

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

SÉRGIO EDUARDO FERNANDES

Concreto com adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Sérgio Eduardo Fernandes

Concreto com adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar

Dissertação apresentada à
Faculdade de Engenharia de Ilha
Solteira – UNESP, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Civil. Área de
Conhecimento: Materiais de Construção
Civil

Prof. Dr. Mauro Mitsuuchi Tashima

Orientador

Prof. Dr. Jorge Luís Akasaki

Co-orientador

Ilha Solteira

2014

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

F363c Fernandes, Sérgio Eduardo.
Concreto com adição de cinza de bagaço de cana de açúcar / Sérgio Eduardo Fernandes. – Ilha Solteira: [s.n.], 2014
96 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas, 2014

Orientador: Mauro Mitsuchi Tashima

Co-orientador: Jorge Luís Akasaki

Inclui bibliografia

1. Concreto. 2. Concreto com cinza. 3. Bagaço de cana de açúcar.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


TÍTULO: Concreto com adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar

AUTOR: SERGIO EDUARDO FERNANDES


ORIENTADOR: Prof. Dr. MAURO MITSUUCHI TASHIMA

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. JORGE LUIS AKASAKI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, Área: ESTRUTURAS, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. MAURO MITSUUCHI TASHIMA
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. JOSE LUIZ PINHEIRO MELGES
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Profa. Dra. LOURDES SORIANO MARTINEZ
Departamento de Ingeniería de La Construcción Y Proyectos de Ingeniería Civil / Universidad Politécnica de Valencia

Data da realização: 18 de agosto de 2014.

À minha esposa Marcela, minha filha Raissa e
meus pais Lourenço e Helena , por todo apoio
e por toda a compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e ao nosso senhor Jesus Cristo, por terem me dado saúde: saúde, disposição, força de vontade, fé, perseverança e dedicação em todos os dias de minha vida; por terem me ajudado a vencer mais esta etapa em minha vida profissional e, com isso, alcançar mais este objetivo com a realização desta pesquisa.

À minha esposa Marcela, pelo apoio dado neste período de estudos.

À minha filha Raissa, que, apesar de ser tão pequenina, foi minha fonte de inspiração e de perseverança neste percurso pelas veredas do saber.

Aos meus pais, pela educação que me deram e pelo exemplo de humildade e honestidade.

Aos orientadores e professores, Prof. Dr. Jorge Luis Akasaki e Prof. Dr. Mauro Mitsuuchi Tashima, pela paciência e pelas orientações nas quais compartilharam comigo seus saberes, porque acreditaram em minhas idéias neste mestrado.

Aos técnicos do Laboratório de Engenharia Civil da UNESP: Mário e Gilson.

A todos os técnicos do Laboratório da CESP de Engenharia Civil, que deram o apoio necessário para a conclusão dos ensaios.

Ao Laboratório CESP de Engenharia Civil – LCEC, pelo apoio na realização e discussão dos ensaios e análises.

RESUMO

O concreto de alto desempenho (CAD) possui uma densa microestrutura que lhe proporciona ao mesmo, alta resistência e redução de sua permeabilidade. Com isso, apresenta alta durabilidade, sendo maior que a do concreto convencional. Esse fato mostra que a utilização deste concreto está crescendo rapidamente em diversas obras. Este produto tem como base a cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC), que possui grande potencial para ser utilizada como aditivo mineral em concretos, uma vez que é composta por dióxido de silício. A partir dessas afirmações, esta pesquisa apresenta a finalidade de analisar o desempenho da adição de CBC sem sofrer o processo de moagem, na fabricação do concreto de alto desempenho. Para tanto, foi feita a substituição de CBC na proporção de 5%, 10%, 15% e 20%, sendo esta substituída na quantidade de agregado miúdo em massa. Os ensaios realizados foram: absorção, módulo de elasticidade, resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral para as idades de 7, 28, 60 e 90 dias. Chegou-se, portanto, à conclusão que o CAD com CBC de substituição em 20% de agregado miúdo em massa foi o que obteve o melhor desempenho, por isso foi o traço escolhido para os ensaios de durabilidade, tais como: resistência ao ataque químico, absorção por capilaridade, frente à penetração de cloretos, ensaio de abrasão/erosão e permeabilidade à água. Assim, os resultados obtidos nos ensaios foram comparados aos mesmos ensaios realizados com o concreto referência, ou seja, CAD sem nenhuma adição. A partir daí, observou-se que, em determinados casos, o CAD com adição de CBC apresentou resultados iguais ou até mesmo superiores ao do concreto referência.

Palavras Chave: Durabilidade concreto de alto desempenho cinza de bagaço de cana-de-açúcar.

ABSTRACT

The high performance concrete (CAD) has a dense microstructure which provides the same, high strength and reduced permeability. With this, it has high durability, being greater than that of conventional concrete. This fact makes their use is growing rapidly in several works. Regarding bagasse ash cane sugar (CBC), this has great potential to be used as a mineral additive for concrete, since it is composed of silicon dioxide. Thus, this research has the purpose of analyzing the performance of the addition of CBC without undergoing milling, manufacturing of high performance concrete. Replacement of was which is substituted in the proportion of 5%, 10%, 15% and 20%, the amount of aggregate in massa. Os tests were performed: absorption, modulus of elasticity, compressive strength and tensile strength by diametrical compression to the ages of 7, 28, 60 and 90 days. Was reached, so the conclusion that CAD with CBC replacement in 20% of aggregate mass, was what had the best performance, so it was chosen for durability testing trait and which were the following: resistance to chemical attack, wicking, across the penetration of chlorides abrasion test / erosion and water permeability. The results obtained in the tests were compared to tests performed with the same reference concrete, that is, without addition CAD, showing in some cases, the addition of CAD with CBC showed equal or even superior results to the reference concrete.

Key words: Durability high performance concrete ash bagasse of cane sugar.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Bagaço da Cana-de-Açúcar.....	24
Figura 2 - Cinza do Bagaço de cana de açúcar(CBC).....	40
Figura 3 - Brita.....	43
Figura 4 - CBC + Brita + Água + Areia + Cimento.....	43
Figura 5 - Cimento e Areia	44
Figura 6 - Concreto referência.....	44
Figura 7 - CBC na betoneira com a Brita.....	44
Figura 8 - Concreto com CBC.....	44
Figura 9 - Moldagem dos CPs de concreto com CBC.....	45
Figura 10 - Adensamento do concreto com CBC.....	45
Figura 11 - Fôrmas para moldagem dos CPs.....	45
Figura 12 - Corpos de prova moldados.....	45
Figura 13 - Corpos de prova na câmara úmida.....	45
Figura 14 - Corpos de prova com capeamento de enxofre.....	45
Figura 15 - Procedimento do Slump test.....	46
Figura 16 - Início do Slump test – adensamento.....	47
Figura 17 - Moldagem do concreto.....	47
Figura 18 - Retirada do funil para início da medição.....	47
Figura 19 - Medição do valor do Slump do concreto.....	47
Figura 20 - Aparelho de medir o ar incorporado ao concreto.....	48
Figura 21 - Mesa vibratória para adensamento do concreto.....	49
Figura 22 - Câmara de capeamento dos CPs	50
Figura 23 - Capeamento dos CPs com enxofre.....	50
Figura 24 - Ensaio de compressão.....	51
Figura 25 - Ensaio de tração por compressão diametral.....	52
Figura 26 - Ensaio de módulo de elasticidade.....	53
Figura 27 - Corpos de prova antes do início do ensaio.....	55
Figura 28 - Corpos de prova mergulhados em solução de Ácido Lático.....	55
Figura 29 - Corpo de prova referência pesado a cada ciclo.....	55

Figura 30 - Corpo de prova com CBC pesado a cada ciclo.....	55
Figura 31 - Estufa p/ secagem dos Corpos de prova.....	56
Figura 32 - Corpo de prova Imersos em água.....	57
Figura 33 - Detalhe do ensaio.....	58
Figura 34 - Detalhe dos CPs em nível d'água de 5,0 mm.....	58
Figura 35 - Detalhe dos CPs imersos em solução de NaCl.....	59
Figura 36 - Detalhe do suporte de apoio para os CPs.....	59
Figura 37 - Corpo de prova referência após final do ciclo.....	60
Figura 38 - Corpo de prova com CBC após final do ciclo.....	60
Figura 39 - Detalhe da forma do CP de modelagem.....	61
Figura 40 - Detalhe do CP após concretagem.....	61
Figura 41 - Aparelho de ensaio à abrasão.....	61
Figura 42 - Posição do CP para o início de ensaio.....	61
Figura 43 - Detalhe da fôrma do ensaio.....	62
Figura 44 - Detalhe dos CPs após concretagem.....	62
Figura 45 - Detalhe do ensaio de permeabilidade.....	63
Figura 46 - Detalhe do indicador de pressão = 0,1 MPa.....	63
Figura 47 - Detalhe do CP na prensa hidráulica.....	63
Figura 48 - Corpo de prova de referência no final do ensaio.....	63
Figura 49 - Resistência à compressão de concretos com diferentes substi - tuições de areia por cinza (CBC).....	65
Figura 50 - Resultados ensaio tração por compressão diametral(MPa)....	67
Figura 51 - Resultados do ensaio de módulo de elasticidade em GPa.....	69
Figura 52 - Absorção da água.....	70
Figura 53 - Detalhe do nível da lâmina de umidade por capilaridade no CP com CBC mais crítico.....	72
Figura 54 - Detalhe do nível da lâmina de umidade por capilaridade no CP referência mais crítico.....	73
Figura 55 - Ensaio de absorção de água por capilaridade (g/cm ²).....	73
Figura 56 - Corpo de prova de CBC após rompimento.....	74
Figura 57 - Lâmina d'água de penetração mínima no CP de CBC.....	74
Figura 58 - Corpo de prova de referência após rompimento.....	74
Figura 59 - Lâmina d'água de penetração do CP de referência.....	74

Figura 60 - Perda de massa do concreto como resultado da ação de solução contendo ácido láctico.....	75
Figura 61 - à esquerda CP(CBC) e à direita CP refer. depois do 1° ciclo..	76
Figura 62 - Corpo de prova de CBC depois do 1° ciclo.....	76
Figura 63 - Corpo de prova de CBC depois do 2° e último ciclo.....	76
Figura 64 - Perda de massa(%) por ataque químico.....	77
Figura 65 - Corpos de prova após 2° ciclo ao ataque químico.....	78
Figura 66 - Corpos de prova após o capeamento.....	78
Figura 67 - Ensaio de compressão do CP de referência.....	79
Figura 68 - Ensaio de compressão do CP com CBC.....	79
Figura 69 - Resultados do ensaio de resistência à compressão em MPa..	80
Figura 70 - No detalhe CPs depois de retirados da solução de NaCl.....	81
Figura 71 - Corpo de prova de CBC em exposição ao sol.....	82
Figura 72 - Corpo de prova de referência em exposição ao sol.....	82
Figura 73 - Média profundidade penetração dos cloretos “mm” nos CPs..	83
Figura 74 - Detalhe “em branco” do início da reação com o Nitrato de prata no CP de CBC.....	84
Figura 75 - Detalhe à direita “em vermelho” da penetração de íons de cloretos no CP com CBC.....	84
Figura 76 - Resultados do ensaio de abrasão /erosão em perda de massa (%) após 72 horas.....	85
Figura 77 - Aparência após desgaste de 72 horas de ensaio abrasão /erosão para o CP de referência.....	86
Figura 78 - Aparência após desgaste de 72 horas de ensaio de abrasão/erosão para o CP de CBC.....	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização do cimento CP-V-ARI Plus.....	34
Tabela 2 - Continuação Caracterização do cimento CP-V-ARI Plus.....	34
Tabela 3 - Caracterização do agregado miúdo.....	36
Tabela 4 - Caracterização do agregado graúdo.....	38
Tabela 5 - Caracterização Química da CBC.....	40
Tabela 6 - Dosagem dos concretos utilizados.....	42
Tabela 7 – Resultados: teste de abatimento do tronco de cone e medi - ção de ar incorporado dos concretos.....	64
Tabela 8 - Resultados do ensaio de resistência à compressão em MPa... 65	65
Tabela 9 - Resultados ensaio tração por compressão diametral (MPa)....	66
Tabela 10 - Resultados do ensaio de módulo de elasticidade em GPa....	68
Tabela 11 - Resultados do ensaio de absorção em %.....	70
Tabela 12 - Intervalo amostragem p/ ensaio absorção por capilaridade... 71	71
Tabela 13 - Perda de massa (%) por ataque químico em ciclos.....	77
Tabela 14 - Resultados do ensaio de resistência à compressão em MPa (ataque químico).....	79
Tabela 15 - Média profundidade de penetração cloretos(mm) nos CPS....	82
Tabela 16 - Resultados do ensaio de abrasão/ erosão em perda de massa (%) após 72 horas.....	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Massa do CP saturado
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
B	Massa do CP saturado
C	Absorção por capilaridade
CAD	Concreto de Alto Desempenho
CAR	Concreto de Alta Resistência
CBC	Cinza de Bagaço de Cana de Açúcar
CONCREBRAS	Concrebrás
CESP	Companhia Energética de São Paulo
CP	Corpo-de-prova
CPV ARI PLUS	Cimento Portland de Alta Resistência inicial Plus
LCEC	Laboratório CESP de Engenharia Civil
NBR	Norma Brasileira Registrada
NM	Norma Mercosul
S	Área transversal em contato com a água
SA	Sílica Ativa
UNESP	Universidade Estadual Paulista

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Massa do CP saturado
a/c	Relação água/cimento
AgNO ₃	Nitrato de Prata
B	Massa do corpo-de-prova seco em estufa
C	Absorção por capilaridade
C ₃ H ₆ O ₃	Acido Láctico
cm	centímetro
CaCl ₂	Cloreto de Cálcio
CaCO ₃	Carbonato de Cálcio
Ca (OH) ₂	Hidróxido de Cálcio
C ₂ S	silicato bicálcico
C ₃ S	silicato tricálcico
Cl ⁻	Íon Cloreto
CO ₂	Dióxido de Carbono – Gás Carbônico

Kg	Kilograma
L	Comprimento do corpo de prova
mm	Milímetros
MPa	Mega Pascal
Ms	Massa do CP seco em estufa
Msat	Massa do CP saturado
NaCl	Cloreto de Sódio
O ₂	Oxigênio
P	Carga de ruptura lida na prensa
Psat	Peso saturado
Ps	Peso seco
SO ₃	Sulfeto
σ_T	Tensão de tração na ruptura (MPa);

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Considerações Iniciais.....	16
1.2	Definição do Problema.....	18
1.3	Objetivos.....	18
1.4	Justificativa.....	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1	Concreto de Alto Desempenho.....	19
2.2	Cinza do Bagaço da cana-de-açúcar (CBC).....	23
2.3	Durabilidade do Concreto.....	29
3	PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	32
3.1	MATERIAIS.....	32
3.1.1	Cimento.....	32
3.1.2	Agregado miúdo.....	35
3.1.3	Agregado graúdo.....	37
3.1.4	Cinza do bagaço de cana-de-açúcar(CBC).....	39
3.1.5	Água.....	41
3.1.6	Aditivo.....	41
3.1.7	Acido Láctico.....	41
3.1.8	NaCl.....	41
3.1.9	Água destilada.....	42
3.1.10	Nitrato de Prata (AgNO ₃).....	42
3.2	METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	42
3.2.1	Dosagem do concreto.....	42
3.2.2	Preparação dos concretos.....	43
3.2.3	Teste de abatimento do tronco de cone (slump test).....	46
3.2.4	Medição do ar no concreto.....	48
3.2.5	Adensamento.....	48
3.2.6	Cura dos corpos de prova.....	49
3.2.7	Capeamento.....	49
3.2.8	PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	50

3.2.8.1 Resistência à compressão.....	50
3.2.8.2 Resistência à tração por compressão diametral.....	51
3.2.8.3 Módulo de elasticidade.....	52
3.2.9 ENSAIO DE DURABILIDADE.....	53
3.2.9.1 Introdução.....	53
3.2.9.2 Resistência ao Ataque Químico.....	54
3.2.9.2.1 Ácido Lático.....	54
3.2.9.3 Absorção de água.....	56
3.2.9.4 Absorção por Capilaridade.....	57
3.2.9.5 Frente à penetração de cloretos.....	59
3.2.9.6 Ensaio Abrasão / Erosão	60
3.2.9.7 Permeabilidade à Água.....	62
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
4.1 Teste de abatimento do tronco de cone e de ar incorporado.....	64
4.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	64
4.2.1 Resistência à compressão axial.....	64
4.2.2 Resistência à tração por compressão diametral.....	66
4.2.3 Módulo de elasticidade.....	68
4.2.4 ENSAIO DE DURABILIDADE.....	69
4.2.4.1 Absorção.....	69
4.2.4.2 Absorção de água por capilaridade.....	71
4.2.4.3 Permeabilidade à água.....	74
4.2.4.4 Resistência ao ataque químico (ácido láctico).....	75
4.2.4.5 Ensaio de Resistência à compressão.....	78
4.2.4.6 Frente à penetração de cloretos no concreto.....	81
4.2.4.7 Abrasão / Erosão.....	85
5 CONCLUSÕES.....	87
6 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	89
REFERÊNCIAS.....	90

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

O concreto de alto desempenho, doravante CAD, é considerado de alta resistência à compressão (geralmente $> 40,0$ MPa) e apresenta alta durabilidade. Reúne também outros fatores, além das resistências elevadas, possui alto índice de impermeabilidade, ou seja, é um concreto de baixa porosidade e também de fácil aplicabilidade devido à utilização de aditivos superplastificantes (PORTAL DO CONCRETO, 2013).

Pode-se dizer que um concreto com mesmas características de fator água/cimento e consumo de cimento, dentro das condições básicas de concreto impermeável, com adição de sílica ativa ou Metacaulim na ordem de 5 a 12%, pode garantir uma impermeabilidade de 10 a 20 vezes superior. Isso aumenta a vida útil das estruturas, mesmo em ambientes extremamente agressivos (PORTAL DO CONCRETO, 2013).

