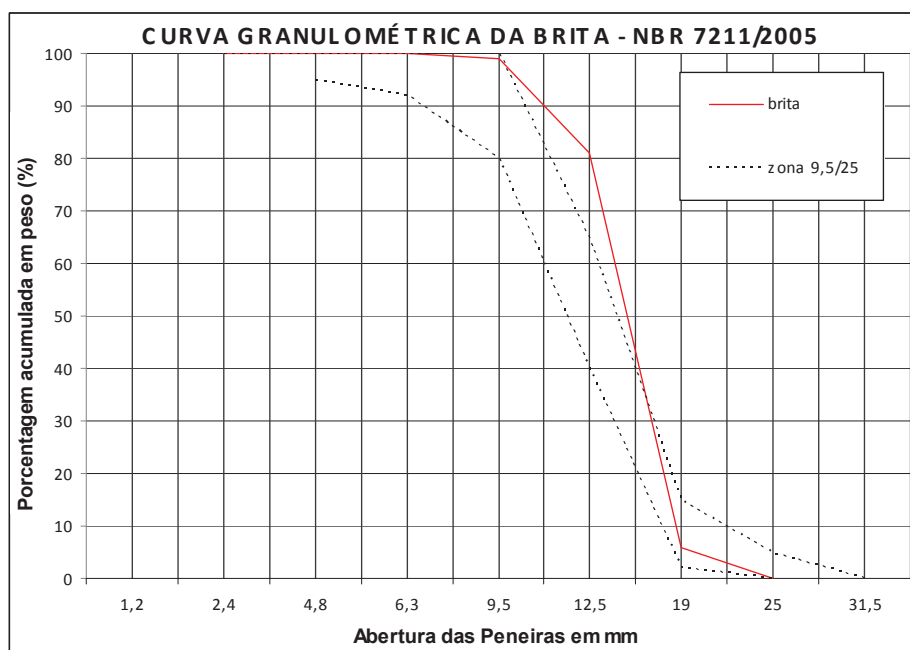


Figura 21 – Distribuição granulométrica do agregado graúdo

### 3.2.4 Aditivo redutor de água

O aditivo utilizado tem como objetivo obter uniformidade de consistência, medida pelo abatimento, entre as misturas sem a modificação da relação água/aglomerante para as diferentes misturas. As características do aditivo encontram-se na Tabela 9. Seu nome comercial é MASTERMIX 397 N2, produzido pela BASF.

Tabela 9 – Especificações do aditivo

<b>Função</b>	<b>Aditivo plastificante polifuncional para concreto.</b>		
Base química	Lignosulfonatos e Aditivos especiais		
Aspecto	Líquido		
Cor	Castanho escuro		
<b>Ação secundária:</b> redutor de água, retardo de pega			
<b>Solubilidade em água:</b> Total			
Não contém cloreto de cálcio, ou ingredientes a base de cloreto.			
<b>Teste</b>	<b>Método BASF</b>	<b>Especificação</b>	<b>Unidade</b>
<b>Aparência</b>	<b>TM761B</b>	<b>Líquido Castanho</b>	<b>Visual</b>
<b>pH</b>	<b>TM112B</b>	<b>8-10</b>	<b>-</b>
<b>Densidade</b>	<b>TM103B</b>	<b>1,155-1,185</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>
<b>Sólidos</b>	<b>TM 613 B</b>	<b>35-37</b>	<b>%</b>

Fonte: Dados do fabricante (BASF), 2009.

### 3.3 PLANEJAMENTO DOS EXPERIMENTOS

Os traços utilizados neste programa experimental seguiram a nomenclatura estabelecida conforme a Tabela 10.

Tabela 10 – Nomenclatura dos traços de concreto do programa experimental

Definição	Traço	Composição
REFERÊNCIA	1 ; 2 ; 3	100% CP II F-32
10% NATURAL	1 ; 2 ; 3	90% CP II F-32 + 10% CCA não peneirada
20% NATURAL	1 ; 2 ; 3	80% CP II F-32 + 20% CCA não peneirada
10% PENEIRADA	1 ; 2 ; 3	90% CP II F-32 + 10% CCA peneirada
20% PENEIRADA	1 ; 2 ; 3	80% CP II F-32 + 20% CCA peneirada

Os traços referem-se a três níveis distintos de resistências em função da relação água/aglomerante (0,41; 0,49 e 0,57) por possuírem diferentes consumos de cimento e do teor de argamassa. Para cada traço de concreto produzido moldaram-se 11 corpos-de-prova, em formas cilíndricas metálicas de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, sendo dois utilizados para os ensaios de resistência à compressão aos 7 dias, dois aos 28 dias, dois aos 91 dias, dois para o ensaio de tração por compressão diametral aos 28 dias, dois para absorção aos 91 dias e ainda um extra para possíveis erros de ensaio. Ainda em cada mistura foi produzido material para execução dos ensaios de abatimento do tronco de cone. A Figura 22 ilustra o esquema do programa experimental em função dos corpos de prova moldados para os ensaios, bem como os traços definitivos obtidos na dosagem.

% Adição	0%			10%			20%		
Traços a/aglo	1/3,7 0,41	1/4,6 0,49	1/5,5 0,57	1/3,7 0,41	1/4,6 0,49	1/5,5 0,57	1/3,7 0,41	1/4,6 0,49	1/5,5 0,57
<b>Natural</b>	2 fc <sub>7</sub> 2 fc <sub>28</sub> 2 fc <sub>91</sub> 2 ft <sub>28</sub> 2 Abs <sub>28</sub> 1 extra Abat.	2 fc <sub>7</sub> 2 fc <sub>28</sub> 2 fc <sub>91</sub> 2 ft <sub>28</sub> 2 Abs <sub>28</sub> 1 extra Abat.	2 fc <sub>7</sub> 2 fc <sub>28</sub> 2 fc <sub>91</sub> 2 ft <sub>28</sub> 2 Abs <sub>28</sub> 1 extra Abat.	2 fc <sub>7</sub> 2 fc <sub>28</sub> 2 fc <sub>91</sub> 2 ft <sub>28</sub> 2 Abs <sub>28</sub> 1 extra Abat.	2 fc <sub>7</sub> 2 fc <sub>28</sub> 2 fc <sub>91</sub> 2 ft <sub>28</sub> 2 Abs <sub>28</sub> 1 extra Abat.	2 fc <sub>7</sub> 2 fc <sub>28</sub> 2 fc <sub>91</sub> 2 ft <sub>28</sub> 2 Abs <sub>28</sub> 1 extra Abat.	2 fc <sub>7</sub> 2 fc <sub>28</sub> 2 fc <sub>91</sub> 2 ft <sub>28</sub> 2 Abs <sub>28</sub> 1 extra Abat.	2 fc <sub>7</sub> 2 fc <sub>28</sub> 2 fc <sub>91</sub> 2 ft <sub>28</sub> 2 Abs <sub>28</sub> 1 extra Abat.	2 fc <sub>7</sub> 2 fc <sub>28</sub> 2 fc <sub>91</sub> 2 ft <sub>28</sub> 2 Abs <sub>28</sub> 1 extra Abat.
<b>Peneirada</b>	/			2 fc <sub>7</sub> 2 fc <sub>28</sub> 2 fc <sub>91</sub> 2 ft <sub>28</sub> 2 Abs <sub>28</sub> 1 extra Abat.	2 fc <sub>7</sub> 2 fc <sub>28</sub> 2 fc <sub>91</sub> 2 ft <sub>28</sub> 2 Abs <sub>28</sub> 1 extra Abat.	2 fc <sub>7</sub> 2 fc <sub>28</sub> 2 fc <sub>91</sub> 2 ft <sub>28</sub> 2 Abs <sub>28</sub> 1 extra Abat.	2 fc <sub>7</sub> 2 fc <sub>28</sub> 2 fc <sub>91</sub> 2 ft <sub>28</sub> 2 Abs <sub>28</sub> 1 extra Abat.	2 fc <sub>7</sub> 2 fc <sub>28</sub> 2 fc <sub>91</sub> 2 ft <sub>28</sub> 2 Abs <sub>28</sub> 1 extra Abat.	2 fc <sub>7</sub> 2 fc <sub>28</sub> 2 fc <sub>91</sub> 2 ft <sub>28</sub> 2 Abs <sub>28</sub> 1 extra Abat.

Figura 22 –Planejamento do programa experimental em função dos corpos de prova

De acordo com o programa exposto produziu-se 165 corpos de prova para execução de uma repetição do programa experimental, soma-se ainda o material utilizado para os ensaios no estado fresco, divididos em 18 betonadas, conforme blocos de ensaios destacados na Figura 22.

Tendo em vista as variáveis não controladas, como por exemplo a temperatura e umidade do ambiente de moldagem desenvolveu-se todo o programa experimental em segundo bloco de moldagem, totalizando assim 330 corpos de prova além do material utilizado para ensaios do estado fresco. Este procedimento, somado a aleatorização da ordem de moldagem das misturas, teve como objetivo evitar que o efeito das variáveis não controladas seja confundido com o efeito das variáveis de controle sobre as de resposta.

### 3.4 PRODUÇÃO DOS CONCRETOS

Para a obtenção dos traços ou no proporcionamento dos materiais constituintes do concreto utilizou-se o método de dosagem desenvolvido pelo IPT/EPUSP (Helene e Terzian, 1993). Salienta-se que devido à diferença de consumo do aditivo entre os traços, corrigiu-se a quantidade de água em função da fração líquida do aditivo, obtida a partir do teor de sólidos.

Após a obtenção dos traços realizaram-se moldagens dos corpos-de-prova conforme recomendações da Norma ABNT NBR 5738:2003 com adensamento mecânico, em duas camadas de igual altura em mesa vibratória com dez segundos de tempo por camada de preenchimento.

O ensaio de abatimento de tronco de cone ou Slump foi realizado para todas as misturas desenvolvidas no estudo com o objetivo de verificar e enquadrar o abatimento das misturas, se garantido assim a mesma trabalhabilidade para todas as misturas. Para tanto se utilizou um abatimento de 100 mm com tolerância de 20mm para mais ou para menos. Salienta-se que para a produção dos concretos utilizou-se betoneira de eixo planetário com o objetivo de proporcionar maior homogeneidade da mistura através da melhor dispersão entre as partículas dos materiais. A Figura 23 ilustra a colocação dos materiais na betoneira para produção do concreto, sendo ((A) brita; (B) parte da água, (C) cimento; (D) cinza; (E) areia); bem como a produção do concreto (F) e a verificação do abatimento (G), e por fim a retirada do material para moldagem (H).



**Figura 23 - Produção do concreto para moldagem dos cp's**

### 3.5 MÉTODOS DE ENSAIO

A seguir apresentam-se os métodos de ensaios utilizados para obtenção de cada variável de resposta estudada na pesquisa.

#### 3.5.1 Propriedades no estado fresco

Para obtenção do tempo de pega das misturas utilizou-se a Norma ABNT NBR NM 9:2003. Para este ensaio seguiram-se os seguintes passos de acordo com a Norma ABNT NBR NM 9:2003.

- Executou-se o peneiramento do concreto no estado fresco na peneira 4,75mm para obtenção do material de ensaio, conforme Figura 24.
- Colocou-se o material passante na peneira 4,75mm em recipiente metálico cúbico com dimensões de 15 cm, e adensado manualmente com haste metálica (10 golpes para cada 10000 mm<sup>2</sup>);
- Finalmente, executou-se a penetração da agulha de altura de 25 mm e anotando-se a força necessária para este procedimento bem como a temperatura da amostra e a idade da amostra, dada em minutos.

Através da força obtida para a realização do ensaio calculou-se a tensão de penetração em função da área da agulha. De acordo com a Norma ABNT NBR NM 9:2003, as tensões de 3,4 MPa e 27,6 MPa, representam o tempo de início e final de pega respectivamente.

O conjunto da haste com a agulha, bem como o recipiente metálico com uma das amostras ensaiadas pode ser visualizado na Figura 25.



Figura 24 - Peneiramento do concreto fresco



**Figura 25 - Haste de penetração e amostra**

Outro parâmetro do concreto no estado fresco estudado foi a evolução da temperatura semi-adiabática de hidratação. Cabe salientar que o ensaio foi realizado em dois momentos distintos. Ou seja, o ensaio foi realizado junto com as misturas de concreto tanto do primeiro quanto do segundo bloco de moldagens, conforme explicado no item 3.3. A primeira delas consistiu na execução do ensaio com apenas o material passante na peneira 4,75mm do concreto fresco, ou seja, sem agregado graúdo. Enquanto que na segunda etapa o ensaio foi realizado com o concreto fresco com a presença do agregado graúdo, com o objetivo de evitar maior consumo de material, pois nesta etapa foi realizado também o ensaio de tempo de pega.

Para a realização do ensaio de evolução da temperatura semi-adiabática utilizou-se o software PicoLog que captava os dados emitidos pelos termopares acoplados em cada amostra, dos quais eram informadas as temperaturas em intervalos de 1 minuto. As amostras foram colocadas em recipientes cilíndricos de alumínio com 350 ml de volume, sendo que o termopar foi colocado (mergulhado) até a metade do volume da amostra, com o objetivo de obter a temperatura desta.

A Figura 26 apresenta a caixa contendo os recipientes para as amostras, bem como os termopares conectados no equipamento e no computador de recepção dos dados de leitura de temperatura.



**Figura 26 - Equipamento de calorimetria Semi-adiabática**

Salienta-se que este ensaio é denominado apenas de evolução da temperatura semi-adiabática pelo fato de não ter sido obtida a capacidade calorífica do recipiente de ensaio. Portanto, o ensaio não objetivou a obtenção do resultado de calor de hidratação, mas sim a evolução da temperatura para um breve conhecimento do comportamento das misturas durante a hidratação inicial.

De acordo com Neville (1997) o concreto no estado fresco pode ser considerado um material constituído de duas fases, sendo uma fase a matriz (pasta de cimento) e a outra fase partícula (agregados), sendo que seu comportamento de escoamento pode ser considerado dependente principalmente da viscosidade da matriz.

Neste sentido com o objetivo de relacionar a propriedade de viscosidade plástica do concreto, desenvolveu-se o ensaio de funil de Marsh. O método do funil de Marsh consiste basicamente na preparação de pastas para medir o tempo para que certa quantidade de pasta escoe através do funil com um dado diâmetro, segundo a Norma ABNT NBR 7682: 1983, conforme descrito no item 2.2.1.1. O equipamento utilizado pode ser visualizado na Figura 27, com uma amostra de pasta produzida, e o escoamento desta durante o ensaio. Cabe salientar que as pastas foram produzidas com a mesma relação água/aglomerante e teor de aditivo dos traços realizados de concretos para produção dos corpos de prova. Pois objetivaram o estudo das propriedades do estado fresco dos traços em estudo ao longo do tempo. Portanto, o ensaio foi realizado para todos os traços em estudo nas idades de 15, 30, 60 e 90 minutos após o contato do cimento com a água. Cabe ressaltar que para a produção das pastas descontou-se a absorção do agregado gráudo de 1,54%, e ainda foi corrigida a quantidade de água em função dos teores de sólidos e líquidos do aditivo plastificante



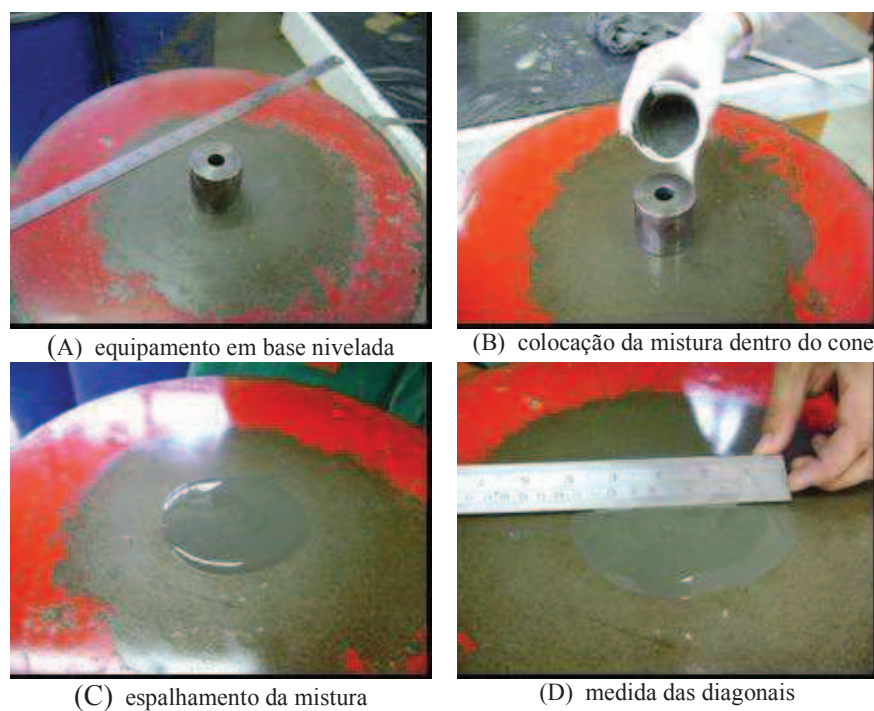
utilizado. Salienta-se também que este ensaio não possibilita a obtenção da viscosidade plástica diretamente, mas sim o comportamento de fluidez de cada mistura.



**Figura 27 - Suporte e funil de Marsh**

Com o mesmo material utilizado para o ensaio com o funil de Marsh, desenvolveu-se o ensaio com o minitronco de cone de Kantro. Pois logo após o ensaio de funil de Marsh, executou-se o ensaio de mini-abatimento no mini-cone de Kantro, com as mesmas idades de 15, 30, 60 e 90 minutos. A seqüência da Figura 28, (A, B, C, e D) ilustram respectivamente o mini-cone Kantro utilizado, a colocação de material, o espalhamento e a medição de diâmetros do espalhamento.

Por fim os resultados de perda de abatimento nos tempos estabelecidos de 15, 30, 60 e 90 minutos para todas as misturas foram convertidos em percentuais em relação ao espalhamento da mistura no tempo inicial (15 minutos).



**Figura 28 - Seqüência do ensaio do mini-cone de Kantro**

Cabe salientar que este ensaio não possibilita a obtenção da tensão de escoamento propriamente dita, mas o conhecimento sobre o comportamento reológico em termos de abatimento ou espalhamento de cada mistura.

### **3.5.2 Propriedades mecânicas**

Os ensaios de resistência à compressão axial e tração por compressão diametral foram executados conforme a Norma ABNT NBR 5739: 2003. Os ensaios foram realizados no laboratório de materiais de construção da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, com corpos-de-prova com dimensões de 10 cm x 20 cm. Para as idades de 7 e 91 dias foram realizados ensaios somente de resistência a compressão axial, enquanto na idade de 28 dias foram realizados além da compressão axial os ensaios de tração por compressão diametral. Para realização do ensaio, os corpos-de-prova receberam capeamento com enxofre, para que a superfície fosse regularizada.

### 3.5.3 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção por capilaridade foi executado de acordo com o método da RILEM TC 116-PCD.

Para obtenção da absorção de concreto adaptou-se a recomendação de pré-condicionamento e ensaio da RILEM TC 116-PCD, que preconiza que os corpos de prova tenham uma concentração de umidade em equilíbrio e distribuição uniforme de água evaporável anterior à execução do ensaio. Logo, optou-se por utilizar o mesmo procedimento que Werle et al (2010) e Troian (2010). Portanto o pré-condicionamento teve o seguinte roteiro de execução:

ETAPA 1 - Após a desmoldagem dos corpos de prova originais de dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, estes foram estocados em câmara úmida até a idade de 28 dias;

ETAPA 2 - Após os 28 dias os corpos de prova foram retirados da câmara úmida e serrados com discos diamantados descartando-se as extremidades;

ETAPA 3 - De cada corpo de prova original foram obtidos através de cortes com serra 3 corpos de prova cilíndricos destinados ao ensaio de absorção capilar;

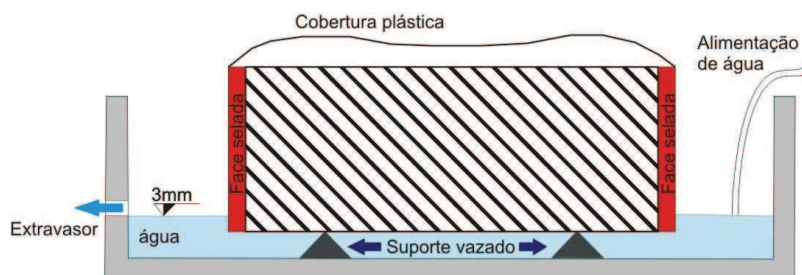
Já o ensaio de absorção capilar de água teve os seguintes cuidados e passos:

- A água e o ambiente do ensaio foram mantidos a  $(20^{\circ}\text{C} \pm 1)$ ;
- A face curva dos corpos de prova foi selada com fita adesiva impermeável e o topo coberto com um capuz plástico;
- Os corpos de prova foram imersos em água até uma profundidade de 3mm;
- A ascensão de água por absorção foi medida pelo peso dos corpos de prova nos tempos de 10 min, 1 hora, 4, 24, 48, 72 e 96 horas.
- A água de absorção foi registrada e para cada intervalo de tempo calculada por unidade de área da superfície de ensaio de acordo com a **Equação 6**.

$$W(t) = m(t) - m_0 \quad \text{Equação 6}$$

Sendo: **W** = a diferença de massa do corpo de prova no tempo considerado; **m** = a massa do corpo de prova no tempo considerado e **m<sub>0</sub>** = a massa inicial do corpo de prova.

A Figura 29 ilustra o esquema do ensaio de absorção por capilaridade.



**Figura 29 –Ensaio de absorção por capilaridade**  
Fonte: Troian (2010)

O ensaio de absorção capilar segundo o método proposto foi realizado para todas as misturas depois de decorridos 28 dias de idade.

A Figura 30 ilustra o equipamento construído com o objetivo de manter no nível de água nos recipientes onde se encontravam os corpos de prova, bem como a execução do ensaio.



**Figura 30 – Execução do ensaio de absorção por capilaridade**

### 3.5.4 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

De acordo com Silva (2004), o princípio da microscopia eletrônica de varredura é fundamentado na emissão de feixe de elétrons, o qual incide sobre uma amostra provocando uma série de emissões de sinais relacionados com a interação entre o feixe de elétrons e amostra. A autora afirma ainda que a utilização de equipamentos associados ao MEV, como Espectrômetro de Dispersão de Energia (EDS), permite análise qualitativa e semi-quantitativa da composição dos elementos de áreas superficiais.

Utilizou-se, portanto, a microscopia eletrônica de varredura para análise da microestrutura do concreto, principalmente na interface pasta/agregado graúdo. As amostras

utilizadas foram obtidas do corte com serra de precisão de fragmentos do concreto referentes aos corpos-de-prova submetidos ao ensaio de compressão axial. Com o objetivo de remover a água livre e induzir a paralisação das reações de hidratação de pozolanicidade, as amostras foram imersas em álcool etílico por 24 horas e secas em estufa a 60°C por um período de 12 horas e posteriormente acondicionadas em recipiente hermeticamente fechado até a realização do ensaio no equipamento acima referido.

Para realização do ensaio fez-se necessário a metalização das amostras com ouro para melhor definição das imagens as quais foram observadas em baixo vácuo.

As imagens foram obtidas pelo equipamento MEV, marca Shimadzu SSX-550, instalado no Centro Tecnológico de Mecânica de Precisão (SENAI-CETEMP), em São Leopoldo-RS. As imagens foram realizadas através de elétrons retroespalhados e também elétrons secundários com o objetivo de obter melhor visualização da morfologia das amostras.

### **3.6 MÉTODOS DE ANÁLISE DE DADOS**

Para análise dos resultados foi realizado tratamento estatístico dos mesmos, obtidos nos ensaios aplicando-se a ferramenta de regressão múltipla, quando possível, com o objetivo de correlacionar os resultados ensaiados por meio de modelagem matemática, resultando em curvas de comportamento. Desta maneira, ao se obter curvas de comportamento dos materiais é possível prever o comportamento dos concretos com combinações das variáveis estudadas.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos para cada ensaio executado, ou seja, para cada variável de resposta estudada, bem como as análises estatísticas empregadas no tratamento dos dados. Salienta-se que como ferramenta de análise estatística foi empregada análise de regressão múltipla linear, cujos resultados são apresentados na forma de modelos matemáticos, tabelas de análise de variância (ANOVA) dos modelos e gráficos das curvas dos modelos obtidos através do software versão demonstração *Statgraphics Centurion XVI*.

### 4.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Na sequência são apresentados os dados de resistência à compressão axial e à tração por compressão diametral. Os resultados são apresentados em forma de gráficos com os modelos gerados em função das variáveis de controle para cada idade estudada.

Para análise das propriedades mecânicas foi utilizada a regressão múltipla para a análise estatística dos efeitos e das interações existentes entre as variáveis de controle. A análise de regressão linear múltipla permite relacionar variáveis dependentes (variáveis de resposta) e independentes (variáveis de controle), originando uma equação de regressão. A análise de regressão permite uma avaliação do efeito das variáveis de controle, identificando quais são os significativos, ou seja, as variáveis ou suas combinações que tem um efeito significativo sobre a variável de resposta.

Portanto a regressão irá representar o modelo estudado e sua análise de variância validará o modelo matemático resultante. A partir desta análise identificaram-se os termos significativos, possibilitando a construção de um modelo representativo de comportamento para cada variável de resposta. Para todas as variáveis de resposta, o modelo matemático que apresentou melhor ajuste foi o polinomial. Para a construção dos modelos foram analisados todos os efeitos principais e suas interações.

Cabe salientar que primeiramente tentou-se utilizar um único modelo adotando o fator idade como variável, no entanto sem sucesso, pois apresentavam significância inadequada. Portanto optou-se por apresentar as propriedades mecânicas separadas por idades assim como Ferreira (1999). Para tanto, foi elaborado um modelo semelhante a Ferreira (1999), e testou-se em todas as idades, sendo que as combinações de variáveis que apresentavam nível de significância baixa eram excluídas do modelo com o objetivo de refiná-lo a cada interação. O modelo inicial é apresentado na Equação 7.

$$F_c, F_t = b_1 + b_2 \times AAG + b_3 \times CCA + b_4 \times BEM + b_5 \times AAG \times CCA + b_6 \times AAG \times BEM + b_7 \times CCA \times BEM + b_8 \times AAG \times AAG + b_9 \times CCA \times CCA + b_{10} \times BEM \times BEM \quad \text{Equação 7}$$

Onde AAG = relação água/aglomerante, com níveis de 0,41; 0,49 e 0,57  
 BEM = Beneficiamento (0,5= sem cinza; 1= natural; 1,5=peneirada)  
 CCA = percentual de substituição de cinza (0% = 0; 10%=0,1; 20%=0,2)

Por fim salienta-se que todos os testes estatísticos foram realizados adotando-se o nível de significância igual a 0,05 ( $\alpha = 0,05$ ). Contudo para comprovar a significância do modelo de regressão múltipla, utilizou-se o teste “F” (distribuição de Fisher) que se faz através da relação entre a média dos quadrados da regressão (MQ) e a média dos quadrados dos resíduos (SQ). Logo se o valor do “F” estatístico, determinado experimentalmente, é superior ao correspondente da distribuição de Fischer, existe relação causal que explica que as variáveis independentes têm influência sobre as variáveis de resposta. Encontram-se em apêndice as planilhas referentes aos resultados dos ensaios mecânicos de todos os traços desenvolvidos no trabalho. Através dos quais obteve-se os modelos estatísticos apresentados a seguir.

