



Propriedades do concreto com adição de cinza volante e cinza pesada Douglas Duarte (1), Fernando Pelisser (2), Michael Peterson (3)

- (1) Universidade do Extremo Sul de Santa Catarina – UNESC / Acadêmico do curso de Engenharia Civil (duarte.eng@bol.com.br)
(2) Universidade do Extremo Sul de Santa Catarina – UNESC / Departamento de Engenharia Civil (fep@unesc.rct-sc.br)
(3) Universidade do Extremo Sul de Santa Catarina – UNESC / Departamento de Engenharia Química (michael@unesc.net)

Resumo

O despejo desprotegido ao ambiente de resíduos sólidos evolui com o crescente desenvolvimento industrial. Diante desta afirmação e de uma busca pela redução do impacto ambiental, se faz necessário discutir aplicações tecnológicas para um subproduto conhecido e abundante que é a cinza do carvão mineral produzido nas usinas termoeletricas. A pesquisa tem o objetivo de analisar o comportamento do concreto em estado endurecido com substituições parciais de cimento portland por cinza volante e cinza pesada, bem como a equivalência entre as duas. Foram realizadas dez dosagens de concreto com adições de cinzas leve e pesada em níveis de variação representados pelos teores de 0.07, 0.14, 0.21, em relação à massa do cimento, e o concreto de referência sem a adição de cinza. Os ensaios realizados para avaliar o comportamento do concreto com adição de cinzas foram; ensaio de compressão axial; absorção de água por capilaridade e absorção de água por imersão. Os concretos foram analisados nas idades de 28 e 150 dias.

Palavras-chave: Concreto. Resíduo. Cinza.

Área Temática: Resíduos Sólidos.

1. Introdução

Apesar da incessante expansão tecnológica industrial, não se observa para as indústrias geradoras de resíduos, uma menor produção de seus subprodutos ou o seu reaproveitamento no próprio local de origem gerador. O que se tem conhecimento são os acúmulos de resíduos industriais depositados inadequadamente ao ambiente. Em meio a este cenário agressivo a engenharia vem buscando a utilização destes materiais. Os pesquisadores procuram entre estes resíduos principalmente os que possuem características pozolânicas, por ser conhecida a sua utilização na indústria da construção civil em substituição ao cimento portland, produto de custo e consumo elevado. A primeira utilização de cinza do carvão mineral volante como agente cimentante, aconteceu em alguns quilômetros da parede de retenção ao redor do Lago Michigan, em 1936, nos Estados Unidos. Foram utilizados de 20 a 50% de cinza volante em substituição ao cimento na construção de meia milha de pavimentação (Silva e Ceratti, 1980, *apud* POZZOBON, 1999).

Para Haddad *et al.* (1997, *apud* POZZOBON, 1999), a deposição de resíduos, especialmente em regiões industriais, é um problema de complexidade crescente, que oferece

elevados custos e expõe o meio ambiente a riscos de contaminação pela concentração de um grande número de substâncias potencialmente nocivas em um mesmo local.

Outro fator que incentivou o uso destes materiais foi proporcionado pela preocupação ecológica, em busca da redução do impacto ambiental com relação à abertura de valas e pedreiras para obtenção das matérias primas necessárias à produção de cimento portland (NEVILLE, 1997).

Segundo Gava (1999), diante da grande disponibilidade de materiais pozolânicos, aliada a nova exigência de materiais de construção que atenda ao quádruplo enfoque, comandado pela letra E, apontados por Mehta (1994); Engenharia, Economia, Energia e Ecologia, o aumento na incorporação de produtos industriais que apresentam características pozolânicas torna-se de fundamental importância.

Neste trabalho, foram avaliadas as mudanças nas propriedades do concreto no estado endurecido com diferentes teores de substituição de cimento por cinza leve (volante) e cinza pesada, a fim de produzir um concreto ecologicamente correto com um custo reduzido e mantendo as condições de durabilidade.

