

DOSAGEM DE BLOCOS PRÉ-MOLDADOS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO E SUBSTITUIÇÃO PARCIAL OU TOTAL DA AREIA FINA POR CINZA PESADA

MAIA, Marcelo Jorge S. da (1); SILVEIRA, João Paulo (2); CHERIAF, Malik (3); ROCHA, Janaíde Cavalcante (4)

- (1) Engº. Civil, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. E-mail: maia@npc.ufsc.br
- (2) Graduando em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina
E-mail: paulo@npc.ufsc.br
- (3) CHERIAF, Malik Prof. Dr. Ing. Visitante, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. E-mail: malik@npc.ufsc.br
- (4) ROCHA, Janaíde Cavalcante Profª Dra Ing, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, UFSC. E-mail: janaide@npc.ufsc.br

1 RESUMO

Devido a grande geração de Cinza Pesada em complexos termelétricos à carvão mineral, vemos uma necessidade de realizar estudos e pesquisas a fim de encontrarmos uma utilização para essas cinzas, sem causar impactos ambientais e encontrando uma aplicação técnica e economicamente viável para esse subproduto. Da queima do carvão mineral utilizado em termelétricas são gerados duas variedades de cinzas: as Cinzas Volantes que já são em grande parte absorvidas pelas indústrias cimenteiras, e as Cinzas Pesadas que são pouco reaproveitadas, sendo utilizadas somente como material para a preechimento de corpos de aterros. Geralmente as cinzas geradas pelas centrais termoelétricas caracterizam-se pelas propriedades pozolânicas, esta propriedade é relacionada à presença do material silicoso ou sílico-aluminosos que quando na forma finamente dividida e em presença de água reage quimicamente com o hidróxido de cálcio, para formar os mesmos compostos que são produzidos pela hidratação do cimento Portland.

Tendo em vista as propriedades pozolânicas de certas cinzas geradas nas termoelétricas a carvão e dos problemas ocasionados pela disposição final destas cinzas, este artigo apresenta resultados dos estudos de viabilidade do reaproveitamento das cinzas pesadas geradas no Complexo Termelétrico de Jorge Lacerda na Construção Civil. Nesta pesquisa foi realizada a caracterização de lotes de cinzas pesadas coletadas em diferentes pontos do processo de queima do carvão. A partir da caracterização foram confeccionados blocos de concreto pré-moldados em um processo industrial e também com os mesmos traços confeccionou-se corpos de prova de 10x20 cm no laboratório de materiais de construção civil da UFSC.

2 INTRODUÇÃO

Segundo estudos realizados pelo Ministério das Minas e Energia em 1987, o carvão mineral representava na época 66% dos recursos energéticos não-renováveis brasileiros, sendo que participava com cerca de 2% do consumo de energia nacional, esse dado, apesar de ser de 1987, não está muito fora da realidade de hoje. Nas termelétricas em geral cerca de 50% em peso do carvão mineral é transformado em cinzas, sendo que a parcela de cinza pesada e cinza volante gerada dependerá do processo e do equipamento utilizado, no caso de caldeiras de carvão pulverizado, processo utilizado no complexo termelétrica de Jorge Lacerda, cerca de 60 a 85% das cinzas são cinzas volantes e cerca de 15 a 30% são cinzas pesadas.

A cinza volante que é captada por precipitadores instalados com a tubulação das chaminés, que já praticamente na sua totalidade consumida pela indústria cimenteira devido a sua finura, características

físicas ideais de uma pozolana, e de fácil transporte (caminhões de cimento), e a cinza pesada que fica no fundo das caldeiras, sendo estas praticamente não utilizadas devido possuir uma granulometria mais grosseira e também ser retirada do fundo da caldeira com o auxílio de água corrente, sendo necessário uma secagem e algumas vezes até moagem para atingirem um alto índice de pozolanicidade, apesar disso as cinzas pesadas possuem as mesmas propriedades pozolânicas das cinzas volantes. As cinzas pesadas são depositadas em bacias de decantação a céu aberto, causando um efeito ecológico prejudicial e em alguns casos foi utilizada diretamente como material para a construção de aterros, sendo este um perigo pois havendo presença de lençol freático poderá haver contaminação do mesmo.