#### 4.1.1 Resistência à compressão aos 7 dias

A Equação 8 representa o modelo obtido para resistência à compressão axial na idade de 7 dias.

$$F_c(7) = 42,2717 - 96,0957 \times CCA + 140,595 \times AAG \times CCA - 72,9999 \times CCA \times BEM - 82,2319 \times AAG^2 + 384,916 \times CCA^2 + 5,1866 \times BEM^2 \quad \text{Equação 8}$$

Onde AAG = relação água/aglomerante, com níveis de 0,41; 0,49 e 0,57  
 BEM = Beneficiamento (0,5= sem cinza; 1= natural; 1,5=peneirada)  
 CCA = percentual de substituição de cinza (0% = 0; 10%=0,1; 20%=0,2)

A ANOVA para os dados de resistência à compressão axial aos 7 dias modelados é apresentada na Tabela 11. Enquanto que na Tabela 12 são apresentados os parâmetros das variáveis analisadas para compressão axial aos 7 dias.

**Tabela 11 – Anova do modelo para compressão axial aos 7 dias**

Fonte	GDL	SQ	MQ	Teste F	Significância - p
Modelo	7	27892,7	3984,67	1162,023	0,0000
Resíduos	47	161,167	3,42908		
Total Corrigido	53	1142,18			

Onde: GDL = grau de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada.

Tabela 12 – Parâmetro das variáveis analisadas para compressão axial aos 7 dias

Fator	Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	Teste t	p
CONSTANTE	b0	42,2717	2,3098	18,30102	0,0000000000
CCA	b1	-96,0957	32,8226	-2,92773	0,0025640850
AAG*CCA	b2	140,595	57,6173	2,440153	0,0091342929
CCA*BEM	b3	-72,9999	21,3825	-3,414	0,0006388432
AAG <sup>2</sup>	b4	-82,2319	8,68392	-9,46944	0,0000000000
CCA <sup>2</sup>	b5	384,916	108,899	3,534615	0,0004450913
BEM <sup>2</sup>	b6	5,18666	1,35235	3,835294	0,0001762326

A análise de variância (Tabela 11) do modelo resultou em um valor de  $r^2$  de 0,8588, indicando que o modelo ajusta 85,88% dos valores observados para compressão axial aos 7 dias e o valor ‘p’ do modelo menor que 0,01 indica que as variáveis representadas no modelo relacionam-se em um intervalo de confiança de 99%.

Considerando-se as variáveis analisadas no modelo, e suas interações, os resultados da Tabela 12 indicam que todas as combinações das variáveis são estatisticamente significativas a um nível de confiança de 99%, pois apresentaram valores de “p” menores que 0,01.

Como era esperado, para um mesmo teor de substituição de cinza, quanto maior a relação água/aglomerante, menor a resistência à compressão.

Destaca-se, no entanto que o valor de significância de “p” da variável beneficiamento (BEM<sup>2</sup>) é menor do que a do teor de substituição (CCA<sup>2</sup>), o que significa que para a idade de 7 dias o tipo de beneficiamento é mais fortemente significativo que o teor de substituição. Isso pode ser comprovado pelo valor de significância da variável isolada CCA que apresenta menor influência sobre o comportamento da variável de resposta.

Na Figura 31 são apresentadas as curvas originadas através do modelo obtido para a resistência a compressão aos 7 dias para todas as misturas.



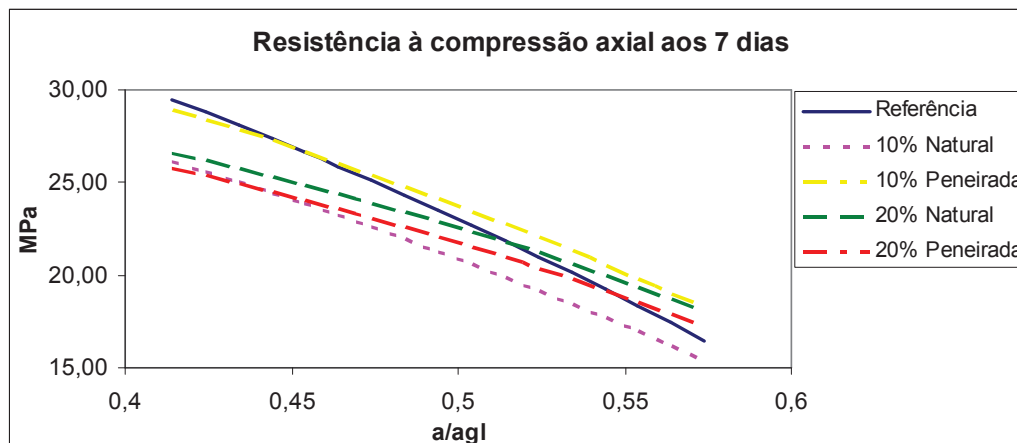


Figura 31 - Resistência a compressão axial aos 7 dias

Verifica-se na Figura 31 que para as misturas com 10% de cinza, o peneiramento causou efeito positivo, pois obteve-se resistências superiores com a cinza peneirada em relação a cinza natural. No entanto nas misturas com 20% de cinza verifica-se a situação contrária, pois as misturas com cinza natural obtiveram resistências pouco superiores às misturas com cinza peneirada. Este fato pode estar associado ao fato da cinza peneirada possuir maior diâmetro médio de partículas conforme caracterização da cinza, logo o efeito de empacotamento das partículas na matriz de concreto supera o efeito de pozolanicidade nas misturas com 10% de cinza. Bui, Hu e Stroeven (2005) desenvolveram estudo sobre o efeito do tamanho das partículas de adição de CCA sobre uma matriz de cimento e concluíram que o empacotamento é responsável pelo bom comportamento mecânico em idades iniciais do concreto. No entanto, quando acontece o aumento do percentual de cinza para 20% o efeito de empacotamento possivelmente ultrapassou o ponto ótimo e foi superado pelo efeito de pozolanicidade.

#### 4.1.2 Resistência à compressão aos 28 dias

O modelo obtido para a compressão aos 28 dias de idade é apresentada através da Equação 9.

$$F_c(28) = 55,4447 - 107,801 \times CCA + 228,427 \times AAG \times CCA - 42,4334 \times CCA \times BEM - 94,0171 \times AAG^2 + 159,583 \times CCA^2 \quad \text{Equação 9}$$

Onde  
 AAG = relação água/aglomerante, com níveis de 0,41; 0,49 e 0,57  
 BEM = Beneficiamento (0,5= sem cinza; 1= natural; 1,5=peneirada)  
 CCA = percentual de substituição de cinza (0% = 0; 10%=0,1; 20%=0,2)

A ANOVA para os dados de resistência à compressão axial aos 28 dias é apresentada na Tabela 13. Já na Tabela 14 são apresentados os parâmetros das variáveis analisadas para compressão axial aos 28 dias.

**Tabela 13 – Anova do modelo para compressão axial aos 28 dias**

Fonte	GDL	SQ	MQ	Teste F	Significância - p
Modelo	6	47334,5	7889,09	1594,026	0,0000000000
Resíduos	48	237,56	4,94916		
Total Corrigido	53	1383,39			

Onde: GDL = grau de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada.

**Tabela 14 – Parâmetro das variáveis analisadas para compressão axial aos 28 dias**

Fator	Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	Teste t	p
CONSTANTE	b0	55,4447	2,74504	20,19813919	0,0000000000
CCA	b1	-107,801	39,3142	-2,742037228	0,0042249740
AAG * CCA	b2	228,427	69,2197	3,300028749	0,0008936710
CCA * BEM	b3	-42,4334	8,12335	-5,223633107	0,0000017093
AAG <sup>2</sup>	b4	-94,0171	10,4326	-9,011857063	0,0000000000
CCA <sup>2</sup>	b5	159,583	68,1164	2,342798504	0,0115800248

Na análise de variância (Tabela 13) do modelo resultou em um valor de  $r^2$  de 0,8282, indicando que o modelo ajusta 82,82% dos valores observados para compressão axial aos 28 dias e o valor ‘p’ do modelo menor que 0,01 indica que as variáveis representadas no modelo relacionam-se com nível de confiança de 99%.

Conforme a Tabela 14, as variáveis independentes que descrevem o modelo, bem como as interações entre as mesmas, apresentam-se estatisticamente significativas a um nível de confiança de 99%, sendo o valor de “p” menor que 0,01. Entretanto observou-se um valor de “p” de 0,0115, para a interação da variável teor de substituição (CCA<sup>2</sup>). Uma vez que o valor de “p” apresenta ser menor que 0,05, este termo é estatisticamente significativo a um nível de confiança de 95%. Desta forma é correto afirmar que o teor de substituição é a variável menos significativa no modelo obtido.

De igual forma aos 7 dias, como era esperado, para um mesmo teor de substituição de cinza, quanto maior a relação água/aglomerante, menor a resistência a compressão. E de forma geral todos os traços com substituição de cinza obtiveram resistências inferiores ao de referência.

Na Figura 32 são apresentadas as curvas originadas da Equação 9 que representa o modelo para resistência à compressão axial na idade de 28 dias.

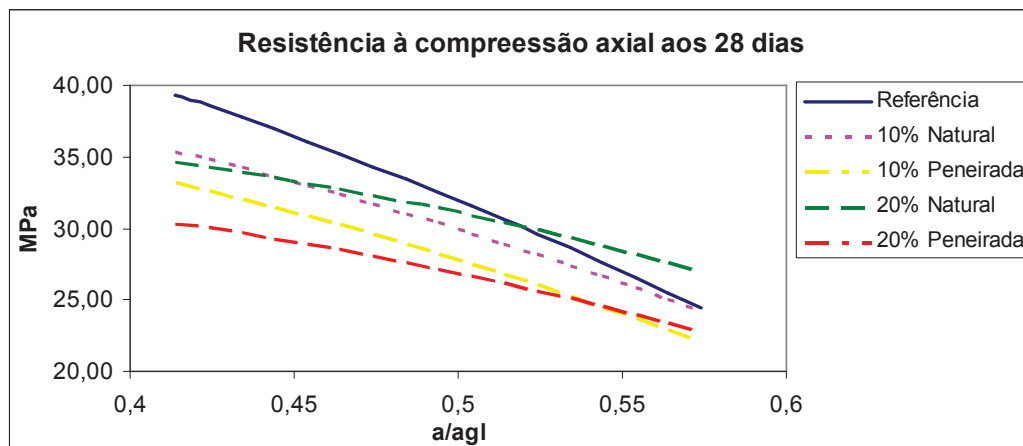


Figura 32 – Resistência à compressão axial aos 28 dias

No entanto, de forma clara pode-se observar na Figura 32, que os traços com cinza natural em ambos os percentuais de substituição obtiveram resistências superiores aos traços com cinza peneirada.

Como já visto, Bui, Hu e Stroeven (2005), afirmam que o empacotamento é responsável pelo bom comportamento mecânico em idades iniciais do concreto. No entanto, em idades mais avançadas o efeito de empacotamento tende a ser superado pelo efeito de pozolanicidade da cinza. Desta forma os resultados encontram-se de acordo com o raciocínio do trabalho de Bui, Hu e Stroeven, pois nos dois percentuais estudados a cinza natural devido ao fato de possuir maior teor de sílica (76,39%) do que a cinza peneirada (72,56%) possibilita que o efeito de pozolanicidade seja superior ao efeito de empacotamento.

#### 4.1.3 Resistência a compressão aos 91 dias

A Equação 10 representa o modelo obtido para resistência à compressão axial na idade de 91 dias.

$$F_c(91) = 63,2566 + 173,353 \times AAG \times CCA - 58,9202 \times CCA \times BEM - 106,543 \times AAG^2 \quad \text{Equação 10}$$

Onde AAG = relação água/aglomerante, com níveis de 0,41; 0,49 e 0,57  
 BEM = Beneficiamento (0,5= sem cinza; 1= natural; 1,5=peneirada)  
 CCA = percentual de substituição de cinza (0% = 0; 10%=0,1; 20%=0,2)

A ANOVA para os dados de resistência à compressão axial aos 91 dias é apresentada na Tabela 15. Enquanto que na Tabela 16 são apresentados os parâmetros das variáveis analisadas para compressão axial aos 91 dias.

**Tabela 15 – Anova do modelo para compressão axial aos 91 dias**

Fonte	GDL	SQ	MQ	Teste F	Significância - p
Modelo	4	89922,1	22480,5	1939,646	0,00000
Resíduos	56	649,042	11,59		
Total Corrigido	59	2833,3			

Onde: GDL = grau de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada

**Tabela 16 – Parâmetro das variáveis analisadas para compressão axial aos 91 dias**

Fator	Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	Teste t	Significância - p
CONSTANTE	b0	63,2566	1,99778	31,66344643	0,0000000000
AAG * CCA	b1	173,353	31,4857	5,505769286	0,0000005216
CCA * BEM	b2	-58,9202	11,7414	-5,018157971	0,0000030053
AAG <sup>2</sup>	b3	-106,543	7,79997	-13,65941151	0,0000000000

A análise de variância (Tabela 15) do modelo resultou em um valor de  $r^2$  de 0,7709, indicando que o modelo ajusta 77,09% dos valores observados para compressão axial aos 91 dias e o valor 'p' do modelo menor que 0,01 indica que as variáveis representadas no modelo relacionam-se com nível de confiança de 99%.

Conforme a Tabela 16 as variáveis independentes que descrevem o modelo, bem como as interações entre as mesmas, apresentam-se estatisticamente significativas, a um nível de confiança de 99%, sendo o valor de "p" menor que 0,01.

Da mesma maneira que nas outras idades, como era esperado, para um mesmo teor de substituição de cinza, quanto maior a relação água/aglomerante, menor a resistência a compressão.

Na Figura 33 são apresentadas as curvas originadas da **Equação 10** que representa o modelo para resistência à compressão axial na idade de 91 dias.

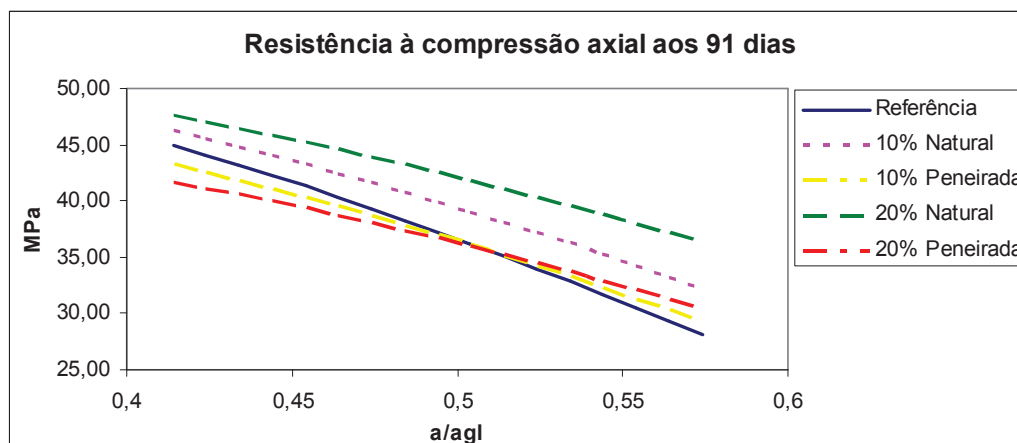


Figura 33 - Resistência a compressão axial aos 91 dias

Salienta-se que aos 91 dias o destaque dos traços com cinza natural em ambos os percentuais de substituição, pois apresentam desempenho superior ao traço de referência e aos traços com cinza peneirada de forma considerável, conforme se visualiza na Figura 33. Desta forma verifica-se a influência negativa do peneiramento, pois as misturas com cinzas beneficiadas com o peneiramento apresentaram desempenho inferior às misturas com cinza natural.

Percebe-se também na Figura 33 que o traço com 10% de cinza peneirada possui resistência superior ao traço com 20% da mesma cinza até a relação água/aglomerante de 0,5, e fatores acima de 0,5 ocorre a inversão, deixando o traço com 20% de cinza peneirada com resistências superiores ao de 10%.

Cabe salientar também que para relações água/aglomerantes acima de 0,53 todos os traços com cinza obtiveram resistências superiores ao traço de referência. Verifica-se ainda na Figura 33 a influência do percentual de cinza no desempenho, pois as misturas com 20% apresentaram resistências superiores às misturas com 10% da mesma cinza, ou seja, o aumento do percentual de substituição se mostrou benéfico ao desempenho da resistência à compressão aos 91 dias.

Da mesma forma que para outras idades os resultados encontram-se de acordo com o raciocínio do trabalho de Bui, Hu e Stroeven, pois para idades mais avançadas pode-se perceber o efeito da pozolanicidade devido ao fato desta reação ocorrer mais lentamente que o concreto de referência, ocasionando assim o melhor comportamento dos concretos com 20% de cinza em relação aos demais.

#### 4.1.4 Resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias

A Equação 11 representa o modelo obtido para resistência à tração por compressão diametral na idade de 28 dias.

$$F_t(28) = 18,8157 - 22,5799 \times \text{AAG} + 2,1279 \times \text{BEM} + 33,999 \times \text{AAG} \times \text{CCA} - 11,3214 \times \text{CCA} \times \text{BEM} \quad \text{Equação 11}$$

Onde  
 AAG = relação água/aglomerante, com níveis de 0,41; 0,49 e 0,57  
 BEM = Beneficiamento (0,5= sem cinza; 1= natural; 1,5=peneirada)  
 CCA = percentual de substituição de cinza (0% = 0; 10%=0,1; 20%=0,2)

A ANOVA para os dados de resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias é apresentada na Tabela 17. Enquanto que na Tabela 18 são apresentados os parâmetros das variáveis analisadas para tração por compressão diametral aos 28 dias.

**Tabela 17 – Anova do modelo para tração por compressão diametral aos 28 dias**

Fonte	GDL	SQ	MQ	Teste F	Significância - p
Modelo	5	6518,85	1303,77	943,2708	0,0000000000
Resíduos	55	76,02	1,38218		
Total Corrigido	59	205,759			

Onde: GDL = grau de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada

**Tabela 18 – Parâmetro das variáveis analisadas para tração por compressão diametral aos 28 dias**

Fator	Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	Teste t	Significância - p
CONSTANTE	b0	18,8157	1,32269	14,22532869	0,0000000000
AAG	b1	-22,5799	2,75663	-8,19112467	0,0000000000
BEM	b2	2,1279	0,771323	2,758766431	0,0039118129
AAG * CCA	b3	33,999	12,36	2,750728155	0,0039971591
CCA * BEM	b4	-11,3214	5,94312	-1,904959011	0,0309627894

Na análise de variância (Tabela 17) do modelo resultou em um valor de  $r^2$  de 0,6305, indicando que o modelo ajusta 63,05% dos valores observados para compressão axial aos 28 dias e o valor 'p' do modelo menor que 0,01 indica que as variáveis representadas no modelo relacionam-se com nível de confiança de 99%.

Conforme a Tabela 18, as variáveis independentes que descrevem o modelo, bem como as interações entre as mesmas, apresentam-se estatisticamente significativas, a um nível de confiança de 99%, sendo o valor de "p" menor que 0,01. Entretanto observou-se um valor de "p" de 0,0309, para a interação das variáveis teor de substituição e beneficiamento

(CCA\*BEM). No entanto uma vez que o valor de “p” apresenta ser menor que 0,05, este termo é estatisticamente significativo ao nível de confiança de 95%.

Na Figura 34 são apresentadas as curvas originadas da Equação 11 que representa o modelo para resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias. Pode-se observar que todos os traços com CCA, apesar de apresentarem valores de resistência superiores ao traço de referência, estas diferenças de resistência são, em média, inferiores a 1,0 MPa, o que não é considerado tecnicamente relevante.

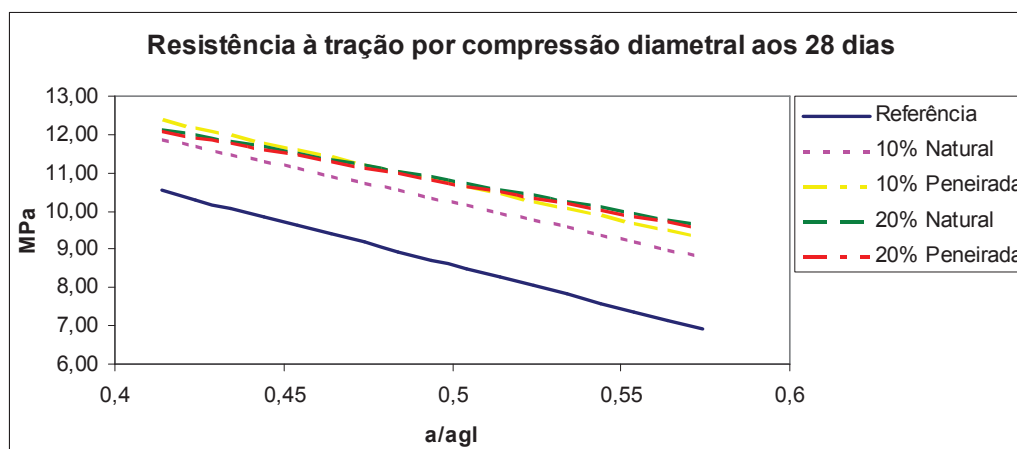


Figura 34 - Resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias

De maneira geral, todos os traços com cinza apresentaram resistências aproximadamente 20% superiores ao referência. Destaca-se a influência positiva do percentual de cinza nas misturas para níveis de relação água/aglomerante acima de 0,5, pois a tendência de comportamento dos concretos com 20% de CCA é apresentar maior resistência em relação aos concretos com 10% de CCA. O fato de todos os concretos desenvolverem resistências maiores que o concreto referência pode ser atribuída, segundo Mehta e Monteiro (2008), à melhora da zona de transição com o uso da CCA.

## 4.2 ABSORÇÃO CAPILAR

Os resultados referentes a absorção capilar dos concretos com traços de relações água/aglomerante 0,41; 0,49 e 0,57 são apresentados na Figura 35, Figura 36 e Figura 37 respectivamente.

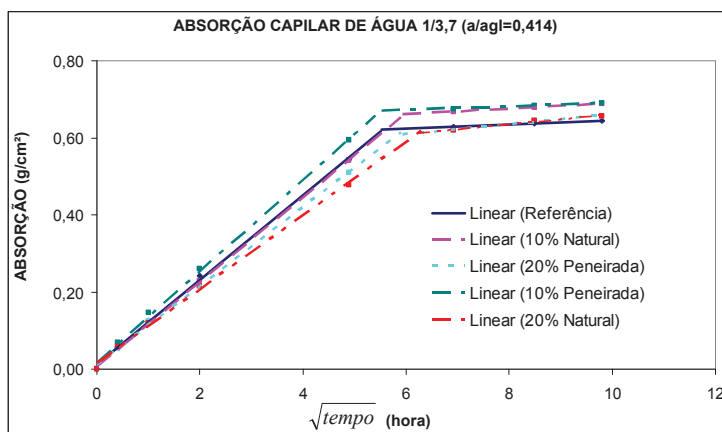


Figura 35 - Absorção capilar dos traços 0,41

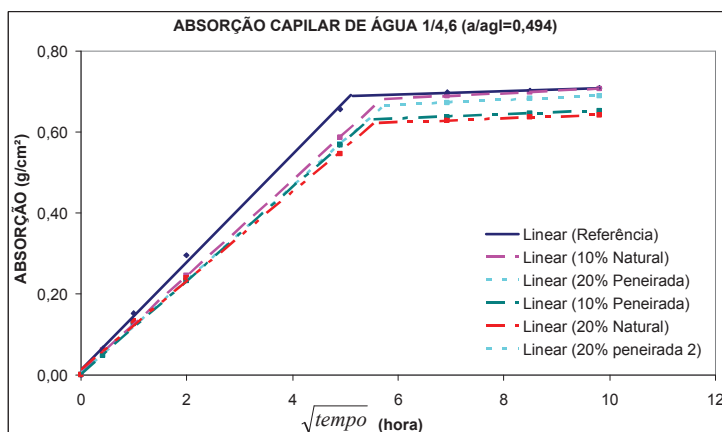


Figura 36 - Absorção capilar dos traços 0,49

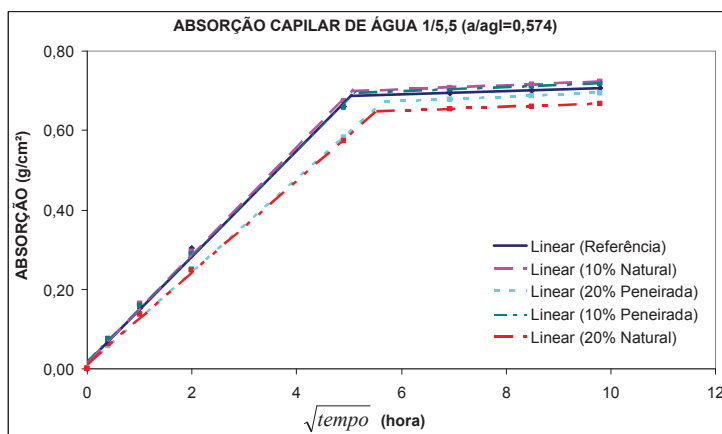


Figura 37 - Absorção capilar dos traços 0,57



Apresenta-se na Figura 35 a absorção dos corpos de prova dos traços com relações água/aglomerante 0,41. Pode-se comprovar um efeito benéfico da utilização de CCA com teor de 20%. Pois as misturas com substituição de CCA de 20% obtiveram resultados de absorção menores que a mistura de referência. Destaca-se que todas as misturas tenderam a estabilizar a absorção em torno das 24 horas, pois apresentaram diminuição na variação de massa entre os tempos, com comportamento muito semelhante entre as misturas. O melhor desempenho observado neste ensaio foi a mistura com 20% de cinza natural. Destaca-se ainda que as misturas com cinza peneirada apresentaram absorção muito próximas, no entanto maiores que a referência.

Já na Figura 36 onde encontram-se os traços de relações de água/aglomerante de 0,49 percebe-se uma proximidade maior entre os resultados das misturas com cinza e a mistura referência. Observa-se também que todas as misturas com cinza obtiveram resultados de absorção inferior a mistura de referência. No entanto da mesma maneira que a relação água/aglomerante 0,41, as misturas com 20% de cinza apresentaram absorção inferior às misturas com 10%. E novamente o melhor desempenho observado foi o da mistura com 20% de cinza natural.

Contudo no ensaio com as misturas de relação água/aglomerante 0,57, visualizado na Figura 37, novamente só as misturas contendo cinza com teor de 20% apresentaram absorção inferior a mistura de referência. Enquanto que as misturas com teor de 10% de cinza apresentaram absorção superior a referência. Portanto cabe destacar que neste traço o percentual de substituição influenciou de maneira mais significativa que o tipo de cinza. Da mesma maneira que nas outras relações água/aglomerante o melhor desempenho foi o da mistura com 20% de cinza natural.

Na Tabela 19 pode-se visualizar as equações referentes às curvas de absorção e saturação dos concretos, bem como a taxa de absorção capilar (S) e o tempo referente a abscissa do ponto de saturação ( $t_{cap}$ ).

A Tabela 19 apresenta na coluna S (taxa de absorção capilar) que os concretos com 20% de CCA possuem absorção inferior aos concretos com 10% de CCA e ao referência. Destaca-se portanto que o concreto com 20% de cinza natural possuem a menor taxa de absorção dentre os concretos estudados. O que possibilitou um tempo maior para sua saturação conforme a coluna  $t_{cap}$ .