2. Revisão Bibliográfica

O Complexo Termoelétrico Jorge Lacerda, situado em Capivari de Baixo - SC é, atualmente, o maior potencial termoelétrico a carvão em funcionamento da América Latina, sendo produzidos cerca de 800.000,00 toneladas por ano deste resíduo carbonífero, sendo aproximadamente 70% cinza leve e 30% cinza pesada, das quais a segunda não possui nenhum valor comercial, tendo como destino às bacias de sedimentação (POZZOBON, 1999).

Na opinião de Zwonok *et al.* (1996, *apud* POZZOBON, 1999), atualmente, tanto a cinza volante como a cinza pesada e as escórias estão firmemente estabelecidas a nível mundial, principalmente na Europa e América do Norte, como subprodutos da geração térmica comercialmente viáveis.

Na Índia, Hadad *et al.* (1997 *apud* POZZOBON, 1999) apontam a cinza volante na manufatura de vários tipos de cimento; produção de agregados leves para concretos; blocos de concreto celular e de lajes; produção de tijolos e telhas de argila e cinza volante queimadas; produção de tijolos de cinza volante – areia – cal; uso de cinza volante como enchimento estrutural em estradas, minas abandonadas, e para recuperação de solos.

O uso de cinza substituindo parte do clínquer portland é um modo seguro e barato de removê-la da superfície do solo, contribuindo para conservação da energia usada na fabricação do cimento, e de recursos minerais (calcário e argila) cuja exploração geralmente agride o meio ambiente (ISAIAS, 1996 *apud* POZZOBON, 1999).

Muitos trabalhos já foram realizados com a utilização de cinza volante proveniente de termoelétricas, por apresentar propriedades pozolânicas. Mas poucos trabalhos são referenciados com a utilização de cinza pesada (POZZOBON, 1999).

3. Materiais e Métodos

O programa experimental teve como objetivo principal avaliar o desempenho do concreto com substituições parciais de cimento por cinza leve e cinza pesada nas idades de 28 e 150 dias. Foram analisadas as propriedades de resistência à compressão axial, absorção de água por imersão e absorção de água por capilaridade, bem como a equivalência entre os dois tipos de cinzas utilizadas na pesquisa.

As dosagens de concreto foram baseadas no Método Experimental de Dosagem de Concreto do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (HELENE, 1992).

Os concretos analisados na pesquisa foram confeccionados obedecendo às normas de Preparação de Concreto em Laboratório (NBR 12821, 1993) na proporção 1:1,75:2,25 (aglomerante:areia:brita) medido em massa de materiais secos, com relação água/aglomerante de 0,55, teor de argamassa de 55% para um consumo de cimento (CPV-ARI-RS/Votoran) de 432,00 Kg/m³.

As cinzas leve e pesada foram adicionadas conforme os níveis de variação representados pelos teores de 0,07, 0,14, 0,21, em relação à massa do cimento, exceto no concreto de referência sem a adição de cinzas. Os resultados foram analisados através de uma análise estatística realizada por análise de variância (ANOVA) de um experimento composto por duas variáveis (tipos de cinza) em três níveis (teores de cinza) com três replicações, e por uma terceira variável (idade) em dois níveis.

O abatimento do concreto de referência se adequou às normas de aplicações práticas de produção de concreto usinado, tendo um abatimento para bombeamento de 100±20 mm (NBR 7212, 1984), pelo método da determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone (NBR NM 67, 1998), variando apenas o teor de adição de cinzas.

Para cada uma das 10 dosagens de concreto foram moldados 20 corpos-de-prova cilíndricos (10 x 20 cm), as quais foram adensadas manualmente e colocadas sob cura úmida segundo as normas de moldagem e cura de corpos-de-prova (NBR 5738, 1994).