O CAD é um concreto de avançada tecnologia e, com suas características de alta resistência mecânica, possui elevada durabilidade e resistência química, baixa deformabilidade, que possibilita desempenho inigualável na redução das seções de peças comprimidas, e ganho de área útil. Assim, reduz o peso próprio das estruturas, a taxa de armadura, a área de fôrmas e os custos de uma estrutura. Por todos esses fatores, é comumente utilizado por arquitetos e engenheiros que buscam avançar no conceito de sustentabilidade da construção civil, priorizar o aumento significativo da área útil das edificações, reduzir o consumo de materiais como o aço, aumentar a durabilidade, reduzir o consumo de energia e atingir alto desempenho (CONCREBRÁS, 2013).

Pela grande resistência do material, ele é altamente recomendável em estruturas expostas ao ataque de cloretos e sulfatos, como por exemplo: estações de tratamento de esgoto, coletores de esgoto, estações de tratamento de água, obras marítimas, instalações portuárias, fábrica de adubos, entre outros (PORTAL DO CONCRETO, 2013).

Em relação ao meio ambiente, o setor da construção civil tem papel fundamental para a realização dos objetivos globais de desenvolvimento sustentável. Existem ainda os impactos provocados pela geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. A constante preocupação com a preservação do meio ambiente tem incentivado a busca de diversas alternativas para substituição dos agregados naturais ou do cimento com incorporação de certos resíduos na confecção de argamassas e concretos (MACEDO, 2009).

A possibilidade de se adicionar materiais silicosos ou alumino-silicosos, oriundos de resíduos industriais e agroindustriais, ao cimento Portland, substituindo o clínquer por materiais alternativos, é de suma importância para diminuir o impacto ambiental causado por esses resíduos se fossem eliminados no meio ambiente. Portanto, esta adição surge como alternativa para se diminuir a produção de resíduos que seriam liberados no meio ambiente. (CASTALDELLI et al., 2010).

Neste contexto, as cinzas residuais são materiais com elevado potencial para serem utilizadas na fabricação do concreto. Por isso, analisou-se a cinza proveniente da queima do bagaço da cana-de-açúcar para a geração de energia em usinas de açúcar e álcool, quando adicionada ao concreto na produção de um concreto de alto desempenho.

Na atualidade, o Brasil vive um excelente momento no setor sucroalcooleiro, pois é o maior produtor e consumidor de açúcar e etanol do mundo, domina a tecnologia de produção na parte agrícola e também industrial e tem o custo de produção mais baixo em relação a outros países.

No processo de produção do complexo sucroalcooleiro, gera-se um resíduo chamado bagaço, que é utilizado na geração de energia por meio da queima em caldeiras, restando ao final, cinzas residuais do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), geralmente lançadas no meio ambiente de forma inadequada. Estas cinzas ocupam lugar de destaque dentre os resíduos agroindustriais por resultarem de processos de geração de energia (LIMA et al., 2010).

Sabe-se que a CBC é composta predominantemente por sílica, um composto químico com potencial pozolânico. Por este motivo, a cinza de bagaço de cana-de-açúcar torna-se um material com grande potencial para ser utilizado na confecção de concreto, substituindo parte do cimento Portland ou agregados.

Como a cada dia as obras estão necessitando de maior resistência, o concreto de alto desempenho (CAD) vem sendo mais utilizado. Para produção de

um CAD mais sustentável, o estudo da adição de CBC em sua composição torna-se bastante viável.

1.2 Definição do Problema

A abundância de resíduos, como a cinza de bagaço de cana-de-açúcar, tem gerado grandes problemas ambientais, a saber: contaminação dos solos, da água, problemas para a saúde humana, desenvolvidos pelos focos de criação de mosquitos transmissores de doenças, e muitos outros problemas que causam danos ao meio ambiente.

Além disso, é possível reduzir o consumo de matéria-prima, areia (agregados miúdos), utilizada na produção de concretos, que também, quando retirada em excesso, causa danos ao meio ambiente.

1.3 Objetivos

O objetivo principal do trabalho é estudar a possibilidade de se reutilizar a cinza do bagaço de cana-de-açúcar, substituindo-a, parcialmente, pelo agregado miúdo (areia).

Como objetivos específicos, pretende-se estudar a influência da porcentagem de substituição de areia por cinza; avaliar as propriedades mecânicas de concretos produzidos com CBC; e, por fim, observar a influência da CBC na durabilidade dos concretos produzidos.

1.4 Justificativa

O CBC, por ser um material de composição pozolânica e por possuir a sílica em sua composição química, torna-se matéria-prima potencial para a produção de cimentos Portland compostos, justificando assim a sua aplicação em substituição por parte do agregado miúdo, que tem características inertes.

Com a utilização do resíduo do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) para elaboração de concretos comuns, e que neste caso é o concreto de alto

desempenho, obtém-se como vantagem a diminuição da quantidade deste resíduo lançado no meio ambiente, melhorando, assim, a qualidade de vida como um todo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Concreto de Alto Desempenho

O que hoje conhecemos por CAD (Concreto de Alto Desempenho) surgiu em meados da década de 1950, na Noruega, onde ainda era conhecido como CAR (Concreto de Alta Resistência), visto que a característica que o diferenciava e o fazia se destacar dos outros tipos de concreto feitos até então era a sua alta resistência à compressão. No Brasil, começou a ser utilizado só na década de 1990.

Essa característica permitiu que o CAD ganhasse espaço nas obras, possibilitando a execução de projetos mais complexos e ousados. Durante muito tempo, apenas a vantagem da alta resistência à compressão foi levada em conta, entretanto, com o passar dos anos, foi necessária uma nova definição que se tornasse consenso no meio técnico e que incluísse outras características de igual importância como a durabilidade e a compacidade (TÉCHNE, 2002).

Assim, o conceito de alto desempenho tem como definição concretos com altas resistências à compressão, mas que também tenham outras propriedades de características de essencial importância como o alto módulo de elasticidade, alta massa específica, baixa permeabilidade e resistência adequada para resistir aos ataques dos agentes agressores do meio externo (NEVILLE, 1997).

Concretos considerados CAD têm resistência à compressão superior a 40 MPa, por esta razão, estes grandes valores se tornam necessários para estruturas que precisam ser compostas por peças de dimensões menores. Além disso, o uso do CAD proporciona outras vantagens, como: diminuição na quantidade e metragem das formas, desfôrmas mais rápidas, e maior rapidez na execução da obra. Todo esse alto desempenho é possível porque utiliza adições e aditivos especiais que reduzem a porosidade e a permeabilidade, o que torna as estruturas elaborados com esse tipo de concreto mais resistentes ao ataque de agentes agressivos, tais como: dióxido de carbono, sulfatos, cloreto e a maresia. (PORTAL DO CONCRETO, 2013).

Além de todos esses fatores benéficos, é importante também ressaltar o maior preço do CAD em comparação ao do concreto convencional. Todavia, as maiores resistências trouxeram alterações significativas no material concreto que possibilitaram melhorias, haja vista a redução da taxa de aço, formas mais esbeltas e menor área de fôrma, que permitiram a redução de custos indiretos, ou seja, menor custo do sistema como um todo, o que comprovou a viabilidade econômica da utilização de resistências mais elevadas.

Seguindo o mesmo caminho, o uso cada vez mais intenso de métodos computacionais para otimização do processo permitiu a verificação de hipóteses alternativas para contornar possíveis danos e deformações provocadas pela menor rigidez das formas esbeltas e novas soluções como lajes protendidas, lajes nervuradas, lajes espessas sem vigas, núcleos de edificações com paredes inteiras de concreto atuando estrategicamente na limitação dos deslocamentos, entre outras, que contribuíram para o melhor aproveitamento das altas resistências na redução dos custo e manutenção da estabilidade global das estruturas (HERVÉ NETO, 2005).

Segundo Almeida et al. (2005), o CAD é uma evolução tecnológica dos concretos tradicionais, visto que novos produtos químicos e adições minerais foram pesquisados, o que tornou o concreto muito mais resistente do que os concretos convencionais.

Segundo Amaral Filho (1992), uma das grandes diferenças de um concreto convencional para o de alto desempenho é o maior controle na seleção dos materiais e nas etapas de dosagem, mistura, adensamento, transporte e cura, e o uso preciso de aditivos químicos e minerais. Tudo isso permite a produção de concretos com propriedades melhoradas.

A redução na quantidade de água, isto é, a redução na relação água / cimento(a/c), aumenta a resistência do concreto, mas reduz a trabalhabilidade do concreto fresco. Por isso os concretos de alto desempenho são produzidos com aditivos que permitem reduzir a quantidade de água mantendo e até melhorando a trabalhabilidade (AMARAL FILHO, 1998)..

A adição da sílica ou outros “fillers” preenche os vazios da zona de transição do aglomerante/agregado, proporcionando uma estrutura mais compacta (AMARAL FILHO, 1998).

Contudo, pode-se dizer que CAD é sinônimo de concreto com sílica ativa, pois esta, como regra geral, é a única forma de obter-se as qualidades requeridas dentro do enfoque custo-benefício (AMARAL FILHO, 1998).

Outra característica importante que diferencia o CAD do concreto convencional é a permeabilidade, definida como a capacidade de um material de transmitir um fluido, em geral, a água. Como o CAD apresenta um valor bem reduzido da razão água/aglomerante, a consequência disso é uma baixíssima ou nenhuma permeabilidade. Esta propriedade é crucial para se adquirir longa durabilidade de estruturas expostas em meios agressivos (METHA; MONTEIRO, 2008).

Atualmente, muitas obras requerem concreto com maior resistência do que o convencional por inúmeros motivos, em razão disso, o concreto de alto desempenho vem sendo cada vez mais utilizado. Para exemplificar, elencamos algumas obras em que o CAD foi utilizado: as torres Petronas em Kuala Lumpur - Malásia, construídas em 1997; O Burj Dubai, em Dubai, nos Emirados Árabes, construído em 2010. Estes edifícios foram recordistas em altura no tempo de sua construção. No Brasil, temos o famoso edifício comercial e-Tower em São Paulo, concluído em 2005. Nesta obra, o CAD no canteiro de obra atingiu a resistência à compressão de 125 MPa, valor recorde no país (RIBEIRO, 2010).

Libório et al. (2003) relatam que a resistência mecânica dos concretos aumentou, mas a quantidade e o tipo de material utilizado também sofreram alteração. Em 1960, com 350 kg de cimento/m³ e relação a/c igual à 0,45, produziam-se concretos com resistência à compressão aos 28 dias de 30 MPa a 35 MPa. Para uma mesma resistência, nos concretos produzidos em 1985, utilizaram-se 250 kg de cimento/m³ e relação a/c igual a 0,60, porém com propriedades diferentes. Assim, além da baixa porosidade e permeabilidade apresentadas pelo CAD, Libório complementa que é um material cientificamente produzido, que atende as expectativas do cliente, do ponto de vista estrutural, da estética, da durabilidade diante do meio ambiente atual e futuro, para fins predeterminados. Deve ser econômico (custo/benefício) e propiciar vantagens frente a outras alternativas tecnológicas.

A viabilidade de produção do CAD foi facilitada primeiramente com a aplicação dos aditivos superplastificantes, pois a utilização de aditivos químicos possibilita a completa dispersão dos grãos de cimento, permitindo assim a obtenção

de misturas mais trabalháveis com baixa relação água/cimento e, portanto, aumentos significativos na resistência e durabilidade.

O uso de aditivos superplastificantes permite a obtenção de CAD de alta consistência com abatimento de até 20 ± 2 cm com coesão adequada para o lançamento e com pouco risco de segregação. A consistência do CAD é determinada por meio do ensaio do abatimento do tronco de cone (AİTCIN, 2000).

Como a quantidade de água no concreto de alto desempenho é baixa, as partículas de cimento acabam por não hidratar em sua totalidade, pois a união de pequenas partículas de cimento impede a hidratação por não ter também água em abundância para auxiliar na separação dos grãos de cimento. Sendo assim, torna-se quase indispensável o uso de superplastificantes para uma maior dispersão dos grãos dos aglomerantes e agregados (AİTCIN, 2000).

Segundo Almeida et al. (2005), o potencial de aplicação do CAD pode ser agrupado em três categorias gerais: propriedades que beneficiam o processo de construção, aumento das propriedades mecânicas e aumento das propriedades que geram maior durabilidade. O CAD tem um custo inicial por unidade de volume maior que o concreto convencional. Entretanto, isto pode ser justificado pelos seguintes fatores: a alta resistência inicial que pode reduzir os custos da construção, o aumento das propriedades mecânicas reduzindo as dimensões dos elementos estruturais e o aumento da durabilidade, aumentando assim a vida útil da estrutura.

Segundo Almeida et al. (2005), a aplicação dos concretos de alta resistência não se restringe aos edifícios altos, ao contrário, verificou-se que a economia obtida na execução de peças de concreto, por exemplo, também pode ser obtida na construção de edifícios médios e baixos.

Na produção do CAD, são utilizados alguns aditivos químicos e adições minerais, dentre esses, os mais utilizados são os aditivos superplastificantes, que são aditivos desenvolvidos para se obter uma taxa de redução de água acima de 12%. Este aditivo agrega ao concreto em que é utilizado propriedades importantes como maior facilidade no lançamento, alta resistência inicial e mínima exsudação. Ao longo da vida útil da estrutura é essencial o controle de qualidade e verificação das propriedades do CAD (TORALLES-CARBONARI et al., 2010).

O uso de sílicas resulta em concretos mais coesos (sem exsudação ou segregação) e é muito eficiente na produção de concretos fluidos. As pequenas partículas de sílica agem como esferas rolantes no concreto e passam a fazer parte

da solução de água do poro, o que, conseqüentemente, promove o aumento da fluidez da mistura. Embora o concreto incorporado com sílica pareça ser pegajoso, ele é muito mais fluido que qualquer outro concreto quando lançado em um molde (ZAIN; SAFIUDDIN; YUSOF, 1999).

Assim, com a introdução de sílicas nos concretos, as propriedades mecânicas e a trabalhabilidade deles são melhoradas, enquanto a permeabilidade e a porosidade capilar são reduzidas. Com o refinamento dos poros, a zona de interface entre o agregado e a pasta de aglomerante (cimento e sílica) é drasticamente reduzida e a exsudação interna e superficial da mistura é minimizada. Tudo isso leva a um alto desempenho do concreto com conseqüente aumento de sua durabilidade (ZAIN; SAFIUDDIN; YUSOF, 1999).

Desse modo, a tecnologia que envolve o concreto de alto desempenho tem evoluído veementemente nos últimos tempos, com destaque para as formas de obtenção do material. Além disso, importantes vantagens estruturais e econômicas são obtidas quando se utiliza este tipo de concreto, entre elas, baixa permeabilidade, baixa porosidade, elevada resistência à abrasão, menor custo de manutenção, menor tempo de execução e redução das seções das peças (SILVA, 2010).

2.2 Cinza de Bagaço de Cana-de-açúcar (CBC)

Na indústria sucroalcooleira, por muitos anos, existiu o grande desafio em relação ao descarte dos resíduos gerados no processo de produção de açúcar e álcool. Isso se deu porque o processo produtivo gerava problemas quando os resíduos eram descartados no meio ambiente. Atualmente, tornou-se uma vantagem econômica utilizar esses resíduos.

A ineficiente gestão desses resíduos pode significar desperdício de material e extração de recursos naturais não renováveis, poluição devido ao descarte inadequado e prejuízos econômicos para as Prefeituras, que lidam com alguns problemas relacionados a esse resíduo, tais como: enchentes por entupimento das galerias pluviais; contaminação de rios e riachos devido à deposição irregular de RCDs nas regiões ribeirinhas; favorecimento da proliferação de vetores e doenças,

além do alto custo para limpeza de terrenos e a diminuição da vida útil dos aterros sanitários (FERNANDES; PIMENTEL, 2011).

Durante a extração do caldo da cana-de-açúcar, é gerada grande quantidade de bagaço (Figura 01), biomassa de suma importância, pois é fonte energética. Constituída basicamente de sílica, SiO_2 , a cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) tem potencial para ser utilizada como adição mineral, substituindo parte do cimento em argamassas e concretos. Proporciona benefícios ao concreto pelas propriedades mecânicas e o pelo efeito químico que desempenha, dando durabilidade e resistência ao concreto. Os efeitos físicos são muitos quando associados às características dos materiais da mistura do concreto final (CORDEIRO et al., 2008).

Figura 1- bagaço da cana-de-açúcar



Fonte: do próprio autor

O reuso da cinza de materiais gerados em indústrias, na produção de concreto, é cada vez mais praticado. Sabe-se que a incessante geração de restos de materiais sólidos, é um sério problema para o meio ambiente (VILLAR-COCINÃ et al., 2006).

Atualmente, a destinação das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) é um dos problemas enfrentados pelos administradores das usinas. A fuligem gerada no processo é recolhida a partir de técnicas de lavagem e decantação e, juntamente com a cinza de caldeira, constituem-se em resíduos finais do processo industrial, no qual não há possibilidade de redução.

Conforme Villar-Cociña et al. (2006), é muito importante estudar e desenvolver uma tecnologia produtiva ou um método que resolva a eficiência do reuso das cinzas.

Os materiais pozolânicos, em muitos casos, pós-produção industrial, podem ser adicionados aos cimentos Portland. Esses materiais possuem uma capacidade de reação com o hidróxido de cálcio que foi produzido durante a hidratação do cimento portland. É sabido que os componentes formados durante esta reação pozolânica melhoram, de certa forma, a performance do cimento como um todo (VILLAR-COCINÁ et al., 2006).

De acordo com Villar-Cociña et al. (2006), para os casos da CBC, os resultados experimentais foram satisfatórios. Recentemente pesquisas sobre reações pozolânicas, em que se utilizou o comportamento destas reações, substituindo o agregado miúdo pela CBC, demonstraram boas propriedades pozolânicas como adição mineral.

Martins e Machado (2010) utilizaram a CBC em substituição à areia na fabricação de concretos. A relação a/c chegou à 0,60 para os maiores teores de substituição (de 40% e 50%) e obtiveram valores máximos de resistência à compressão, aos 28 dias, para teores de substituição de 20%, em massa.