Tabela 19 – Equação e taxa de absorção capilar

Concreto a/agl		Fase absorção	Fase saturação	S (g/cm <sup>2</sup> .h <sup>1/2</sup> )	S (mm/h <sup>1/2</sup> )	t <sub>cap</sub>
Referência	0,41	$y = 0,1101x + 0,0108$	$y = 0,0053x + 0,5924$	0,0014	0,014	5,549
	0,49	$y = 0,1328x + 0,0136$	$y = 0,0042x + 0,668$	0,0016	0,016	5,088
	0,57	$y = 0,1333x + 0,0164$	$y = 0,0042x + 0,6652$	0,0017	0,017	5,025
10% Natural	0,41	$y = 0,1096x + 0,0063$	$y = 0,0068x + 0,6205$	0,0013	0,013	5,974
	0,49	$y = 0,1183x + 0,0078$	$y = 0,0066x + 0,6426$	0,0015	0,015	5,683
	0,57	$y = 0,1356x + 0,016$	$y = 0,0053x + 0,6713$	0,0017	0,017	5,029
20% Peneirada	0,41	$y = 0,1023x + 0,0113$	$y = 0,0132x + 0,5284$	0,0012	0,012	5,803
	0,49	$y = 0,1158x + 0,0044$	$y = 0,0059x + 0,6311$	0,0014	0,014	5,702
	0,57	$y = 0,1176x + 0,0096$	$y = 0,0056x + 0,639$	0,0015	0,015	5,619
10% Peneirada	0,41	$y = 0,1189x + 0,0161$	$y = 0,0049x + 0,6417$	0,0015	0,015	5,487
	0,49	$y = 0,1153x + 0,0029$	$y = 0,0048x + 0,6046$	0,0014	0,014	5,445
	0,57	$y = 0,1322x + 0,0166$	$y = 0,0053x + 0,6665$	0,0016	0,016	5,121
20% Natural	0,41	$y = 0,0957x + 0,0152$	$y = 0,0125x + 0,5352$	0,0012	0,012	6,250
	0,49	$y = 0,1099x + 0,0132$	$y = 0,0048x + 0,5943$	0,0013	0,013	5,529
	0,57	$y = 0,1156x + 0,0119$	$y = 0,0046x + 0,6218$	0,0014	0,014	5,494

Givi et al (2010), desenvolveram um estudo sobre absorção de concretos em diferentes idades e constatou uma redução significativa na porcentagem de absorção de água nos concretos com CCA. No entanto concluíram que o diâmetro médio da cinza possui influência significativa no resultado, pois cinzas com maior diâmetro médio tendem a apresentar resultados de menor absorção somente em idades mais avançadas (em torno de 90 dias), e atribuiu este fato a menores produtos de hidratação quando a reação pozolânica é pequena em idades precoces. Outra constatação de Givi et al (2010) é que a zona de transição de interface concreto/matriz apresentou-se com melhor efeito de empacotamento (enchimento) com o uso da CCA. Portanto, concluíram que a cura prolongada em idades mais avançadas de concretos com cinza pode levar à redução dos vazios permeáveis.

Os valores obtidos neste trabalho apresentam-se de maneira semelhante aos encontrados por Givi et al (2010), pois para os traços com água/aglomerante intermediários (0,49), o efeito de preenchimento demonstrou-se benéfico e significativo em todos os concretos com cinza, pois apresentaram valores de absorção menores que o concreto referência. Enquanto que com o aumento da relação água/aglomerante o efeito de preenchimento dos concretos com cinza com teor de 10% diminuiu (empacotamento) e apresentaram absorção maior que o concreto referência.

Desta maneira pode-se afirmar que com o emprego de CCA são obtidos efeitos benéficos em termos de absorção capilar.

### 4.3 PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

#### 4.3.1 Tempo de pega do concreto

Neste item apresentam-se os resultados do ensaio de penetração para determinação dos tempos de pega para todas as misturas em estudo. Sendo de acordo com a ABNT NBR NM 9: 2003 a tensão de penetração de 3,4 MPa respectiva ao início de pega e 27,6 MPa respectiva ao tempo de fim de pega.

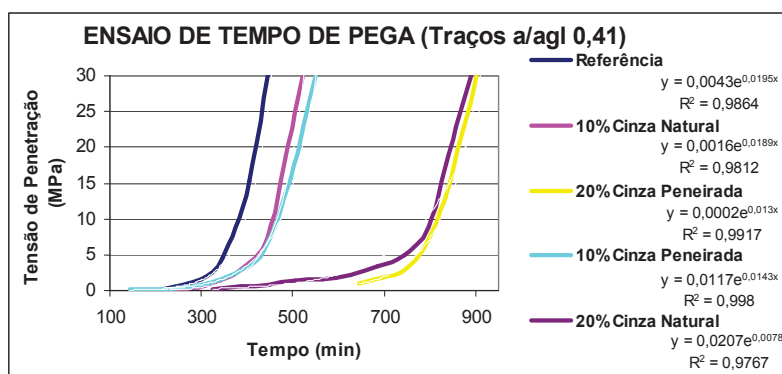


Figura 38 –Tempo de pega para os traços de água/aglomerante 0,41

Na Figura 38, pode-se visualizar os tempos de pega para os traços de relações água/aglomerante 0,41. Percebe-se que o referência possui tempo inferior a todos os traços com CCA. Salienta-se que nos dois percentuais de substituição (10 e 20%) os traços com cinza natural possui tempo de pega pouco inferior aos traços com cinza peneirada. Destaca-se ainda que os traços com 20% de cinza possuem tempos de pega consideravelmente superiores aos demais devido ao teor de aditivo utilizado nestes.

Já na Figura 39, pode-se visualizar os tempos de pega para os traços de relações água/aglomerante 0,49. Da mesma maneira, o referência possui tempo inferior a todos os traços com CCA. Destaca-se, no entanto, que os traços com 20% de substituição de cinza ficaram muito próximos, e que a diferença com os traços de 10% ficou menor se comparada com a figura 30 referente às relações 0,41.

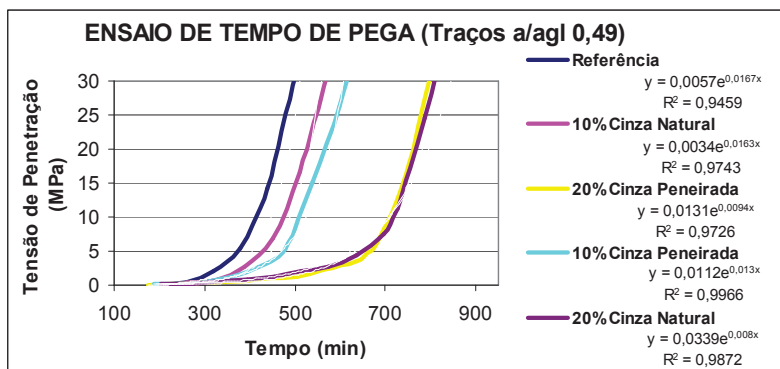


Figura 39 –Tempo de pega para os traços de água/aglomerante 0,49

A evolução do ensaio de penetração dos traços de relações de água/aglomerante 0,57 pode ser visualizada na Figura 40. Percebe-se uma proximidade entre os tempos de pega de todas as misturas ainda maior quando comparada às demais relações. Destaca-se, no entanto, que nestas relações ocorreu uma inversão entre as misturas de 20% de substituição, pois a mistura com 20% de cinza peneirada possui tempo de pega inferior a mistura com 20% de cinza natural.

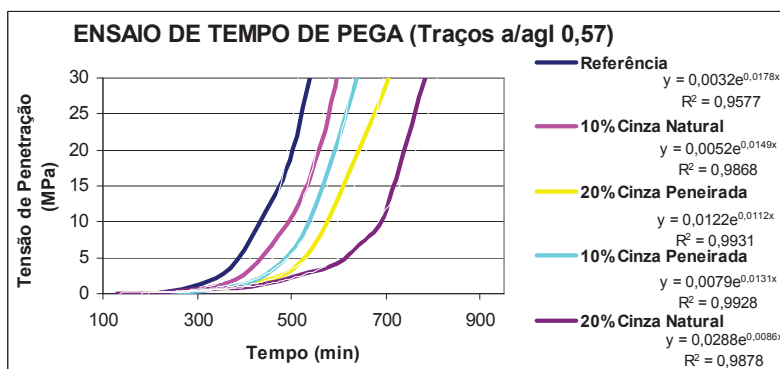


Figura 40 –Tempo de pega para os traços de água/aglomerante 0,57

Na Tabela 20 pode ser visualizada de maneira resumida de acordo com os modelos obtidos nas figuras acima referentes aos tempos de pega para todas as misturas. Percebe-se que os traços com 20% de cinza devido aos teores necessários de aditivo na mistura originam o dobro do tempo de início de pega quando comparados com a mistura de referência.

Tabela 20 – Tabela resumo dos tempos de pega

<b>RESUMO DE DADOS TEMPO DE PEGA</b>			
<b>M1A -</b>	<b>REFERÊNCIA</b>		
	0,41	0,49	0,57
Início de pega:	5 h e 42 min	6 h e 23 min	6 h e 31 min
Fim pega:	7 h e 30 min	8 h e 28 min	8 h e 29 min
Aditivo (%)	-	-	-
<b>M1B -</b>	<b>10% CINZA NATURAL</b>		
	0,41	0,49	0,57
Início de pega:	6 h e 45 min	7 h e 4 min	7 h e 15 min
Fim pega:	8 h e 36 min	9 h e 12 min	9 h e 35 min
Aditivo (%)	0,16	0,16	0,16
<b>M1C -</b>	<b>20% CINZA PENEIRADA</b>		
	0,41	0,49	0,57
Início de pega:	12 h e 29 min	9 h e 51 min	8 h e 22 min
Fim pega:	15 h e 10 min	13 h e 34 min	11 h e 29 min
Aditivo (%)	0,47	0,40	0,26
<b>M1D -</b>	<b>10% CINZA PENEIRADA</b>		
	0,41	0,49	0,57
Início de pega:	6 h e 36 min	7 h e 19 min	7 h e 43 min
Fim pega:	9 h e 3 min	10 h e 1 min	10 h e 23 min
Aditivo (%)	0,16	0,16	0,16
<b>M1E -</b>	<b>20% CINZA NATURAL</b>		
	0,41	0,49	0,57
Início de pega:	10 h e 54 min	9 h e 36 min	9 h e 15 min
Fim pega:	15 h e 23 min	13 h e 57 min	13 h e 18 min
Aditivo (%)	0,47	0,40	0,35

Tiboni (2007) desenvolveu um trabalho sobre o tempo de pega com concretos contendo CCA, e obteve em seus resultados uma diferença de tempo de 1,15 horas de atraso do concreto contendo 15% de cinza em relação ao referência. Portanto, segundo Tiboni (2007), o início de pega é postergado com o aumento da adição de CCA.

No entanto o considerável acréscimo no tempo de pega dos concretos contendo cinza, possivelmente também pode ser atribuído ao uso do aditivo plastificante, que possui ação secundária de retardo de pega, conforme Tabela 20, pois os concretos com teor de 20% de cinza demandaram maior quantidade de aditivo plastificante.

### 4.3.2 Consistência pelo tronco de mini-cone de Kantro

Os resultados de perda de abatimento nos tempos estabelecidos de 15, 30, 60 e 90 minutos para todas as misturas primeiramente são obtidos pela área de espalhamento da pasta após a retirada do mini-cone de Kantro, sendo que os resultados em valores absolutos obtidos nos ensaios podem ser visualizados na Tabela 21.

Tabela 21 – Tabela resumo das áreas de espalhamento do mini-cone de Kantro

ESPALHAMENTO PELO MINI-CONE DE KANTRO						
a/agl	Tempo (min)	Área (cm <sup>2</sup> )				
		Referência	10% Peneirada	10% Natural	20% Peneirada	20% Natural
0,41	15	70,88	110,29	86,59	117,86	119,79
	30	63,62	109,36	86,59	112,16	113,10
	60	60,13	105,68	84,95	109,36	110,29
	90	57,41	99,40	77,76	103,87	107,51
0,49	15	117,86	215,12	157,25	147,41	189,91
	30	113,10	204,85	151,75	139,98	175,54
	60	108,43	199,81	148,49	131,71	170,87
	90	102,97	196,07	142,08	128,68	168,56
0,57	15	186,27	271,72	219,04	225,65	246,06
	30	159,48	263,02	215,12	209,95	241,90
	60	144,20	254,47	197,31	204,85	239,16
	90	132,73	248,85	179,08	199,81	236,42

Por fim os resultados de perda de abatimento nos tempos estabelecidos de 15, 30, 60 e 90 minutos para todas as misturas foram convertidos em percentuais em relação ao espalhamento da mistura no tempo inicial (15 minutos), e podem ser visualizadas na Figura 41, Figura 42 e Figura 43, referente aos traços 1/3,7 (a/agl=0,41), 1/4,6 (a/agl=0,49) e 1/5,5 (a/agl=0,57) respectivamente.

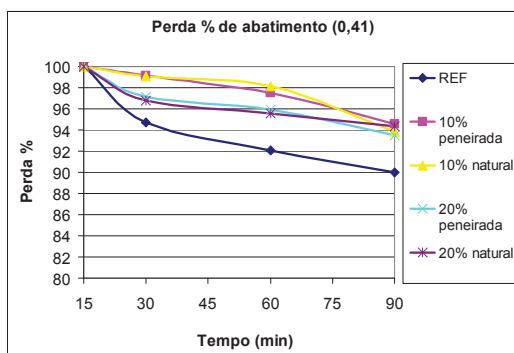


Figura 41 –Perda de abatimento dos traços 0,41

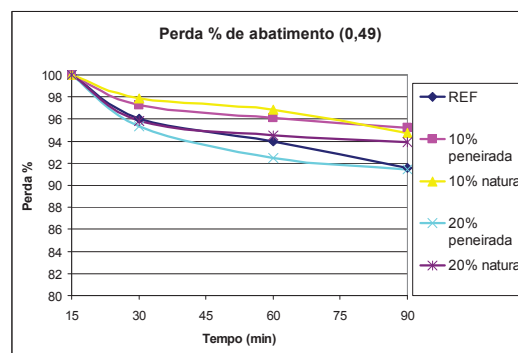


Figura 42 –Perda de abatimento dos traços 0,49

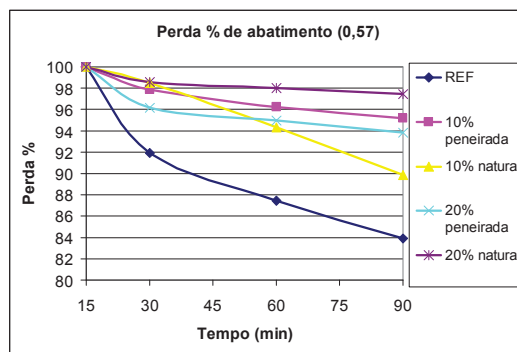


Figura 43 –Perda de abatimento dos traços 0,57

Na Figura 41 é apresentada a perda de abatimento das misturas com relação água/aglomerante 0,41 (Traços 1/3,7) e indicam que a mistura de referência possui uma perda de abatimento superior às demais misturas. Salienta-se que as misturas com 20% de substituição de cinza apresentam perda de abatimento maior do que as misturas que utilizam 10% de substituição. Destaca-se ainda que as misturas com cinza natural até os 45 minutos, contados a partir da determinação do abatimento inicial, possuem um abatimento superior às misturas com cinza peneirada, enquanto que após este tempo a situação é inversa.

Na Figura 42 é apresentada a perda de abatimento das misturas com relação água/aglomerante 0,49 (Traços 1/4,6) e mostram um comportamento de perda de abatimento muito próximo entre todas as misturas. Comprova-se também nesta relação água/aglomerante que a perda de abatimento de misturas que utilizam 10% de cinza é menor do que as misturas que utilizam 20% de cinza em sua composição. Apresenta-se também de forma clara a influência do peneiramento das cinzas, pois as misturas que utilizaram cinzas peneiradas possuem um abatimento maior para ambos os percentuais de substituição.

As misturas com relação água/aglomerante 0,57 (Traços 1/5,5) são apresentadas na Figura 43. A perda de abatimento da mistura de referência apresenta-se bem definida em relação às misturas com substituição de cinza, isto explica-se pelo fato desta mistura não possuir aditivo plastificante. No entanto as misturas com substituição de cinza não definem o mesmo comportamento de perda de abatimento das outras relações água/aglomerantes, pois na relação a/agl 0,57 a mistura que indica maior perda de abatimento dentre as misturas com cinza é a de teor de 10% com cinza natural. Contudo o fato da mistura com teor de cinza de 20% natural possuir o menor perda de abatimento dentre todas as misturas deve-se ao fato de possuir maior teor de aditivo plastificante, conforme Tabela 20.

### 4.3.3 Perda da fluidez pelo funil de Marsh

No ensaio de funil de Marsh obteve-se os resultados de cada mistura de acordo com as três relações água/aglomerante, conforme a Figura 44, Figura 45 e Figura 46, referente aos traços 1/3,7 ( $a/agl=0,41$ ), 1/4,6 ( $a/agl=0,49$ ) e 1/5,5 ( $a/agl=0,57$ ) respectivamente.

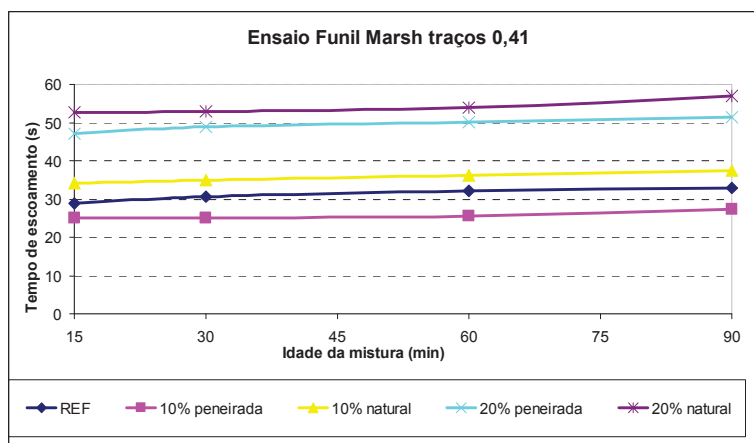


Figura 44 –Ensaio funil de Marsh dos traços 0,41

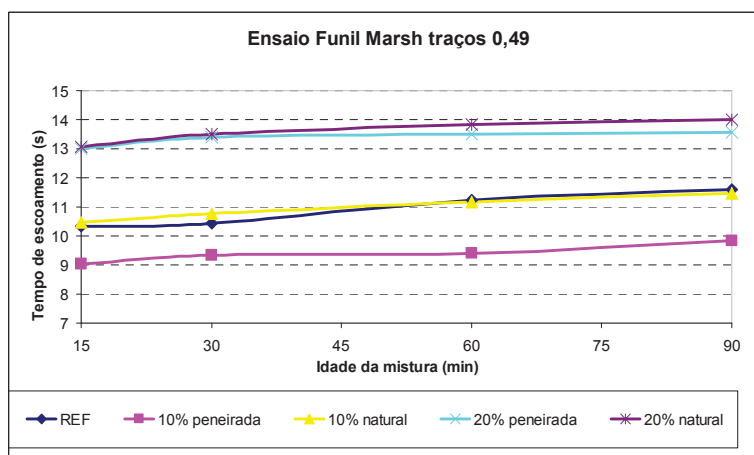
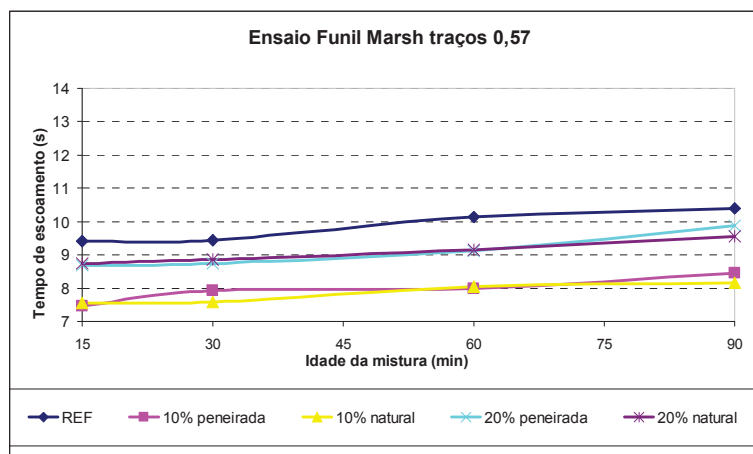


Figura 45 –Ensaio do funil de Marsh dos traços 0,49





**Figura 46 –Ensaio do funil de Marsh dos traços 0,57**

Como pode ser observado o tempo de escoamento pelo funil de Marsh aumentou com a diminuição da relação água/aglomerante, ou seja, quanto maior a relação água/aglomerante menor é o tempo de escoamento.

Na Figura 44, onde se encontram as misturas de relação água/aglomerante 0,41 observa-se que as misturas com cinza natural possuem um tempo de escoamento maior do que as misturas com cinza peneirada. No caso dos traços com 10% de cinza, as misturas com cinza natural tiveram 35% de aumento de fluidez em relação a cinza peneirada. Enquanto que nos traços com 20% de cinza o percentual de aumento de fluidez da cinza natural para a peneirada ficou em torno de 20%.

No entanto percebe-se que as misturas de 10% de substituição ficaram muito próximas com a mistura de referência, enquanto que as misturas com 20% de substituição obtiveram um tempo de escoamento maior que a referência, conforme Tabela 22 onde se apresenta de maneira completa os valores de ganho ou de perda de fluidez das misturas para cada idade medida em relação a referência.

Já na Figura 45, onde se apresenta os resultados das misturas com relação água/aglomerante de 0,49, percebe-se que a diferença entre os teores de 10% e 20% fica menos acentuada, embora ambas as misturas com 10% de CCA (natural e peneirada) também estão próximas a de referência, destacando-se assim a influência do teor de substituição da cinza. Salienta-se portanto que da mesma forma que a relação água/aglomerante 0,41, as misturas com relação a/agl 0,49 com cinza natural tendem a apresentar um tempo de

escoamento superior ao das misturas com cinza peneirada em torno de 3% conforme a Tabela 22.

Observa-se na Figura 46 que todas as misturas com substituição do cimento pela cinza obtiveram tempos de escoamento inferiores a referência em todas as idades. Salienta-se também que as misturas com 20% de cinza obtiveram tempos de escoamento superiores as misturas com 10%. No entanto, a diferença entre os tempos de escoamento entre os mesmos teores diminuiu quando comparado às outras relações água/aglomerante.

O fato das misturas com cinza natural apresentarem maior fluidez das pastas pode ser atribuído ao formato das partículas da cinza, como se pode observar na Figura 18 e Figura 19 do item 3.2.2.3. A cinza natural possui partículas de formato mais definido e de forma e tamanho mais homogêneo que a cinza peneirada.

**Tabela 22 – Fluidez das misturas no funil Marsh em relação à referência (%).**

Relação água/agl	IDADE	Referência	10% peneirada	10% natural	20% peneirada	20% natural
0,41	15 min	100	87,12	118,87	163,87	183,45
	30 min	100	82,19	114,27	159,86	173,26
	60 min	100	79,89	112,77	156,85	168,12
	90 min	100	82,71	113,86	155,37	172,91
0,49	15 min	100	87,51	101,36	125,85	126,52
	30 min	100	89,55	103,36	128,48	129,43
	60 min	100	83,69	99,38	120,32	123,44
	90 min	100	84,76	99,01	117,22	120,85
0,57	15 min	100	79,32	80,38	92,29	93,04
	30 min	100	84,00	80,40	92,48	93,75
	60 min	100	78,82	79,41	89,85	90,15
	90 min	100	81,42	78,44	95,19	92,11

#### 4.3.4 Evolução da temperatura Semi-Adiabática

Na Figura 47, Figura 48 e Figura 49 são apresentados os gráficos de Elevação de temperatura Semi-adiabática dos traços 0,41; 0,49 e 0,57, respectivamente, referente à primeira parte do programa experimental, ou seja, apenas com argamassa obtida do peneiramento do concreto no estado fresco em peneira 4,75mm durante as moldagens dos corpos de prova para ensaios no estado endurecido.

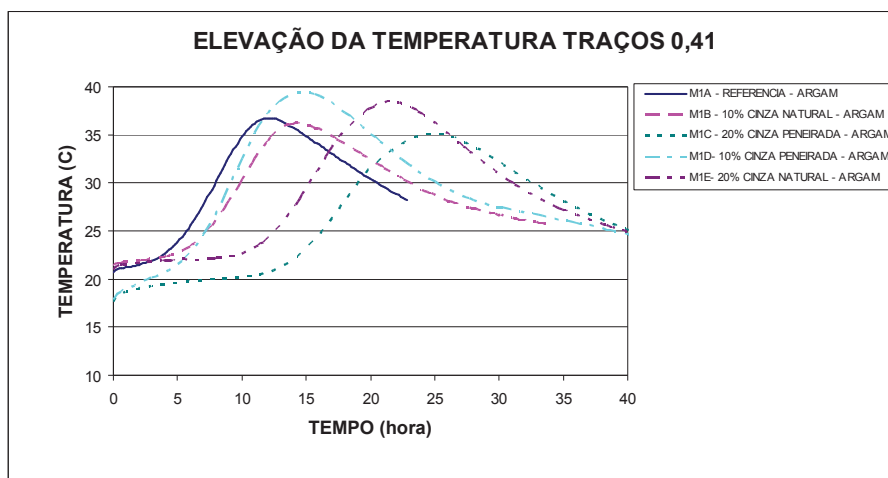


Figura 47 – Elevação da temperatura semi-adiabática de argamassa dos traços de água/glomerante 0,41

As curvas de elevação de temperatura dos traços de água/aglomerante 0,41 das misturas podem ser visualizadas na Figura 47. Pode-se observar que a mistura de referência possui um menor tempo para elevação da temperatura do que as misturas com CCA. Observa-se também que as misturas com 20% de cinza possuem um tempo superior às misturas com 10% para elevação da temperatura. A Figura 38, referente ao tempo de pega apresenta o mesmo comportamento visualizado neste ensaio. No entanto, percebeu-se que as misturas que atingiram maior temperatura de hidratação foram as misturas de 10% de cinza peneirada e 20% de cinza natural, respectivamente. Esta diferença de comportamento pode ser atribuída ao fato do ensaio não ser realizado de maneira totalmente adiabática, ou seja, sem a perda de calor para o meio, devido a características do equipamento utilizado.