4. Resultados e Discussão.

No ensaio de resistência à compressão para os concretos com adição de cinza verificou-se que quanto maior a adição de cinza, menor a resistência dos concretos. Este efeito pode ser explicado pela formação de produtos de hidratação secundários, principalmente silicatos de cálcio hidratados, de baixa densidade, proporcionados pela reação entre as partículas de cinzas e hidróxido de cálcio (MEHTA, 1994), os quais substituíram os produtos que seriam formados na hidratação do cimento portland, também silicatos de cálcio hidratados, entretanto de maiores densidades.

Com a evolução da hidratação dos materiais cimentícios de 28 para 150 dias, apesar da queda de resistência com o aumento do teor de cinza, mesmo as dosagens com elevadas quantidades de substituição obtiveram ganhos expressivos de resistência com a idade.

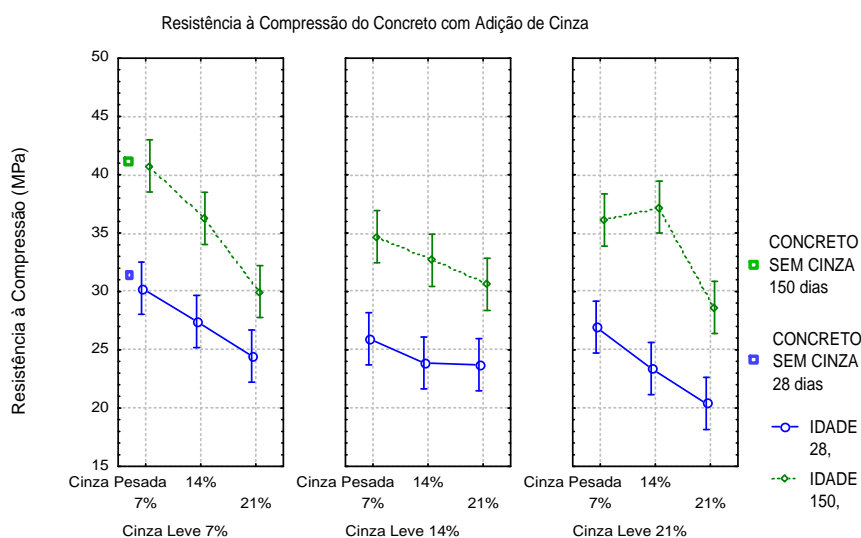


FIGURA 1 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão axial

O concreto com um menor teor de cinza, de 7% de cinza leve e 7% de cinza pesada, aos 150 dias, obteve desempenho similar ao concreto de referência. Através da figura 1, pode-

se observar que para os dois concretos a resistência foi de aproximadamente 41 MPa. Este teor de 14% de cinza se mostra ideal para substituição no concreto sem perda de resistência mecânica. Além de um concreto de menor custo e ecologicamente correto pelo menor consumo de cimento, tanto pela redução do impacto ambiental - produzido pela indústria cimenteira – como pela economia de matérias primas, bem como pelo consumo de um resíduo agressivo ao ambiente.

Analisando-se o aumento de resistência com a idade, os concretos com teores de 21% de cinza leve apresentaram maiores ganhos de resistência. O maior aumento na resistência foi obtido na mistura com 21% de cinza leve e 14% de cinza pesada superando o acréscimo de resistência do concreto de referência em 44%, proporcionado pela hidratação de pozolânas em idades posteriores, podendo ocorrer, segundo Neville (1997) depois de uma semana ou mais.

Na análise estatística realizada, constatou-se que os dois tipos de cinzas utilizados na pesquisa foram significativos na redução da resistência à compressão do concreto com o aumento dos teores adicionados. Na figura 2 pode-se observar a influencia da cinza leve e pesada na resistência do concreto. Para teores menores os dois tipos de cinzas possuem as mesmas tendências de redução na resistência à compressão. Enquanto que para teores de 21% a cinza leve se mantém constante e a cinza pesada continua o decréscimo de resistência do concreto. Este efeito é observado nos concretos com 21% de cinza pesada, com os quais foram obtidas as menores resistências, com uma perda média de 28% em relação ao concreto de referencia (figura 1), mas ainda permanecendo com uma resistência característica superior a mínima de projeto de 20MPa (NBR 6118/2003), e com um consumo de cimento reduzido em 44% (21% de cinza pesada e 14% de cinza leva – teor intermediário da leve).