Vanderlei et al. (2011) aplicaram a CBC como substituto parcial da areia em concretos. O estudo utilizou o cimento Portland CP V ARI e a cinza de bagaço de cana-de-açúcar coletada no estado do Paraná. Os concretos foram dosados em três tipos diferentes de traço, dois tipos de abatimento (60 ± 10 mm e 90 ± 10 mm) e teores de substituição entre 0% e 30% em massa. O consumo de cimento variou entre 291,98 Kg/m³ e 517,70 Kg/m³ e os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão na idade de 3,7 e 28 dias.

Para todos os traços, a resistência à compressão aumentou à medida que se aumentou o teor de cimento. Em relação à evolução dos valores de resistência em relação à idade de ruptura, o teor de 15% teve o melhor comportamento em relação aos demais. Aos 28 dias, atingiu-se um ganho de 23,7% de resistência em comparação à referência, com um valor de 45,2 MPa.

A cinza de bagaço de cana-de-açúcar, como adição mineral, reage à mistura em temperatura aproximada que vai de 800 °C a 1000 °C (VILLAR-COCINÁ, et al., 2006).

Para a condução do experimento com qualidade ou para determinação da quantidade de atividade pozolânica, muitos métodos experimentais têm se desenvolvido no decorrer dos estudos. A maioria deles é baseada na medida em que haja reações dos materiais pozolânicos com o hidróxido de cálcio, lançados durante a hidratação do cimento (VILLAR-COCIÑA, et al., 2006).

A cinza do bagaço de cana-de-açúcar apresenta uma grande quantidade de dióxido de silício, acima de 60%, em massa, e é proveniente da absorção das raízes na forma de ácido monossílico ou mesmo da areia (quartzo), oriunda da lavoura que não foi removida em sua totalidade na lavagem da cana-de-açúcar. Esta areia permanece no bagaço e pode ser observada nas operações de limpeza dos salões das caldeiras, onde ocorre a combustão (CORDEIRO, 2006).

Em princípio, qualquer cinza, de origem industrial ou vegetal, predominantemente siliciosa, que possa ser produzida no estado amorfo e com finura adequada, pode ser utilizada como adição mineral. Sua reatividade vai depender da composição química, bastante influenciada pelo produto que gerou a cinza, pelo solo e pelo processo de produção da cinza, desde que contenham elevado teor de sílica amorfa, que pode ser de utilização viável como adição mineral (JOHN et al., 2003).

Segundo Araújo (2011), a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) vem sendo estudada tanto como adição mineral quanto como material inerte aplicado em materiais cimentícios, principalmente pelo aumento da geração desse resíduo em função da alta produção de álcool combustível e de açúcar nos últimos anos.

Souza et al. (2007) estudaram a influência da substituição parcial do cimento CII-F32 por CBC na produção de argamassas. Os resultados experimentais indicaram que a substituição de 10% do cimento por CBC diminuiu em 2% a resistência à tração da argamassa. A argamassa, com substituição de 20% do cimento, apresentou queda de 7% na resistência em relação à argamassa de referência.

Souto et al. (2009) avaliaram a influência da cinza da cana in natura em substituições parciais do cimento Portland. Os ensaios iniciais demonstraram resultados significativos em teores de substituições inferiores a 15% em comparação ao traço padrão. Com a utilização de 10% da cinza, não houve comprometimento na resistência à compressão axial e à consistência. Observaram, também, a influência desse resíduo na consistência do concreto, uma vez que os valores do abatimento

aumentou em mais de 20% para o teor de 25% de cinza, em relação ao concreto referência.

Para Nunes et al. (2008), a substituição de até 13% de cimento pelas cinzas produziu um ganho considerável na resistência, em que a taxa de 7% produziu a maior resistência. Acima desses valores, houve uma queda na resistência do concreto após 28 dias. O ganho de resistência nas primeiras idades também foi relevante, o que pode ser explicado pelo preenchimento do espaço entre as partículas grossas por partículas finas.

Araújo (2011) substituiu de 30% a 50%, em massa, de areia por cinza do bagaço da cana-de-açúcar, mantendo a mesma consistência dos traços de referência. Os concretos produzidos com CBC apresentaram ligeiro aumento na rigidez do produto com relação ao concreto referência.

Souza et al. (2007) utilizaram cinzas residuais do bagaço (CBC), com índice de atividade pozolânica de 86%, em substituição parcial ao cimento na produção de três traços de argamassas (uma padrão e outros dois com substituição de 10% e 20% do cimento por CBC) e caracterizaram experimentalmente no estado endurecido. Os resultados experimentais mostram que ambos os traços, produzidos com substituição parcial do cimento por CBC, tiveram desempenho igual ou superior quanto à resistência à compressão do traço padrão na idade de 28 dias, comprovando que o material é eficaz para o teor de substituição.

Macedo (2009) também substituiu o agregado miúdo pela CBC em argamassas, no traço 1:3 em massa com relação água/cimento 0,48. Os teores de substituição foram de 0%, 3%, 5%, 8% e 10%, com cinco corpos-de-prova para cada traço. Pelos resultados do ensaio de resistência à compressão aos 56 dias, todos os traços com CBC obtiveram resistência superior ao traço controle, o que pode ser atribuído ao efeito físico de preenchimento dos vazios pelos grãos finos da cinza e à ação do aditivo superplastificante, presente nos traços com 5%, 8% e 10% de CBC. Houve um acréscimo de 23% da resistência à compressão, aos 56 dias, do traço controle para o traço com 10% de CBC.

Os ensaios de compressão de argamassa de Ganesan, Rajagopal e Thangavel (2007) indicaram a possibilidade de substituição de até 20% do cimento pela CBC, sem que alterasse as propriedades de resistência à compressão e à tração por compressão diametral no concreto.

Castaldelli et al. (2010) observaram que, no ensaio de resistência à compressão e tração por compressão diametral, quanto maior a porcentagem de massa de cimento substituída por CBC, menor será a resistência obtida. No ensaio de absorção, notou-se uma “porcentagem ótima”, pois com 10% de substituição obteve-se o concreto com menor absorção em relação aos demais.

Temos também que materiais pozolânicos são materiais silicosos ou silico-aluminosos que possuem pouco ou nenhuma propriedade cimentante, mas, quando finamente divididos e na presença de umidade, reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio, à temperatura ambiente para formar composto com propriedades cimentantes NBR12653 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2012).

Os agregados minerais são compostos por uma mistura que podem reunir pó de quartzo, materiais metálicos, escória granulada de alto forno, sílica ativa, metacaulin, pigmentos e aditivos. O uso dessas adições tem proporcionado concretos cada vez mais resistentes e duráveis, com a simplicidade de apenas melhorar as propriedades já existentes no concreto tradicional (CIMENTO ITAMBÉ, 2013).

Payá et al. (2002) compararam o desempenho de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar coletadas em usina, na Colômbia, com as cinzas de bagaço de cana-de-açúcar queimadas em laboratório usando técnicas de termogravimetria. A cinza coletada da usina teve temperatura de queima superior a 800°C, enquanto que a cinza queimada em laboratório, tiveram temperatura de queima a 600°C por uma hora. Os resultados mostraram que a cinza, sob condições laboratoriais, fixou mais hidróxido de cálcio do que a cinza coletada da usina, isto porque a baixa temperatura de queima da cinza de laboratório disponibilizou mais sílica e alumina reativas para reagir com a cal.

Os resultados obtidos por Singh, Singh e Rai (2000) mostraram que a argamassa contendo 10% de cinza do bagaço de cana-de-açúcar em relação ao cimento apresentou um ganho de resistência superior ao da argamassa controle em todas as idades, sendo este valor de adição da cinza considerado o limite ótimo.

A cinza de bagaço de cana-de-açúcar utilizada por Caldas et al. (2000), mostrou comportamento semelhante à cinza de casca de arroz - material de reconhecida atividade pozolânica – tendo aumento da resistência à compressão para valores até 5% de adição, além da redução da absorção com o aumento do

teor de cinza e do aumento da compacidade da argamassa para todas as idades e teores de cinza.

A termogravimetria, difração de raios X e microscopia eletrônica de varredura, Martirena-Hernández et al. (2001) confirmaram a formação de compostos estáveis, silicatos de cálcio hidratado e o consumo de hidróxido de cálcio durante a reação pozolânica nas pastas contendo CBC.

2.3 Durabilidade do Concreto

A expressão durabilidade do concreto se constitui, de forma ampla, do comportamento do concreto aos agentes agressores do meio ambiente.

Desse modo, a durabilidade pode ser expressa como a capacidade de uma estrutura em manter um desempenho mínimo num determinado período de tempo, sob a influência de agentes agressivos. Para isso, é necessário ter a finalidade e os agentes agressores desta estrutura, para analisar o seu comportamento ao longo do tempo (METHA; MONTEIRO, 1994).

Conforme Andrade (2005), concreto durável é aquele que, quando submetido ao trabalho, durante vida útil, possui capacidade de resistir às intempéries, aos agentes agressores, aos processos de deterioração, mantendo sua qualidade, forma, utilidade, segurança e estabilidade. Cuidados e procedimentos específicos relativos à durabilidade devem ser tomados em todas as etapas de vida da estrutura, desde a etapa de levantamento de dados para elaboração do projeto, a fim de assegurar o bom desempenho da estrutura e prevenir as patologias.

A durabilidade de uma estrutura, de certa forma, está relacionada com materiais que a constituem. São exemplos disso: os agregados, o cimento, o aço, a água e as adições .

Não tem como medir com exatidão a durabilidade do concreto, ou seja, não existe uma forma certa. Há vários modelos empíricos e outros experimentais que podem ser realizados para mensurar a durabilidade do concreto, mas as condições de contorno são muitas e geralmente específicas para cada tipo e agentes agressivos nas obras de todo o mundo.

Com as últimas inovações tecnológicas da engenharia de construção civil e

modelos de cálculo utilizados, a esbeltez das estruturas foi aumentada, reduzindo as dimensões das peças estruturais, que por sua vez contribuíram negativamente para a construção civil no aspecto de durabilidade, dada a diminuição do cobrimento das armaduras.

A partir do aumento do cobrimento mínimo das estruturas, o ganho de vida útil será maximizado, porque melhora a durabilidade e diminui o custo com reparos e a entrada de agentes agressores como a água.

Uma das grandes causas de patologias no concreto está relacionada à influência da água, considerada como solvente universal, é responsável, na maioria das vezes, por trocas químicas e físicas, produzindo uma ação degenerativa a partir da dissolução dos compostos do concreto.

Entendendo o concreto como um todo e tendo a noção dos conjuntos de fatores, como corrosão, fissuras superficiais, fissuras internas, microfissuras e os poros do concreto, temos que todos estes são caminhos preferenciais para a entrada de agentes agressores, que, na maioria das vezes, vem acompanhada pela água e, portanto, instala-se um quadro de deterioração permanente do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Para Medeiros (2005) a presença de microfissuras na pasta endurecida, em conjunto com as ações de absorção e difusão do concreto, permitem a entrada de agentes agressores que geram reações com Ca(OH)_2 , que é solúvel na presença de água, produzindo CaCO_3 e para SO_3 , CO_2 ou Cl^- e produzindo CaCl_2 .

Segundo Vieira et al. (2008), tanto a diminuição do fator água/ aglomerante quanto a adição de sílica ativa melhoram consideravelmente a resistência do concreto diante da ação de agentes agressores, e as maiores perdas de massa ocorrem para os CPs imersos em solução de ácido láctico.

Segundo Aguiar (2006), o ataque por ácidos age dissolvendo e removendo parte da pasta de cimento Portland endurecido, que não é resistente a este tipo de ataque.

Neste mesmo sentido, Andrade (2005) afirma que, em face do caráter da pasta de cimento, os concretos de cimento Portland não possuem boa resistência à ação dos ácidos. Esses reagem com hidróxido de cálcio da pasta de cimento, produzindo água e sais de cálcio, que, se solúveis, podem ser lixiviados, aumentando a permeabilidade e porosidade da pasta. No ataque, ocorre a redução do pH, a decomposição química e a aceleração da despassivação da armadura.

Assim, para prevenir o ataque de ácidos ao concreto, podem-se utilizar tratamentos que protejam a superfície, concretos com baixa relação água/cimento (a permeabilidade é inversamente proporcional à resistência aos ácidos) e cura adequada. Além disso, o uso de adições minerais pode ser positivo porque elas fixam o Ca(OH)_2 (hidróxido de cálcio), o qual é resultante da hidratação dos compostos C_2S e C_3S do cimento, que é o produto mais vulnerável da pasta de cimento.

Segundo Andrade et al. (2003), a degradação do concreto por origem ácida não mantém uma relação direta com a resistência mecânica. As adições minerais, nesse caso, podem ser benéficas para o auxílio contra a degradação de origem química, o que melhora as propriedades do concreto.

Com isso, patologias podem ser evitadas por meio do bom uso e da manutenção preventiva da estrutura e dos subsistemas construtivos que interagem com ela, tais como: instalações hidro-sanitárias, impermeabilizações, juntas de dilatação, revestimentos, entre outras.

Nesse sentido, Andrade (2005) afirma que, na falta de cultura de manutenção preventiva, os problemas de durabilidade são percebidos pela deterioração aparente em fase de propagação, já passados anos de seu início, e envolvem custos altos de recuperação.

Além dos ataques químicos, existem também os processos de desgaste mecânico, como os carregamentos estático, cíclico e por impacto; e processos de desgaste físico: variação de temperatura, variação de umidade, sal, trânsito e tráfego de veículos e água corrente (FERREIRA, 2000).

Segundo Lima (2005), para a elaboração de projeto de estruturas de concreto, é indispensável conhecer: o meio ambiente, onde elas serão inseridas; o microclima; as condições favoráveis; e os agentes agressivos, aos quais ficará submetida, para se obter uma maior vida útil. Quanto mais específicos forem os dados obtidos desse estudo, melhores serão os resultados obtidos. Também é importante a análise do efeito combinado dos agentes agressivos, causadores e/ou aceleradores de degradação. O aumento da temperatura, por exemplo, dobra a velocidade das reações, por isso climas tropicais são mais agressivos que outros.

No concreto, que possui baixa condutividade térmica, variações térmicas internas e externas podem causar fissuração. Assim, a umidade do ambiente influi na umidade dos poros do concreto, que, por sua vez, influi na velocidade de

corrosão das armaduras. Já o efeito da radiação solar depende de propriedades do material, como: calor específico, massa específica aparente e condutividade térmica do concreto.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Cimento

Para a pesquisa o cimento adotado foi o cimento Portland de alta resistência inicial (CPV - ARI Plus).

A caracterização do material, no caso do cimento adotado para a pesquisa, foi elaborada por meio de análises em laboratório e procedimento padrão, todos eles feitos de acordo com suas respectivas normas:

- Massa específica absoluta NBR NM 23 (ABNT, 2001), método que estabelece e se determina a massa específica do cimento Portland e de outros materiais em pó por meio do frasco volumétrico de Le Chatelier.
- Massa específica aparente NBR NM 45 (ABNT, 2006), que determina a relação entre a massa do agregado lançado no recipiente de acordo com o estabelecido nesta norma e o volume do recipiente.
- Determinação do tempo de pega NBR NM 65 (ABNT, 2003), dividido em início e fim do tempo de pega, em que: início do tempo de pega é em condições de ensaios normalizados, o intervalo de tempo transcorrido desde a adição de água ao cimento até o momento em que a agulha de Vicat correspondente penetra na pasta até uma distância de (4 ± 1) mm da placa base e o fim do tempo de pega em condições de ensaios normalizados, o intervalo de tempo transcorrido desde a adição de água ao cimento até o momento em que a agulha de Vicat correspondente penetra na pasta até uma distância de 0,5 mm da placa base.
- Determinação da finura – Método de Blaine NBR NM 76 (ABNT, 1998), em que a superfície específica referida à massa é medida pela comparação com uma amostra de cimento de referência por meio do método de permeabilidade ao ar,

e serve para verificar a uniformidade do processo de moagem de uma fábrica específica.

- Resistência à compressão do cimento NBR 7215 (ABNT, 1997): o método compreende na determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura e são elaborados com argamassa composta de uma parte de cimento, três de areia normalizada em massa e relação água /cimento igual a 0,48, e preparada por meio de um misturador mecânico e compactada manualmente em um molde por um procedimento normalizado. Os moldes que contêm os corpos de prova são conservados em atmosfera úmida para cura inicial, em seguida são desmoldados e submetidos à cura em água saturada de cal até a data da ruptura, posteriormente os CPs são retirados dos moldes, capeados com mistura de enxofre, de acordo com procedimento normalizado, e rompidos para a determinação da resistência à compressão.

- Análise química NBR 11578 (ABNT, 1997), na qual se fixam as condições exigíveis do cimento Portland composto, por meio das características químicas, definindo as condições durante a moagem e a permissão de se adicionar materiais pozolânicos, escórias de alto forno e ou materiais carbonáticos em teores previamente especificados.

As Tabelas 1 e 2 mostram os ensaios de caracterização que foram realizados para o CP V-ARI Plus.

Tabela 1 - Caracterização do cimento CP V-ARI Plus

Referência		C12.2013	Especificações		
Amostra		---	NBR 5733		
Carta		---			
Data da coleta		08..13	min.	máx.	
Finura Peneira 200 (% retida)		0,05	-	6,0	
Finura Peneira 325 (% retida)		0,58	-	-	
Superfície específica Blaine(cm ² /g)		4490	3000	-	
Densidade aparente (g/cm ³)		0,99	-	-	
Densidade absoluta (g/cm ³)		3,14	-	-	
Água de consistência da pasta	gramas	160	-	-	
	(%)	32,00	-	-	
Início de pega(h:min)		01:58	01:00	-	
Fim de pega(h:min)		03:13	-	10:00	
Expansão em autoclave (%)		0,553	-		
Resistência à Compressão Axial	Consistência da argamassa	gramas	150	-	-
		a / c	0,48	-	-
	Data de moldagem	13.04.10	-	-	
	Tensão (MPa)	03 dias	37,9	24,0	-
		07 dias	39,6	34,0	-
28 dias		51,5	---	-	
Análise Química (%)	Perda ao fogo		4,50	-	4,5
	Insolúveis		0,85	-	1,0
	SiO ₂		18,21	-	-
	Fe ₂ O ₃		3,16	-	-
	Al ₂ O ₃		6,18	-	-
	CaO		62,31	-	-
	MgO		0,65	-	6,5
	SO ₃		2,81	-	3,5
	Na ₂ O		0,19	-	-
	K ₂ O		0,72	-	-
	Equivalente Alcalino		0,67	-	-
	Cal livre em CaO		2,05	-	-

Fonte: Companhia Energética de SÃO PAULO – CESP (2012).