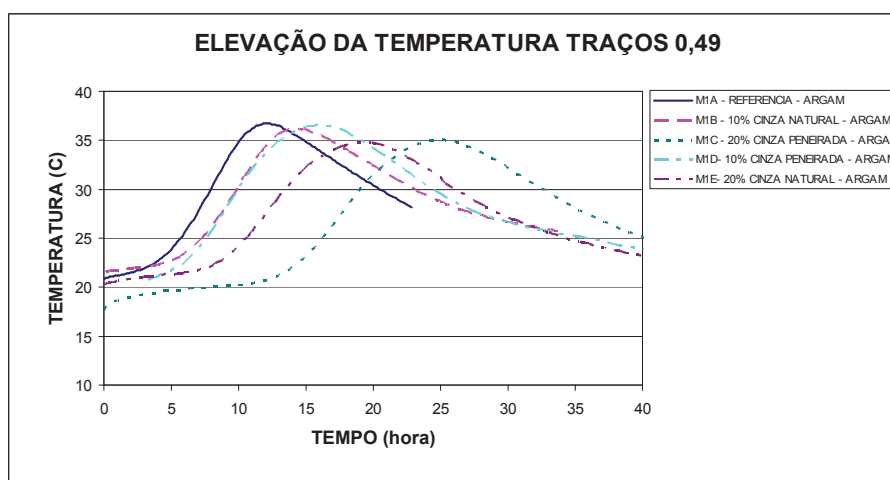


Figura 48 – Elevação da temperatura semi-adiabática de argamassa dos traços de água/glomerante 0,49

Na Figura 48, onde se apresenta os traços de água/aglomerante 0,49 pode-se observar o comportamento que já era esperado e que é comprovado pela literatura. Pois todas as misturas com substituição de cinza obtiveram curvas com pico máximo de temperatura de hidratação inferior ao referênciã. Ou seja, comprova-se que adições minerais ou pozolânicas diminuem o calor de hidratação de concretos e argamassas.

Observa-se também na Figura 48, o mesmo comportamento no que diz respeito a ordem de ascensão da temperatura até o pico, primeiramente a mistura de referênciã com o menor tempo, seguido das misturas com 10% de cinza e posteriormente as misturas com 20% de cinza. Da mesma maneira que o ensaio de tempo de pega, este comportamento é explicado pelo uso de percentual maior de aditivo plastificante nas misturas com 20% de cinza.

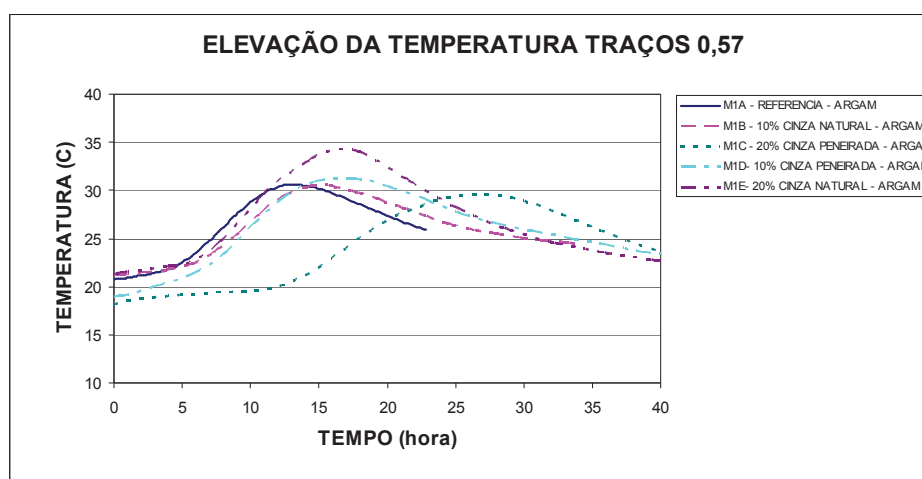


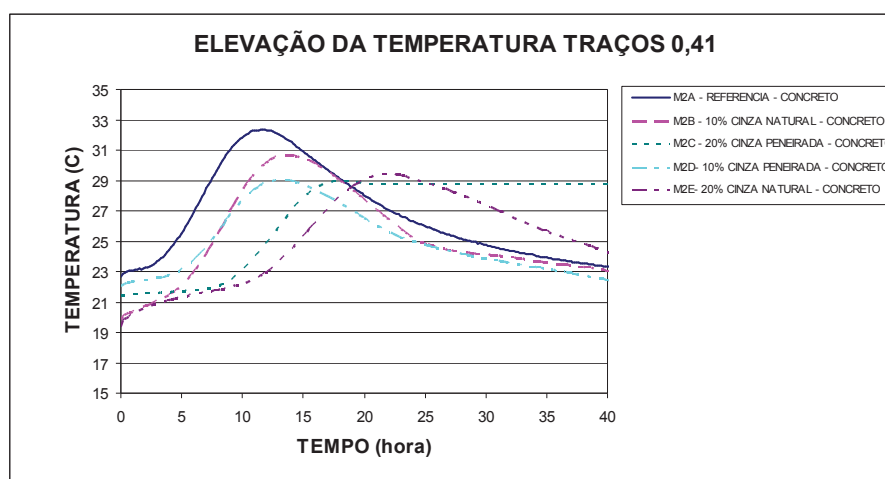
Figura 49 – Elevação da temperatura semi-adiabática de argamassa dos traços de água/aglomerante 0,57

Pode-se observar na Figura 49 que os traços de água/aglomerante 0,57 possuem um comportamento semelhante aos traços 0,41 da Figura 47. Pois a mistura com 20% de cinza peneirada possui o maior tempo para elevação da temperatura. Destaca-se, no entanto, que as demais misturas ficaram com tempos muito semelhantes e que a mistura de referênciã continua com tempo inferior as demais misturas.

Já na Figura 50, Figura 51 e Figura 52 são apresentados os gráficos de elevação de temperatura Semi-adiabática das relações 0,41; 0,49 e 0,57, respectivamente, referente à segunda parte do programa experimental, ou seja, o concreto propriamente dito (com agregado graúdo).

A Figura 50 ilustra os resultados referentes às misturas com relação água/aglomerante de 0,41. Como já era esperado e de acordo com a literatura (Dal Molin, 2005) todas as

misturas com CCA possuem picos de temperaturas inferiores à mistura de referência. Esta figura comprova que quanto maior o percentual de substituição do cimento pela CCA menor é a temperatura de hidratação de concretos, pois as misturas com 20% de cinza possuem picos de temperaturas menores que as misturas com 10% de cinza. E a ordem de elevação da temperatura da mesma maneira, primeiramente a mistura de referência, seguida das misturas com 10% de cinza e posteriormente as misturas com 20% de cinza. Destaca-se ainda o fato de que nos dois percentuais de substituição as misturas com cinza natural possuem temperatura superior às misturas com cinza peneirada, em torno de 2°C nas misturas com 10% de cinza, e 0,3°C nas misturas com 20% de cinza.



**Figura 50 – Elevação da temperatura semi-adiabática de concreto dos traços de água/aglomerante 0,41**

Apresenta-se na Figura 51 os resultados referentes às misturas com relação água/aglomerante 0,49. Da mesma maneira que as relações 0,41 já era esperado e de acordo com a literatura, que todas as misturas com CCA possuíssem picos de temperaturas inferiores a mistura de referência. A ordem de elevação da temperatura de igual forma, primeiramente a mistura de referência, seguida das misturas com 10% de cinza e posteriormente as misturas com 20% de cinza. Salienta-se ainda o fato das misturas com cinza natural possuírem calor de hidratação superior as misturas com cinza peneirada, em torno de 2°C nas misturas com 10% de cinza, e 1,8°C nas misturas com 20% de cinza.

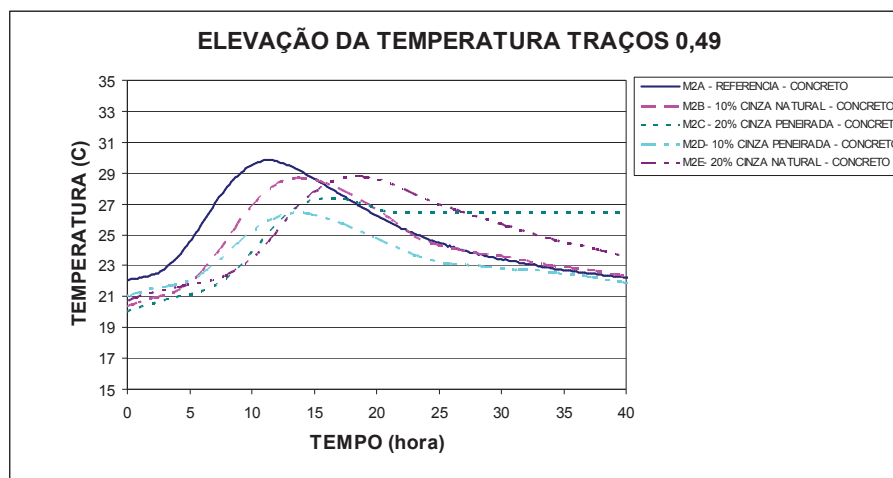


Figura 51 – Elevação da temperatura semi-adiabática de concreto dos traços de água/aglomerante 0,49

Na Figura 52, onde são apresentados os resultados das misturas referentes às relações água/aglomerante 0,57 comprova-se o mesmo comportamento observado nas relações de 0,41, que corroboram com a literatura. Pois as misturas com cinza apresentam picos de temperatura menores que a referência e de acordo com o aumento do percentual de substituição de cinza este pico tende a diminuir ainda mais. Da mesma maneira que nas relações 0,41 e 0,49 nas relações 0,57 destaca-se o fato de que nos dois percentuais de substituição às misturas com cinza natural possuem temperatura superior às misturas com cinza peneirada.

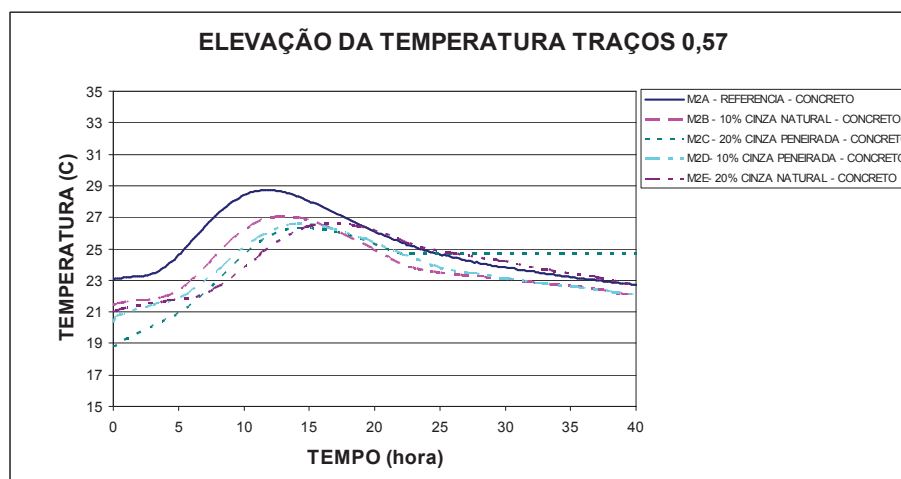


Figura 52 – Elevação da temperatura semi-adiabática de concreto dos traços de água/aglomerante 0,57

Neste ensaio todos os traços de argamassa tiveram início da elevação de temperatura em torno de 400 minutos e final em torno de 1200 minutos, exceto as misturas com 20%, que devido ao maior percentual de aditivo plastificante retardaram o início e final de pega.

Nos ensaios com amostras de concreto pode-se afirmar que todas as misturas obtiveram início de elevação da temperatura no período entre 400 e 500 minutos e pico máximo de temperatura no período entre 800 e 1000 minutos, com exceção da mistura de referência, pois devido ao fato de não utilizar aditivo, esta possui um intervalo de tempo de elevação de temperatura menor que as demais misturas.

Segundo Dal Molin (2005), de maneira geral com a substituição do cimento por adições minerais, o calor de hidratação gerado em concretos é reduzido, devido ao fato da quantidade de clínquer diminuir, resultando em menor liberação de calor durante as reações químicas de hidratação. Desta forma, pode-se dizer que os resultados obtidos neste ensaio estão de acordo com o consenso da literatura ao verificar a tendência de diminuição da elevação da temperatura das amostras de argamassa.

No entanto, o fato das misturas com cinza apresentarem pequena diminuição relativa da temperatura de hidratação, segundo Cordeiro (2009), indica possivelmente a alta reatividade da cinza em estudo.

#### **4.4 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)**

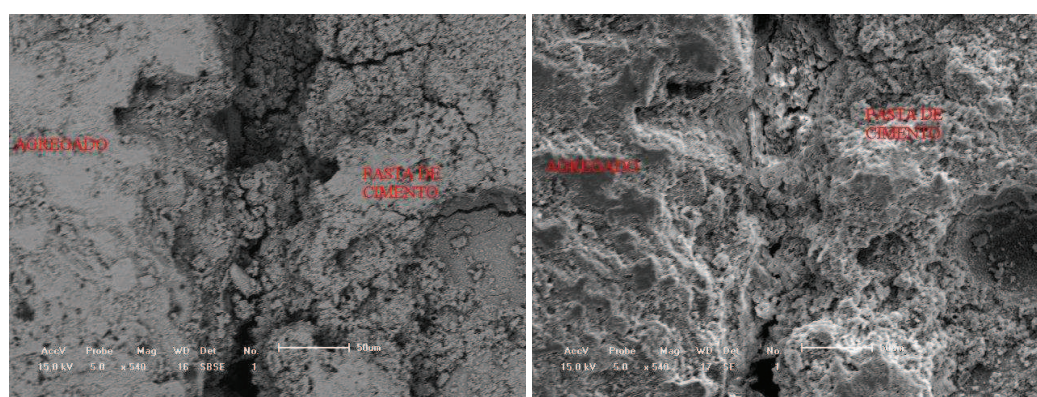
Analisou-se a zona de transição, por ser esta a região de maior porosidade do concreto, utilizando as imagens do microscópio eletrônico de varredura, para o concreto com 0% e 20% de CCA. Cabe salientar que para este ensaio optou-se pela realização de análise somente de amostras do traço intermediário do trabalho (1/4,6 de água/glomerante 0,49) com idade de 28 dias. Ou seja, os concretos que foram realizadas análises de MEV são:

Referência	(Relação água/glomerante 0,49)
20% cinza natural	(Relação água/aglomerante 0,49)
20% cinza peneirada	(Relação água/aglomerante 0,49)

Com os raios X (EDX) característicos possibilitou-se uma análise química elementar do material observado na microscopia eletrônica. Observou-se através da análise de imagens a região de transição entre a pasta de cimento e o agregado, cujas características são importantes para compreender o comportamento que ocorre na macroestrutura do concreto. Foram utilizados para a análise no MEV pedaços do concreto retirados dos corpos de prova das fatias que não foram utilizadas no ensaio de absorção capilar serradas aos 28 dias.

Considerar a zona de transição pasta de cimento e agregados no estudo das propriedades do concreto é importante, devido ao fato de que esta região apresenta propriedades físicas e químicas bem distintas do restante da matriz de cimento. Pois, o tamanho dos cristais, bem como sua disposição orientada, pode reduzir a resistência de ligação entre a matriz e o agregado, influenciando nas propriedades mecânicas (Neville (1997), Brigolini Silva (2005) e Metha e Monteiro (2008)).

A Figura 53 mostra a zona de transição pasta de cimento/brita do concreto de referência com o traço de água/aglomerante 0,49, com imagem (A) com elétrons retro-espalhados e a imagem (B) elétrons secundários, ambas com aumento de 540X. A parte esquerda das imagens refere-se a brita enquanto a direita a pasta de cimento. As imagens foram realizadas através de elétrons retroespalhados e também elétrons secundários com o objetivo de obter melhor visualização da morfologia das amostras.



(A) Elétrons retro-espalhados

(B) Elétrons secundários

**Figura 53 –Imagens de MEV 540x concreto Referência**

No MEV as imagens obtidas por elétrons retro-espalhados são analisadas em tons de branco ao preto, sendo vários tons de cinza. O preto representa os poros. De acordo com Brigolini Silva (2005) os grãos de cimento não hidratados aparecem em tons mais claros, já o cimento hidratado em um tom mais escuro. Os produtos hidratados encontrados na pasta de cimento endurecido consistem do gel de C-S-H e hidróxido de cálcio, acompanhados por menores quantidades de etringita e monossulfato.

A microscopia da Figura 54 mostra a zona de transição pasta de cimento/agregado graúdo com aumento de 1400X. Enquanto que a Figura 55 (A) com aumento de 6000X, apresentando os compostos hidratados do cimento representados pelos diferentes tons de cinza, e na parte central inferior dois círculos vermelhos indicando a localização das análises



químicas realizadas e que podem ser visualizadas na parte (B) e (C), respectivamente, ao círculo menor e maior.

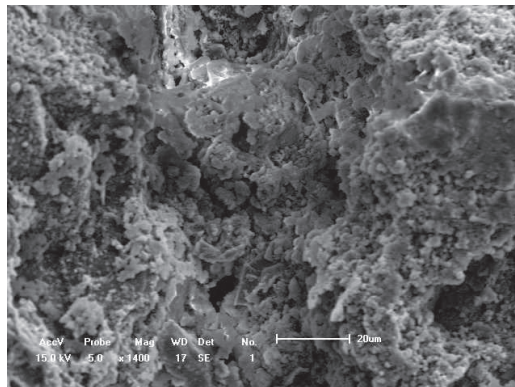
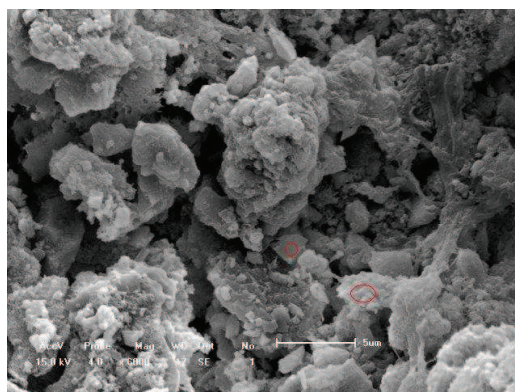


Figura 54 –Imagens de MEV concreto Referência, aumento 1400 x



(A) MEV 6000x

Element	Intensity	Weight%	AT%	K-Value	Z	A	F
C	1.782	5.052	8.352	0.01025	0.97400	3.24951	1.00000
O	8.682	57.723	71.640	0.08108	0.98897	4.62455	1.00000
Mg	2.385	1.684	1.375	0.00494	1.02619	2.14569	0.99481
Al	2.128	1.309	0.963	0.00470	1.05703	1.70759	0.99171
Si	10.183	5.442	3.847	0.02399	1.02679	1.43214	0.99112
K	0.796	0.597	0.303	0.00372	1.07884	1.03546	0.92352
Ca	31.403	24.996	12.383	0.15020	1.05587	1.01521	0.99736
Fe	1.359	3.197	1.137	0.01719	1.17138	1.02022	0.99989
<b>Total</b>		100.000	100.000	0.29607			

(B) EDS referente ao círculo menor

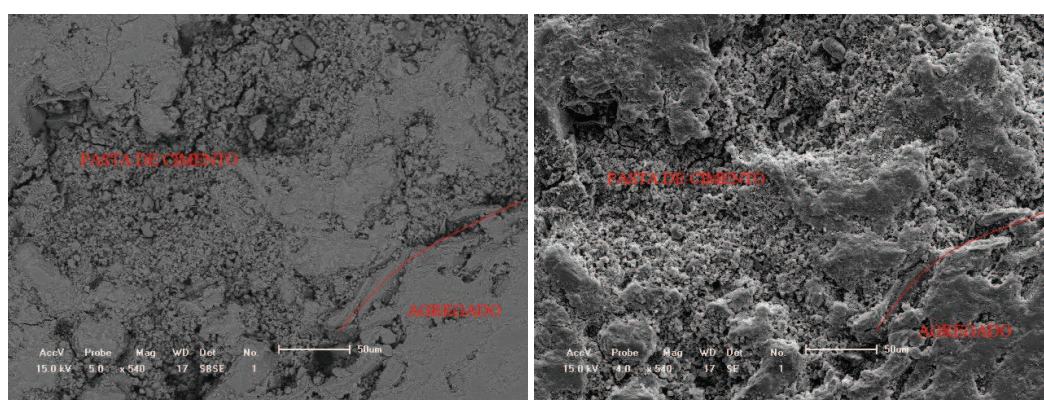
Element	Intensity	Weight%	AT%	K-Value	Z	A	F
C	0.923	2.951	5.575	0.00531	0.97100	3.26106	1.00000
O	4.105	44.288	62.814	0.03834	0.98428	6.69066	1.00000
Mg	0.890	0.701	0.654	0.00184	1.01827	2.14294	0.99275
Al	1.702	1.152	0.969	0.00376	1.04812	1.68749	0.98803
Si	11.548	6.793	5.488	0.02720	1.01743	1.41857	0.98629
K	0.887	0.714	0.414	0.00413	1.06551	1.03985	0.88866
Ca	45.238	40.363	22.852	0.21692	1.04216	1.01930	0.99854
Fe	1.135	3.038	1.234	0.01435	1.15178	1.04288	1.00495
<b>Total</b>		100.000	100.000	0.31185			

(C) EDS referente ao círculo maior

Figura 55 –Imagens de MEV e EDS concreto Referência, aumento 6000 x

Em ambos os pontos localizados na Figura 55 (a) identificam-se a presença de cálcio com pico de intensidade maior que os outros elementos, devido aos produtos de hidratação.

A segunda amostra analisada por MEV é a referente ao concreto com 20% de cinza peneirada. A Figura 56 mostra a zona de transição pasta de cimento/brita da amostra, com imagem (A) com elétrons retro-espalhados e a imagem (B) elétrons secundários, ambas com aumento de 540X. A parte diagonal direita inferior das imagens refere-se a brita enquanto a outra diagonal refere-se a pasta de cimento.

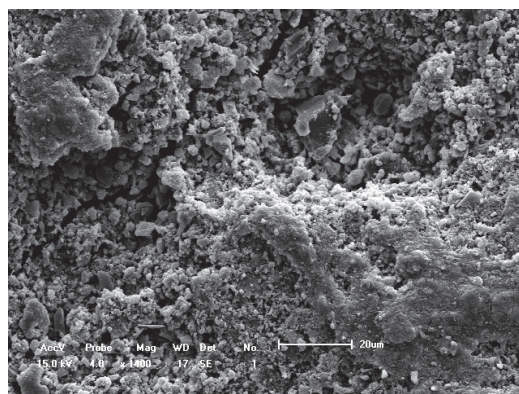


(A) Elétrons retro-espalhados

(B) Elétrons secundários

**Figura 56 –Imagens de MEV concreto com 20% de cinza peneirada, aumento 540x**

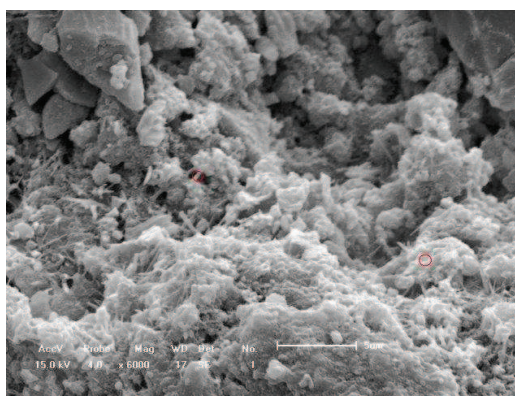
Enquanto que a Figura 57, com aumento de 1400X, apresenta os compostos hidratados do cimento representados pelos diferentes tons de cinza. Comparando a Figura 57 com a Figura 54 do concreto referência, percebe-se visualmente maior porosidade no concreto com a cinza peneirada.



**Figura 57 –Imagens de MEV 1400x concreto com 20% de cinza peneirada**

A Figura 58 (A) com aumento de 6000X, apresenta os compostos hidratados do cimento representados pelos diferentes tons de cinza, e na parte central inferior dois círculos vermelhos indicando a localização das análises químicas realizadas e que podem ser visualizadas na parte (B) e (C) respectivamente ao círculo central e inferior.

De acordo com Sarkar (1999) picos principais de cálcio e silício identificam o silicato de cálcio hidratado (C-S-H). Portanto a análise de EDS nas partes (B) e (C) da Figura 58 indica a presença de C-S-H em ambos os círculos localizados na parte (A).



(A) MEV 6000x

Element	Intensity	Weight%	AT%	K-Value	Z	A	F
C	2.708	4.073	10.213	0.01370	0.93487	3.20609	1.00000
O	11.841	30.908	58.187	0.09637	0.94301	3.43023	1.00000
Na	0.805	0.444	0.581	0.00218	0.99595	2.06767	0.99784
Mg	1.571	0.698	0.865	0.00440	0.96795	1.66061	0.99566
Al	3.121	1.322	1.475	0.00946	0.99460	1.42697	0.99310
Si	22.831	9.157	9.820	0.07524	0.96388	1.27859	0.99599
P	1.196	0.629	0.612	0.00511	0.99470	1.25526	0.99460
K	0.478	0.398	0.307	0.00339	1.00172	1.20398	0.98382
Ca	17.890	15.864	11.921	0.14151	0.97831	1.15890	0.99729
Fe	0.403	1.129	0.609	0.01057	1.07256	1.03446	0.97093
Au	0.606	35.378	5.410	0.23213	1.54982	0.99405	0.99774
Total		100.000	100.000	0.59406			

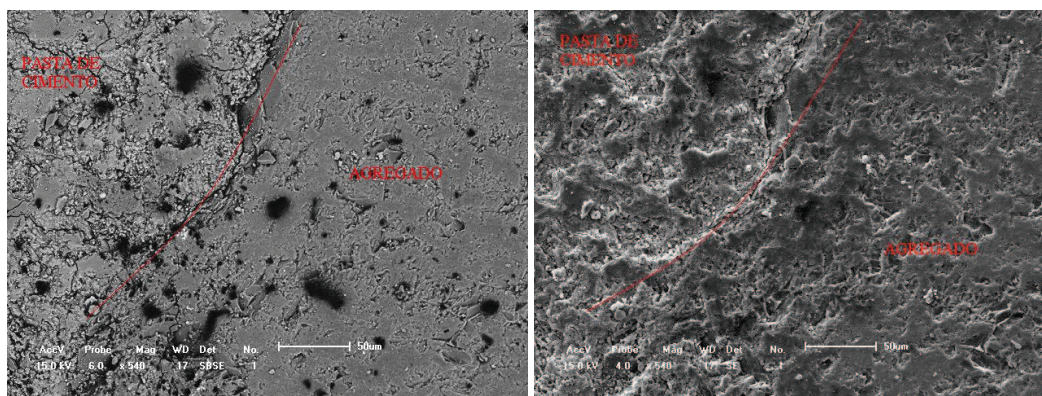
(B) EDS do círculo central

Element	Intensity	Weight%	AT%	K-Value	Z	A	F
C	3.070	9.042	14.240	0.01554	0.97066	3.24649	1.00000
O	12.145	56.567	66.883	0.09885	0.98826	3.13606	1.00000
Mg	1.278	1.136	0.884	0.00359	1.03173	1.67174	0.99446
Al	2.693	2.243	1.573	0.00818	1.06452	1.40699	0.99162
Si	13.474	10.634	7.162	0.04441	1.03586	1.25785	0.99535
Ca	11.486	18.405	8.687	0.09123	1.07782	1.01489	0.99883
Zn	0.979	1.973	0.571	0.00536	1.12453	1.77341	1.00000
Total		100.000	100.000	0.26716			

(C) EDS do círculo inferior

Figura 58 –Imagens de MEV 6000x e EDSconcreto com 20% de cinza peneirada

A terceira amostra analisada por MEV é o concreto com 20% de cinza natural. A zona de transição pasta/agregado com aumento de 540X pode ser visualizada em duas imagens, conforme a Figura 59, onde se apresenta na parte (A) a imagem com elétrons retro-espalhados e na (B) com elétrons secundários. Pode-se visualizar que na parte direita das imagens encontra-se o agregado graúdo e na esquerda a pasta.