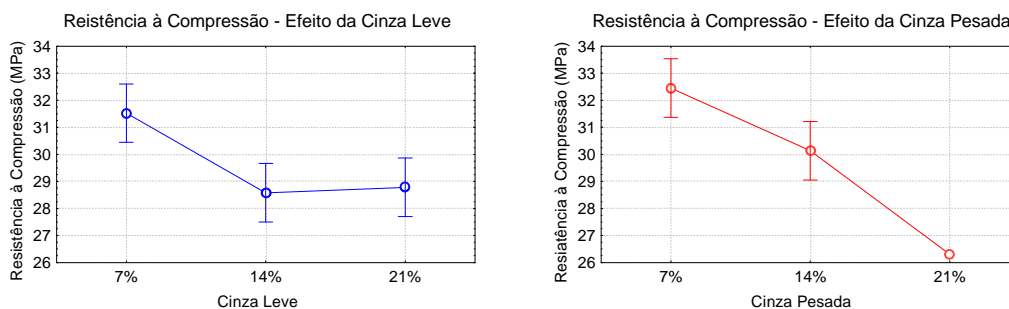


FIGURA 2 – Efeito das cinzas na resistência à compressão do concreto

3.1 Absorção de Água por Capilaridade

No ensaio de absorção de água por capilaridade, que se trata de um ensaio que analisa principalmente os poros menores da pasta de cimento hidratada (até menores de 70µm), pode-se observar através da figura 3, o melhor desempenho da cinza leve, que manteve-se praticamente constante em relação ao acréscimo de cinza. Nos concretos com cinza pesada observou-se um aumento da absorção quando adicionada em maiores quantidades.

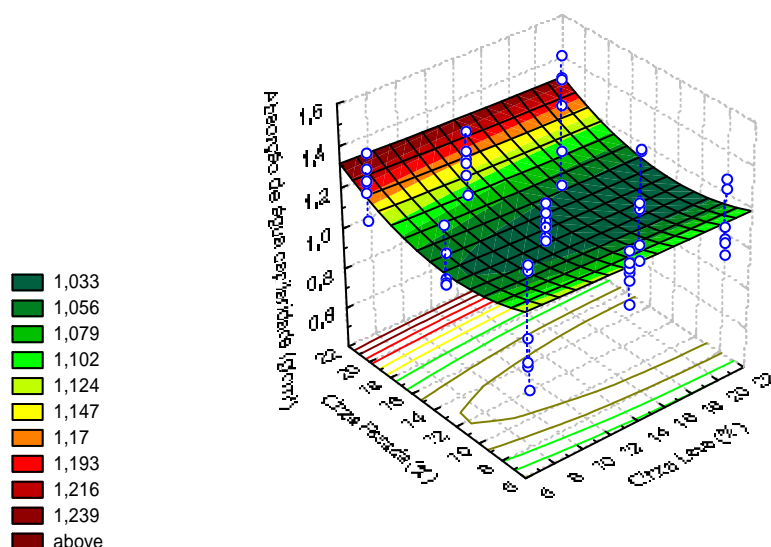


FIGURA 3 – Resultado dos ensaios de absorção de água por capilaridade aos 150 dias

A cinza leve possui partículas mais finas do que a cinza pesada, de onde pode-se concluir que a primeira tanto é mais reativa como proporciona ao concreto melhor empacotamento, ou, segundo Neville (1997) uma melhor acomodação com cimento portland mais grosso e cinza mais fina.