Tabela 2 – Continuação - Caracterização do cimento CP-V-ARI-Plus

	Peneiras (%)	
Finura	#200	#325
	0,77	1,87
Massa específica	Blaine (cm ³ /g)	
	Aparente (g/cm ³)	
	Absoluta (g/cm ³)	

Fonte: Companhia Energética de SÃO PAULO – CESP (2012).

3.1.2 Agregado Miúdo

Como agregado miúdo utilizou-se a areia disponível no laboratório central de engenharia civil da UNESP do campus de Ilha Solteira. Para a utilização adequada, a areia foi exposta ao sol, seguida do seu resfriamento sobre a ação natural do ambiente, dentro de tambores para mantê-la isolada da umidade e de fontes de calor.

Para a caracterização do agregado miúdo, utilizou-se os seguintes ensaios, com suas respectivas normas:

- Matéria orgânica NBRNM 49 (ABNT, 2001), em que se analisou toda a matéria orgânica da areia, para depois defini-la e utilizá-la adequadamente de acordo com as normas para a devida elaboração do concreto proposto da pesquisa.
- Massa específica aparente NBR NM 52 (ABNT, 2003), em que foi determinada a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, incluindo os poros permeáveis.
- Massa específica absoluta NBR NM 52 (ABNT, 2003), no qual foi determinada a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis.
- Massa específica na condição saturada superfície seca (S.S.S.) e ensaio de absorção NBR NM 52 (ABNT, 2009).
- Análise granulométrica seguindo a NBR NM 248 (ABNT, 2003) de todo o material utilizado, no caso agregado miúdo, por meio do peneiramento, pelas diferentes aberturas das malhas, para a classificação dos grãos e correta preparação do material para elaboração do concreto proposto.
- Materiais pulverulentos NBR 7218 (ABNT, 2010), em que se determinou, segunda a norma citada, a quantidade de partículas (materiais pulverulentos) em teor de argila e materiais friáveis, contidas no agregado miúdo utilizado na pesquisa, para finalmente elaborar o concreto proposto.

Estes ensaios foram criteriosamente executados de acordo com as normas acima descritas e com o cuidado de se seguir à risca todos os procedimentos exigidos, com a preocupação de se ter o melhor resultado possível do concreto final proposto na pesquisa.

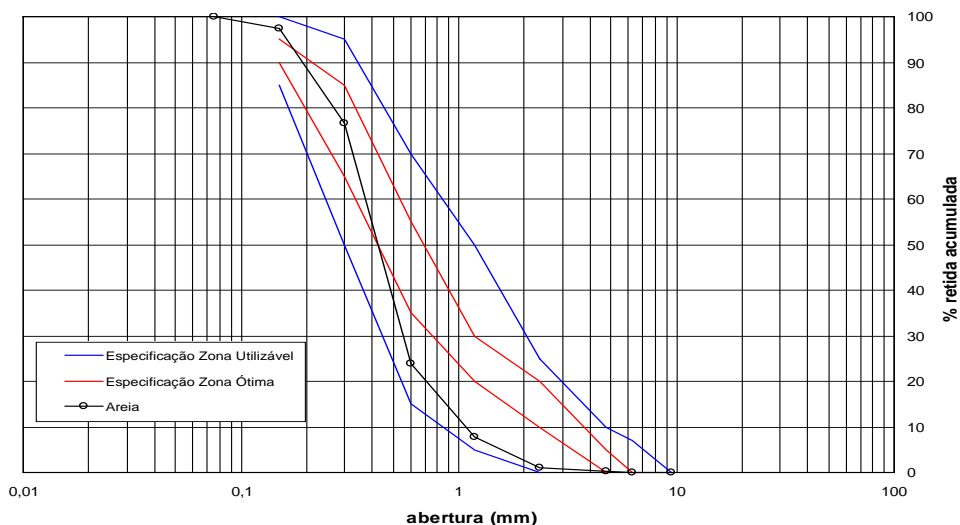
A Tabela 3 mostra os ensaios de caracterização que foram realizados para o agregado miúdo.

Tabela 3 – Caracterização do agregado miúdo

Obra : UNESP	Carta n.º:
Procedência: Porto Nossa Sra. Aparecida - Castilho	O. S. n.º:
Identificação: Areia natural	Data ensaio: 12/11/2012

PENEIRAS		Abertura	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada	
Normal	Auxiliar					
3"	-	75 mm		0,0	0,0	
-	2 1/2"	63 mm		0,0		0,0
-	2"	50 mm		0,0		0,0
1 1/2"	-	37,5 mm		0,0	0,0	
-	1 1/4"	31,5 mm		0,0		0,0
-	1"	25 mm		0,0		0,0
3/4"	-	19 mm		0,0	0,0	
-	1/2"	12,5 mm		0,0		0,0
3/8"	-	9,5 mm		0,00	0,00	
-	1/4"	6,3 mm		0,00		0,00
N.º 4	-	4,75 mm	1,7	0,20	0,20	
N.º 8	-	2,36 mm	8,6	0,80	1,00	
N.º 16	-	1,18 mm	74,1	6,80	7,80	
N.º 30	-	600 µm	176,2	16,00	23,80	
N.º 50	-	300 µm	575,9	52,70	76,50	
N.º 100	-	150 µm	228,4	20,90	97,40	
fundo	-	75 µm	28,1	2,60		100,00
Total			1093,0	100,00	206,70	

Peneiras	% Retida Acumulada											
(mm) →	0,075	0,150	0,300	0,600	1,18	2,36	4,75	6,3	9,5	12,5	19	25
Areia	100,0	97,4	76,5	23,8	7,8	1,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO

ϕ máx. (mm)	módulo de finura	massa específica			massa unitária		absor- ção (%)	pulve- rulento (%)	matéria orgânica
		s.s.s. (g/cm ³)	seca (g/cm ³)	aparente (g/cm ³)	solta (g/cm ³)	4% de umidade (g/cm ³)			
2,36	2,07	2,639	2,651	2,631	1,543	1,218	0,28	0,86	+ clara

3.1.3 Agregado Graúdo

Como agregado graúdo, utilizou-se a brita basáltica disponível no laboratório central de engenharia civil da UNESP do campus de Ilha Solteira. A máxima granulometria encontrada na brita foi de 19 mm.

A caracterização do agregado graúdo baseou-se nos seguintes ensaios:

- Massa específica aparente NBR NM 45 (ABNT, 2006), que determina a densidade a granel e do volume de vazios do agregado graúdo em estado compactado ou solto.
- Matéria orgânica NBR NM 49 (ABNT, 2001), em que se analisou toda a matéria orgânica composta no material, pela determinação colorimétrica de impurezas orgânicas em agregado graúdo, para então utilizá-la adequadamente na elaboração do concreto proposto.
- Massa específica absoluta, Massa específica na condição saturada superfície seca (S.S.S.) e ensaio de absorção NBR NM 53 (ABNT, 2003).

- Análise granulométrica, segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003), de todo o material utilizado, no caso agregado graúdo, por meio do peneiramento, pelas diferentes aberturas das malhas, para a classificação dos grãos e correta elaboração do material para elaboração do concreto proposto.

- Materiais pulverulentos NBR 7218 (ABNT, 2010), em que se determinou, segunda a norma citada, a quantidade de partículas (materiais pulverulentos) em teor de argila e materiais friáveis, contidas no agregado graúdo utilizado na pesquisa, para posteriormente elaborar o concreto proposto.

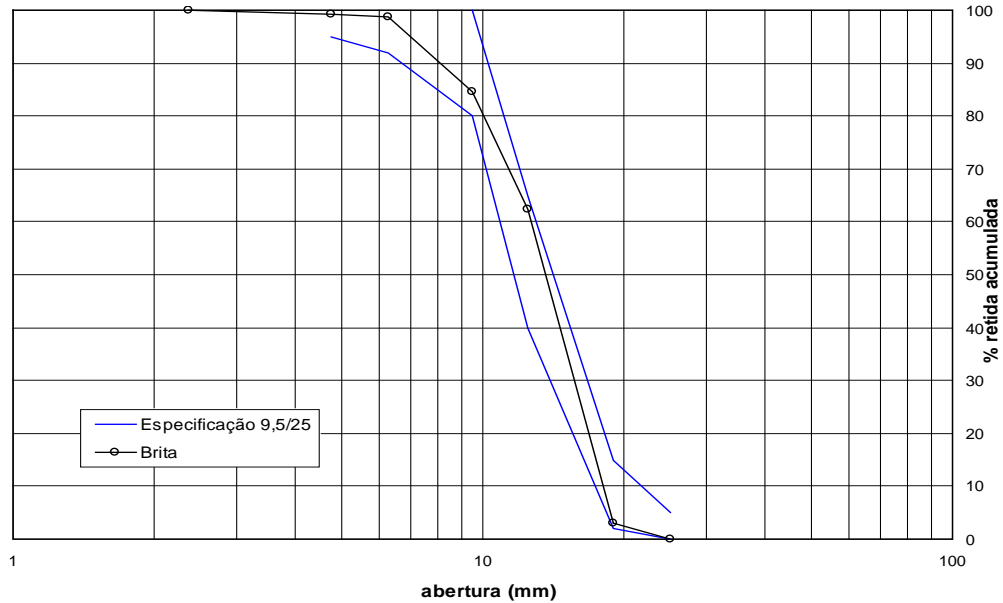
A Tabela 4 mostra os ensaios de caracterização que foram realizados para o agregado graúdo.

Tabela 4 – Caracterização do agregado graúdo

Obra : UNESP	Carta n.º:
Procedência: Pedreira - Três Fronteiras	O. S. n.º:
Identificação: Brita 1	Data ensaio: 12/11/2012

PENEIRAS		Abertura (mm)	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada	
Normal	Auxil.					
3"	-	75 mm		0,0	0,0	
-	2 1/2"	63 mm		0,0		0,0
-	2"	50 mm		0,0		0,0
1 1/2"	-	37,5 mm		0,0	0,0	
-	1 1/4"	31,5 mm		0,0		0,0
-	1"	25 mm		0,0		0,0
3/4"	-	19 mm	469,3	2,9	2,9	
-	1/2"	12,5 mm	9540,5	59,4		62,4
3/8"	-	9,5 mm	3569,8	22,2	84,6	
-	1/4"	6,3 mm	2254,9	14,0		98,7
N.º 4	-	4,75 mm	82,0	0,5	99,2	
N.º 8	-	2,36 mm	133	0,8	100,0	
N.º 16	-	1,18 mm		0,0	100,0	
N.º 30	-	600 µm		0,0	100,0	
N.º 50	-	300 µm		0,0	100,0	
N.º 100	-	150 µm		0,0	100,0	
fundo	-	75 µm		0,0		100,0
Total			16049,5	100,00	686,71	

Peneiras	% Retida Acumulada											
(mm) →	0,150	0,300	0,600	1,180	2,36	4,75	6,30	9,50	12,50	19,0	25,0	31,5
Brita	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,2	98,7	84,6	62,4	2,9	0,0	0,0



ϕ máximo (mm)	módulo de finura	massa específica			Massa Unitária (g/cm ³)	absor- ção (%)	pulve- rulento (%)
		s.s.s. (g/cm ³)	seca (g/cm ³)	aparente (g/cm ³)			
19,0	6,87	2,945	2,912	3,014	1,585	1,16	1,20

CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO

3.1.4 Cinza do Bagaço de Cana-de-açúcar (CBC)

A cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) utilizada não foi moída. Esta cinza substituiu a areia (em massa) no traço de concreto 1:5, nas porcentagens de 5%, 10%, 15% e 20%. A figura 02, a seguir, mostra a cinza utilizada na pesquisa.

Figura 2 - Cinza de Bagaço de Cana-de-Açúcar (CBC)



Fonte: do próprio autor

Tabela 5 - Caracterização química da CBC

Análise Química da Amostra	
Parâmetro	%
Umidade da amostra	2,28
Perda ao fogo	32,59
SiO ₂	44,3
Fe ₂ O ₃	3,43
Al ₂ O ₃	8,74
CaO	9,6
MgO	0,76
SO ₃	0,35
Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	12,18
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	56,48
Eq. Alc. (álcalis disp.)	0,07

Fonte: Companhia Energética de São Paulo – CESP (2012).

3.1.5 Água

A água utilizada nos ensaios foi a de abastecimento público, destinada ao consumo de todos os habitantes da cidade de Ilha Solteira - SP.

3.1.6 Aditivo

Nos traços com adição de CBC utilizou-se o superplastificante 5800 FTN-SIKA (Figura 03) de dosagem máxima de 1,5 % em relação ao peso do cimento. Este aditivo permite uma alta taxa de redução de água, mantendo uma excelente fluidez e uma ótima coesão da massa, o que propicia a confecção de concretos com altíssima fluidez, auto adensável e com baixas relações a/c; no caso específico deste experimento, o fator a/c chegou próximo à 0,5.

3.1.7 Ácido Lático

O ácido lático, utilizado na pesquisa, possui as seguintes características: 85% P.A; fórmula $C_3 H_6 O_3$ e a concentração empregada para o experimento foi em torno de 14% em solução.

3.1.8 NaCl

O NaCl utilizado na pesquisa, não continha o lodo em sua composição para uma simulação mais próxima possível da ação do Mar nos CPs de concreto. No experimento de penetração de cloretos, pelo fato de a ação ser muito pequena em decorrência do tempo do ensaio, a concentração utilizada foi de 10% de NaCl em solução.

3.1.9 Água Destilada

Para a pesquisa, a água destilada utilizada foi a disponível no laboratório central de Engenharia Civil da UNESP do campus de Ilha Solteira, onde também foram realizados todos os experimentos de durabilidade.

3.1.10 Nitrato de Prata (AgNO_3)

O nitrato de prata foi utilizado depois que os CPs foram rompidos, na aspersão sobre eles, para análise da penetração de cloretos, por meio da observação da quantidade que estes cloretos penetraram nos CPs de concreto, pela visualização da reação química entre o AgNO_3 e o NaCl .

3.2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3.2.1 Dosagem do concreto

A seguir, serão apresentadas, as dosagens dos concretos utilizados nesta pesquisa. Vale destacar que todas as dosagens em estudo possuem uma relação 1:m de 1:5, uma relação água/cimento de 0,50 e 1,5% de aditivo superplastificante.

Tabela 6 – Dosagem dos concretos utilizados

kg/m^3	Cimento	Areia	Brita	CBC	água
Referência	376,4	730,1	1151,7	-	193,8
5%	377,4	695,6	1154,9	36,6	188,7
10%	376,3	657,0	1151,4	73,0	188,1
15%	375,2	618,7	1148,0	109,2	187,6
20%	374,1	580,6	1144,7	145,1	187,0

3.2.2 Preparação dos concretos

Os concretos desta pesquisa foram produzidos segundo a norma NBR 12821(ABNT, 2009), em betoneira de eixo inclinado com capacidade de 400 litros. Inicialmente jogou-se água na betoneira, a fim de reduzir a absorção da água, utilizada na fabricação do concreto. A ordem de colocação dos materiais na betoneira foi a seguinte: primeiro foi colocada somente a brita (figura 03) e a CBC na betoneira (figura 07), batendo por 5 minutos, a fim de fazer com que a brita reduzisse a cinza em pequenos grãos.

Figura 3 - Brita



Fonte: do próprio autor

Figura 4 - CBC + brita + água + areia + cimento



Fonte: do próprio autor

Depois, foram colocados a areia e metade da água e bateu-se por 1 minuto; em seguida, foram colocados o cimento e o restante da água e tornou-se a bater por 3 minutos (figura 04). Por fim, nos casos necessários, colocou-se o aditivo que, em cada caso, foi batido num período de tempo diferente (figura 08). No traço com 5% de adição, foi necessária a mistura do aditivo por 3 minutos; no traço de 10%, foram 5 minutos; no traço de 15%, 3 minutos; e no de 20%, 13 minutos.

Figura 5 - Cimento e areia



Fonte: do próprio autor

Figura 6 - Concreto Referência



Fonte: do próprio autor

Figura 7- CBC na betoneira com a brita



Fonte: do próprio autor

Figura 8 - Concreto com CBC



Fonte: do próprio autor

Figura 9 - Moldagem dos CPS de concreto com CBC



Fonte: do próprio autor

Figura 10 - Adensamento do concreto com CBC



Fonte: do próprio autor

Figura 11 - Fôrmas para moldagem dos CPS



Fonte: do próprio autor

Figura 12 - CPs moldados



Fonte: do próprio autor

Figura 13 - CPS na câmara úmida



Fonte: do próprio autor

Figura 14 - CPS com capeamento de enxofre



Fonte: do próprio autor

Para a produção do concreto, foi necessário obter a umidade e a absorção dos agregados. Assim sendo, para a determinação da umidade, seguiu-se a NBR 9383 (ABNT, 1986). O concreto com a substituição de CBC foi calculado para um consumo de cimento em 1000 litros de concreto.

3.2.3 Teste de abatimento do tronco de cone (slump test)

O teste de abatimento foi realizado a fim de se verificar as condições de trabalhabilidade do concreto criado, já que serve como indicador de um método de adensamento adequado, mediante a medida da altura de queda do concreto contido em um cone padronizado, conforme prescrito na norma NBRNM 67(ABNT, 1998). Na Figura 15, tem-se uma ilustração do ensaio sendo finalizado, e nas Figuras 16 a 19, tem-se um retrato do ensaio sendo realizado no laboratório de Engenharia Civil da Unesp.