A nossa pesquisa a nível de mestrado se concentra no estudo desta cinza pesada, tendo como principal objetivo utilizar esta cinza tanto em substituição parcial do cimento ou em até em substituição parcial ou total do agregado miúdo na dosagem de elementos construtivos pré-moldados, sendo que o principal elemento seriam os blocos de concreto.

Os estudos realizados para se chegar a um dosagem de cinza ideal para a fabricação de pré-moldados serão os relacionados abaixo:

- Caracterização físicas e químicas das cinzas coletadas no Complexo Jorge Lacerda, como massa unitária, umidade, distribuição granulométrica, massa específica, inchamento, composição química, índices de reatividade e outros;
- Fabricação de Blocos de concreto diretamente na usina com diferentes teores de substituição da cinza pelo cimento ou pela areia;
- Fabricação de corpos de prova de tamanho 10 x 20 cm, com os mesmos materiais utilizados na fábrica;
- Acompanhamento permanente da propriedades físicas e químicas dos agregados utilizados na composição da massa de amassamento;
- Ensaios de resistência à compressão ;

3 METODOLOGIA

O principal objetivo deste estudo visa elaborar em laboratório, um ensaio que possa reproduzir características aplicáveis na indústria de fabricação de blocos de concreto pré-moldados. Para tanto é necessário o conhecimento de toda a caracterização dos materiais aplicados na fabricação desses blocos, além da identificação de cada etapa de produção.

Os materiais utilizados para obtenção da composição do tipo de concreto estudado, ou seja concreto seco para blocos de concreto pré-moldados, foram os mesmos que são utilizados diretamente no processo de fabricação de blocos. Utilizou-se para as dosagens feitas em laboratório os mesmos aglomerantes e agregados e que são utilizados em fábrica. Além disso os traços que foram estudados em laboratório seguiram a mesma proporção de materiais realizadas no processo industrial, porém reduzindo substancialmente a quantidade necessária de material para produzir cada dosagem.

Na pesquisa, procurou-se a adequação de um ensaio podendo reproduzir corpos de prova com a mesma composição utilizada industrialmente, permitindo um estudo racionalizado de incorporação das cinzas pesadas do carvão mineral do complexo termelétrico de Jorge Lacerda, apresentando-se esta no seu estado bruto com umidade natural ou ainda seca em estufa. Esta incorporação é feita tanto como substituição parcial do cimento ou como substituição parcial ou total do agregado miúdo.

3.1 Materiais

3.1.1 Cimento

O cimento usualmente no processo industrial para fabricação de blocos de concreto pré-moldados é normalmente o cimento portland CPV-ARI (cimento de alta resistência inicial) porém algumas dosagens feitas na fabrica são realizadas com CPV-ARI-MRS (cimento de alta resistência inicial com moderada resistência a sulfatos), porém se assegurou que o cimento utilizado nas dosagens feitas para este estudo fosse sempre o CPV-ARI.

Tabela 01 – Ensaios Físicos do Cimento Portland CPV-ARI

Ensaios Físicos	Unid.	Lote 01 - Maio/2000				Lote 02 – Novembro/2000			
		Méd.	Desv.	Min.	Máx.	Méd.	Desv.	Min.	Máx.
Peneira 200	%	0,12	0,07	0,05	0,20	0,02	0,04	0,00	0,10
Peneira 325	%	0,77	0,24	0,30	1,00	0,42	0,11	0,30	0,60
Blaine	m ² /Kg	492,36	3,81	479,50	504,50	498,57	8,44	486,00	513,00
Água Consistência	%	30,81	0,43	30,00	31,20	32,46	0,46	30,50	32,80
Início de Pega	Hs/min	3:01	0:21	2:37	3:42	3:11	0:19	2:34	3:55
Fim de Pega	Hs/min	4:03	0:25	3:37	4:52	4:24	0:21	3:45	5:10
Expansão a Quente	mm	0,82	0,43	0,25	1,50	0,65	0,24	0,50	1,00
Resistência 1 dia	Mpa	22,20	1,87	20,20	25,10	24,20	1,53	21,00	27,20
Resistência 3 dias	Mpa	33,46	1,88	31,20	36,30	29,50	1,53	29,50	34,30
Resistência 7 dias	Mpa	38,17	2,17	35,75	41,30	36,83	0,89	34,80	38,00
Resistência 28 dias (mês anterior)	Mpa	47,93	1,70	46,10	51,30	43,20	1,04	42,00	44,50