Esta porosidade reduzida com a cinza leve, pode-ser explicada por Mehta (1994) estudos sobre a distribuição do tamanho dos poros dos cimentos mostraram que os produtos da reação pozolânica são bastante eficientes no preenchimento dos espaços capilares grandes, melhorando assim a resistência e principalmente a impermeabilidade do sistema, que é considerada a principal característica para aumento da durabilidade e consequentemente garantindo a sustentabilidade da indústria da construção.

Através da figura 4 pode-se avaliar melhor os resultados obtidos em todas as dosagens utilizadas na pesquisa com diferentes teores de cinza.

Segundo a análise estatística a cinza pesada é significativa na absorção de água por capilaridade. Embora apenas nos concretos com adições de 21% de cinza pesada obteve-se aumentos na absorção. O maior resultado ocorreu na dosagem com o maior teor de cinza pesada, 21%, e o menor teor de cinza leve, 7%, que teve uma absorção 30% superior ao concreto de referência aos 150 dias. A cinza leve não mostrou-se significativa, para os três teores adicionados aos concretos, bem como a idade dos concretos, a influência do aumento de substituição foi muito pequeno.

A dosagem com teor de substituição de 14%, assim como no ensaio de resistência à compressão axial, o resultado foi similar ao do concreto de referência. Contudo, valores próximos ao do concreto de referência também foram obtidos nas misturas com 14% de cinza pesada fixos, e variando a quantidade de cinza leve nos três teores utilizados na pesquisa, como pode ser observado na figura 4.

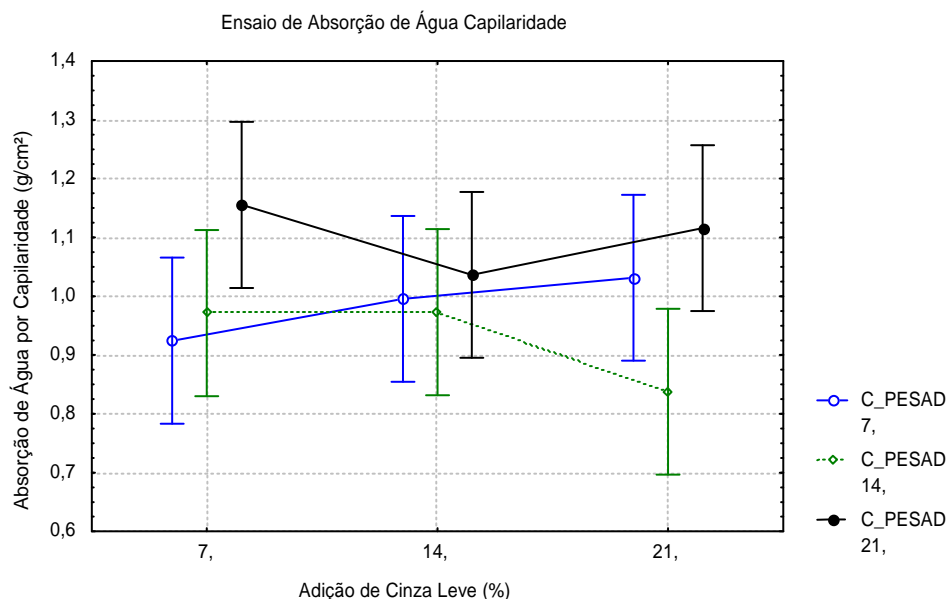


FIGURA 4 – Resultado dos ensaios de absorção de água por capilaridade aos 150 dias

3.3 Absorção de água por Imersão

Nos ensaios realizados para verificação da absorção de água por imersão, nota-se que a idade dos concretos teve influência, conforme mostra a figura 5. Nos concretos com cinza pesada, não houve variação na absorção de água com o aumento no teor de cinza.

Idorn e Thaulow (NEVILLE, 1997), sugerem que as partículas maiores de cinza podem ser consideradas como microagregado que melhora a compacidade da pasta de cimento hidratada de maneira semelhante ao efeito das partículas de cimento portland que permanecem não hidratadas. Dito isto, numa primeira análise concluiria-se que a cinza pesada deveria aumentar a permeabilidade da pasta, contudo, a cinza pesada não possui uma granulometria bem definida sendo constituída também de partículas finas. Enquanto as partículas maiores de cinza pesada melhoram a compacidade da pasta de cimento hidratada as partículas menores produzem as reações pozolânicas.