Figura 15 – Teste de abatimento do tronco de cone



Fonte: do próprio autor

Figura 16 - Início do abatimento - golpes de adensamento



Fonte: do próprio autor

Figura 17 - Moldagem do concreto



Fonte: do próprio autor

Figura 18 - Retirada funil para início da medição



Fonte: do próprio autor

Figura 19 - Medição do valor do slump do concreto



Fonte: do próprio autor

3.2.4 Medição do ar no concreto

Foi utilizado o aparelho verificador do índice de ar do concreto (Figura 20) para se analisar a quantidade de ar que possuía cada concreto produzido. Este medidor consiste num conjunto cilíndrico, onde se deposita o concreto, e de uma tampa que incorpora uma bomba e válvulas de ar para calibração da pressão. O ensaio foi feito conforme a norma NBRNM 47(ABNT, 2002).

Figura 20 - Aparelho para medir o ar incorporado ao concreto



Fonte: Nanjing TKA Technology Co. Ltda (2012).

3.2.5 Adensamento

O adensamento do concreto produzido foi realizado por meio de mesa vibratória por aproximadamente 60 segundos, feito em fôrmas cilíndricas de PVC devidamente lubrificadas cujas dimensões são: 10 cm de diâmetro x 20 cm de altura, normalizado pela NBR 5738(ABNT, 2008). A Figura 21 mostra a mesa vibratória do laboratório de Engenharia Civil da Unesp utilizada no experimento.

Figura 21 - Mesa vibratória para adensamento do concreto



Fonte: do próprio autor

3.2.6 Cura dos corpos de prova

Os corpos de prova (CPs) sofreram a cura em câmara úmida (figura 13), com temperatura aproximada de 22,5 °C, de acordo com a NBR 5738(ABNT, 2008).

3.2.7 Capeamento

Para melhor resultado nos ensaios de ruptura, um dia antes da realização deles, os corpos de prova foram capeados com uma mistura contendo pozolana (40%) e enxofre (60%).

Tal processo dá-se Inicialmente untando o prato do aparelho de capear com óleo mineral. Com o auxílio de uma concha, coloca-se a mistura fundida de enxofre no prato do aparelho. Após isso, deposita-se o corpo de prova com topo inferior assentado no prato contendo a mistura, depois repete-se isso para o lado superior, aguardando o resfriamento de cada lado.

As Figuras 22 e 23 mostram os corpos de prova em fase de capeamento.

Figura 22 - Câmara de capeamento dos CPs



Fonte: do próprio autor

Figura 23 - Capeamento dos CPs c/ enxofre



Fonte: do próprio autor

3.2.8 PROPRIEDADES MECÂNICAS

3.2.8.1 Resistência à Compressão

A resistência à compressão do concreto foi determinada de acordo com a NBR 5739(ABNT, 2007).

Os corpos de prova foram rompidos após o capeamento, em uma prensa universal, para ensaios que apresenta velocidade de carregamento igual a 5kgf/cm²/s (Figura 24).

A tensão de ruptura foi obtida por meio da seguinte expressão:

$$\sigma_c = \frac{4 \times P}{\pi \times D^2} \quad (1)$$

Sendo:

σ_c : tensão de compressão na ruptura (MPa);

P: carga de ruptura lida na prensa (N);

D: diâmetro do corpo de prova (mm);

Os ensaios foram realizados em corpos de prova nas idades de 7, 28, 60 e 90 dias, em que a resistência final foi obtida segundo a NBR 7215(ABNT, 1996).

Figura 24 - Ensaio de compressão



Fonte: do próprio autor

3.2.8.2 Resistência à tração por compressão diametral

A resistência à tração dos corpos de prova foi determinada de acordo com a NBR 7222(ABNT, 2011). Neste ensaio, aplica-se uma compressão diametral na geratriz do corpo de prova (Figura 25), o qual foi colocado em contato com os pratos da prensa, com duas tiras de madeira.

Este tipo de ensaio correlaciona a tensão de ruptura à compressão diametral com a tensão de ruptura à tração usando a seguinte equação:

$$\sigma_T = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot D \cdot L} = \frac{63,7 \cdot P}{9,8 \cdot 19,6} \quad (2)$$

Sendo:

σ_T : tensão de tração na ruptura (MPa);

P: carga de ruptura (tf);

D: diâmetro do corpo de prova (cm);

L: comprimento do corpo de prova (cm);

Os ensaios foram realizados em corpos de prova nas idades de 7, 28, 60 e 90 dias, em que a resistência final foi segundo a NBR 7215(1996).

Figura 25 - Ensaio de tração por compressão diametral



Fonte: do próprio autor

3.2.8.3 Módulo de Elasticidade

O gráfico tensão-deformação do concreto, quando submetido a incrementos contínuos de carga em geral, possui a forma de uma linha suave curva. Para facilitar o estudo, essa linha é aproximada para uma reta, dentro do campo das tensões adotadas normalmente.

Conforme a lei de Hooke ($\sigma = E * \varepsilon$), quando há a aplicação de compressão num determinado corpo de prova, há a ocorrência de deformação proporcional à tensão aplicada dentro do limite elástico.

O ensaio foi realizado seguindo a NBR 8522(ABNT, 2008), em que o corpo de prova foi submetido a carregamento axial, em uma prensa, e as suas deformações foram medidas por um extensômetro mecânico-defletômetro (Figura 26).

O módulo de elasticidade E é a relação entre o incremento de tensão e o de deformação longitudinal.

Os ensaios foram realizados em corpos de prova nas idades de 7, 28, 60 e 90 dias, em que a resistência final foi segundo a NBR 7215(ABNT, 1996).

Figura 26 - Ensaio de módulo de elasticidade



Fonte: do próprio autor

3.2.9 ENSAIO DE DURABILIDADE

3.2.9.1 Introdução

Os traços dos corpos de prova, que serão confeccionados para estes ensaios de durabilidade, serão os mesmos do concreto referência até aqui utilizado, e o concreto com CBC escolhido foi o de 20% de cinza em substituição ao agregado miúdo, pois este foi o traço de CBC que obteve o melhor desempenho de resistência dentre todos os outros traços elaborados nesta pesquisa.

3.2.9.2 Resistência ao Ataque Químico

3.2.9.2.1 Ácido Lático

O ensaio de resistência ao ataque químico sob a ação de ácidos foi realizado pelas avaliações dos resultados de perda de massa, aspecto visual e queda de resistência mecânica, quando os corpos-de-prova foram submetidos a ciclos de imersão e secagem em solução contendo ácido lático.

Os corpos-de-prova foram cilíndricos, sendo três CPs para cada traço, de dimensão 10 cm de diâmetro x 20 cm de altura (figura 27) e foram inseridos em soluções contendo ácido lático, em uma concentração igual a 14%, seguindo os procedimentos já adotados de normas estabelecidas.

O ácido lático é encontrado em indústrias de laticínio, a partir da fermentação da lactose ou em indústrias de produtos químicos. A ação deletéria deste agente agressivo sobre o concreto consiste na dissolução do Ca(OH)_2 , a partir da superfície do concreto, levando à lixiviação deste produto de hidratação (BICZÓK, 1964 apud DAL MOLIN, 1996).

O modelo de ensaio teve como base as pesquisas de Andrade et al. (2003) e Dal Molin et al. (1996). Ao término do período de cura, 28 dias, os CPs foram retirados e secos ao ar por 24 horas e, logo após, pesados (figuras 29 e 30). Após a pesagem, foram imersos em ácido lático por 5 dias (figura 28). Na seqüência foram retirados do recipiente contendo ácido e lavados para retirar os resíduos de concreto e dos sais solúveis resultantes das trocas químicas entre o cimento e a solução ácida depositados na sua superfície, deixando-os secar ao ar livre por seis dias. Passado este período, concluiu-se um ciclo com 11 dias, iniciando-se outro.

Depois disso, foi realizada uma nova pesagem e a imersão novamente, até que os corpos-de-prova completassem 2 ciclos de ensaio.

As pesagens realizadas indicaram a perda de massa em cada ciclo para um mesmo corpo-de-prova.

Segundo Andrade et al. (2003), é preciso levar em consideração que não existe uma relação direta entre a resistência mecânica e a resistência do concreto

quando submetido aos ataques químicos, pois a capacidade de proteção do material está mais relacionada com o tipo do cimento empregado; os cimentos com adições geralmente apresentam uma menor degradação química (representada pela menor perda de massa dos CPs), considerando a mesma relação a/c e agente químico, que os cimentos sem adições.

Figura 27 – CPs antes do início do ensaio



Fonte: do próprio autor

Figura 28 - CPs mergulhados em solução ácido láctico



Fonte: do próprio autor

Figura 29 - CP referência pesado a cada ciclo



Fonte: do próprio autor

Figura 30 - CP com CBC pesado a cada ciclo



Fonte: do próprio autor

3.2.9.3 Absorção de Água

O ensaio de absorção de água foi realizado de acordo com a norma NBR 9778(ABNT, 2005). Inicialmente os corpos de prova foram deixados em uma estufa (Figura 31), determinando-se com isso o peso seco (P_s) deles. Depois, foram imersos em água durante um período de 24 horas (Figura 32), de tal modo que se obteve o peso saturado (P_{sat}) dos corpos de prova.

A absorção de água foi descoberta por meio da seguinte equação:

$$A(\%) = \frac{P_{sat} - P_s}{P_s} \cdot 100$$

O valor final de absorção foi encontrado pela média aritmética dos valores de absorção achados para cada corpo-de-prova.

Figura 31 - Estufa para secagem dos corpos de prova



Fonte: do próprio autor

Figura 32 - Corpos de prova imersos em água



Fonte: do próprio autor

3.2.9.4 Absorção por Capilaridade

O ensaio seguiu as recomendações da NBR 9779 (ABNT, 1995).

O processo é bem similar ao recomendado para a avaliação da absorção de água por imersão. Três corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 10x20cm foram utilizados. Os corpos-de-prova foram curados em câmara úmida até o início do ensaio em 7 e 28 dias, depois, retirados e secos em estufa na temperatura de 106,5°C por 24, 48 e 72 horas para obtenção do peso seco com uma variação inferior a 0,5%. Após a secagem dos corpos-de-prova em estufa, pesou-se cada um deles. Em seguida colocou-os sobre uma lâmina de água de 5 mm por um período de 24, 48 ou 72 horas (figuras 33 e 34), pesados em intervalos de 24 horas, até que duas pesagens consecutivas não apresentassem diferenças superiores a 0,5% da menor massa. Assim, a absorção por capilaridade foi expressa pela equação que será usada a seguir:

$$C = \frac{(A - B)}{S}$$

Onde:

C – absorção por capilaridade

A – massa do CP saturado

B – massa do CP seco em estufa

S – área transversal em contato com a água.

Figura 33 - Detalhe do ensaio



Fonte: do próprio autor

Figura 34 - Detalhe CPs em nível d'água de 5,0 mm



Fonte: do próprio autor

3.2.9.5 Frente à Penetração de Cloretos

O ensaio foi realizado pelo método colorimétrico de aspersão de nitrato de prata, observado após 4 ciclos de molhagem e secagem e iniciado após 28 dias de cura.

A exposição a esse tipo de ataque em ambiente marinho seria por volta de 3,5% de NaCl de concentração, mas segundo os ensaios realizados por Silva (2006), a observação da frente de penetração nesse período de tempo do ensaio seria muito pequena. Por isso, a concentração utilizada foi de 10% de NaCl. Cada traço teve três corpos-de-prova, que foram analisados após o 4º ciclo de ensaio.

Após o período de cura, os corpos-de-prova são deixados em local com umidade ambiente por quatro dias. Na seqüência, foram imersos, com metade da altura, na solução de NaCl por 3 dias (figuras 35 e 36). Após este período, os CPs passaram por secagem de 4 dias, completando um ciclo, conforme mostram as figuras 37 e 38.

Figura 35 - Detalhe CPs imersos em solução NaCl



Fonte: do próprio autor

Figura 36 - Detalhe do suporte de apoio para os CPs



Fonte: do próprio autor

Figura 37 - CP referência após final do ciclo



Fonte: do próprio autor

Figura 38 - CP com CBC após final do ciclo



Fonte: do próprio autor

3.2.9.6 Ensaio de Abrasão/ Erosão

Os ensaios referentes à Abrasão /Erosão, que remetem à durabilidade, foram analisados nas instalações do LCEC -Laboratório CESP de Engenharia Civil de Ilha Solteira.

A perda de material por deterioração da estrutura por desgaste superficial, será expressa pelo valor percentual de perda de massa consequente do desgaste exposto pelas esferas de aço em contato com o corpo-de-prova de dimensão 30 cm x 10 cm, que é colocado numa espécie de cilindro onde fica imerso em água.

As figuras 39, 40, 41 e 42 mostram os aparatos para a realização do ensaio, onde estão as fôrmas para modelagem de corpo de prova (figuras 39 e 40) e o aparelho de ensaio de abrasão /erosão (figuras 41 e 42).

Figura 39 - Detalhe da fôrma do CP de modelagem



Fonte: do próprio autor

Figura 40 - Detalhe do CP após concretagem



Fonte: do próprio autor

Esse sistema constitui de motor, correia e roldanas, que foram dimensionados para manter a pá de agitação em movimento circular constante com a água, movimentando as esferas (figuras 41 e 42).

Figura 41- Aparelho do ensaio à abrasão



Fonte: do próprio autor

Figura 42 - Posição do CP para início do ensaio



Fonte: do próprio autor

Assim, o desgaste do corpo-de-prova é verificado pelo atrito das esferas na superfície dele, porque causa abrasão na superfície. O desgaste é calculado por meio da porcentagem da massa inicial do corpo-de-prova, no decorrer de 72 horas de ensaio, sendo pesado antes de iniciar o ensaio e após 10, 24, 48 e 72 horas.

O ensaio realizado pelo laboratório da CESP de Engenharia Civil é uma referência ao método “Corps of Engineers” inserido no texto “Abrasion-Erosion Resistance of Concrete – Technical Report C-78-4”.O estudo foi realizado com a confecção de um CP por traço para 7 dias e para 28 dias.

3.2.9.7 PERMEABILIDADE À ÁGUA

Para avaliação da permeabilidade do concreto, foi usado o método descrito pela norma NBR 10787 (ABNT, 1994).

O parâmetro caracteriza o concreto do ponto de vista da durabilidade, pela conectividade dos poros no concreto, no entanto, a determinação da permeabilidade supõe que o concreto esteja numa situação de corpo-de-prova saturado, condição essa pouco comum numa estrutura real.

A utilidade do ensaio remete-se a obras hidráulicas e a barragens, nas quais ocorrem a atuação de grandes pressões, ou mesmo estruturas afetadas constantemente por ciclos de molhagem e secagem.

Figura 43 - Detalhe da fôrma do ensaio



Fonte: do próprio autor

Figura 44 - Detalhe dos CPs após concretagem



Fonte: do próprio autor

O ensaio foi realizado com dois corpos-de-prova para cada traço com dimensão 25 x 25 x 12,5 cm cada um (figura 45), este por sua vez, sugere a aplicação de uma pressão de água sobre o CP, começando com o valor de $0,1 \pm 0,01$ MPa durante 48 horas, depois aumentando para $0,3 \pm 0,03$ MPa durante 24 horas e em seguida, para $0,7 \pm 0,07$ MPa por mais 24 horas (figuras 45 e 46).

Figura 45 - Detalhe do ensaio de Permeabilidade



Fonte: do próprio autor

Figura 46 - Detalhe do indicador de pressão = 0,1 MPa



Fonte: do próprio autor

Após este procedimento, o CP foi levado até a prensa hidráulica para o rompimento (figura 47), separando-o em duas partes iguais, no sentido em que foi exercida a pressão da água (figura 48). Então, anotam-se as profundidades de penetração da água, se houver, em milímetros.

Figura 47 - Detalhe do CP na prensa hidráulica



Fonte: do próprio autor

Figura 48 - CP de Referência no final do ensaio



Fonte: do próprio autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Teste de abatimento do tronco de cone e de ar incorporado

A Tabela 7 mostra os valores encontrados no teste de abatimento do tronco de cone e na medição de ar incorporado de todos os concretos.

Tabela 7 - Resultados: teste de abatimento do tronco de cone e medição de ar incorporado

	Referência	5%	10%	15%	20%
Slump test (cm)	16	6	7	5	11
Ar Incorporado (%)	1,5	1,5	2,4	2,3	2,6

4.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS

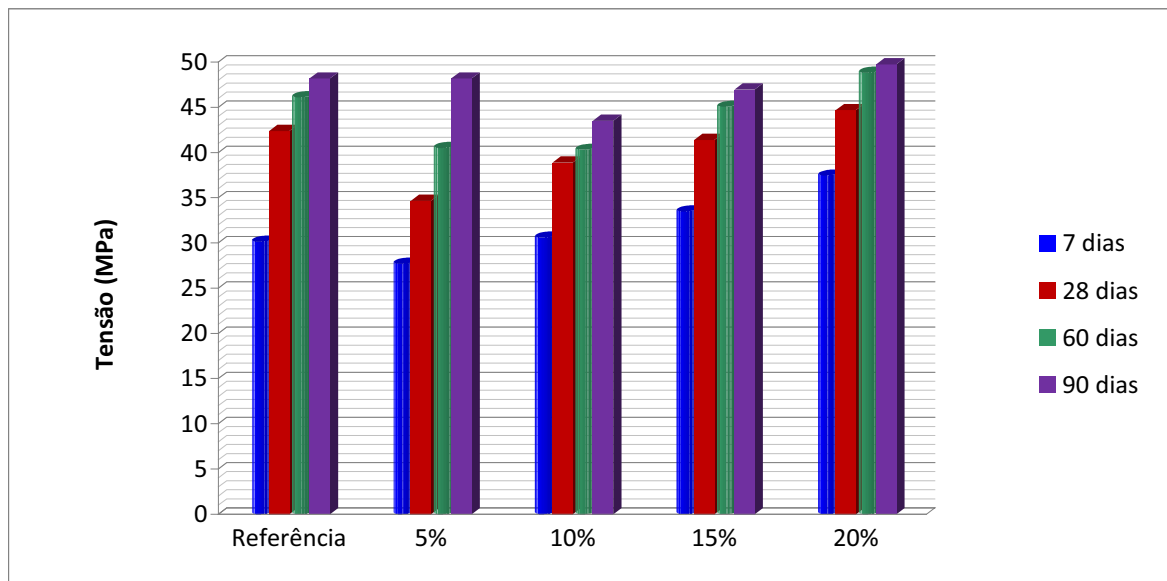
4.2.1 Resistência à compressão axial

Todos os concretos foram comparados ao traço sem adição de CBC, denominado concreto referência.