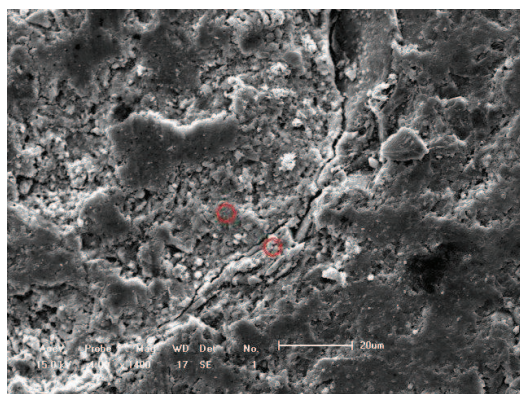


(A) Elétrons retro-espalhados

(B) Elétrons secundários

**Figura 59 –Imagens de MEV 540x concreto com 20% de cinza natural**

Na Figura 60 pode-se visualizar a imagem de MEV com aumento de 1400X apresentando os compostos hidratados do cimento representados pelos diferentes tons de cinza, e na parte central dois círculos vermelhos indicando a localização das análises químicas realizadas e que podem ser visualizadas na parte (A) e (B) respectivamente ao círculo central e inferior na Figura 61.



(A) MEV 1400x -concreto com 20% cinza natural

**Figura 60 –Imagens de MEV 1400x 6000x concreto com 20% de cinza natural**

Como já visto anteriormente os picos principais de cálcio e silício identificam produtos de hidratação como na parte (A) da Figura 61. No entanto, na parte (B) da Figura 61 identifica-se um pico de silício superior ao cálcio, por isso identifica-se provavelmente um grão de cinza ou agregado.

Element	Intensity	Weight%	AT%	K-Value	Z	A	F
<b>C</b>	2.598	6.647	10.382	0.01315	0.97095	3.39276	1.00000
<b>O</b>	16.504	61.070	71.603	0.13432	0.98879	2.99584	1.00000
<b>Na</b>	0.635	0.608	0.496	0.00172	1.05809	2.17848	0.99675
<b>Mg</b>	0.736	0.542	0.418	0.00207	1.03275	1.66305	0.99466
<b>Al</b>	4.451	3.046	2.118	0.01349	1.06569	1.39095	0.99254
<b>Si</b>	10.533	6.894	4.604	0.03472	1.03711	1.25560	0.99355
<b>P</b>	1.062	0.901	0.546	0.00454	1.07473	1.21618	0.99028
<b>S</b>	3.369	2.873	1.681	0.01589	1.04992	1.13520	0.98807
<b>Ca</b>	13.078	17.419	8.152	0.10344	1.07982	1.01645	0.99955
<b>Total</b>		100.000	100.000	0.32334			

(A) EDS do círculo central

Element	Intensity	Weight%	AT%	K-Value	Z	A	F
<b>C</b>	2.661	10.150	15.473	0.01425	0.96943	4.53607	1.00000
<b>O</b>	16.011	55.020	62.971	0.13031	0.98772	2.64000	1.00000
<b>Na</b>	2.126	1.968	1.567	0.00581	1.05765	1.98724	0.99483
<b>Mg</b>	0.813	0.599	0.451	0.00229	1.03254	1.57628	0.99131
<b>Al</b>	6.427	4.443	3.015	0.01947	1.06570	1.33792	0.98809
<b>Si</b>	28.312	19.373	12.630	0.09331	1.03734	1.23778	0.99860
<b>K</b>	2.236	2.946	1.380	0.01587	1.10213	1.05130	0.98926
<b>Ca</b>	3.819	5.501	2.513	0.03021	1.08136	1.03933	1.00055
<b>Total</b>		100.000	100.000	0.31152			

(B) EDS do círculo inferior

Figura 61 –Análise de EDS concreto com 20% de cinza natural

## 5 CONCLUSÃO

Neste capítulo de encerramento do trabalho são apresentadas as considerações finais, que respondem aos objetivos propostos, bem como sugestões para trabalhos futuros oriundas de reflexões e lacunas evidenciadas na condução do trabalho e na análise dos resultados.

### 5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a revisão da literatura, a análise e discussão dos resultados, são apresentadas as considerações finais, conforme segue.

**Quanto à influência do peneiramento da CCA nas propriedades do concreto no estado endurecido, são expostas as seguintes considerações em relação à:**

- Compressão axial aos 7 dias, o peneiramento causou efeito positivo nas misturas com 10% de cinza, pois obteve-se resistências superiores com a cinza peneirada em relação a cinza natural, possivelmente devido ao fato de melhor empacotamento das partículas em função do diâmetro médio da cinza. No entanto nas misturas com 20% de cinza verifica-se a situação contrária, pois as misturas com cinza natural obtiveram resistências superiores às misturas com cinza peneirada.
- Compressão axial aos 28 dias, a cinza natural possui desempenho superior a cinza peneirada em ambos os percentuais de substituição de cinza, sendo que para o percentual de 20% de substituição o desempenho foi em média de 15% superior.
- Compressão axial aos 91 dias, a cinza natural possui desempenho superior a referência e a cinza peneirada nos dois teores de substituição. Para o percentual de 10% de substituição a cinza natural apresentou desempenho 7% superior a cinza peneirada, sendo que no percentual de 20% de substituição esse desempenho foi ainda maior, em torno de 12%. Cabe ressaltar que esta idade é a mais importante, pois melhor representa a situação real de uma estrutura de concreto.
- Absorção capilar, nos traços de relação água/aglomerante de 0,41, todos os concretos com cinza obtiveram absorção capilar inferior ao concreto de referência; enquanto que nos traços com relação água/aglomerante 0,49, nas

leituras iniciais, os concretos com cinza peneirada obtiveram absorção superior ao referência, no entanto a absorção total de todos concretos com cinza foi superior ao referência. Já para os traços de relação 0,57 a absorção de todos concretos com cinza foi superior ao referência em todas as idades;

- Microestrutura dos concretos, os dois tipos de cinza proporcionam melhor preenchimento de vazios em relação ao concreto de referência, no entanto, o concreto com cinza natural apresenta aspecto mais denso; contudo, aos 28 dias este comportamento não se refletiu em maiores resistências a compressão axial, mas sim aos 91 dias;

**Quanto à influência do peneiramento da CCA nas propriedades do concreto no estado fresco, pode-se tecer as seguintes considerações em relação:**

- ao tempo de pega do concreto, todas as misturas com cinza obtiveram tempos superiores à referência. No entanto, nos dois percentuais de substituição estudados o concreto com cinza natural obteve tempo de pega inferior aos concretos com cinza peneirada. Nos concretos com menor relação água/aglomerante com 20% de cinza obtiveram tempo de pega postergado em torno de 4 horas em relação ao percentual de 10% de substituição e 5 horas em relação à referência.
- a perda de consistência ou espalhamento pelo mini-cone de Kantro, para os traços de relação água/aglomerante 0,41, as misturas com cinza natural possuem abatimento superior às misturas com cinza peneirada até a idade de 45 minutos, sendo que após esta idade ocorre a inversão de comportamento. Já nos traços intermediários (relação a/agl 0,49) apresenta-se de forma clara a influência do peneiramento das cinzas, pois as misturas com cinzas peneiradas possuem abatimento maior para os dois percentuais de substituição estudados;
- a perda de fluidez pelo funil de Marsh, as misturas com cinza natural possuem tempo superior em 35% (menor fluidez) que as misturas com cinza peneirada para o teor de 10%, nos traços com relação a/agl 0,41, sendo que o mesmo comportamento com menor dimensão é visualizado nos traços de relação 0,49 e 0,57;

- ao monitoramento da temperatura nas primeiras idades de hidratação, todos os concretos apresentaram menor elevação da temperatura do que o concreto de referência. Para os dois percentuais e nos três traços em estudo verificou-se que os concretos com cinza natural possuem temperatura superior aos concretos com cinza peneirada.

**Quanto à influência do teor de substituição de CCA nas propriedades do concreto no estado fresco e endurecido, apresenta-se as seguintes considerações em relação:**

- à compressão axial aos 7 dias, o teor de substituição é menos significativo que o beneficiamento, e aos 28 dias o teor é a variável menos significativa no modelo obtido;
- à compressão axial aos 91 dias, as misturas com 20% apresentaram resistências superiores às misturas com 10% da mesma cinza, ou seja, o aumento do percentual de substituição se mostrou benéfico ao desempenho da resistência a compressão nesta idade;
- a tração por compressão diametral, a influência do percentual de cinza nas misturas é positiva com relação água/aglomerante acima de 0,5, pois os concretos com 20% de CCA apresentam desempenho superior aos concretos com 10% de cinza;
- ao tempo de pega do concreto, quanto maior o percentual de substituição da cinza, maior é o tempo de início de pega, isto devido a necessidade do uso de plastificante que colaborou para o retardo do tempo de início de pega;
- a perda de abatimento ou espalhamento pelo tronco de mini-cone de Kantro, quanto maior o percentual de substituição de cinza maior é a perda de abatimento da mistura;
- a fluidez, quanto maior o percentual de substituição, menos fluida é a mistura;
- a elevação da temperatura, os concretos com maiores teores de substituição tendem a apresentar menor temperatura durante sua hidratação;
- a absorção capilar, nos concretos de traços de relação água/aglomerante 0,57 com cinza quanto maior o percentual de substituição, menor é a absorção do material;



**Quanto à existência de interações entre os fatores estudados, como relação água/aglomerante, teor de substituição e o beneficiamento da CCA por peneiramento, pode-se afirmar que:**

- em relação à compressão axial aos 7 dias, todas as combinações de variáveis são estatisticamente significativas a um nível de confiança de 99% para o modelo obtido;
- em relação à compressão axial aos 28 dias, todas as combinações de variáveis são estatisticamente significativas a um nível de confiança de 95% para o modelo obtido;
- em relação à compressão axial aos 28 e 91 dias, a cinza natural possui desempenho superior a cinza peneirada;
- em relação à compressão axial aos 91 dias, todas as combinações de variáveis são estatisticamente significativas a um nível de confiança de 99% para o modelo obtido;
- em relação a compressão axial percebe-se que quanto mais avançada é a idade do concreto maior é a influência do tipo de cinza, destacando-se assim a cinza natural;
- em relação ao tempo de pega, percebe-se que devido a necessidade do uso de plastificante em função do teor de cinza de cada mistura, ocorre o retardo de pega das misturas com percentuais maiores de cinza. No entanto quanto maior a relação água/aglomerante menor é a influência do tipo de cinza;
- em relação a perda de abatimento, percebe-se que quanto maior a relação água/aglomerante, menor é a perda de abatimento. No entanto quanto menor for a relação água/aglomerante maior é a influência do teor de cinza da mistura. Da mesma maneira se comporta a fluidez das misturas, pois quanto menor a relação água/aglomerante, maior é a influência do teor de cinza nas misturas. Maiores teores de cinza possibilitam misturas menos fluidas;
- em relação a elevação da temperatura, quanto menor é a relação água/aglomerante, mais acentuada a diferença de temperatura entre os teores e os tipos de cinza das misturas. Ou seja, em misturas com relação

água/aglomerante maiores, este possui influência maior do que o teor e o tipo de cinza utilizada;

- em relação a absorção capilar, quanto menor a relação água/aglomerante melhor é o desempenho dos concretos com cinza, pois apresentam menores valores de absorção.

De uma maneira geral, pode-se afirmar que, para a cinza em questão, oriunda de uma única fonte geradora e de um único lote, o beneficiamento por peneiramento não apresentou o desempenho esperado. Em média, para as condições experimentais deste trabalho e para as variáveis estudadas, a CCA sem passar pelo beneficiamento por peneiramento apresentou o melhor desempenho observado para estas adições minerais.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista os questionamentos surgidos a partir deste estudo, e que não puderam ser contemplados no escopo do trabalho, são formuladas as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- testar diferentes tipos de aditivos no que diz respeito aos ensaios reológicos;
- verificar a influência do tipo de beneficiamento da cinza na durabilidade de concretos em termos de carbonatação;
- verificar a influência do tipo de beneficiamento da cinza em concretos no estado fresco sem o uso de aditivo plastificante;
- testar o beneficiamento por peneiramentos em cinzas de casca de arroz oriundas de diferentes fontes de geração.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRIC. **Biomassa**. *On-line*. Disponível na Internet via [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf) acessado em 29 de janeiro de 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752. Materiais Pozolânicos – Determinação da atividade pozolânica com o cimento –Índice de atividade pozolânica**. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738. Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto**. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 7217. Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 7251. Agregados – Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária**. Rio de Janeiro, 1982.

\_\_\_\_\_. **NBR 9776. Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman**. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248. Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215. Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_. **NBR 9937. Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1996.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 11578. - Cimento Portland composto**. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 7682. Calda de cimento para injeção - Determinação do índice de fluidez**. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 5752. Materiais pozolânicos – Determinação de atividade pozolana com cimento Portland – Índice de atividade pozolânica com cimento**. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739. Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 9. Concreto e argamassa – Determinação dos tempos de pega por meio de resistência à penetração**. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 23. Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2000.

\_\_\_\_\_. **NBR 12653. Materiais pozolânicos**. Rio de Janeiro, 1992.

AYDIN, S.; AYTAÇ, A. H. RAMYAR, K. Effects of fineness of cement on polyphthalene sulfonate based superplasticizer-cement interaction. **Construction and Building Materials**. Volume 23. 2009. page 2402-2408.

**BASF**. *On-line*. Disponível na Internet via WWW. URL: [http://www.basf-cc.com.br/novo/produtos-detalhes.asp?Id\\_Produto=177](http://www.basf-cc.com.br/novo/produtos-detalhes.asp?Id_Produto=177) consultado em 25 de outubro de 2009.

BRIGOLINI SILVA, G. J. **Estudo do Comportamento do Concreto de Cimento Portland produzido com a Adição do Resíduo de Polimento do Porcelanato**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas. Belo Horizonte. 2005

BUI, D. D.; HU, J.; STROEVEN, P. Particle size effect on the strength of rice husk ash blended gap-graded Portland cement concrete. **Cement & Concrete Composites**. Volume 27. 2005. Page 357-366.

CALHEIRO, D. **Influência do uso de aditivos na moagem de cinzas de casca de arroz para sua adequação como co-produto**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – UNISINOS. São Leopoldo. 2011.

CAMÕES, A. **Influência da presença de adições minerais no comportamento do betão fresco em composições com incorporação de superplastificantes**. ScientificCommons. N 23. 2005. Disponível na internet Via: URL: [http://en.scientificcommons.org/aires\\_camões](http://en.scientificcommons.org/aires_camões) consultado em 10 de fevereiro de 2011.

CASTRO, A. L. **Aplicação de conceitos reológicos na tecnologia dos concretos de alto desempenho**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. São Carlos. 2007.

CASTRO, A. L.; LIBÓRIO, J. B. L.; PNADOLFELLI, V.C. Avaliação do comportamento de concretos de alto desempenho no estado fresco com auxílio de um reômetro. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**. Volume 2, nº 4. Dezembro, 2009.

CHANDRA, S.; BJORNSTRON, J. Influence of siperlasticizer type and dosage on the slump loss of Portland cement mortars – part II. **Cement and Concrete Research**. Volume 32. 2002. Page 1613-1619.

CHIDIAC, S. E. *et al.* Controlling the quality of fresh concrete – a new approach. **Magazine of Concrete Research**, v. 52, n. 5, Oct. 2000. Page 353-363

CHINDAPRASIRT, P.; KANCHANDA, P.; SATHONSAOWAPHAK, A.; CAO, H.T. Sulfate resistance of blended cements containing fly ash and rice husk ash. **Construction and Building Materials**. Volume 21. 2007. Page 1356–1361.

CORDEIRO, G. C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto**. Tese (Doutorado). COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2006.

CORDEIRO, L. N. P. [B]. **Análise da variação do índice de amorfismo da cinza de casca de arroz sobre a atividade pozolânica**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2009.

DAL MOLIN, D.C.C. **Adições Minerais para Concreto Estrutural**. In: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 345-379.

DELLA, V. P., KUHN, I., HOTZA, D. “Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica”, **Química Nova**, v. 24, n. 6. 2001. p. 778-782.

DELLA, V. P.; KUHN, I.; HOTZA, D. Reciclagem de resíduos Agro-Industriais; Cinza de casca de arroz como fonte alternativa de sílica. **Cerâmica Industrial**, v. 10, n. 2, 2005, p. 22-25.

DUART, M. A. **Estudo da microestrutura do concreto com adição de cinza de casca de arroz residual sem beneficiamento**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2008.

Departamento Nacional de Infra-estrutura Terrestre. **DNIT 064 – ME – Pavimento rígido – Determinação da consistência do concreto pelo consistômetro de VeBe – Método de ensaio**. Rio de Janeiro. 2004.

**ELETROSUL**. Disponível na Internet via WWW. URL: [http://www.eletrosul.gov.br/gdi/gdi/index.php?pg=cl\\_abre&cd=gjjeYa8;%7DQfdk](http://www.eletrosul.gov.br/gdi/gdi/index.php?pg=cl_abre&cd=gjjeYa8;%7DQfdk)  
Consultado em 26 de janeiro de 2010.

EL-DAKROURY, A.; GASSER, M.S. Rice husk ash (RHA) as cement admixture for immobilization of liquid radioactive waste at different temperatures. **Journal of Nuclear Materials**. 381. 2008. Page 271–277.

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Origem e história do arroz no Brasil**. On-line. Disponível na Internet via WWW. URL: [http://www.cnpaf.embrapa.br/pesquisa/his\\_arr.html](http://www.cnpaf.embrapa.br/pesquisa/his_arr.html). Consultado em 20 de outubro de 2009.

FAO FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **RICE MARKET MONITOR**,. On-line. Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.fao.org/economic/est/publications/rice-publications/rice-market-monitor-rmm/en/>. Consultado em 15 de fevereiro de 2011.

FERRARIS, C. F. Measurement of the Rheological Properties of High Performance Concrete: State of the Art Report. **Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology**. Volume 104. N-5. 1999. Page 461- 478.

FERRARIS, C. F.; DE LARRARD, F. Modified slump test to measure rheological parameters of fresh concrete. **Cement, Concrete and Aggregates**. Volume 20. No. 2. 1998. Page 241-247.

FERREIRA, A A.: **Concreto de Alto Desempenho com Adição de Cinza de Casca de Arroz: Avaliação de Propriedades Relacionadas com a Durabilidade**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 1999.

FRIZZO, B. T. **Influência do teor e da finura de pozolanas na permeabilidade ao oxigênio e na absorção capilar do concreto**. 2001. 158 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria/RS.

GANESAN, K.; RAJAGOPAL, K.; THANGAVEL, K. Rice husk ash blended cement: Assessment of optimal level of replacement for strength and permeability properties of concrete. **Construction and Building Materials**. Volume 22. 2008. Page 1675–1683.

GASTALDINI, A.L.G.; ISAIA, G.C.; HOPPE, T.F.;MISSAU, F.;SACIOTO, A.P. Influence of the use of rice husk ash on the electrical resistivity of concrete: A technical and economic feasibility study. **Construction and Building Materials**. Volume 23. 2009. Page 3411–3419.

GIVI, A. N.; RASHID, S. A.; AZIZ, F. N. A.; SALLEH, M. A. M. Assessment of the effects of rice husk ash particle size on strength, water permeability and workability of binary blended concrete. **Construction and Building Materials**. Volume 24. 2010. Page 2145-2150.

GOLASZEWSKI, J.; SZWABOWSKI, J. Influence of superplasticizers on the rheological behaviour of fresh cement mortars. **Cement and Concrete Research**. Volume 34. 2004. Page 235 – 248.

GONÇALVES, J. P.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R. Estudo da hidratação de pastas de cimento Portland contendo resíduo cerâmico por meio de análise térmica.

**Ambiente Construído.** Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. V. 6, n 4, p 83-94. Porto Alegre, 2006.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de Cimento Portland. In: **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** Ed. G. C. ISAIA. – São Paulo: IBRACON, 2007. vol. 1.

HALLAL, A.; KADRI, E. H.; EZZIANE, K.; KADRI, A.; KHELAFI, H. Combined effect of mineral admixtures with superplasticizers on the fluidity of the blended cement paste. **Construction and Building Materials.** Volume 24. 2010. Page 1418-1423.

HELENE, Paulo. TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto.** São Paulo: Ed. Pini, 2001.

HOPPE, A. E. **Carbonatação em concreto com cinza de casca de arroz sem moagem.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2008.

HOUSTON, D. F. Rice Hulls. **Rice Chemistry and Technology.** Am. ASS. Cereal Chem, Ins. St. Paul, Minesota, USA, 1972, p. 301-350.

IBGE INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da produção agrícola** On-line. Disponível na Internet via WWW. URL: [http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_visualiza.php?id\\_noticia=1347&id\\_pagina=1](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1347&id_pagina=1). Consultado em 19 de outubro de 2009.

ISAIA, G. S. **Efeitos de misturas binárias e ternárias de pozolanas em concreto de elevado desempenho: um estudo de durabilidade com vistas à corrosão da armadura.** São Paulo, 1995. 280p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1995.

KIELING, A. G. **Influência da segregação no desempenho de cinzas de casca de arroz como pozolanas e material adsorvente.** Dissertação (Mestrado). Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo. 2009.

KIELING, A. G. ; MORAES, C.A.M. ; KULAKOSWIKI, M. ; KAZMIERCZAK, C.S. . Influência da Segregação nas Características Físico-químicas e Atividade Pozolânica de Cinzas de Casca de Arroz. In: **XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 2008, Fortaleza. XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2008.

KULAKOWSKI, M. P. **Estudo de aditivos, adições minerais e resíduos em matrizes a base de cimento.** Projeto de Pesquisa. 4º Prêmio Santander de Ciência e Inovação, categoria Indústria, finalista nacional. Santander Universidades e Universia.

LIMA, J.M.F. (2009). **Análise de Resistência ao Cisalhamento de Interface em Caldas de Cimento e Caldas de Solo-Cimento para utilização em solos grampeados.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

MAPA- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. **Arroz** On-line. Disponível na Internet via <http://www.agricultura.gov.br/portal/page/portal/Internet-MAPA/pagina-inicial/vegetal/culturas/arroz> acessado em 29 de janeiro de 2011

MARANGON, E. **Desenvolvimento e caracterização de concretos auto-adensáveis reforçados com fibras de aço.** Dissertação (Mestrado). COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2006.

MEHTA; MONTEIRO (2008). **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3ª Edição. IBRACON. São Paulo. 2008.

MEIRA, L. R. **Propriedades mecânicas e retração do concreto com adição de cinza de casca de arroz natural, sem beneficiamento de moagem**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2009.

MIKANOVIC, N; JOLICOEUR, C. **Influence of superplasticizers on the rheology and stability of limestone and cement pastes**. *Cement and Concrete Research*, v. 38, p. 907-919, January 2008.

MORAES, R. C. **Efeitos físico e pozolânico das adições minerais sobre a resistência mecânica do concreto**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2001.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto**. 2ª ed. Tradução: Salvador E. Giammusso. São Paulo. Ed. Pini. 1997.

NETTO, R. M. **Materiais Pozolânicos**. Monografia (Especialização). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2006.

PEDROZO, E. C. **Estudo da utilização de cinza da casca do arroz residual em concretos estruturais: uma análise da durabilidade aos cloretos**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2008.

PETIT, J. Y.; WIRQUIN, E.; VANHOVE, Y.; KHAYAT, K. Yield stress and viscosity equations for mortars and self-consolidating concrete. **Cement and Concrete Research**. 37 (2007) 655–670.

PETRY, Simone B. **Estudo da permeabilidade à água na camada de cobrimento de protótipos de concretos com altos teores de cinza volante**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2004.

POUEY, M. T. F. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2006.

PRUDÊNCIO Jr., Luiz R. SANTOS, Sílvia. DAFICO, Dario de Araújo. **Cinza da casca de arroz**. Coletânea Habitare - vol. 4 - Utilização de Resíduos na Construção Habitacional. ANTAC, Porto Alegre, 2003.

REIS, J. F. A. **Determinação de parâmetros reológicos de concretos através do ensaio de abatimento de tronco de cone modificado: Estudo de Caso**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira. 2008.

ROUSSEL, N.; LE ROY, R. **The Marsh cone: a test or a rheological apparatus?** *Cement and Concrete Research*, v. 35, p. 823-830. May, 2005.

RUKSON, S.; CHINDAPRASIRT, P.; MAHACHAI, R. Effect of grinding on chemical and physical properties of rice husk ash. **International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials**. Volume 16, Number 2, April 2009, Page 242.

SALAS, A.; DELVASTO, S.; GUTIERREZ, R. M.; LANGE, D. Comparison of two processes for treating rice husk ash for use in high performance concrete. **Cement and Concrete Research**. Volume 39. 2009. Page 773–778.

SANTOS, S. **Estudo da viabilidade de utilização de cinza de casca de arroz residual em argamassas e concretos**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 1997.

SANTOS, S. **Produção e avaliação do uso de pozolana com baixo teor de carbono obtida da cinza de casca de arroz residual para concreto de alto desempenho.** Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2006.

SARASWATHY V.; SONG, H. Corrosion performance of rice husk ash blended concrete. **Construction and Building Materials**. Volume 21. 2007. Page 1779–1784

SAHMARAM, M.; CHRISTIANTO, H. A.; YAMAN I. O. The Effect of Chemical Admixtures and Mineral Additives on the Properties of Self-Compacting Mortars. **Cement & Concrete Composites**. December 2006. In Press.

SILVEIRA, A. **Contribuição ao estudo do efeito da incorporação de cinza de casca de arroz em concretos submetidos à reação álcali-agregado.** Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. UFRGS. Porto Alegre. 2007.

SOUZA, P. S. L. **Verificação da influência do uso de Metacaulinita de alta reatividade nas propriedades mecânicas do concreto de alta resistência.** Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. UFRGS. Porto Alegre. 2003.

TASHIMA, M. M. **Cinza de casca de arroz altamente reativa: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento Portland.** Tese (Doutorado), UNESP, São Paulo, 2006.

TIBONI, R. **A utilização da cinza de casca de arroz de termoelétrica como componente do aglomerante de compósitos à base de cimento Portland.** Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2007.

TROIAN, A. **Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregado reciclado de concreto frente à penetração de íons cloreto.** Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – UNISINOS. São Leopoldo. 2010.

WERLE, A. P.; TROIAN, A.; KULAKOWSKI, M. P.; KAZMIERCZACK, C. S. Análise de metodologias utilizadas para a caracterização da absorção de água de concreto reciclado como agregado. **XIII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENTAC** . 2010.

VAGHETTI, M. A. O. **Estudo da corrosão do aço, induzida por carbonatação, em concretos com adições minerais.** Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2005.

WALLEVIK, J. E. **Relationship between the Bingham parameters and slump.** *Cement and Concrete Research*, v. 36, n. 7, p. 1214-1221, July. 2006.