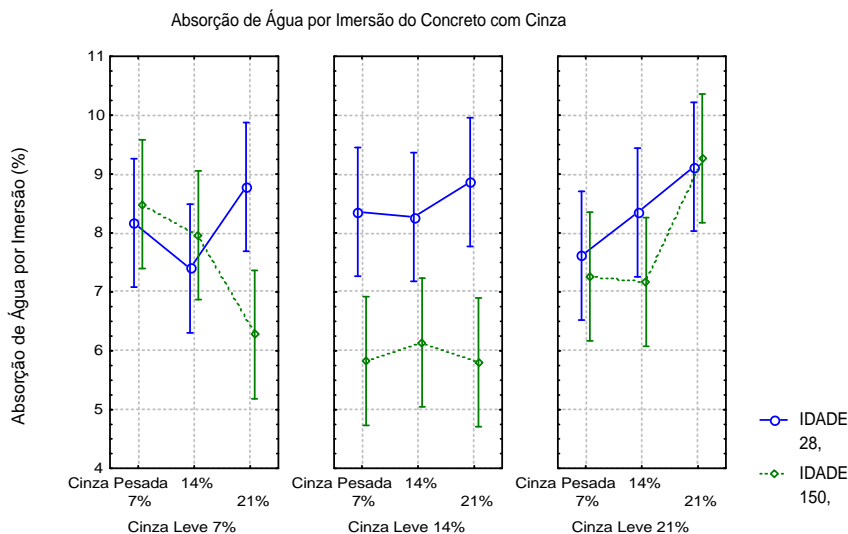


FIGURA 5 – Resultado dos ensaios de absorção de água por capilaridade

Os concretos com teores de 14% de cinza leve foram os que sofreram as maiores reduções na absorção de água por imersão com o aumento da idade, como pode ser visualizado através da figura 6. As dosagens tiveram em média uma redução de 30% na absorção de água por imersão quando ensaiadas aos 150 dias e comparadas com os resultados na idade de 28 dias.