Tabela 8 - Resultados do ensaio de resistência à compressão em MPa

Idade (dias)	Traço				
	Referência	5%	10%	15%	20%
7	30,1	27,7	30,6	33,3	37,4
28	42,4	34,7	38,9	42,0	44,7
60	46,1	40,5	40,3	45,0	48,8
90	48,2	48,2	43,5	47,0	49,8

Figura 49 - Resistência à compressão de concretos com diferentes substituições de areia por cinza (CBC)



Analisando os resultados encontrados (figura 49), conclui-se que os concretos com adição tiveram aumento da resistência, conforme se aumentou a porcentagem adicionada. A resistência também aumentou com o tempo, fato já esperado, sendo que o concreto com 20% de adição foi o que obteve os melhores resultados de resistência em comparação aos outros traços, inclusive se este for comparado ao concreto referência.

4.2.2 Resistência à tração por compressão diametral

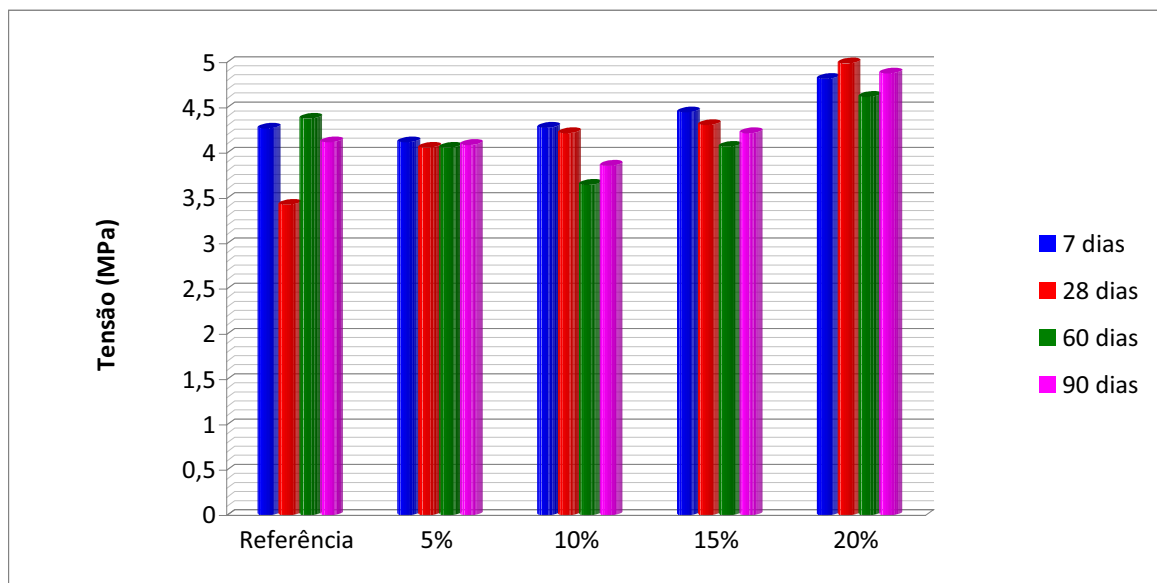
A Tabela 9, a seguir, mostra os resultados do ensaio de tração por compressão diametral de todos os concretos.

Tabela 9 - Resultados do ensaio de tração por compressão diametral (MPa)

Idade (dias)	Traço				
	Referência	5%	10%	15%	20%
7	4,3	4,1	4,3	4,4	4,8
28	3,4	4,1	4,2	4,3	5,0
60	4,4	4,1	3,6	4,1	4,6
90	4,1	4,1	3,9	4,2	4,9

A Figura 50 mostra a comparação dos dados de resistência à tração por compressão diametral para as diferentes porcentagens de adição de CBC, em relação ao traço referência.

Figura 50 - Resultados do ensaio de tração por compressão diametral (MPa)



Com os dados obtidos, pode-se notar que a resistência à tração por compressão diametral, no concreto com 20% de adição, foi o que apresentou maiores valores de resistência em relação aos demais.

4.2.3 Módulo de Elasticidade

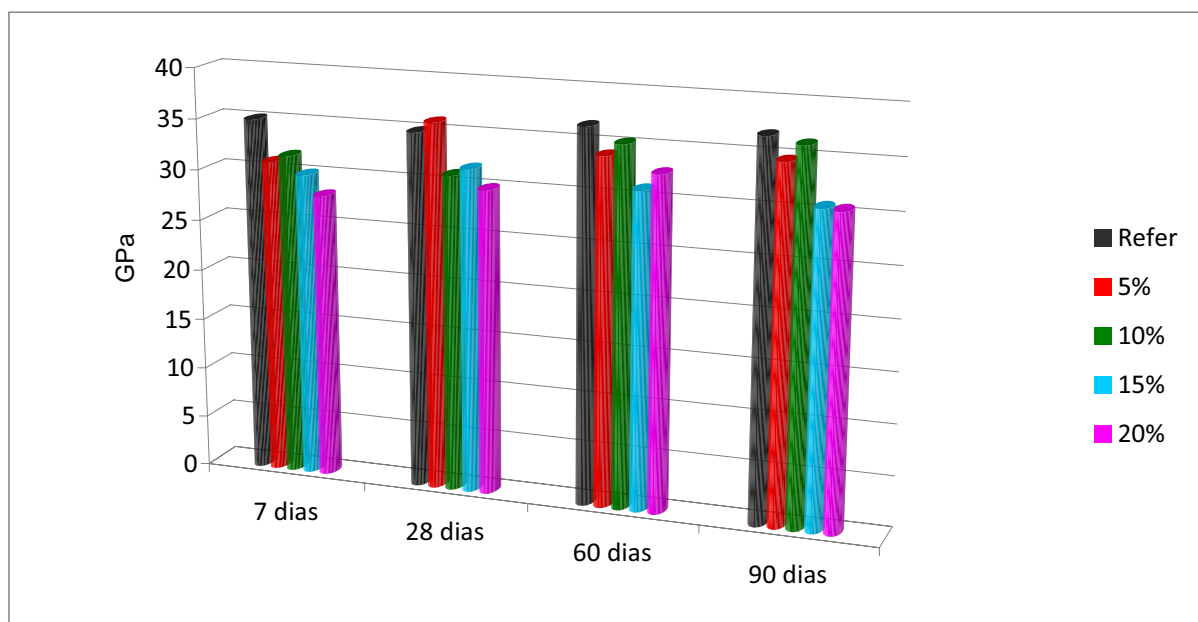
Os resultados obtidos no ensaio de módulo de elasticidade são mostrados pela Tabela 10 e pela Figura 51.

Tabela 10 - Resultados do ensaio de módulo de elasticidade em GPa

Idade (dias)	Traço				
	Referência	5%	10%	15%	20%
7	35,0	31,0	31,7	30,0	28,0
28	34,9	36,0	31,0	31,8	29,9
60	36,6	34,0	35,2	31,0	32,7
90	36,9	34,7	36,3	30,7	30,5

A Figura 51 mostra a comparação dos dados para as diferentes porcentagens de adição de CBC, em relação aos traços referência.

Figura 51- Resultados do ensaio de módulo de elasticidade em GPa



Pela Tabela 10 e pela Figura 51, pode-se perceber que o módulo de elasticidade sofreu variação conforme a porcentagem de CBC adicionada ao traço ou período de tempo.

4.2.4 ENSAIO DE DURABILIDADE

4.2.4.1 Absorção

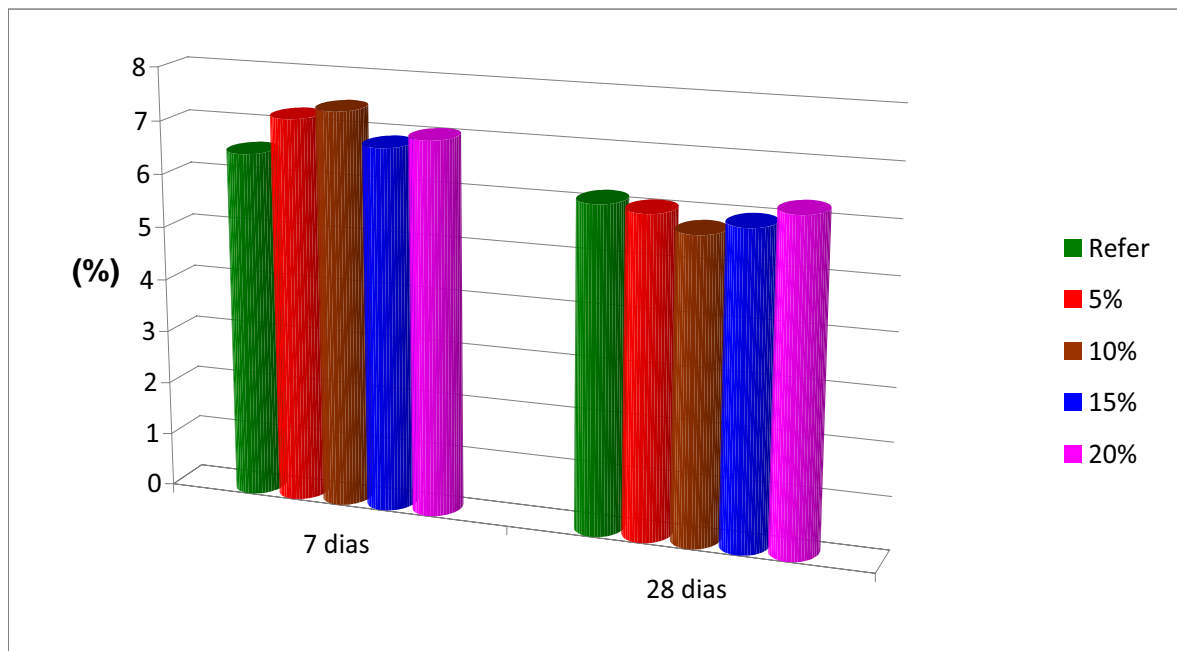
Os resultados obtidos no ensaio de absorção são mostrados pela Tabela 11:

Tabela 11 - Resultados do ensaio de absorção em %

Idade (dias)	Traços				
	Referência	5%	10%	15%	20%
7	6,5	7,2	7,4	6,8	7,0
28	6,1	6,0	5,7	5,9	6,2

A Figura 52 mostra a comparação dos dados de absorção para as diferentes porcentagens de adição de CBC e o concreto referência (sem adição).

Figura 52 - Absorção de Água (%)



Analisando os dados da figura 52, podemos notar que a absorção sofre pouca alteração independente da quantidade de CBC no concreto. Ao longo do tempo, percebe-se que houve um aumento dos valores de absorção para os traços com adição de CBC, se comparados aos traços de referência, e uma inversão dos resultados, de modo que as maiores taxas de absorção aos sete dias de idade traduziram em menores taxas de absorção aos 28 dias de idade. Como a variação é muito pequena ao longo do tempo, não foram feitos ensaios para 60 e 90 dias.

4.2.4.2 Absorção de Água por Capilaridade

A Tabela 12 a seguir, mostra os resultados do ensaio de absorção por capilaridade no concreto.

Tabela 12 - Intervalo de amostragem para o ensaio de absorção por capilaridade

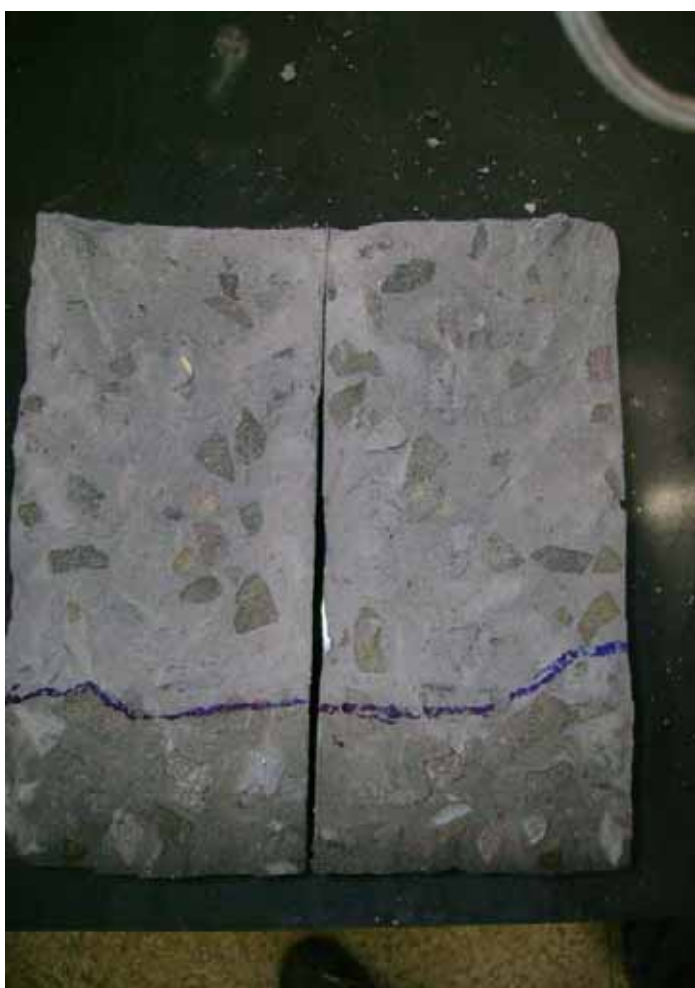
TRAÇO	dias	Intervalo de amostragem	Média(%)	Desvio Padrão(6%)	Novo Intervalo
CAD	7	(0,34 - 0,37)	0,35	0,02	(0,33 - 0,37)
Referência	28	(0,30 - 0,33)	0,31	0,02	(0,30 - 0,34)
CAD com CBC	7	(0,36 - 0,38)	0,37	0,02	(0,35 - 0,39)
em 20 %	28	(0,32 - 0,34)	0,33	0,02	(0,31 - 0,35)

A distribuição do intervalo de amostragem do ensaio da Tabela 12 e a figura 55, demonstram que a substituição de areia pela CBC, resulta na diminuição razoável em seus valores.

Além disso, a lâmina de água é outra forma de representação do ensaio de absorção por capilaridade, em que o maior refinamento dos poros é indicado por uma maior ascensão capilar.

Nas figuras 53 e 54, veremos o resultado visual do experimento de absorção por capilaridade dos CPs de referência e de CBC mais críticos, executado no laboratório de Engenharia Civil da Unesp de Ilha Solteira.

Figura 53 - Detalhe do nível (em azul) da lâmina de umidade por capilaridade no CP com CBC mais crítico

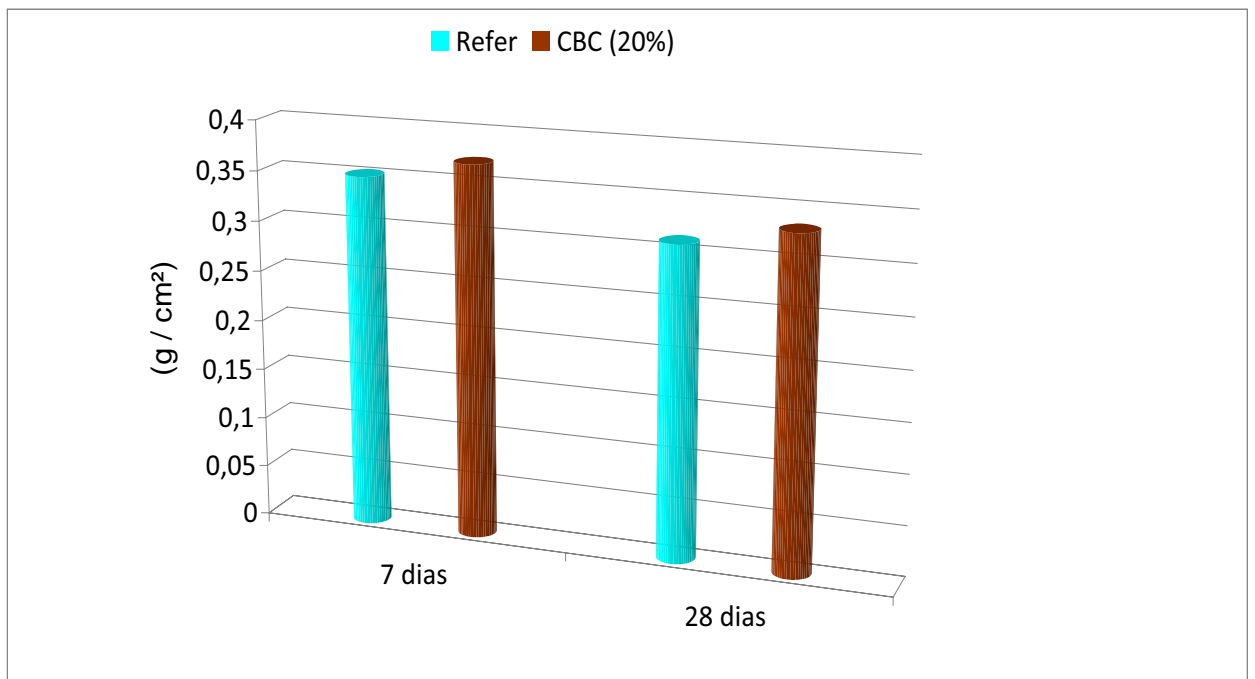


Fonte: do próprio autor

Figura 54 - Detalhe do nível (em azul) da lâmina de umidade por capilaridade no CP de Referência mais crítico



Fonte: do próprio autor

Figura 55 - Ensaio de absorção de água por capilaridade (g / cm²)

A distribuição do intervalo de amostragem do ensaio revelam que o concreto de substituição de areia pela CBC e o de referência (convencional), no decorrer da idade de 7 dias para 28 dias, sofreu uma razoável redução de absorção por capilaridade.