## APÊNDICE

Tabela A1 – Planilha de resumo de pesos utilizada nas moldagens dos cp's

RESUMO DE PESOS PARA MOLDAGENS																				ADITIVO DE 0.4 A 1%																																																																																		
TEOR DE ARGAMASSA ADOTADO (%): 53																				CUIDAR NUMERO DE CP'S																																																																																		
FATOR AC ADOTADO																				SLUMP 10 ± 2																																																																																		
Teor de substituição: 0 %																				M. ESP. 6 litros																																																																																		
Nº CP's 13																				10 X 20																																																																																		
Massa esp. cimento (G-PIF32 -TAMBI) 3.11 g/cm³																				Massa esp. cimento (G-PIF32 -TAMBI) 3.11 g/cm³																																																																																		
Massa esp. cinza moida natural: 1.98 g/cm³																				Massa esp. cinza moida natural: 1.98 g/cm³																																																																																		
Massa esp. cinza moida penetrada: 2.1 g/cm³																				Massa esp. cinza moida penetrada: 2.1 g/cm³																																																																																		
<b>MOLDAGENS COM CINZA 10%</b>	Traços auxiliares MOLDAGEM																			CONSUMO DE CIMENTO																																																																																		
	<table border="1"> <tr> <th rowspan="2">cimento</th> <th rowspan="2">areia</th> <th colspan="2">brita</th> <th rowspan="2">cimento</th> <th rowspan="2">areia</th> <th colspan="2">H2O</th> <th rowspan="2">Slump</th> <th rowspan="2">massa específica (Kg/m³)</th> <th rowspan="2">A/C</th> <th rowspan="2">F-c28</th> <th rowspan="2">Kg/m³</th> <th colspan="3">Aditivo</th> <th rowspan="2">TOTAL (%)</th> </tr> <tr> <th>natural</th> <th>rec. 1</th> <th>rec. 2</th> <th>Total</th> <th>Corrigid</th> <th>liq. (65%)</th> <th>sólido (35%)</th> <th>total</th> </tr> <tr> <td>1/ 3.70</td> <td>1.5</td> <td>2.21</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>14.14</td> <td>21.05</td> <td>31.21</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>5.86</td> <td>105</td> <td>2.48</td> <td>0.414</td> <td>0.0218</td> <td>0.0016</td> <td>0.414</td> </tr> <tr> <td>1/ 4.80</td> <td>1.20</td> <td>2.63</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>11.86</td> <td>23.33</td> <td>31.21</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>5.86</td> <td>105</td> <td>2.45</td> <td>0.454</td> <td>0.0016</td> <td>0.0016</td> <td>0.464</td> </tr> <tr> <td>1/ 5.50</td> <td>1.24</td> <td>3.08</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>10.21</td> <td>24.88</td> <td>31.21</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>5.86</td> <td>95</td> <td>2.46</td> <td>0.574</td> <td>0.0016</td> <td>0.0016</td> <td>0.574</td> </tr> </table>																			cimento	areia	brita		cimento	areia	H2O		Slump	massa específica (Kg/m³)	A/C	F-c28	Kg/m³	Aditivo			TOTAL (%)	natural	rec. 1	rec. 2	Total	Corrigid	liq. (65%)	sólido (35%)	total	1/ 3.70	1.5	2.21	0.00	0.00	14.14	21.05	31.21	-	-	5.86	105	2.48	0.414	0.0218	0.0016	0.414	1/ 4.80	1.20	2.63	0.00	0.00	11.86	23.33	31.21	-	-	5.86	105	2.45	0.454	0.0016	0.0016	0.464	1/ 5.50	1.24	3.08	0.00	0.00	10.21	24.88	31.21	-	-	5.86	95	2.46	0.574	0.0016	0.0016	0.574	CONSUMO DE CIMENTO						
	cimento	areia	brita		cimento	areia	H2O		Slump	massa específica (Kg/m³)	A/C	F-c28	Kg/m³	Aditivo			TOTAL (%)																																																																																					
			natural	rec. 1			rec. 2	Total						Corrigid	liq. (65%)	sólido (35%)		total																																																																																				
1/ 3.70	1.5	2.21	0.00	0.00	14.14	21.05	31.21	-	-	5.86	105	2.48	0.414	0.0218	0.0016	0.414																																																																																						
1/ 4.80	1.20	2.63	0.00	0.00	11.86	23.33	31.21	-	-	5.86	105	2.45	0.454	0.0016	0.0016	0.464																																																																																						
1/ 5.50	1.24	3.08	0.00	0.00	10.21	24.88	31.21	-	-	5.86	95	2.46	0.574	0.0016	0.0016	0.574																																																																																						
<table border="1"> <tr> <th rowspan="2">cimento</th> <th rowspan="2">areia</th> <th colspan="2">brita</th> <th rowspan="2">cimento</th> <th rowspan="2">areia</th> <th colspan="2">H2O</th> <th rowspan="2">Slump</th> <th rowspan="2">massa específica (Kg/m³)</th> <th rowspan="2">A/C</th> <th rowspan="2">F-c28</th> <th rowspan="2">Kg/m³</th> <th colspan="3">Aditivo</th> <th rowspan="2">TOTAL (%)</th> </tr> <tr> <th>natural</th> <th>rec. 1</th> <th>rec. 2</th> <th>Total</th> <th>Corrigid</th> <th>liq. (65%)</th> <th>sólido (35%)</th> <th>total</th> </tr> <tr> <td>1/ 3.70</td> <td>1.5</td> <td>2.21</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>12.73</td> <td>20.29</td> <td>30.07</td> <td>0.90</td> <td>5.65</td> <td>5.63</td> <td>95</td> <td>2.51</td> <td>0.414</td> <td>0.0218</td> <td>0.0016</td> <td>0.414</td> </tr> <tr> <td>1/ 4.80</td> <td>1.20</td> <td>2.63</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>10.67</td> <td>22.48</td> <td>30.07</td> <td>0.76</td> <td>5.65</td> <td>5.63</td> <td>105</td> <td>2.50</td> <td>0.454</td> <td>0.0016</td> <td>0.0016</td> <td>0.464</td> </tr> <tr> <td>1/ 5.50</td> <td>1.24</td> <td>3.08</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>9.19</td> <td>24.07</td> <td>30.07</td> <td>0.65</td> <td>5.65</td> <td>5.64</td> <td>95</td> <td>2.51</td> <td>0.574</td> <td>0.0016</td> <td>0.0016</td> <td>0.574</td> </tr> </table>																			cimento	areia	brita		cimento	areia	H2O		Slump	massa específica (Kg/m³)	A/C	F-c28	Kg/m³	Aditivo			TOTAL (%)	natural	rec. 1	rec. 2	Total	Corrigid	liq. (65%)	sólido (35%)	total	1/ 3.70	1.5	2.21	0.00	0.00	12.73	20.29	30.07	0.90	5.65	5.63	95	2.51	0.414	0.0218	0.0016	0.414	1/ 4.80	1.20	2.63	0.00	0.00	10.67	22.48	30.07	0.76	5.65	5.63	105	2.50	0.454	0.0016	0.0016	0.464	1/ 5.50	1.24	3.08	0.00	0.00	9.19	24.07	30.07	0.65	5.65	5.64	95	2.51	0.574	0.0016	0.0016	0.574	CONSUMO DE CIMENTO							
cimento	areia	brita		cimento	areia	H2O		Slump	massa específica (Kg/m³)	A/C	F-c28	Kg/m³	Aditivo			TOTAL (%)																																																																																						
		natural	rec. 1			rec. 2	Total						Corrigid	liq. (65%)	sólido (35%)		total																																																																																					
1/ 3.70	1.5	2.21	0.00	0.00	12.73	20.29	30.07	0.90	5.65	5.63	95	2.51	0.414	0.0218	0.0016	0.414																																																																																						
1/ 4.80	1.20	2.63	0.00	0.00	10.67	22.48	30.07	0.76	5.65	5.63	105	2.50	0.454	0.0016	0.0016	0.464																																																																																						
1/ 5.50	1.24	3.08	0.00	0.00	9.19	24.07	30.07	0.65	5.65	5.64	95	2.51	0.574	0.0016	0.0016	0.574																																																																																						
<b>MOLDAGENS COM CINZA 20%</b>	Traços auxiliares MOLDAGEM																			CONSUMO DE CIMENTO																																																																																		
	<table border="1"> <tr> <th rowspan="2">cimento</th> <th rowspan="2">areia</th> <th colspan="2">brita</th> <th rowspan="2">cimento</th> <th rowspan="2">areia</th> <th colspan="2">H2O</th> <th rowspan="2">Slump</th> <th rowspan="2">massa específica (Kg/m³)</th> <th rowspan="2">A/C</th> <th rowspan="2">F-c28</th> <th rowspan="2">Kg/m³</th> <th colspan="3">Aditivo</th> <th rowspan="2">TOTAL (%)</th> </tr> <tr> <th>natural</th> <th>rec. 1</th> <th>rec. 2</th> <th>Total</th> <th>Corrigid</th> <th>liq. (65%)</th> <th>sólido (35%)</th> <th>total</th> </tr> <tr> <td>1/ 3.70</td> <td>1.5</td> <td>2.21</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>11.31</td> <td>19.52</td> <td>28.94</td> <td>1.80</td> <td>5.43</td> <td>5.39</td> <td>90</td> <td>2.47</td> <td>0.414</td> <td>0.0216</td> <td>0.0047</td> <td>0.414</td> </tr> <tr> <td>1/ 4.80</td> <td>1.20</td> <td>2.63</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>9.49</td> <td>21.64</td> <td>28.94</td> <td>1.51</td> <td>5.43</td> <td>5.40</td> <td>100</td> <td>2.48</td> <td>0.454</td> <td>0.0286</td> <td>0.0154</td> <td>0.0440</td> <td>0.464</td> </tr> <tr> <td>1/ 5.50</td> <td>1.24</td> <td>3.08</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>8.17</td> <td>23.16</td> <td>28.94</td> <td>1.30</td> <td>5.43</td> <td>5.41</td> <td>90</td> <td>2.48</td> <td>0.574</td> <td>0.0215</td> <td>0.0116</td> <td>0.0332</td> <td>0.0035</td> <td>0.574</td> </tr> </table>																			cimento	areia	brita		cimento	areia	H2O		Slump	massa específica (Kg/m³)	A/C	F-c28	Kg/m³	Aditivo			TOTAL (%)	natural	rec. 1	rec. 2	Total	Corrigid	liq. (65%)	sólido (35%)	total	1/ 3.70	1.5	2.21	0.00	0.00	11.31	19.52	28.94	1.80	5.43	5.39	90	2.47	0.414	0.0216	0.0047	0.414	1/ 4.80	1.20	2.63	0.00	0.00	9.49	21.64	28.94	1.51	5.43	5.40	100	2.48	0.454	0.0286	0.0154	0.0440	0.464	1/ 5.50	1.24	3.08	0.00	0.00	8.17	23.16	28.94	1.30	5.43	5.41	90	2.48	0.574	0.0215	0.0116	0.0332	0.0035	0.574	CONSUMO DE CIMENTO			
	cimento	areia	brita		cimento	areia	H2O		Slump	massa específica (Kg/m³)	A/C	F-c28	Kg/m³	Aditivo			TOTAL (%)																																																																																					
			natural	rec. 1			rec. 2	Total						Corrigid	liq. (65%)	sólido (35%)		total																																																																																				
1/ 3.70	1.5	2.21	0.00	0.00	11.31	19.52	28.94	1.80	5.43	5.39	90	2.47	0.414	0.0216	0.0047	0.414																																																																																						
1/ 4.80	1.20	2.63	0.00	0.00	9.49	21.64	28.94	1.51	5.43	5.40	100	2.48	0.454	0.0286	0.0154	0.0440	0.464																																																																																					
1/ 5.50	1.24	3.08	0.00	0.00	8.17	23.16	28.94	1.30	5.43	5.41	90	2.48	0.574	0.0215	0.0116	0.0332	0.0035	0.574																																																																																				
<table border="1"> <tr> <th rowspan="2">cimento</th> <th rowspan="2">areia</th> <th colspan="2">brita</th> <th rowspan="2">cimento</th> <th rowspan="2">areia</th> <th colspan="2">H2O</th> <th rowspan="2">Slump</th> <th rowspan="2">massa específica (Kg/m³)</th> <th rowspan="2">A/C</th> <th rowspan="2">F-c28</th> <th rowspan="2">Kg/m³</th> <th colspan="3">Aditivo</th> <th rowspan="2">TOTAL (%)</th> </tr> <tr> <th>natural</th> <th>rec. 1</th> <th>rec. 2</th> <th>Total</th> <th>Corrigid</th> <th>liq. (65%)</th> <th>sólido (35%)</th> <th>total</th> </tr> <tr> <td>1/ 3.70</td> <td>1.5</td> <td>2.21</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>11.31</td> <td>19.52</td> <td>28.94</td> <td>1.80</td> <td>5.48</td> <td>5.44</td> <td>80</td> <td>2.44</td> <td>0.414</td> <td>0.0218</td> <td>0.0047</td> <td>0.414</td> </tr> <tr> <td>1/ 4.80</td> <td>1.20</td> <td>2.63</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>9.49</td> <td>21.82</td> <td>29.18</td> <td>1.60</td> <td>5.48</td> <td>5.45</td> <td>100</td> <td>2.47</td> <td>0.454</td> <td>0.0288</td> <td>0.0155</td> <td>0.0444</td> <td>0.004</td> <td>0.464</td> </tr> <tr> <td>1/ 5.50</td> <td>1.24</td> <td>3.08</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>8.17</td> <td>23.36</td> <td>29.18</td> <td>1.38</td> <td>5.48</td> <td>5.46</td> <td>80</td> <td>2.45</td> <td>0.574</td> <td>0.0161</td> <td>0.0087</td> <td>0.0248</td> <td>0.0026</td> <td>0.574</td> </tr> </table>																			cimento	areia	brita		cimento	areia	H2O		Slump	massa específica (Kg/m³)	A/C	F-c28	Kg/m³	Aditivo			TOTAL (%)	natural	rec. 1	rec. 2	Total	Corrigid	liq. (65%)	sólido (35%)	total	1/ 3.70	1.5	2.21	0.00	0.00	11.31	19.52	28.94	1.80	5.48	5.44	80	2.44	0.414	0.0218	0.0047	0.414	1/ 4.80	1.20	2.63	0.00	0.00	9.49	21.82	29.18	1.60	5.48	5.45	100	2.47	0.454	0.0288	0.0155	0.0444	0.004	0.464	1/ 5.50	1.24	3.08	0.00	0.00	8.17	23.36	29.18	1.38	5.48	5.46	80	2.45	0.574	0.0161	0.0087	0.0248	0.0026	0.574	CONSUMO DE CIMENTO			
cimento	areia	brita		cimento	areia	H2O		Slump	massa específica (Kg/m³)	A/C	F-c28	Kg/m³	Aditivo			TOTAL (%)																																																																																						
		natural	rec. 1			rec. 2	Total						Corrigid	liq. (65%)	sólido (35%)		total																																																																																					
1/ 3.70	1.5	2.21	0.00	0.00	11.31	19.52	28.94	1.80	5.48	5.44	80	2.44	0.414	0.0218	0.0047	0.414																																																																																						
1/ 4.80	1.20	2.63	0.00	0.00	9.49	21.82	29.18	1.60	5.48	5.45	100	2.47	0.454	0.0288	0.0155	0.0444	0.004	0.464																																																																																				
1/ 5.50	1.24	3.08	0.00	0.00	8.17	23.36	29.18	1.38	5.48	5.46	80	2.45	0.574	0.0161	0.0087	0.0248	0.0026	0.574																																																																																				

Tabela A 2 – Planilhas de resumo obtidas nas moldagens dos cp's do BLOCO 1

DATA		12/7/2010	Traços de REFERÊNCIA	
		TRAÇOS		
		1 / 3,7	1 / 4,6	1 / 5,5
Início do ensaio		11:12	12:47	12:05
Início hidratação		n	n	n
A/aglomerante		0,414	0,494	0,574
Água		Inicial= 6211 Final=	Inicial= 6211 Final=	Inicial= 6211 Final=
Teor adicionado		0	0	0
Aditivo (g)		0	0	0
Abatimento		96 mm	108 mm	100 mm
Temperatura sala		17,9 C	17,4 C	17,0 C
U. R. da sala		89%	91%	91%
Tempo de mistura		8'20"	5'02"	5'05"
Massa específica	Cp 1=	2414,5	2406,4	2422,2
	Cp 1 C=	6374,6	6276,6	6377
	Cp 2=	2417,2	2412,4	2424
	Cp 2 C=	6333,1	6278,3	6334,4
	Média Kg/dm³=	2,51	2,46	2,50
Tempo VeBe		2"	2,5"	3"
DATA		2/8/2010	Traços com 10% de cinza natural	
		TRAÇOS		
		1 / 3,7	1 / 4,6	1 / 5,5
Início do ensaio		10:41	11:20	11:59
Início hidratação		não realizado	não realizado	não realizado
A/aglomerante		0,414	0,494	0,574
Água		Inicial= 5088 Final= 5088	Inicial= 5091 Final= 5091	Inicial= 5092 Final= 5092
Teor adicionado		10%	10%	10%
Aditivo (g)		19,7	16,5	14,2
Abatimento		100 mm	100 mm	110 mm
Temperatura sala		13,4	13,7	14,1
U. R. da sala		74%	74%	74%
Tempo de mistura		7'06"	8'	6'45"
Massa específica	Cp 1=	2451,1	2414,4	2436,1
	Cp 1 C=	6436,1	6366,8	6345,1
	Cp 2=	2376	2403,8	2451,3
	Cp 2 C=	6311,4	6282,1	6391,7
	Média Kg/dm³=	2,52	2,49	2,50
Tempo VeBe		não necessário	não necessário	não necessário
DATA		9/8/2010	Traços com 20% de cinza peneirada	
		TRAÇOS		
		1 / 3,7	1 / 4,6	1 / 5,5
Início do ensaio		13:20	14:04	14:42
Início hidratação		13:49	14:24	15:00
A/aglomerante		0,414	0,494	0,574
Água		Inicial= 4913 Final= 4913	Inicial= 4924 Final= 4924	Inicial= 4935 Final= 4935
Teor adicionado		20%	20%	20%
Aditivo (g)		56,2	40,1	22,4
Abatimento		85 mm	100 mm	120 mm
Temperatura sala		17,8 C	18,0 C	18,1 C
U. R. da sala		68%	68%	67%
Tempo de mistura		8'25"	7'30"	7'00"
Massa específica	Cp 1=	2399,5	2405,1	2407,9
	Cp 1 C=	6242,5	6260	6279,4
	Cp 2=	2392,2	2420	2399,6
	Cp 2 C=	6282,4	6311,3	6275,4
	Média Kg/dm³=	2,46	2,47	2,47
Tempo VeBe		não precisa	não precisa	não precisa
DATA		18/8/2010	Traços com 10% de cinza peneirada	
		TRAÇOS		
		1 / 3,7	1 / 4,6	1 / 5,5
Início do ensaio		10:47	11:35	12:15
Início hidratação		11:12	12:00	12:45
A/aglomerante		0,414	0,494	0,574
Água		Inicial= 5109 Final= 5109	Inicial= 5111 Final= 5111	Inicial= 5112 Final= 5112
Teor adicionado		10%	10%	10%
Aditivo (g)		19,8	16,6	14,3
Abatimento		90	90	95
Temperatura sala		18,8	20,2	21,4
U. R. da sala		64%	64%	62%
Tempo de mistura		7'00"	10'15"	6'40"
Massa específica	Cp 1=	2382,4	2428,7	2427,8
	Cp 1 C=	6301,4	6392,6	6307,8
	Cp 2=	2373	2405,3	2410,5
	Cp 2 C=	6304,9	6307,4	6291,3
	Média Kg/dm³=	2,50	2,50	2,47
Tempo VeBe		não precisa	não precisa	não precisa
DATA		25/8/2010	Traços com 20% de cinza Natural	
		TRAÇOS		
		1 / 3,7	1 / 4,6	1 / 5,5
Início do ensaio		10:30	11:10	11:50
Início hidratação		10:55	11:36	12:10
A/aglomerante		0,414	0,494	0,574
Água		Inicial= 4873 Final= 4873	Inicial= 4883 Final= 4883	Inicial= 4895 Final= 4895
Teor adicionado		20%	20%	20%
Aditivo (g)		55,7	39,8	34,4
Abatimento		90	90	80
Temperatura sala		18,3	17,6	17,5
U. R. da sala		91%	93%	94%
Tempo de mistura		8'30"	7'00"	13'00"
Massa específica	Cp 1=	2321,4	2400	2402,3
	Cp 1 C=	6273,2	6240,6	6235,2
	Cp 2=	2374,7	2370	2390,3
	Cp 2 C=	6253,4	6245,1	6127,6
	Média Kg/dm³=	2,49	2,46	2,41
Tempo VeBe		não precisa	não precisa	não precisa

Tabela A 3 – Planilhas de resumo obtidas nas moldagens dos cp's do BLOCO 2

DATA		1/9/2010	Traços de REFERÊNCIA	
		TRAÇOS		
		1 / 3,7	1 / 4,6	1 / 5,5
Início do ensaio		10:15	11:10	11:50
Início hidratação		10:40	11:30	12:10
A/aglomerante		0,414	0,494	0,574
Água		Inicial= 5858 Final= 5858	Inicial= 5858 Final= 5858	Inicial= 5858 Final= 5858
Teor adicionado		0	0	0
Abatimento		105	105	95
Temperatura sala		15,9	15,9	15,6
U. R. da sala		93%	94%	94%
Tempo de mistura		5'00"	5'10"	5'00"
Massa específica	Cp 1=	2405,3	2405,3	2393,1
	Cp 1 C=	6258,3	6264,3	6097,3
	Cp 2=	2345,8	2453,8	2405,3
	Cp 2 C=	6298,1	6295,2	6444,3
	Média =	2,48	2,45	2,46
Tempo VeBe		4s	3,3s	3,75s
DATA		8/9/2010	Traços com 10% de cinza Natural	
		TRAÇOS		
		1 / 3,7	1 / 4,6	1 / 5,5
Início do ensaio		09:35	10:30	11:22
Início hidratação		10:15	11:00	12:00
A/aglomerante		0,414	0,494	0,574
Água		Inicial= 5631 Final= 5631	Inicial= 5634 Final= 5634	Inicial= 5635 Final= 5635
Teor adicionado		10%	10%	10%
Aditivo (g)		21,8	18,3	15,7
Abatimento		95	105	95
Temperatura sala		21 °C	21,5°C	22°C
U. R. da sala		75%	75%	75%
Tempo de mistura		5'00"	5'00"	5'00"
Massa específica	Cp 1=	2450,3	2405,5	2350,2
	Cp 1 C=	6305,8	6298,3	6290,5
	Cp 2=	2311,4	2355	2300,3
	Cp 2 C=	6350,4	6330,7	6233,1
	Média Kg/dm³=	2,51	2,50	2,51
Tempo VeBe		4s	3,5s	3,5s
DATA		16/9/2010	Traços com 20% de cinza Peneirada	
		TRAÇOS		
		1 / 3,7	1 / 4,6	1 / 5,5
Início do ensaio		10:30	09:36	08:37
Início hidratação		11:25	10:15	09:20
A/aglomerante		0,414	0,494	0,574
Água		Inicial = 5437 Final = 5437	Inicial = 5449 Final = 5449	Inicial = 5462 Final = 5462
Teor adicionado		20%	20%	20%
Aditivo (g)		62,1	44,4	24,8
Abatimento		80	100	80
Temperatura sala		20 C	16,1 C	15,9 C
U. R. da sala		73%	78%	77%
Tempo de mistura		5'35"	5'30"	6'37"
Massa específica	Cp 1=	2378,4	2403,3	2418,3
	Cp 1 C=	6234,7	6299,3	6289,3
	Cp 2=	2226,5	2383,7	2434
	Cp 2 C=	6034,5	6249,7	6294
	Média Kg/dm³=	2,44	2,47	2,45
Tempo VeBe		4s	3,5s	4s
DATA		23/9/2010	Traços com 10% de Cinza Peneirada	
		TRAÇOS		
		1 / 3,7	1 / 4,6	1 / 5,5
Início do ensaio		10:15	09:32	08:47
Início hidratação		10:45	09:57	09:15
A/aglomerante		0,414	0,494	0,574
Água		Inicial = 5654 Final = 5654	Inicial = 5656 Final = 5656	Inicial = 5658 Final = 5658
Teor adicionado		10%	10%	10%
Aditivo (g)		21,9	18,4	15,8
Abatimento		100	120	110
Temperatura sala		17,3 C	17,2	17,2 C
U. R. da sala		88%	89%	89%
Tempo de mistura		5'30"	5'30"	5'00"
Massa específica	Cp 1=	2394,5	2397,8	2375,3
	Cp 1 C=	6260,9	6291,8	6270,3
	Cp 2=	2405,3	2450,3	2295,3
	Cp 2 C=	6280,1	6302,4	6235,4
	Média Kg/dm³=	2,46	2,47	2,49
Tempo VeBe		4,5s	4s	4s
DATA		30/9/2010	Traços com 20% de cinza Natural	
		TRAÇOS		
		1 / 3,7	1 / 4,6	1 / 5,5
Início do ensaio		08:35	09:25	10:05
Início hidratação		09:10	10:00	10:45
A/aglomerante		0,414	0,494	0,574
Água		Inicial = 5393 Final = 5393	Inicial = 5404 Final = 5404	Inicial = 5411 Final = 5411
Teor adicionado		20%	20%	20%
Aditivo (g)		61,6	44	33,2
Abatimento		90	100	90
Temperatura sala		18	20	22,1
U. R. da sala		81%	76%	69%
Tempo de mistura		5'30"	4'30"	5'00"
Massa específica	Cp 1=	2419,2	2399,1	2432,3
	Cp 1 C=	6343,2	6276,7	6259
	Cp 2=	2383,4	2241,8	2411,5
	Cp 2 C=	6206,3	6159,5	6382,7
	Média Kg/dm³=	2,47	2,48	2,48
Tempo VeBe		4S	4S	4,5S

Tabela A 4 – Planilha de resultados ensaios mecânicos do concreto REFERÊNCIA BLOCO 1