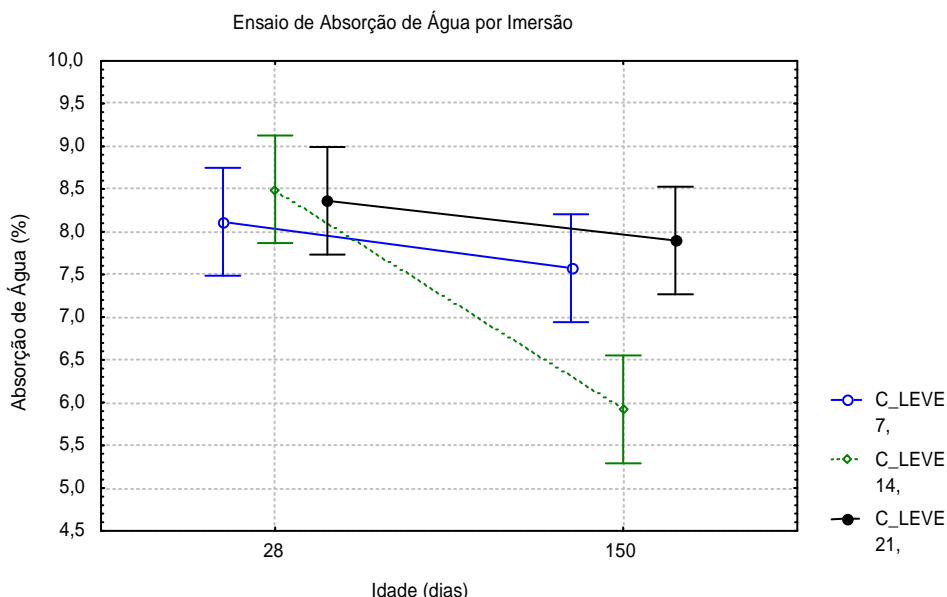


FIGURA 6 – Resultado dos ensaios de absorção de água por capilaridade

5. Conclusão

Com base nos dados desta pesquisa, chega-se à conclusão de que o desempenho do concreto com adições de cinza leve e cinza pesada na resistência à compressão axial diminui conforme aumentam-se os teores de cinzas adicionadas à mistura, contudo, situados acima da resistência mínima de 20MPa, recomendada pela norma NBR-6118/2003. Exceto para os concretos com uma adição total das duas cinzas de 14%, nos quais a resistência à compressão não é afetada.

Relacionado com os ensaios de absorção de água por capilaridade e absorção de água por imersão a cinza leve não é significativa para o primeiro e tem resultado benéfico no segundo, reduzindo a absorção nos concretos com 14% de cinza leve. A cinza pesada na absorção de água por imersão não foi significativa. Entretanto, na absorção de água por capilaridade para teores acima de 14% de cinza pesada, deve-se ter um cuidado maior quando o concreto for exposto a ambientes que exijam maior resistência à impermeabilidade de agentes agressivos. Em contra partida o concreto com cinzas é mais recomendado para alguns ambientes agressivos (marinhos e solos sulfatados), tais como: concretos sujeitos ao ataque por sulfatos, pela baixa quantidade de hidróxido de cálcio; concretos massa, pela menor quantidade de calor gerado na hidratação das pozolânas.

Somando estas primeiras análises, pode-se dizer que os concretos com teor de cinzas igual a 14%, 7% de cinza leve e 7% de cinza pesada, podem ser utilizados sem perdas no seu considerando o requisito de desempenho da resistência à compressão. Conseguindo assim reduzir o custo do concreto e, até mesmo, como nos casos citados acima, uma melhora no seu desempenho quanto a sua impermeabilidade e a durabilidade.

A utilização das cinzas, inclusive a pesada, na construção civil, pode-se viabilizar, pela retirada de um resíduo que se encontra exposto ao ambiente, e, podendo ser utilizados na fabricação de diversos produtos utilizados na construção civil, como na fabricação de concretos estruturais, concreto massa, para pavimentação, de permeabilidade reduzida, bem como para produção dos mais diversificados artefatos de cimento como blocos, lajotas e telhas.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Normas diversas**. Rio de Janeiro.

CAVALCANTE, J. R. et al. **Reaproveitamento das Cinzas Pesadas do Complexo Jorge Lacerda na Elaboração de Materiais de Construção: Aspectos Técnicos e Ambientais**. XV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Foz do Iguaçu-PR, Brasil, 1999. 5p.

GAVA, G. P. **Estudo Comparativo de Diferentes Metodologias para Avaliação de Atividade Pozolânica**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis, 1999. 118p

GIAMMUSSO, Salvador E. **Manual do concreto**. São Paulo: PINI, 1992. 161 p.

HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI, 1992. 349 p

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto, Estrutura, Propriedade e Materiais**. São Paulo, PINI, 1994. 573p.

MORAES, R. C. et al. **Efeitos da Cinza Volante, Cinza de Casca de Arroz e Filler Calcário Sobre a Resistência Mecânica do Concreto**. 42º Congresso Brasileiro do Concreto. Frotaleza-CE, 2000. 14p.

NEVILLE, Adam Matthew. **Propriedades do concreto**. São Paulo: PINI, 1982. 738 p

PETRUCCI, Eládio G. R. **Concreto de cimento portland**. 13 ed. Porto Alegre: Ed. Globo, 1998. 307 p.

POZZOBON, C. E. **Aplicações Tecnológicas para Cinza de Carvão Mineral Produzido no Complexo Termoeletrico Jorge Lacerda**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis, 1999. 122p.