4.2.4.3 Permeabilidade à Água

O ensaio de penetração de água sobre pressão (ensaio de permeabilidade) demonstrou que a penetração de água nos CPs, tanto no concreto referência, como no concreto composto de cinza do bagaço da cana-de-açúcar, foram de valores inexpressivos. A seguir, nas figuras 56 a 59, observar-se-á detalhes das lâminas d'água nos CPs resultados deste ensaio.

Figura 56 - CP de CBC após rompimento



Fonte: do próprio autor

Figura 57 - Lâmina d' água penetração mínima CP CBC



Fonte: do próprio autor

Figura 58 - CP Referência após rompimento



Fonte: do próprio autor

Figura 59 - Lâmina d'água de penetração do CP Ref.



Fonte: do próprio autor

Observando-se os resultados após os 4 dias de ensaio e comparando-se o traço de adição de CBC com o concreto de referência, eles foram praticamente os mesmos, ou seja, não obtiveram profundidade de penetração significativa nos CPs testados no ensaio de penetração, o que fica claro, que, na prática, são materiais propícios a locais de grandes pressões de água, como, por exemplo, as barragens.

4.2.4.4 Resistência ao Ataque Químico (Ácido Láctico)

Figura 60 - Perda de massa do concreto como resultado da ação da solução contendo ácido láctico



Fonte: do próprio autor

Figura 61 - à esquerda CP de CBC e à direita CP de Referência depois do 1º ciclo



Fonte: do próprio autor

Figura 62 - CP CBC depois do 1º ciclo



Fonte: do próprio autor

Figura 63 - CP de CBC depois do 2º e último ciclo

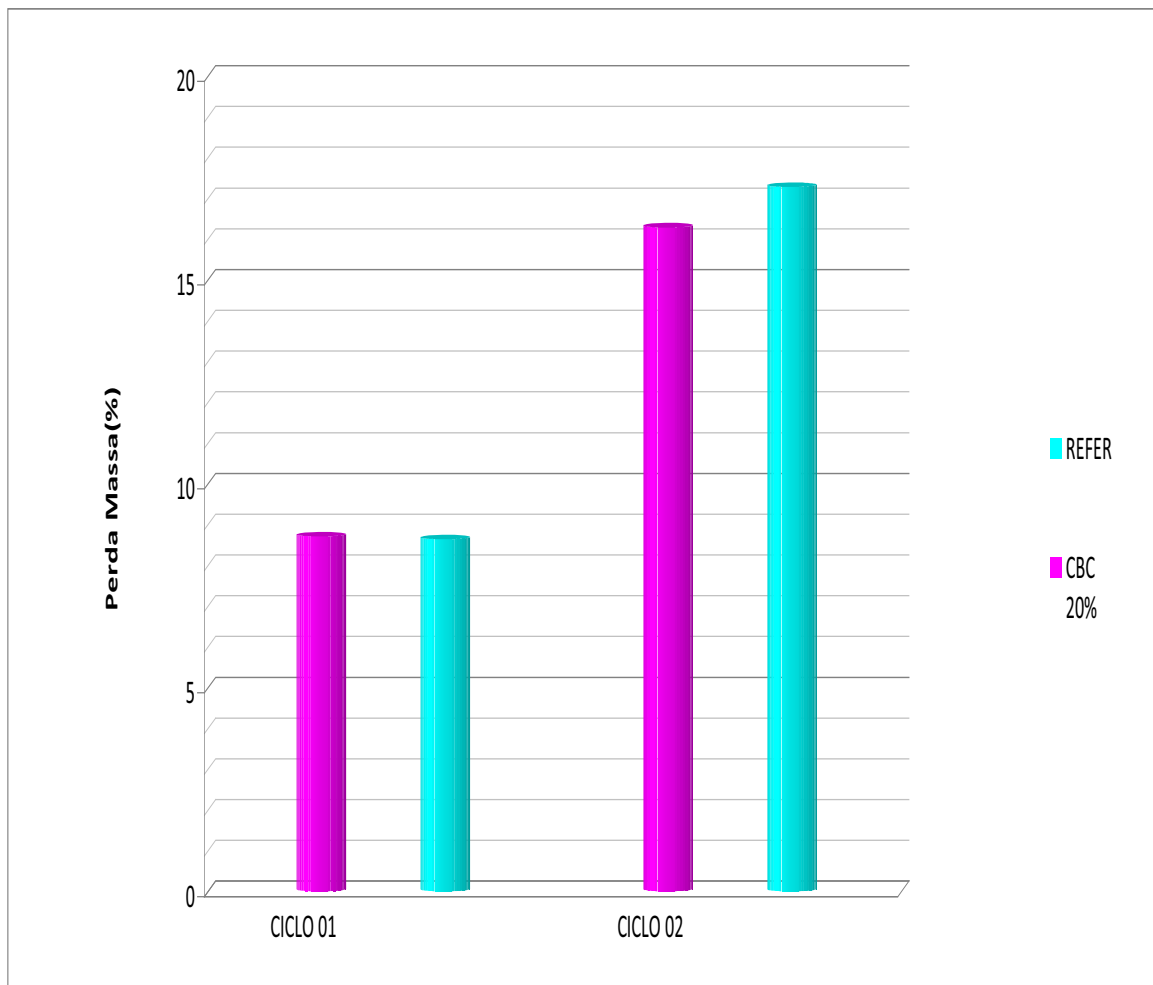


Fonte: do próprio autor

TABELA 13 - Perda de Massa (%) por ataque químico em ciclos

PERDA DE MASSA (%)	CICLO 01	CICLO 02
Concreto (Referência)	8,63	17,27
Concreto (CBC - 20%)	8,70	16,28

Figura 64 - Perda de Massa (%) por ataque químico



A conclusão que se chega, levando em consideração o resultado gráfico da figura 64, é que a porcentagem de perda de massa do traço do concreto de referência, mesmo em pouca diferença, foi maior que a do traço do concreto com CBC (em substituição de 20 % em massa do agregado miúdo por CBC), principalmente no 2º ciclo (final) do ensaio, o que leva a crer que os CPs de concreto com CBC impediram, com maior sucesso, a entrada de agentes agressores, apresentando maior capacidade de impermeabilização.

4.2.4.5 Ensaio de Resistência à Compressão

Depois de terminados os ciclos do ensaio de resistência ao ataque químico, os 2 corpos de prova do concreto de referência e os 2 corpos de prova de concreto com CBC, foram escolhidos, entre eles, os que tiveram menor perda de massa; depois, eles foram lavados e submetidos ao capeamento para o ensaio de resistência à compressão. (figuras 65, 66, 67 e 68)

Figura 65 - CPs após o 2º ciclo ao ataque químico



Fonte: do próprio autor

Figura 66 - CPs após o capeamento



Fonte: do próprio autor

Figura 67 - Ensaio compressão do CP Referência



Fonte: do próprio autor

Figura 68 - Ensaio compressão CP - CBC

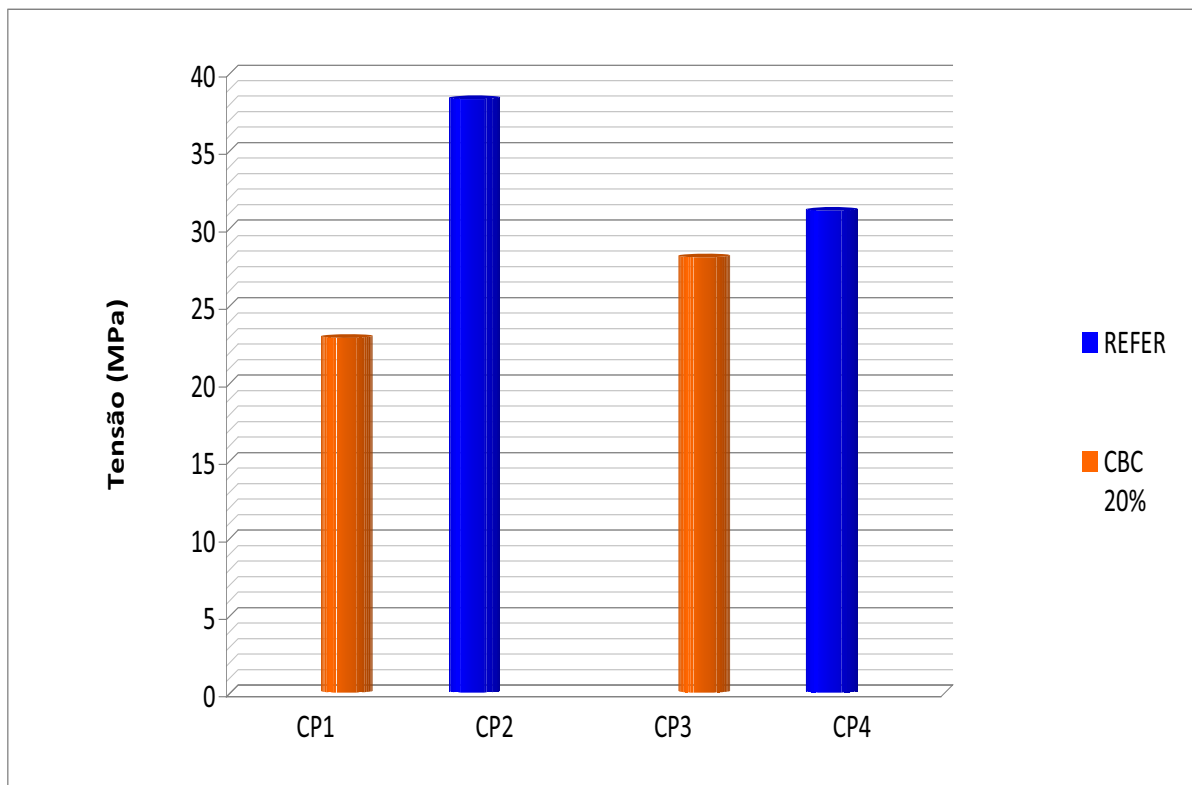


Fonte: do próprio autor

Tabela 14 - Resultados do ensaio de resistência à compressão em MPa (ataque químico)

Corpos de Prova	Traços	
	Referência	CBC 20%
CP1	-	22,9
CP2	38,3	-
CP3	-	28,1
CP4	31,1	-

Figura 69 - Resultados do ensaio de resistência à compressão em MPa



Conclui-se, depois de feito o ensaio de resistência à compressão e analisando o resultado do gráfico (figura 69), que os CPs de concreto referência obtiveram uma maior resistência à compressão comparados aos que continham CBC. Isso mostrou que a resistência mecânica das amostras não sofrera influência devido à perda de massa, já que os CPs de CBC tiveram uma menor perda de massa comparando-se aos CPS do concreto referência, que tiveram uma maior perda de massa.

4.2.4.6 Frente à Penetração de Cloretos no Concreto

Depois do término do ensaio, os CPs foram deixados em local com sombra e ventilação adequada para secagem (figura 70).

Figura 70 - No detalhe CPs depois de retirados da solução de NaCl



Fonte: do próprio autor

Após os CPs passarem pelo 4º ciclo de ensaio, foi realizado um procedimento de corte do CP por meio de ruptura diametral, e após, aplicou-se a solução de nitrato de prata a 0,1 M, seguindo para um local de boa iluminação. As figuras 71 e 72 revelam a verificação da penetração de cloretos em local de iluminação e secagem ao ar livre, e a formação de uma coloração mais clara, o que evidencia a presença de íons cloreto.

Figura 71 - CP de CBC em exposição ao sol



Fonte: do próprio autor

Figura 72 - CP de Referência em exposição ao sol

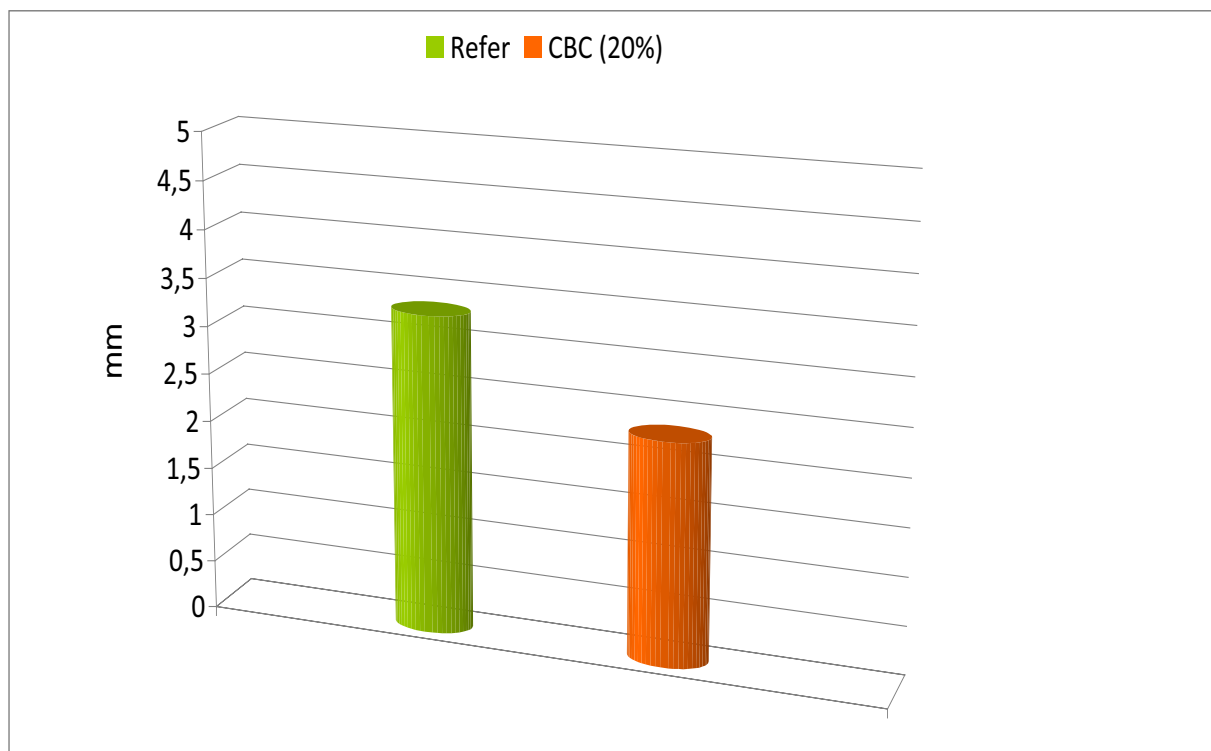


Fonte: do próprio autor

Tabela 15 - Média de Profundidade de Penetração dos cloretos (mm) nos CPs

Corpos de Prova	Traços	
	Referência	CBC (20%)
CP	3,30	2,30

Figura 73 - Média de Profundidade de Penetração dos cloretos em 'mm' nos CPs



A conclusão a que se chega levando em consideração a análise dos resultados da figura 73, é que a adição de CBC em 20%, em substituição do agregado miúdo no concreto, promoveu uma melhor resistência à penetração dos íons cloreto, se comparado ao concreto de referência.

Segundo a norma 6118 (ABNT, 2007), as penetrações não apresentam risco eminente de corrosão para as armaduras em concreto, por estarem com valores inferiores aos limites especificados na norma citada.

A figura 74, apresenta o detalhe à esquerda (faixa esbranquiçada) da borda do CP identificando local de reação entre nitrato de prata (AgNO_3) e o NaCl , despontando a região onde há a penetração dos íons de cloreto no concreto.

Figura 74 - Detalhe “em branco ” do início da reação com o nitrato de prata no CP de CBC



Fonte: do próprio autor

A figura 75 mostra o detalhe na faixa vermelha identificando a intersecção entre o local com penetração dos íons cloretos no concreto e o local sem a presença de íons cloreto, exposta na parte mais escura do concreto com CBC.

Figura 75 - Detalhe à direita “em vermelho” da penetração de íons de cloretos no CP com CBC .



Fonte: do próprio autor

4.2.4.7 Abrasão / Erosão

A qualidade dos traços de concreto dos CPs foi detectada pelo ensaio de abrasão e erosão e produziu uma variação de perda de massa significativa entre os traços estudados, sendo estes pesados antes de iniciar o ensaio e após 10, 24, 48 e 72 horas, com uma diferenciação de perda menor observada para o traço com CBC em comparação ao concreto de referência apresentados na figura 76.