MOLDAGEM DE TRAÇOS REFERÊNCIA - M1A												
MOLDAGEM 12/7/2010												
Identificação		Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura
					d (cm)	h (cm)						
CCA 3,7 A 1	Fc	12/7/10	7	19/7/10	10	20	1/3,7	0,414	-	96	245,7	31,3
CCA 3,7 A 2	Fc	12/7/10	7	19/7/10	10	20	1/3,7	0,414	-	96	240,2	30,6
CCA 3,7 A 3	Fc	12/7/10	28	9/8/10	10	20	1/3,7	0,414	42,4	96	313,3	39,9
CCA 3,7 A 4	Fc	12/7/10	28	9/8/10	10	20	1/3,7	0,414	42,6	96	323,5	41,2
CCA 3,7 A 5	E	12/7/10	28	9/8/10	10	20	1/3,7	0,414	44,2	96		
CCA 3,7 A 6	E	12/7/10	28	9/8/10	10	20	1/3,7	0,414	44,0	96		
CCA 3,7 A 7	Ft	12/7/10	28	9/8/10	10	20	1/3,7	0,414	41,8	96	123,8	12,38
CCA 3,7 A 8	Ft	12/7/10	28	9/8/10	10	20	1/3,7	0,414	42,1	96	98,2	9,82
CCA 3,7 A 9	Fc	12/7/10	91	11/10/10	10	20	1/3,7	0,414	41,8	96	360,3	45,9
CCA 3,7 A 10	Fc	12/7/10	91	11/10/10	10	20	1/3,7	0,414	42,2	96	352,5	44,9
CCA 3,7 A 11	ABS	12/7/10	28	9/8/10	CORTAR		1/3,7	0,414	42,2	96	ABSORÇÃO	
CCA 3,7 A 12	ABS	12/7/10	28	9/8/10	CORTAR		1/3,7	0,414	42,6	96	ABSORÇÃO	
Identificação		Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura
					d (cm)	h (cm)						
CCA 4,6 A 1	Fc	12/7/10	7	19/7/10	10	20	1/4,6	0,494	-	108	161,9	20,6
CCA 4,6 A 2	Fc	12/7/10	7	19/7/10	10	20	1/4,6	0,494	-	108	183,9	23,4
CCA 4,6 A 3	Fc	12/7/10	28	9/8/10	10	20	1/4,6	0,494	44,6	108	246,8	31,7
CCA 4,6 A 4	Fc	12/7/10	28	9/8/10	10	20	1/4,6	0,494	43,5	108	259,6	33,1
CCA 4,6 A 5	E	12/7/10	28	9/8/10	10	20	1/4,6	0,494	43,3	108		
CCA 4,6 A 6	E	12/7/10	28	9/8/10	10	20	1/4,6	0,494	43,6	108		
CCA 4,6 A 7	Ft	12/7/10	28	9/8/10	10	20	1/4,6	0,494	42,7	108	97,1	9,71
CCA 4,6 A 8	Ft	12/7/10	28	9/8/10	10	20	1/4,6	0,494	43,0	108	66,8	6,68
CCA 4,6 A 9	Fc	12/7/10	91	11/10/10	10	20	1/4,6	0,494	43,2	108	290,5	37,0
CCA 4,6 A 10	Fc	12/7/10	91	11/10/10	10	20	1/4,6	0,494	43,1	108	293,6	37,4
CCA 4,6 A 11	ABS	12/7/10	28	9/8/10	CORTAR		1/4,6	0,494	44,9	108	ABSORÇÃO	
CCA 4,6 A 12	ABS	12/7/10	28	9/8/10	CORTAR		1/4,6	0,494	44,1	108	ABSORÇÃO	
Identificação		Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura
					d (cm)	h (cm)						
CCA 5,5 A 1	Fc	12/7/10	7	19/7/10	10	20	1/5,5	0,574	-	100	129,9	16,5
CCA 5,5 A 2	Fc	12/7/10	7	19/7/10	10	20	1/5,5	0,574	-	100	129,9	16,5
CCA 5,5 A 3	Fc	12/7/10	28	9/8/10	10	20	1/5,5	0,574	45,1	100	175,1	22,3
CCA 5,5 A 4	Fc	12/7/10	28	9/8/10	10	20	1/5,5	0,574	44,5	100	191,6	24,4
CCA 5,5 A 5	E	12/7/10	28	9/8/10	10	20	1/5,5	0,574	45,7	100		
CCA 5,5 A 6	E	12/7/10	28	9/8/10	10	20	1/5,5	0,574	44,1	100		
CCA 5,5 A 7	Ft	12/7/10	28	9/8/10	10	20	1/5,5	0,574	44,4	100	69,2	6,92
CCA 5,5 A 8	Ft	12/7/10	28	9/8/10	10	20	1/5,5	0,574	44,1	100	84,2	8,42
CCA 5,5 A 9	Fc	12/7/10	91	11/10/10	10	20	1/5,5	0,574	44,8	100	215,1	27,4
CCA 5,5 A 10	Fc	12/7/10	91	11/10/10	10	20	1/5,5	0,574	43,3	100	206,5	26,3
CCA 5,5 A 11	ABS	12/7/10	28	9/8/10	CORTAR		1/5,5	0,574	43,5	100	ABSORÇÃO	
CCA 5,5 A 12	ABS	12/7/10	28	9/8/10	CORTAR		1/5,5	0,574	42,5	100	ABSORÇÃO	

Tabela A 5 – Planilha de resultados ensaios mecânicos do concreto 10% CINZA NATURAL BLOCO 1

MOLDAGEM 2/8/2010														
MOLDAGEM DE TRAÇOS COM 10% DE CINZA NATURAL - M1B														
Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura			
				d (cm)	h (cm)									
CA 3,7 M1B 1	Fc	2/8/10	7	9/8/10	10	20	1/3,7	0,414	-	100	223,7	28,5		
CA 3,7 M1B 2	Fc	2/8/10	7	9/8/10	10	20	1/3,7	0,414	-	100	225,3	28,7		
CA 3,7 M1B 3	Fc	2/8/10	28	30/8/10	10	20	1/3,7	0,414	44,4	100	275,5	35,1		
CA 3,7 M1B 4	Fc	2/8/10	28	30/8/10	10	20	1/3,7	0,414	44,6	100	257,5	32,8		
CA 3,7 M1B 5	E	2/8/10	28	30/8/10	10	20	1/3,7	0,414	44,0	100				
CA 3,7 M1B 6	E	2/8/10	28	30/8/10	10	20	1/3,7	0,414	42,0	100				
CA 3,7 M1B 7	Ft	2/8/10	28	30/8/10	10	20	1/3,7	0,414	41,9	100	100,7	10,1		
CA 3,7 M1B 8	Ft	2/8/10	28	30/8/10	10	20	1/3,7	0,414	40,5	100	95,5	9,6		
CA 3,7 M1B 9	Fc	2/8/10	91	1/11/10	10	20	1/3,7	0,414	42,2	100	395,3	50,3		
CA 3,7 M1B 10	Fc	2/8/10	91	1/11/10	10	20	1/3,7	0,414	42,1	100	341,3	43,5		
CA 3,7 M1B 11	ABS	2/8/10	28	30/8/10	CORTAR		1/3,7	0,414	-	100	ABSORÇÃO			

Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura			
				d (cm)	h (cm)									
CA 4,6 M1B 1	Fc	2/8/10	7	9/8/10	10	20	1/4,6	0,494	-	100	155,4	19,8		
CA 4,6 M1B 2	Fc	2/8/10	7	9/8/10	10	20	1/4,6	0,494	-	100	157,0	20,0		
CA 4,6 M1B 3	Fc	2/8/10	28	30/8/10	10	20	1/4,6	0,494	43,2	100	226,1	28,8		
CA 4,6 M1B 4	Fc	2/8/10	28	30/8/10	10	20	1/4,6	0,494	44,8	100	227,7	29,0		
CA 4,6 M1B 5	E	2/8/10	28	30/8/10	10	20	1/4,6	0,494	44,8	100				
CA 4,6 M1B 6	E	2/8/10	28	30/8/10	10	20	1/4,6	0,494	44,7	100				
CA 4,6 M1B 7	Ft	2/8/10	28	30/8/10	10	20	1/4,6	0,494	44,4	100	96,8	9,7		
CA 4,6 M1B 8	Ft	2/8/10	28	30/8/10	10	20	1/4,6	0,494	43,6	100	87,1	8,7		
CA 4,6 M1B 9	Fc	2/8/10	91	1/11/10	10	20	1/4,6	0,494	42,7	100	302,6	38,5		
CA 4,6 M1B 10	Fc	2/8/10	91	1/11/10	10	20	1/4,6	0,494	43,1	100	277,1	35,3		
CA 4,6 M1B 11	ABS	2/8/10	28	30/8/10	CORTAR		1/4,6	0,494	-	100	ABSORÇÃO			

Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura			
				d (cm)	h (cm)									
CA 5,5 M1B 1	Fc	2/8/10	7	9/8/10	10	20	1/5,5	0,574	-	110	126,4	16,1		
CA 5,5 M1B 2	Fc	2/8/10	7	9/8/10	10	20	1/5,5	0,574	-	110	124,0	15,8		
CA 5,5 M1B 3	Fc	2/8/10	28	30/8/10	10	20	1/5,5	0,574	43,9	110	165,6	21,1		
CA 5,5 M1B 4	Fc	2/8/10	28	30/8/10	10	20	1/5,5	0,574	44,3	110	155,4	19,8		
CA 5,5 M1B 5	E	2/8/10	28	30/8/10	10	20	1/5,5	0,574	43,6	110				
CA 5,5 M1B 6	E	2/8/10	28	30/8/10	10	20	1/5,5	0,574	43,9	110				
CA 5,5 M1B 7	Ft	2/8/10	28	30/8/10	10	20	1/5,5	0,574	43,1	110	75,7	7,6		
CA 5,5 M1B 8	Ft	2/8/10	28	30/8/10	10	20	1/5,5	0,574	44,0	110	76,4	7,6		
CA 5,5 M1B 9	Fc	2/8/10	91	1/11/10	10	20	1/5,5	0,574	43,0	110	231,1	29,4		
CA 5,5 M1B 10	Fc	2/8/10	91	1/11/10	10	20	1/5,5	0,574	43,3	110	232,4	29,6		
CA 5,5 M1B 11	ABS	2/8/10	28	30/8/10	CORTAR		1/5,5	0,574	-	110	ABSORÇÃO			

Tabela A 6 – Planilha de resultados ensaios mecânicos do concreto 20% CINZA PENEIRADA BLOCO 1

MOLDAGEM DE TRAÇOS COM 20% DE CINZA PENEIRADA - M1C													
MOLDAGEM 9/8/2010													
Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura		
				d (cm)	h (cm)								
CA 3,7 M1C 1	Fc	9/8/10	7	16/8/10	10	20	1/3,7	0,414	-	85	182,7	23,3	
CA 3,7 M1C 3	Fc	9/8/10	7	16/8/10	10	20	1/3,7	0,414	-	85	216,0	27,5	
CA 3,7 M1C 2	Fc	9/8/10	28	6/9/10	10	20	1/3,7	0,414	43,4	85	264,8	33,7	
CA 3,7 M1C 4	Fc	9/8/10	28	6/9/10	10	20	1/3,7	0,414	43,0	85	246,1	31,3	
CA 3,7 M1C 5	E	9/8/10	28	6/9/10	10	20	1/3,7	0,414	42,8	85			
CA 3,7 M1C 6	E	9/8/10	28	6/9/10	10	20	1/3,7	0,414	44,7	85			
CA 3,7 M1C 7	Ft	9/8/10	28	6/9/10	10	20	1/3,7	0,414	42,9	85	139,2	13,9	
CA 3,7 M1C 8	Ft	9/8/10	28	6/9/10	10	20	1/3,7	0,414	43,3	85	129,9	13,0	
CA 3,7 M1C 9	Fc	9/8/10	91	8/11/10	10	20	1/3,7	0,414	43,2	85	267,5	34,2	
CA 3,7 M1C 10	Fc	9/8/10	91	8/11/10	10	20	1/3,7	0,414	44,1	85	300,7	38,3	
CA 3,7 M1C 11	ABS	9/8/10	28	6/9/10	CORTAR		1/3,7	0,414	-	85	ABSORÇÃO		

Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura		
				d (cm)	h (cm)								
CA 4,6 M1C 1	Fc	9/8/10	7	16/8/10	10	20	1/4,6	0,494	-	100	149,0	19,0	
CA 4,6 M1C 3	Fc	9/8/10	7	16/8/10	10	20	1/4,6	0,494	-	100	175,9	22,4	
CA 4,6 M1C 2	Fc	9/8/10	28	6/9/10	10	20	1/4,6	0,494	43,6	100	206,4	26,3	
CA 4,6 M1C 4	Fc	9/8/10	28	6/9/10	10	20	1/4,6	0,494	44,7	100	192,0	24,4	
CA 4,6 M1C 5	E	9/8/10	28	6/9/10	10	20	1/4,6	0,494	44,2	100			
CA 4,6 M1C 6	E	9/8/10	28	6/9/10	10	20	1/4,6	0,494	44,9	100			
CA 4,6 M1C 7	Ft	9/8/10	28	6/9/10	10	20	1/4,6	0,494	45,4	100	115,5	11,6	
CA 4,6 M1C 8	Ft	9/8/10	28	6/9/10	10	20	1/4,6	0,494	46,6	100	104,6	10,5	
CA 4,6 M1C 9	Fc	9/8/10	91	8/11/10	10	20	1/4,6	0,494	44,7	100	245,2	31,2	
CA 4,6 M1C 10	Fc	9/8/10	91	8/11/10	10	20	1/4,6	0,494	44,6	100	250,5	31,9	
CA 4,6 M1C 11	ABS	9/8/10	28	6/9/10	CORTAR		1/4,6	0,494	-	100	ABSORÇÃO		

Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura		
				d (cm)	h (cm)								
CA 5,5 M1C 1	Fc	9/8/10	7	16/8/10	10	20	1/5,5	0,574	-	120	109,4	13,9	
CA 5,5 M1C 3	Fc	9/8/10	7	16/8/10	10	20	1/5,5	0,574	-	120	138,1	17,6	
CA 5,5 M1C 2	Fc	9/8/10	28	6/9/10	10	20	1/5,5	0,574	44,1	120	148,4	18,9	
CA 5,5 M1C 4	Fc	9/8/10	28	6/9/10	10	20	1/5,5	0,574	44,3	120	156,2	19,9	
CA 5,5 M1C 5	E	9/8/10	28	6/9/10	10	20	1/5,5	0,574	44,8	120			
CA 5,5 M1C 6	E	9/8/10	28	6/9/10	10	20	1/5,5	0,574	43,8	120			
CA 5,5 M1C 7	Ft	9/8/10	28	6/9/10	10	20	1/5,5	0,574	44,8	120	100,7	10,1	
CA 5,5 M1C 8	Ft	9/8/10	28	6/9/10	10	20	1/5,5	0,574	44,8	120	111,4	11,1	
CA 5,5 M1C 9	Fc	9/8/10	91	8/11/10	10	20	1/5,5	0,574	42,1	120	293,2	27,3	
CA 5,5 M1C 10	Fc	9/8/10	91	8/11/10	10	20	1/5,5	0,574	44,2	120	226,8	28,9	
CA 5,5 M1C 11	ABS	9/8/10	28	6/9/10	CORTAR		1/5,5	0,574	-	120	ABSORÇÃO		

Tabela A 7 – Planilha de resultados ensaios mecânicos do concreto 10% CINZA PENEIRADA BLOCO 1

MOLDAGEM DE TRAÇOS COM 10% DE CINZA PENEIRADA - M1D														
MOLDAGEM 18/8/2010														
Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura			
				d (cm)	h (cm)									
CA 3,7 M1D 1	Fc	18/8/10	7	25/8/10	10	20	1/3,7	0,414	-	90	247,3	31,5		
CA 3,7 M1D 2	Fc	18/8/10	7	25/8/10	10	20	1/3,7	0,414	-	90	230,0	29,3		
CA 3,7 M1D 3	Fc	18/8/10	28	15/9/10	10	20	1/3,7	0,414	42,1	90	237,1	30,2		
CA 3,7 M1D 4	Fc	18/8/10	28	15/9/10	10	20	1/3,7	0,414	42,3	90	234,7	29,9		
CA 3,7 M1D 5	E	18/8/10	28	15/9/10	10	20	1/3,7	0,414	42,4	90				
CA 3,7 M1D 6	E	18/8/10	28	15/9/10	10	20	1/3,7	0,414	43,2	90				
CA 3,7 M1D 7	Ft	18/8/10	28	15/9/10	10	20	1/3,7	0,414	43,8	90	140,1	14,0		
CA 3,7 M1D 8	Ft	18/8/10	28	15/9/10	10	20	1/3,7	0,414	43,4	90	136,7	13,7		
CA 3,7 M1D 9	Fc	18/8/10	91	17/11/10	10	20	1/3,7	0,414	42,7	90	356,6	45,4		
CA 3,7 M1D 10	Fc	18/8/10	91	17/11/10	10	20	1/3,7	0,414	42,2	90	367,5	46,8		
CA 3,7 M1D 11	ABS	18/8/10	28	15/9/10	CORTAR		1/3,7	0,414	-	90	ABSORÇÃO			

Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura			
				d (cm)	h (cm)									
CA 4,6 M1D 1	Fc	18/8/10	7	25/8/10	10	20	1/4,6	0,494	-	90	199,4	25,4		
CA 4,6 M1D 2	Fc	18/8/10	7	25/8/10	10	20	1/4,6	0,494	-	90	190,8	24,3		
CA 4,6 M1D 3	Fc	18/8/10	28	15/9/10	10	20	1/4,6	0,494	44,9	90	212,0	27,0		
CA 4,6 M1D 4	Fc	18/8/10	28	15/9/10	10	20	1/4,6	0,494	45,2	90	209,6	26,7		
CA 4,6 M1D 5	E	18/8/10	28	15/9/10	10	20	1/4,6	0,494	43,0	90				
CA 4,6 M1D 6	E	18/8/10	28	15/9/10	10	20	1/4,6	0,494	44,2	90				
CA 4,6 M1D 7	Ft	18/8/10	28	15/9/10	10	20	1/4,6	0,494	42,8	90	105,5	10,6		
CA 4,6 M1D 8	Ft	18/8/10	28	15/9/10	10	20	1/4,6	0,494	43,2	90	99,1	9,9		
CA 4,6 M1D 9	Fc	18/8/10	91	17/11/10	10	20	1/4,6	0,494	42,2	90	267,8	34,1		
CA 4,6 M1D 10	Fc	18/8/10	91	17/11/10	10	20	1/4,6	0,494	42,0	90	277,5	35,3		
CA 4,6 M1D 11	ABS	18/8/10	28	15/9/10	CORTAR		1/4,6	0,494	-	90	ABSORÇÃO			

Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura			
				d (cm)	h (cm)									
CA 5,5 M1D 1	Fc	18/8/10	7	25/8/10	10	20	1/5,5	0,574	-	95	158,6	20,2		
CA 5,5 M1D 2	Fc	18/8/10	7	25/8/10	10	20	1/5,5	0,574	-	95	135,0	17,2		
CA 5,5 M1D 3	Fc	18/8/10	28	15/9/10	10	20	1/5,5	0,574	43,8	95	175,8	22,4		
CA 5,5 M1D 4	Fc	18/8/10	28	15/9/10	10	20	1/5,5	0,574	43,0	95	157,0	20,0		
CA 5,5 M1D 5	E	18/8/10	28	15/9/10	10	20	1/5,5	0,574	44,5	95				
CA 5,5 M1D 6	E	18/8/10	28	15/9/10	10	20	1/5,5	0,574	44,3	95				
CA 5,5 M1D 7	Ft	18/8/10	28	15/9/10	10	20	1/5,5	0,574	42,8	95	92,3	9,2		
CA 5,5 M1D 8	Ft	18/8/10	28	15/9/10	10	20	1/5,5	0,574	44,3	95	89,9	9,0		
CA 5,5 M1D 9	Fc	18/8/10	91	17/11/10	10	20	1/5,5	0,574	41,8	95	260,2	33,1		
CA 5,5 M1D 10	Fc	18/8/10	91	17/11/10	10	20	1/5,5	0,574	42,8	95	254,9	32,5		
CA 5,5 M1D 11	ABS	18/8/10	28	15/9/10	CORTAR		1/5,5	0,574	-	95	ABSORÇÃO			



Tabela A 8 – Planilha de resultados ensaios mecânicos do concreto 20% CINZA NATURAL BLOCO 1

MOLDAGEM DE TRAÇOS COM 20% DE CINZA NATURAL - M1E														
MOLDAGEM 25/8/2010														
Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura			
				d (cm)	h (cm)									
CA 3,7 M1E 1	Fc	25/8/10	7	1/9/10	10	20	1/3,7	0,414	-	90	196,3	25,0		
CA 3,7 M1E 2	Fc	25/8/10	7	1/9/10	10	20	1/3,7	0,414	-	90	192,3	24,5		
CA 3,7 M1E 3	Fc	25/8/10	28	22/9/10	10	20	1/3,7	0,414	43,1	90	282,6	36,0		
CA 3,7 M1E 4	Fc	25/8/10	28	22/9/10	10	20	1/3,7	0,414	43,3	90	280,2	35,7		
CA 3,7 M1E 5	E	25/8/10	28	22/9/10	10	20	1/3,7	0,414	42,8	90		0,0		
CA 3,7 M1E 6	E	25/8/10	28	22/9/10	10	20	1/3,7	0,414	43,5	90		0,0		
CA 3,7 M1E 7	Ft	25/8/10	28	22/9/10	10	20	1/3,7	0,414	44,5	90	123,2	12,3		
CA 3,7 M1E 8	Ft	25/8/10	28	22/9/10	10	20	1/3,7	0,414	43,0	90	125,5	12,6		
CA 3,7 M1E 9	Fc	25/8/10	91	24/11/10	10	20	1/3,7	0,414	44,2	90	435,3	55,5		
CA 3,7 M1E 10	Fc	25/8/10	91	24/11/10	10	20	1/3,7	0,414	45,4	90	419,3	53,4		
CA 3,7 M1E 11	ABS	25/8/10	28	22/9/10	CORTAR		1/3,7	0,414	-	90	ABSORÇÃO			

Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura			
				d (cm)	h (cm)									
CA 4,6 M1E 1	Fc	25/8/10	7	1/9/10	10	20	1/4,6	0,494	-	90	186,8	23,8		
CA 4,6 M1E 2	Fc	25/8/10	7	1/9/10	10	20	1/4,6	0,494	-	90	182,1	23,2		
CA 4,6 M1E 3	Fc	25/8/10	28	22/9/10	10	20	1/4,6	0,494	43,6	90	252,0	32,1		
CA 4,6 M1E 4	Fc	25/8/10	28	22/9/10	10	20	1/4,6	0,494	43,9	90	257,5	32,8		
CA 4,6 M1E 5	E	25/8/10	28	22/9/10	10	20	1/4,6	0,494	44,5	90		0,0		
CA 4,6 M1E 6	E	25/8/10	28	22/9/10	10	20	1/4,6	0,494	44,2	90		0,0		
CA 4,6 M1E 7	Ft	25/8/10	28	22/9/10	10	20	1/4,6	0,494	43,4	90	115,5	11,6		
CA 4,6 M1E 8	Ft	25/8/10	28	22/9/10	10	20	1/4,6	0,494	43,5	90	114,2	11,4		
CA 4,6 M1E 9	Fc	25/8/10	91	24/11/10	10	20	1/4,6	0,494	45,3	90	338,1	43,1		
CA 4,6 M1E 10	Fc	25/8/10	91	24/11/10	10	20	1/4,6	0,494	45,9	90	342,5	43,6		
CA 4,6 M1E 11	ABS	25/8/10	28	22/9/10	CORTAR		1/4,6	0,494	-	90	ABSORÇÃO			

Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura			
				d (cm)	h (cm)									
CA 5,5 M1E 1	Fc	25/8/10	7	1/9/10	10	20	1/5,5	0,574	-	80	160,9	20,5		
CA 5,5 M1E 2	Fc	25/8/10	7	1/9/10	10	20	1/5,5	0,574	-	80	148,4	18,9		
CA 5,5 M1E 3	Fc	25/8/10	28	22/9/10	10	20	1/5,5	0,574	44,1	80	231,6	29,5		
CA 5,5 M1E 4	Fc	25/8/10	28	22/9/10	10	20	1/5,5	0,574	43,6	80	236,3	30,1		
CA 5,5 M1E 5	E	25/8/10	28	22/9/10	10	20	1/5,5	0,574	44,3	80		0,0		
CA 5,5 M1E 6	E	25/8/10	28	22/9/10	10	20	1/5,5	0,574	44,0	80		0,0		
CA 5,5 M1E 7	Ft	25/8/10	28	22/9/10	10	20	1/5,5	0,574	44,3	80	92,8	9,3		
CA 5,5 M1E 8	Ft	25/8/10	28	22/9/10	10	20	1/5,5	0,574	43,5	80	89,5	9,0		
CA 5,5 M1E 9	Fc	25/8/10	91	24/11/10	10	20	1/5,5	0,574	45,2	80	290,9	37,1		
CA 5,5 M1E 10	Fc	25/8/10	91	24/11/10	10	20	1/5,5	0,574	46,2	80	299,9	38,2		
CA 5,5 M1E 11	ABS	25/8/10	28	22/9/10	CORTAR		1/5,5	0,574	-	80	ABSORÇÃO			

Tabela A 9 – Planilha de resultados ensaios mecânicos do concreto REFERÊNCIA BLOCO 2

MOLDAGEM 1/9/2010													
MOLDAGEM DE TRAÇOS REFERÊNCIA - M2A													
Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura		
				d (cm)	h (cm)								
CA 3,7 M2A 1	Fc	1/9/10	7	8/9/10	10	20	1/3,7	0,414	-	105	150,7	19,2	
CA 3,7 M2A 2	Fc	1/9/10	7	8/9/10	10	20	1/3,7	0,414	-	105	147,5	18,8	
CA 3,7 M2A 3	Fc	1/9/10	28	29/9/10	10	20	1/3,7	0,414	43,0	105	180,4	23,0	
CA 3,7 M2A 4	Fc	1/9/10	28	29/9/10	10	20	1/3,7	0,414	43,4	105	153,1	19,5	
CA 3,7 M2A 5	E	1/9/10	28	29/9/10	10	20	1/3,7	0,414	43,3	105			
CA 3,7 M2A 6	E	1/9/10	28	29/9/10	10	20	1/3,7	0,414	43,8	105			
CA 3,7 M2A 7	Ft	1/9/10	28	29/9/10	10	20	1/3,7	0,414	43,4	105	98,9	9,9	
CA 3,7 M2A 8	Ft	1/9/10	28	29/9/10	10	20	1/3,7	0,414	42,9	105	96,7	9,7	
CA 3,7 M2A 9	Fc	1/9/10	91	1/12/10	10	20	1/3,7	0,414	45,9	105	365,4	46,5	
CA 3,7 M2A 10	Fc	1/9/10	91	1/12/10	10	20	1/3,7	0,414	47,3	105	347,3	44,2	
CA 3,7 M2A 11	ABS	1/9/10	28	29/9/10	CORTAR		1/3,7	0,414	-	105	ABSORÇÃO		

Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura		
				d (cm)	h (cm)								
CA 4,6 M2A 1	Fc	1/9/10	7	8/9/10	10	20	1/4,6	0,494	-	105	135,9	17,3	
CA 4,6 M2A 2	Fc	1/9/10	7	8/9/10	10	20	1/4,6	0,494	-	105	132,8	16,9	
CA 4,6 M2A 3	Fc	1/9/10	28	29/9/10	10	20	1/4,6	0,494	44,2	105	115,5	14,7	
CA 4,6 M2A 4	Fc	1/9/10	28	29/9/10	10	20	1/4,6	0,494	44,8	105	111,7	14,2	
CA 4,6 M2A 5	E	1/9/10	28	29/9/10	10	20	1/4,6	0,494	44,7	105			
CA 4,6 M2A 6	E	1/9/10	28	29/9/10	10	20	1/4,6	0,494	44,9	105			
CA 4,6 M2A 7	Ft	1/9/10	28	29/9/10	10	20	1/4,6	0,494	44,8	105	74,3	7,4	
CA 4,6 M2A 8	Ft	1/9/10	28	29/9/10	10	20	1/4,6	0,494	45,0	105	82,0	8,2	
CA 4,6 M2A 9	Fc	1/9/10	91	1/12/10	10	20	1/4,6	0,494	46,2	105	301,1	38,3	
CA 4,6 M2A 10	Fc	1/9/10	91	1/12/10	10	20	1/4,6	0,494	46,1	105	266,3	33,9	
CA 4,6 M2A 11	ABS	1/9/10	28	29/9/10	CORTAR		1/4,6	0,494	-	105	ABSORÇÃO		

Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura		
				d (cm)	h (cm)								
CA 5,5 M2A 1	Fc	1/9/10	7	8/9/10	10	20	1/5,5	0,574	-	95	95,9	12,2	
CA 5,5 M2A 2	Fc	1/9/10	7	8/9/10	10	20	1/5,5	0,574	-	95	97,1	12,4	
CA 5,5 M2A 3	Fc	1/9/10	28	29/9/10	10	20	1/5,5	0,574	43,6	95	112,7	14,3	
CA 5,5 M2A 4	Fc	1/9/10	28	29/9/10	10	20	1/5,5	0,574	44,3	95	112,7	14,3	
CA 5,5 M2A 5	E	1/9/10	28	29/9/10	10	20	1/5,5	0,574	44,8	95			
CA 5,5 M2A 6	E	1/9/10	28	29/9/10	10	20	1/5,5	0,574	44,0	95			
CA 5,5 M2A 7	Ft	1/9/10	28	29/9/10	10	20	1/5,5	0,574	45,4	95	74,0	7,4	
CA 5,5 M2A 8	Ft	1/9/10	28	29/9/10	10	20	1/5,5	0,574	44,8	95	79,6	8,0	
CA 5,5 M2A 9	Fc	1/9/10	91	1/12/10	10	20	1/5,5	0,574	46,9	95	243,7	31,0	
CA 5,5 M2A 10	Fc	1/9/10	91	1/12/10	10	20	1/5,5	0,574	45,4	95	226,4	28,8	
CA 5,5 M2A 11	ABS	1/9/10	28	29/9/10	CORTAR		1/5,5	0,574	-	95	ABSORÇÃO		

Tabela A 10 – Planilha de resultados ensaios mecânicos do concreto 10% CINZA NATURAL BLOCO 2

MOLDAGEM 8/9/2010													
MOLDAGEM DE TRAÇOS COM 10% DE CINZA NATURAL - M2B													
Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura		
				d (cm)	h (cm)								
CA 3,7 M2B 1	Fc	8/9/10	7	15/9/10	10	20	1/3,7	0,414	-	95	182,8	23,3	
CA 3,7 M2B 2	Fc	8/9/10	7	15/9/10	10	20	1/3,7	0,414	-	95	195,7	24,9	
CA 3,7 M2B 3	Fc	8/9/10	28	6/10/10	10	20	1/3,7	0,414	43,8	95	274,1	34,9	
CA 3,7 M2B 4	Fc	8/9/10	28	6/10/10	10	20	1/3,7	0,414	43,8	95	277,1	35,3	
CA 3,7 M2B 5	E	8/9/10	28	6/10/10	10	20	1/3,7	0,414	43,8	95			
CA 3,7 M2B 6	E	8/9/10	28	6/10/10	10	20	1/3,7	0,414	44,3	95			
CA 3,7 M2B 7	Ft	8/9/10	28	6/10/10	10	20	1/3,7	0,414	42,8	95	133,9	13,4	
CA 3,7 M2B 8	Ft	8/9/10	28	6/10/10	10	20	1/3,7	0,414	42,3	95	125,0	12,5	
CA 3,7 M2B 9	Fc	8/9/10	91	8/12/10	10	20	1/3,7	0,414	44,4	95	383,6	48,8	
CA 3,7 M2B 10	Fc	8/9/10	91	8/12/10	10	20	1/3,7	0,414	45,4	95	391,2	49,8	
CA 3,7 M2B 11	ABS	8/9/10	28	6/10/10	CORTAR		1/3,7	0,414	-	95	ABSORÇÃO		

Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura		
				d (cm)	h (cm)								
CA 4,6 M2B 1	Fc	8/9/10	7	15/9/10	10	20	1/4,6	0,494	-	105	145,4	18,5	
CA 4,6 M2B 2	Fc	8/9/10	7	15/9/10	10	20	1/4,6	0,494	-	105	158,4	20,2	
CA 4,6 M2B 3	Fc	8/9/10	28	6/10/10	10	20	1/4,6	0,494	43,8	105	250,4	31,9	
CA 4,6 M2B 4	Fc	8/9/10	28	6/10/10	10	20	1/4,6	0,494	44,1	105	244,1	31,1	
CA 4,6 M2B 5	E	8/9/10	28	6/10/10	10	20	1/4,6	0,494	42,4	105			
CA 4,6 M2B 6	E	8/9/10	28	6/10/10	10	20	1/4,6	0,494	44,9	105			
CA 4,6 M2B 7	Ft	8/9/10	28	6/10/10	10	20	1/4,6	0,494	43,5	105	121,8	12,2	
CA 4,6 M2B 8	Ft	8/9/10	28	6/10/10	10	20	1/4,6	0,494	43,3	105	114,0	11,4	
CA 4,6 M2B 9	Fc	8/9/10	91	8/12/10	10	20	1/4,6	0,494	46,5	105	322,9	41,1	
CA 4,6 M2B 10	Fc	8/9/10	91	8/12/10	10	20	1/4,6	0,494	46,3	105	329,2	41,9	
CA 4,6 M2B 11	ABS	8/9/10	28	6/10/10	CORTAR		1/4,6	0,494	-	105	ABSORÇÃO		

Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura		
				d (cm)	h (cm)								
CA 5,5 M2B 1	Fc	8/9/10	7	15/9/10	10	20	1/5,5	0,574	-	95	126,0	16,0	
CA 5,5 M2B 2	Fc	8/9/10	7	15/9/10	10	20	1/5,5	0,574	-	95	151,4	19,3	
CA 5,5 M2B 3	Fc	8/9/10	28	6/10/10	10	20	1/5,5	0,574	44,4	95	214,3	27,3	
CA 5,5 M2B 4	Fc	8/9/10	28	6/10/10	10	20	1/5,5	0,574	44,1	95	225,5	28,7	
CA 5,5 M2B 5	E	8/9/10	28	6/10/10	10	20	1/5,5	0,574	45,4	95			
CA 5,5 M2B 6	E	8/9/10	28	6/10/10	10	20	1/5,5	0,574	44,8	95			
CA 5,5 M2B 7	Ft	8/9/10	28	6/10/10	10	20	1/5,5	0,574	43,2	95	100,5	10,1	
CA 5,5 M2B 8	Ft	8/9/10	28	6/10/10	10	20	1/5,5	0,574	43,6	95	102,1	10,2	
CA 5,5 M2B 9	Fc	8/9/10	91	8/12/10	10	20	1/5,5	0,574	45,8	95	293,9	37,4	
CA 5,5 M2B 10	Fc	8/9/10	91	8/12/10	10	20	1/5,5	0,574	47,4	95	236,5	30,2	
CA 5,5 M2B 11	ABS	8/9/10	28	6/10/10	CORTAR		1/5,5	0,574	-	95	ABSORÇÃO		

Tabela A 11 – Planilha de resultados ensaios mecânicos do concreto 20% CINZA PENEIRADA BLOCO2

MOLDAGEM 16/9/2010													
MOLDAGEM DE TRAÇOS COM 20% DE CINZA PENEIRADA - M2C													
Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura		
				d (cm)	h (cm)								
CA 3,7 M2C 1	Fc	16/9/10	7	23/9/10	10	20	1/3,7	0,414	-	80	224,5	28,6	
CA 3,7 M2C 2	Fc	16/9/10	7	23/9/10	10	20	1/3,7	0,414	-	80	205,7	26,2	
CA 3,7 M2C 3	Fc	16/9/10	28	14/10/10	10	20	1/3,7	0,414	42,8	80	252,0	32,1	
CA 3,7 M2C 4	Fc	16/9/10	28	14/10/10	10	20	1/3,7	0,414	42,3	80	230,0	29,3	
CA 3,7 M2C 5	E	16/9/10	28	14/10/10	10	20	1/3,7	0,414	42,4	80			
CA 3,7 M2C 6	E	16/9/10	28	14/10/10	10	20	1/3,7	0,414	42,3	80			
CA 3,7 M2C 7	Ft	16/9/10	28	14/10/10	10	20	1/3,7	0,414	45,5	80	108,5	10,9	
CA 3,7 M2C 8	Ft	16/9/10	28	14/10/10	10	20	1/3,7	0,414	44,2	80	104,1	10,4	
CA 3,7 M2C 9	Fc	16/9/10	91	16/12/10	10	20	1/3,7	0,414	45,8	80	362,5	46,2	
CA 3,7 M2C 10	Fc	16/9/10	91	16/12/10	10	20	1/3,7	0,414	46,2	80	350,4	44,6	
CA 3,7 M2C 11	ABS	16/9/10	28	14/10/10	CORTAR		1/3,7	0,414	-	80	ABSORÇÃO		

Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura		
				d (cm)	h (cm)								
CA 4,6 M2C 1	Fc	16/9/10	7	23/9/10	10	20	1/4,6	0,494	-	100	182,1	23,2	
CA 4,6 M2C 2	Fc	16/9/10	7	23/9/10	10	20	1/4,6	0,494	-	100	181,3	23,1	
CA 4,6 M2C 3	Fc	16/9/10	28	14/10/10	10	20	1/4,6	0,494	43,9	100	225,3	28,7	
CA 4,6 M2C 4	Fc	16/9/10	28	14/10/10	10	20	1/4,6	0,494	43,8	100	212,0	27,0	
CA 4,6 M2C 5	E	16/9/10	28	14/10/10	10	20	1/4,6	0,494	44,2	100			
CA 4,6 M2C 6	E	16/9/10	28	14/10/10	10	20	1/4,6	0,494	43,9	100			
CA 4,6 M2C 7	Ft	16/9/10	28	14/10/10	10	20	1/4,6	0,494	43,8	100	77,5	7,8	
CA 4,6 M2C 8	Ft	16/9/10	28	14/10/10	10	20	1/4,6	0,494	44,1	100	105,6	10,6	
CA 4,6 M2C 9	Fc	16/9/10	91	16/12/10	10	20	1/4,6	0,494	45,8	100	278,8	35,5	
CA 4,6 M2C 10	Fc	16/9/10	91	16/12/10	10	20	1/4,6	0,494	46,1	100	319,7	40,7	
CA 4,6 M2C 11	ABS	16/9/10	28	14/10/10	CORTAR		1/4,6	0,494	-	100	ABSORÇÃO		

Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura		
				d (cm)	h (cm)								
CA 5,5 M2C 1	Fc	16/9/10	7	23/9/10	10	20	1/5,5	0,574	-	80	141,3	18,0	
CA 5,5 M2C 2	Fc	16/9/10	7	23/9/10	10	20	1/5,5	0,574	-	80	137,4	17,5	
CA 5,5 M2C 3	Fc	16/9/10	28	14/10/10	10	20	1/5,5	0,574	44,7	80	183,7	23,4	
CA 5,5 M2C 4	Fc	16/9/10	28	14/10/10	10	20	1/5,5	0,574	44,8	80	190,8	24,3	
CA 5,5 M2C 5	E	16/9/10	28	14/10/10	10	20	1/5,5	0,574	45,3	80			
CA 5,5 M2C 6	E	16/9/10	28	14/10/10	10	20	1/5,5	0,574	44,7	80			
CA 5,5 M2C 7	Ft	16/9/10	28	14/10/10	10	20	1/5,5	0,574	45,0	80	89,9	9,0	
CA 5,5 M2C 8	Ft	16/9/10	28	14/10/10	10	20	1/5,5	0,574	43,5	80	100,7	10,1	
CA 5,5 M2C 9	Fc	16/9/10	91	16/12/10	10	20	1/5,5	0,574	45,6	80	276,2	35,2	
CA 5,5 M2C 10	Fc	16/9/10	91	16/12/10	10	20	1/5,5	0,574	47,0	80	255,2	32,5	
CA 5,5 M2C 11	ABS	16/9/10	28	14/10/10	CORTAR		1/5,5	0,574	-	80	ABSORÇÃO		

Tabela A 12 – Planilha de resultados ensaios mecânicos do concreto 10% CINZA PENEIRADA BLOCO 2

MOLDAGEM 23/9/2010													
MOLDAGEM DE TRAÇOS COM 10% DE CINZA PENEIRADA - M2D													
Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura		
				d (cm)	h (cm)								
CA 3,7 M2D 1	Fc	23/9/10	7	30/9/10	10	20	1/3,7	0,414	-	100	234,3	29,8	
CA 3,7 M2D 2	Fc	23/9/10	7	30/9/10	10	20	1/3,7	0,414	-	100	209,5	26,7	
CA 3,7 M2D 3	Fc	23/9/10	28	21/10/10	10	20	1/3,7	0,414	44,8	100	277,0	35,3	
CA 3,7 M2D 4	Fc	23/9/10	28	21/10/10	10	20	1/3,7	0,414	43,0	100	287,1	36,6	
CA 3,7 M2D 5	E	23/9/10	28	21/10/10	10	20	1/3,7	0,414	42,9	100			
CA 3,7 M2D 6	E	23/9/10	28	21/10/10	10	20	1/3,7	0,414	44,6	100			
CA 3,7 M2D 7	Ft	23/9/10	28	21/10/10	10	20	1/3,7	0,414	43,4	100	127,1	12,7	
CA 3,7 M2D 8	Ft	23/9/10	28	21/10/10	10	20	1/3,7	0,414	43,0	100	119,9	12,0	
CA 3,7 M2D 9	Fc	23/9/10	91	23/12/10	10	20	1/3,7	0,414	42,1	100	345,8	44,0	
CA 3,7 M2D 10	Fc	23/9/10	91	23/12/10	10	20	1/3,7	0,414	42,9	100	313,5	39,9	
CA 3,7 M2D 11	ABS	23/9/10	28	21/10/10	CORTAR		1/3,7	0,414	-	100	ABSORÇÃO		

Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura		
				d (cm)	h (cm)								
CA 4,6 M2D 1	Fc	23/9/10	7	30/9/10	10	20	1/4,6	0,494	-	120	169,6	21,6	
CA 4,6 M2D 2	Fc	23/9/10	7	30/9/10	10	20	1/4,6	0,494	-	120	180,5	23,0	
CA 4,6 M2D 3	Fc	23/9/10	28	21/10/10	10	20	1/4,6	0,494	43,6	120	234,0	29,8	
CA 4,6 M2D 4	Fc	23/9/10	28	21/10/10	10	20	1/4,6	0,494	44,3	120	235,2	29,9	
CA 4,6 M2D 5	E	23/9/10	28	21/10/10	10	20	1/4,6	0,494	43,7	120			
CA 4,6 M2D 6	E	23/9/10	28	21/10/10	10	20	1/4,6	0,494	44,2	120			
CA 4,6 M2D 7	Ft	23/9/10	28	21/10/10	10	20	1/4,6	0,494	44,3	120	122,2	12,2	
CA 4,6 M2D 8	Ft	23/9/10	28	21/10/10	10	20	1/4,6	0,494	44,8	120	109,9	11,0	
CA 4,6 M2D 9	Fc	23/9/10	91	23/12/10	10	20	1/4,6	0,494	47,2	120	279,7	35,6	
CA 4,6 M2D 10	Fc	23/9/10	91	23/12/10	10	20	1/4,6	0,494	45,3	120	275,9	35,1	
CA 4,6 M2D 11	ABS	23/9/10	28	21/10/10	CORTAR		1/4,6	0,494	-	120	ABSORÇÃO		

Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura		
				d (cm)	h (cm)								
CA 5,5 M2D 1	Fc	23/9/10	7	30/9/10	10	20	1/5,5	0,574	-	110	143,5	18,3	
CA 5,5 M2D 2	Fc	23/9/10	7	30/9/10	10	20	1/5,5	0,574	-	110	139,9	17,8	
CA 5,5 M2D 3	Fc	23/9/10	28	21/10/10	10	20	1/5,5	0,574	45,3	110	193,9	24,7	
CA 5,5 M2D 4	Fc	23/9/10	28	21/10/10	10	20	1/5,5	0,574	43,1	110	198,0	25,2	
CA 5,5 M2D 5	E	23/9/10	28	21/10/10	10	20	1/5,5	0,574	43,8	110			
CA 5,5 M2D 6	E	23/9/10	28	21/10/10	10	20	1/5,5	0,574	44,0	110			
CA 5,5 M2D 7	Ft	23/9/10	28	21/10/10	10	20	1/5,5	0,574	44,0	110	83,7	8,4	
CA 5,5 M2D 8	Ft	23/9/10	28	21/10/10	10	20	1/5,5	0,574	43,9	110	81,2	8,1	
CA 5,5 M2D 9	Fc	23/9/10	91	23/12/10	10	20	1/5,5	0,574	44,3	110	233,6	29,7	
CA 5,5 M2D 10	Fc	23/9/10	91	23/12/10	10	20	1/5,5	0,574	47,9	110	201,4	25,6	
CA 5,5 M2D 11	ABS	23/9/10	28	21/10/10	CORTAR		1/5,5	0,574	-	110	ABSORÇÃO		

Tabela A 13 – Planilha de resultados ensaios mecânicos do concreto 20% CINZA NATURAL BLOCO 2

MOLDAGEM DE TRAÇOS COM 20% DE CINZA NATURAL - M2E														
MOLDAGEM 30/9/2010														
Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura			
				d (cm)	h (cm)									
CA 3,7 M2E 1	Fc	30/9/10	7	7/10/10	10	20	1/3,7	0,414	-	90	212,0	27,0		
CA 3,7 M2E 2	Fc	30/9/10	7	7/10/10	10	20	1/3,7	0,414	-	90	219,6	28,0		
CA 3,7 M2E 3	Fc	30/9/10	28	28/10/10	10	20	1/3,7	0,414	44,0	90	258,3	32,9		
CA 3,7 M2E 4	Fc	30/9/10	28	28/10/10	10	20	1/3,7	0,414	44,2	90	255,2	32,5		
CA 3,7 M2E 5	E	30/9/10	28	28/10/10	10	20	1/3,7	0,414	43,8	90				
CA 3,7 M2E 6	E	30/9/10	28	28/10/10	10	20	1/3,7	0,414	44,6	90				
CA 3,7 M2E 7	Ft	30/9/10	28	28/10/10	10	20	1/3,7	0,414	43,6	90	132,6	13,3		
CA 3,7 M2E 8	Ft	30/9/10	28	28/10/10	10	20	1/3,7	0,414	44,9	90	119,9	12,0		
CA 3,7 M2E 9	Fc	30/9/10	91	30/12/10	10	20	1/3,7	0,414	46,2	90	355,6	45,3		
CA 3,7 M2E 10	Fc	30/9/10	91	30/12/10	10	20	1/3,7	0,414	47,0	90	335,9	42,8		
CA 3,7 M2E 11	ABS	30/9/10	28	28/10/10	CORTAR		1/3,7	0,414	-	90	ABSORÇÃO			

Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura			
				d (cm)	h (cm)									
CA 4,6 M2E 1	Fc	30/9/10	7	7/10/10	10	20	1/4,6	0,494	-	100	191,4	24,4		
CA 4,6 M2E 2	Fc	30/9/10	7	7/10/10	10	20	1/4,6	0,494	-	100	166,1	21,1		
CA 4,6 M2E 3	Fc	30/9/10	28	28/10/10	10	20	1/4,6	0,494	43,9	100	231,1	29,4		
CA 4,6 M2E 4	Fc	30/9/10	28	28/10/10	10	20	1/4,6	0,494	45,6	100	238,0	30,3		
CA 4,6 M2E 5	E	30/9/10	28	28/10/10	10	20	1/4,6	0,494	45,2	100				
CA 4,6 M2E 6	E	30/9/10	28	28/10/10	10	20	1/4,6	0,494	45,4	100				
CA 4,6 M2E 7	Ft	30/9/10	28	28/10/10	10	20	1/4,6	0,494	43,4	100	102,8	10,3		
CA 4,6 M2E 8	Ft	30/9/10	28	28/10/10	10	20	1/4,6	0,494	42,6	100	108,1	10,8		
CA 4,6 M2E 9	Fc	30/9/10	91	30/12/10	10	20	1/4,6	0,494	45,2	100	301,3	38,4		
CA 4,6 M2E 10	Fc	30/9/10	91	30/12/10	10	20	1/4,6	0,494	45,3	100	304,3	38,7		
CA 4,6 M2E 11	ABS	30/9/10	28	28/10/10	CORTAR		1/4,6	0,494	-	100	ABSORÇÃO			

Identificação	Data da Moldagem	Idade	Data do ensaio	Dimensão		Traço	a/c	Ultra-s.	Abatimento	Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura			
				d (cm)	h (cm)									
CA 5,5 M2E 1	Fc	30/9/10	7	7/10/10	10	20	1/5,5	0,574	-	90	144,0	18,3		
CA 5,5 M2E 2	Fc	30/9/10	7	7/10/10	10	20	1/5,5	0,574	-	90	120,7	15,4		
CA 5,5 M2E 3	Fc	30/9/10	28	28/10/10	10	20	1/5,5	0,574	43,7	90	211,3	26,9		
CA 5,5 M2E 4	Fc	30/9/10	28	28/10/10	10	20	1/5,5	0,574	43,8	90	201,7	25,7		
CA 5,5 M2E 5	E	30/9/10	28	28/10/10	10	20	1/5,5	0,574	43,4	90				
CA 5,5 M2E 6	E	30/9/10	28	28/10/10	10	20	1/5,5	0,574	43,1	90				
CA 5,5 M2E 7	Ft	30/9/10	28	28/10/10	10	20	1/5,5	0,574	42,8	90	100,3	10,0		
CA 5,5 M2E 8	Ft	30/9/10	28	28/10/10	10	20	1/5,5	0,574	43,3	90	94,2	9,4		
CA 5,5 M2E 9	Fc	30/9/10	91	30/12/10	10	20	1/5,5	0,574	43,2	90	261,1	33,2		
CA 5,5 M2E 10	Fc	30/9/10	91	30/12/10	10	20	1/5,5	0,574	43,3	90	269,9	34,4		
CA 5,5 M2E 11	ABS	30/9/10	28	28/10/10	CORTAR		1/5,5	0,574	-	90	ABSORÇÃO			

**ANEXO**

ANEXO 1 – Ficha de caracterização do cimento fornecida pelo fabricante ITAMBE.



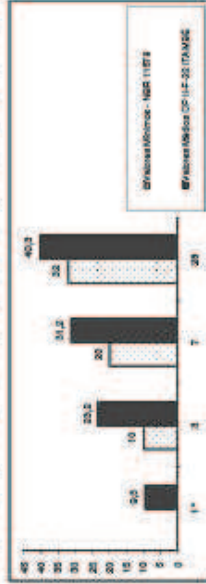
TIPO / CLASSE: CP II-F-32

RELATÓRIO DE ENSAIOS DE CIMENTO

PERÍODO : abr/10  
EMIÇÃO : 01/05/10

Data	Químicos							Físicos				Resistência à Compressão								
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Perda Fogo	CaO Livre	Resid. Inot.	Equiv. Alcal.	Exp. Quente	Tempo de Foga Fim	Cons. Normal	Blaine	# 200	# 325	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	mm	h : min	h : min	%	cm <sup>2</sup> /lg	%	%	MPa	MPa	MPa	MPa
01	4,05	16,46	2,54	96,78	5,37	3,06	5,42	1,18	0,62	0,50	03:20	04:30	25,8	3.220	6,90	21,80	9,9	22,6	29,4	40,0
05	4,08	16,54	2,55	96,80	5,43	3,05	4,94	1,07	0,62	1,00	03:20	04:30	25,8	3.070	6,80	21,80	9,3	23,8	31,0	39,9
06	4,09	16,57	2,55	96,78	5,43	3,01	4,93	0,70	0,62	1,00	03:30	04:30	25,8	3.100	6,80	20,70	9,5	24,3	30,5	41,6
07	4,09	16,58	2,55	96,78	5,43	3,06	4,92	0,64	0,62	1,00	03:40	04:15	25,4	2.920	7,00	21,70	8,1	23,2	31,8	41,1
08	4,09	16,56	2,55	96,78	5,38	3,06	5,78	1,04	0,63	0,50	03:30	04:30	25,4	3.010	7,40	22,30	8,6	23,8	36,2	40,2
09	4,08	16,54	2,55	96,81	5,38	3,08	4,72	1,21	0,63	0,50	03:30	04:30	25,4	3.070	7,40	22,30	10,5	24,2	36,6	38,7
12	4,08	16,51	2,55	96,80	5,45	3,01	5,40	1,43	0,63	1,00	03:25	04:30	25,2	3.140	7,30	19,90	10,0	25,8	36,2	39,8
13	4,07	16,50	2,55	96,80	5,40	3,03	5,23	1,18	0,63	1,00	03:30	04:30	25,2	2.980	7,80	19,30	8,8	21,0	26,6	37,8
14	4,11	16,54	2,55	96,75	5,42	3,10	5,37	1,63	0,63	1,00	03:30	04:30	25,4	3.010	9,10	19,30	8,3	20,8	29,1	38,9
15	4,08	16,50	2,54	96,80	5,39	3,20	5,46	1,15	0,64	1,00	03:30	04:30	25,4	3.190	6,80	17,90	9,8	23,1	31,2	40,4
16	4,10	16,50	2,54	96,74	5,38	3,20	5,46	1,08	0,63	0,50	03:30	04:30	25,8	3.070	6,30	17,90	9,5	23,4	31,0	40,1
19	4,08	16,48	2,54	96,79	5,34	3,20	5,39	0,84	0,63	0,50	03:30	04:30	25,6	3.160	7,10	21,30	9,8	23,2	35,7	41,7
20	4,05	16,43	2,54	96,77	5,34	3,11	5,75	0,88	0,62	1,00	03:30	04:30	25,4	3.190	6,90	21,00	10,3	25,2	35,7	41,7
22	4,04	16,43	2,54	96,77	5,34	3,04	5,76	0,81	0,64	1,00	03:40	04:15	25,4	3.190	6,90	21,30	8,5	21,0	31,1	38,8
23	4,07	16,46	2,55	96,79	5,36	3,11	5,42	1,04	0,62	0,50	03:30	04:30	25,4	3.000	6,90	21,00	10,3	25,2	35,6	37,8
25	4,07	16,46	2,55	96,79	5,36	3,11	5,42	1,04	0,62	1,00	03:30	04:30	25,4	3.190	6,80	20,30	8,5	24,1	31,9	40,7
27	4,05	16,48	2,55	96,81	5,37	3,10	5,22	1,04	0,64	0,50	03:30	04:30	25,2	3.170	5,90	20,10	9,4	23,7	31,8	41,4
28	4,08	16,51	2,55	96,77	5,38	3,09	5,08	0,81	0,62	1,00	03:30	04:30	25,2	3.020	6,50	19,80	9,1	21,8	30,8	41,6
29	4,08	16,47	2,55	96,77	5,38	3,14	5,08	0,76	0,62	1,00	03:30	04:30	25,2	2.990	6,70	22,80	8,3	20,0	30,8	38,9
30	4,05	16,46	2,55	96,78	5,36	3,19	5,26	0,84	0,62	1,00	03:30	04:30	25,4	3.210	5,10	19,90	10,0	26,0	35,7	42,7
Média	4,08	16,50	2,55	96,79	5,36	3,10	5,24	1,02	0,63	0,80	03:28	04:02	25,4	3.093	7,05	20,77	9,5	23,2	31,2	40,3
Sd	0,02	0,04	0,00	0,02	0,04	0,07	0,31	0,24	0,17	0,30	00:06	00:06	0,2	86,0	1,01	1,2	0,6	1,6	1,3	1,3
Min	4,04	16,43	2,54	96,74	5,30	3,01	4,52	0,64	0,62	0,00	03:20	04:00	25,2	2,920	5,10	16,90	6,3	20,0	29,1	37,8
Max	4,11	16,58	2,55	96,81	5,43	3,24	5,78	1,65	0,64	1,00	03:40	04:15	25,6	3,220	9,80	22,90	10,5	26,0	33,7	42,7

Obs.: A Norma de ABNT não prevê a determinação da Resistência à Compressão a um dia para o CP II-F-32.  
A massa específica média do CP II-F-32 ITAMBE é 3,11 g/cm<sup>3</sup> (NBRNM 23).  
As datas do relatório se referem ao dia de expedição do cimento.



centro de assinatura