Tabela 16 - Resultados do ensaio de Abrasão /Erosão em perda de massa (%) após 72 horas

Corpos de Prova	Traços	
	Referência	CBC (20%)
CP	10,3	5,0

Figura 76 - Resultados do ensaio de Abrasão /Erosão em perda de massa (%) após 72 horas

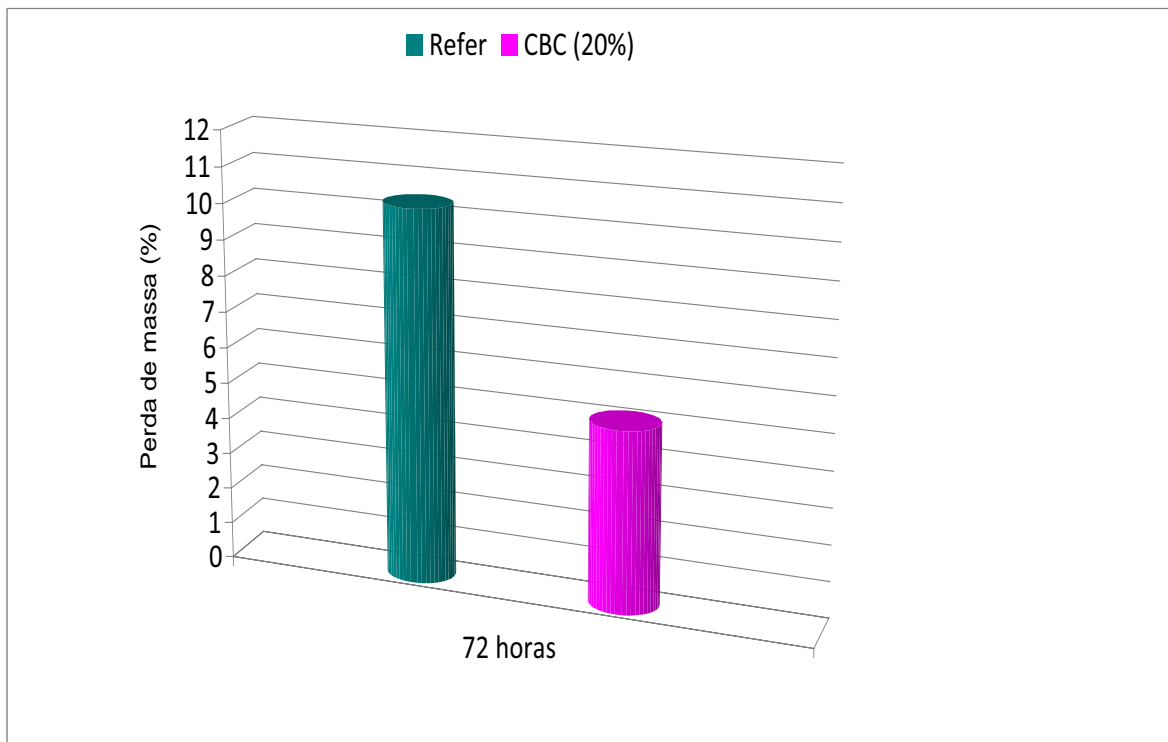


Figura 77 - Aparência após desgaste de 72 horas de ensaio de Abrasão /Erosão para CP de Referência



Fonte: do próprio autor

Figura 78 - Aparência após desgaste de 72 horas de ensaio de Abrasão /Erosão para CP de CBC



Fonte: do próprio autor

Comparando-se visualmente os CPs de referência com o de CBC (figuras 77 e 78), já é possível visualizar a diferença em termos de desgaste por abrasão / erosão entre os dois traços.

5 CONCLUSÕES

O comportamento do concreto de alto desempenho com adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) foi avaliado pelos ensaios de resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, absorção de água, módulo de elasticidade e de durabilidade.

No ensaio de resistência à compressão axial, pode-se notar que, quanto maior a quantidade de CBC adicionado ao concreto, maior se torna a resistência mecânica dele. O concreto com 20% de adição possui a maior resistência entre todas as outras, inclusive se for comparado ao concreto de referência.

Com os dados obtidos, podemos notar que a resistência à tração por compressão diametral, no concreto com 20% de adição, foi o que apresentou maiores valores de resistência em relação aos demais.

Os dados obtidos de absorção de água, apresentaram-se com pouca variabilidade, independente da quantidade de CBC adicionada. Aos sete dias de idade, foi obtido um ligeiro aumento dos valores de absorção para os traços com adição em relação aos traços referência, ao passo que tal comportamento foi inversamente observado aos 28 dias.

Quanto aos valores de módulo de elasticidade, nota-se um ligeiro aumento ao longo do tempo, sendo observadas em geral reduções nos valores de módulo para aumentos das porcentagens de CBC.

Com isso, pode-se concluir que o concreto com 20% de adição de CBC é o que apresenta melhores resultados, e isto se deve ao fato de que quanto maior a quantidade de CBC menor será a quantidade de agregado miúdo, o que mantém o cimento constante e, assim, aumenta a propriedade pozolânica do traço ao se acrescentar material com predominância de sílica.

Com relação à durabilidade, conclui-se que, para o ensaio de absorção por capilaridade, o concreto em substituição de areia pela CBC e o de referência (convencional), no decorrer da idade de sete dias para 28 dias, sofreu uma razoável redução de absorção por capilaridade.

No ensaio de penetração de água sobre pressão, obteve-se em todos os seus resultados, valores inexpressivos, ou seja, teve profundidade mínima de penetração

da água nos CPs, que fica impossível de se mensurar um valor preciso, tanto no concreto de referência como no concreto com CBC.

Em relação ao ensaio de ataque químico por ácido láctico, a porcentagem de perda de massa do traço do concreto de referência, mesmo que em pouca diferença entre eles, foi maior que a do traço do concreto com CBC (em substituição de 20 % em massa do agregado miúdo por CBC), principalmente no 2º ciclo (final) do ensaio, o que leva a crer que os CPs de concreto com CBC impediram com maior sucesso a entrada de agentes agressores, revelando sua maior capacidade de impermeabilização.

Em relação à resistência de compressão dos CPs que sofreram o ataque do ácido láctico, os de referência obtiveram uma maior resistência à compressão, se comparados com os que continham CBC. Isso demonstrou, portanto, que a resistência mecânica das amostras não sofreu influência devido à perda de massa, já que os CPs de CBC tiveram uma menor perda de massa quando comparados aos CPS de concreto referência que tiveram uma maior perda de massa.

Em relação à penetração de cloretos, a adição de CBC em 20% de substituição do agregado miúdo no concreto promoveu uma boa resistência à penetração dos íons cloreto, ou seja, uma maior resistência à penetração se comparado ao concreto referência.

No ensaio de abrasão /erosão, foi detectada uma variação de perda de massa significativa entre os traços estudados, com uma diferenciação de perda menor observada para o traço com CBC, em comparação com o concreto referência, ou seja, o concreto que foi confeccionado com CBC, em substituição de 20% do agregado miúdo, possui mais resistência ao desgaste de abrasão / erosão do que o concreto referência produzido nesta pesquisa.

Tendo em vista que o traço escolhido para os ensaios de durabilidade foi o de melhor desempenho, e levando em consideração os resultados obtidos nos ensaios anteriores ao de durabilidade, e que neste caso foi escolhido o de 20% de substituição do agregado miúdo pela CBC, tem-se que a qualidade do concreto referência não foi comprometida com a adição deste resíduo proposto. Pelo contrário, foi muito eficaz o comportamento do concreto referência com CBC, na maioria dos ensaios, como se observa nos casos dos ensaios: de absorção por capilaridade, de resistência ao ataque químico por ácido láctico, de permeabilidade à água, de resistência à penetração à cloretos e o de abrasão /erosão do concreto.

Em relação ao tipo de obras que podemos utilizar, o traço com CBC, levando em consideração todos os resultados finais obtidos, inclusive os de durabilidade, a pesquisa sugeriria aplicar este traço em obras com necessidade de grandes resistências à compressão; contenção de água que necessite de grande pressão, no caso das barragens; de contenção do ingresso de íons cloreto em sua superfície, no caso, os locais de maresias significativas; ataque químico de ácido láctico, no caso de laticínios; e também em pisos de grande volume de tráfego, onde a resistência à abrasão é fundamental.

6 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Entende-se que a necessidade do aproveitamento de resíduos seja uma maneira de auxiliar o meio ambiente. Sendo assim, fazem-se necessários novos estudos com estes resíduos, em quantidades maiores de substituição nos traços de concreto, a fim de verificar sempre se a qualidade deste não diminui, de forma a reduzir ainda mais os agregados utilizados para a elaboração destes concretos.

Sugere-se, ainda, a realização de um estudo específico de traços de concreto com as quantidades ótimas de adição de CBC, levando em conta o custo final exercido na construção civil para a elaboração dos concretos convencionais sem adição, e compará-los com o custo final do concreto com CBC.

Posteriormente, também, seria preciso dar continuação a esta pesquisa com a elaboração de um concreto com substituição do agregado miúdo pela CBC, visando o alcance das características e dos resultados de um concreto de alto desempenho (CAD).

REFERÊNCIAS

AGUIAR, J. A. **Avaliação dos ensaios de durabilidade do concreto armado a partir de estruturas duráveis**. 2006. 173 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

AITCIN, P. C. **Concreto de alto desempenho**. São Paulo: PINI, 2000.

ALMEIDA I. R.; SILVA A.J.C. Concreto: ensino, pesquisa e realizações. In: Ivan Ramalho de Almeida. **Concretos de alto desempenho**. São Paulo: IBRACON, 2005.

AMARAL FILHO, E. M. Concreto de alta resistência. **Revista IBRACON**, São Paulo, v.2, n.4, p.40-49, abril/maio/junho/1992.

ANDRADE, J. J. O.; TISBIEREK, F. T.; RATHER, L. P. R.; NOBRE, T. R. S. Avaliação das características do concreto quando submetido à degradação de origem química. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 45., 2003, Vitória. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2003. p. 1 - 12. 1 CD-ROM.

ARAÚJO, S. L. B. **Utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como agregado miúdo em concretos para artefatos de infraestrutura urbana**. 2011. (Pós Graduação em Engenharia Urbana) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5738**: modelagem e cura de corpos de prova cilíndricos de concreto. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5739**: concreto - ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos: procedimento. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto - procedimento. Rio de Janeiro, 2007. 221p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS -ABNT. **NBR 7215**: cimento portland - determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7218**: determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7222**: concreto e Argamassa – determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8522**: concreto - determinação do módulo estático de elasticidade à compressão - Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9383**: produtos orgânicos sólidos – determinação das umidades e outros materiais voláteis nas condições de teste – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9778** : argamassa e concreto endurecidos - determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9779**: argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10787**: concreto endurecido – determinação da penetração de água sob pressão. Rio de Janeiro, 1994.6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 11578**: cimento portland composto - especificação. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12653**: materiais pozolânicos – requisitos e especificações. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12821**: Preparação de concreto em laboratório – Procedimento. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBRNM 23**: cimento portland e outros materiais em pó – determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBRNM 45**: agregados – determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBRNM 47**: concreto - determinação do teor de ar em concreto fresco - método pressométrico. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBRNM 49**: agregado fino – determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBRNM 52**: agregado miúdo – determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBRNM 52**: determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBRNM 53**: agregado graúdo - determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBRNM 65**: cimento portland – determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBRNM 67**: concreto - determinação da consistência pelo abatimento do troco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBRNM 76**: cimento portland - determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de blaine). Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBRNM 248**: agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

CALDAS, A.; MELO NETO, A. A.; JOHN, V. M.; PIRES SOBRINHO, C. W. A. Tecnologias alternativas para habitação: o uso de cinzas residuais para produção de novos materiais e componentes construtivos. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA E GESTÃO DA QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., 2000, Recife. **Anais...** Recife: POLI-UPE. 2000. p.12.

CASTALDELLI, V. N. ; CASTRO, J. N. T.; QUEVEDO, V. R. B. ; AKASAKI, J. L. ; TASHIMA, M. M. ; BERNABEU, J. P. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2010, Fortaleza. **Congresso...** Fortaleza: [s.n.], 2010. p. 1-15.

CIMENTO ITAMBÉ. **Adições minerais nos pisos de concreto**. [S.l.: s.n., 200-]. Disponível em: <[http://www.cimentoitambé](http://www.cimentoitambé.com.br)>. Acesso em: 8 mar. 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira**. São Paulo: [s.n.], 2013. Disponível em: <<<http://www.conab.gov.br>>>. Acesso em: 12 Julh. 2013.

CONCREBRAS. **O concreto do Brasil**. [S.l.: s.n., 200-]. Disponível em: <<<http://www.concrebras.com.br/tipos-concreto-cad.html>>>Acesso em: 2 Out. 2013.

CORDEIRO, G. C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto**. 2006. 445 f. Tese (Doutorado) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; TAVARES, L. M.; FAIRBAIRN, E. R. M. Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in portland cement and lime mortars. **Cem & ConcComp**, v. 30, p.410-418, 2008.

DAL MOLIN, D. et al. Estudo de concretos com adição de sílica ativa (Microsílica) frente ao ataque de agentes agressivos para emprego em pisos especiais. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON HIGH-PERFORMANCE CONCRETE AND PERFORMANCE AND QUALITY OF CONCRETE STRUCTURES, 1., 1996, Florianópolis. **Proceedings...** Florianópolis: UFSC, 1996. p. 590-598.

FERNANDES, M. P. M.; PIMENTEL, U. H. O. O impacto dos RCDs no ambiente urbano. In: ENCONTRO NACIONAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS, 2., 2011, Maceió. **Anais...** Maceió:[s.n.], 2011.

FERREIRA, R. M. **Avaliação dos ensaios de durabilidade do betão**. 2000. 246 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Guimarães, 2006.

GANESAN, K.; RAJAGOPAL, K.; THANGAVEL, K. Evaluation of bagasse ash as Supplementary cementitious material. **Cement and Concrete Composites**, Barking, v. 29, p. 515-524, 2007.

JOHN, V. M. Sobre a necessidade de metodologia de pesquisa e desenvolvimento para reciclagem. In: FÓRUM DAS UNIVERSIDADES PÚBLICAS PAULISTAS – CIÊNCIAS E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS, 1., 2003, Lindóia. **Anais...** Lindóia: 2003.

LIBORIO, J. B. L. Avanços tecnológicos dos concretos estruturais nos últimos 30 anos. In: IBRACON 30 anos. São Paulo: [s.n.], 2002. 1CD-ROM.

LIMA M. G. Concreto: ensino, pesquisa e realizações, - In: ISAIA, G. C.(Ed.). **Ação do meio ambiente sobre as estruturas de concreto**. São Paulo: IBRACON, 2005. v.1.

LIMA, S. A.; SALES, A.; MORETTI, J. P.; SANTOS, T. J. Análise de argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição ao agregado miúdo. **Revista Tecnológica**, Maringua, v. 18, p. 87-97, 2010.

MACEDO, P. C. **Avaliação do desempenho de argamassas com adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar**. 2009. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

MARTIRENA-HERNÁNDEZ, J. F.; BETANCOURT-RODRÍGUEZ, S.; MIDDENDORF, B.; RUBIO, A.; MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, L.; MACHADO-LÓPEZ, I.; GONZÁLEZ-LÓPEZ, R. Propriedades pozolánicas de desechos de la industria azucarera (segunda parte). **Materiales de Construcción**, Madrid, v. 51, n. 261 p. 67-72, 2001.

MARTINS, C.H; MACHADO, P.H.T. Estudo da utilização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar em argamassas e concretos. In: ENCONTRO NACIONAL DE MATERIAIS E ESTRUTURAS COMPOSTAS – ECMEC, 2., 2010, Porto. **Anais...** Porto: Editora da Universidade do Porto, 2010. v. 1, p. 1.

MEDEIROS, B. L. **Estruturas subterrâneas de concreto: levantamento de manifestações patológicas na região metropolitana de Curitiba e análise de sistemas de reparo.** 2005. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: PINI, 1994. 580 p.

METHA, P. K. E MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: IBRACON, 2008.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 2. ed. São Paulo: Pini, 1997. 828 p.

NETO, E. **A Nova engenharia do concreto.** Pernambuco: [s.n.], 2005.

NUNES, I. H. S.; VANDERLEI, R.D.; SECCHI, M.; ABE, M. A. P. Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção. **Revista Tecnológica**, Maringá, v. 17, p. 39-48, 2008.

PAYÁ, J.; MONZÓ, J.; BORRACHERO, M. V.; DÍAZ-PNZÓN, L.; ORDOÑEZ, L. M. Sugar-cane bagasse ash (SCBA): studies on its properties for reusing in concrete production. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, Oxford, n. 77, p. 321-325, 2002.

PORTAL DO CONCRETO. **Concreto de alto desempenho.** São Paulo: [s.n.], 2010. Disponível em: <<http://www.portaldoconcreto.com.br>>. Acesso em: 12 ago 2013.

SILVA, F. G. **Estudos de concretos de alto desempenho frente à ação de cloretos.** 2006. 236 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SILVA, R. N. **Um estudo sobre o concreto de alto desempenho.** 2010. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2010.

SINGH, N. B.; SINGH, V. D.; RAI, S. Hydration of bagasse ash-blended portland cement. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, n. 30, p. 1485-1488, 2000.

SOUTO, J. M.F.;VANDERLEI, R. D.; NUNES, I. H. S. Avaliação da cinza do bagaço de cana-de-açúcar em substituição parcial de cimento portland na produção de concretos. In: CONGRESSO DO CONCRETO - CBC, 51., 2009, Curitiba.

Anais...Curitiba: IBRACON, 2009.

SOUZA, G.N.; FORMAGINI, S.; CUSTÓDIO, F.O.; SILVEIRA, M. M.

Desenvolvimento de argamassas com substituição parcial do cimento Portland por cinzas residuais do bagaço de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC, 49., 2007, Bento Gonçalves. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2007.

HELENE, P. Edifício de concreto de alto desempenho. **Téchne**, São Paulo, n. 63, junho 2002. p. 36-46.

TORALLES-CARBONARI, B. M.; CAVALARO, S. H.; CASTANHA, J. C. M.; GUACELLI, P. A. G.; SILVA, C. C. Utilização do método ultra-sônico para avaliação da performace do concreto de alto desempenho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC, 2010, Fortaleza. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2010.

VANDERLEI, R.D.; SECCHI, M.;ABE, M.A.P.;AGASSI, J. D. Estudo de dosagens e propriedades mecânicas de concretos utilizando a cinza de bagaço de cana-de-açúcar como adição mineral.In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS-ENARC, 2., 2011, Maceió. **Anais...** Maceió: UFAL, 2011.

VIEIRA, F. P.; KULAKOWSKI, M. P.; DAL MOLIN, D. C.C.; VILELA, A. C. F. **Estudos de durabilidade em concretos e argamassas com adição de microssílica.** Florianópolis: [s.n.], Abril, 2007.

VILLAR-COCIÑA, E.; FRÍAS, M.; VALENCIA-MORALES, E.; SÁNCHEZ R. M. I. An evaluation of different kinetic models for determining the kinetic coefficients in sugar cane straw-clay ash/lime system. **Advances in Cement Research**, London, p. 17-26.

ZAIN, M.F.M.; SAFIUDDIN, M ; YUSOF, K. M. A study on the propreties of freshly mixed high performance concrete. *Cement and Concrete Research*, Kidlington, v. 29, n. 9, p. 1427-1432, sept. 1999.