Tabela 02 – Ensaios Químicos do Cimento Portland CPV-ARI

Ensaios Físicos	Unid.	Lote 01 - Maio/2000				Lote 02 – Novembro/2000			
		Méd.	Desv.	Min.	Máx.	Méd.	Desv.	Min.	Máx.
Perda ao fogo	%	3,12	0,33	2,55	3,50	3,03	0,30	2,60	3,45
SiO ₂	%	18,6	0,21	18,29	18,89	18,38	0,29	17,95	18,93
Al ₂ O ₃	%	4,5	0,12	4,38	4,71	4,86	0,12	4,66	5,05
Fe ₂ O ₃	%	2,83	0,04	2,79	2,88	2,78	0,03	2,70	2,84
CaO	%	59,59	0,47	58,96	60,29	59,68	0,38	59,12	60,74
MgO	%	6,10	0,07	6,02	6,21	6,10	0,07	5,99	6,28
K ₂ O	%	1,36	0,05	1,29	1,43	1,34	0,04	1,27	1,42
Na ₂ O	%	0,14	0,09	0,02	0,28	0,04	0,04	0,00	0,14
SO ₃	%	3,26	0,17	3,02	3,51	3,28	0,10	3,02	3,41
Resíduos Insol.	%	0,67	0,12	0,51	0,86	1,06	0,37	0,53	1,94
Massa Específica	g/cm ³	3,14				3,14			

3.1.2 Areia Fina

Este agregado é incorporado a mistura principalmente para obtermos um melhor acabamento, isto é, com um material mais fino há um refinamento melhor dos poros, diminuindo o volume de vazios da mistura. A areia fina utilizada nesta pesquisa apresentou as seguintes características:

Analisando as características desta areia vemos que ela se apresenta uma areia muito fina, pois tentando encaixa-la nas zonas de classificação da NBR 7211, ela é mais fina até que a Zona 1 (areia muito fina) da mesma norma. Porém as outras características deste agregado miúdo credenciam este para sua utilização para fabricação de pré-moldados.

3.1.3 Areia Média

A principal característica desta areia é apresentar uma distribuição granulométrica uniforme, pois assim haverá um melhor confinamento dos grãos, resultando numa melhor compacidade e refinamento dos poros.

Esta areia apresentou uma distribuição granulométrica muito boa, isto é, uma distribuição uniforme dos seus grãos, além disso ela se encaixou perfeitamente na Zona 3 (areia média) da NBR 7217. também os outros valores de sua caracterização estão dentro dos valores esperados para um areia média para utilização na fabricação de elementos pré-moldados como agregado.

3.1.4 Pedrisco (Brita 0)

O agregado graúdo utilizado neste processo, foi o que chamamos de pedrisco ou como na nomenclatura em norma Brita 0. não pode ser utilizado um agregado com dimensões de grãos maiores pois os blocos de concreto tem espessuras de paredes de 2,5 cm nos blocos estruturais e espessuras de parede de 2,0 cm nos blocos de vedação.

De acordo com a sua distribuição granulométrica podemos concluir que este não pode ser classificado como Brita 0, pois este agregado apresenta-se com grãos um pouco menores em relação a sua classificação pela NBR 7211.

3.1.5 Cinza Pesada.

A cinza pesada utilizada na nossa pesquisa, é proveniente da queima do carvão mineral utilizado para geração de energia no complexo termelétrico Jorge Lacerda, localizada no município de Capivari de Baixo, vizinho ao município de Tubarão. Em específico a cinza que foi objeto deste estudo foi coletada na unidade UTL-C do complexo, sendo que todo o lote utilizado para as moldagens, tanto em fábrica como em laboratório, foi coletada diretamente na esteira da unidade C.

A escolha de coletar a cinza pesada diretamente na esteira, foi devido ao fato que neste estágio ela se encontra da forma mais pura após a queima do carvão, ou seja, esta ainda não havia passado por todo o processo de carregamento até as bacias de decantação, que chegando lá também ocorre uma prévia separação dos grãos devido ao seu tamanho e forma, pois os grãos maiores tendem a ficar no início e fundo da bacia, enquanto as partículas menores tendem a ficar na superfície e no final da bacia.

3.1.5.1 Granulometria da Cinza Pesada

Analizando as características apresentadas por este material, podemos afirmar que esta cinza não se encaixa perfeitamente como um agregado miúdo da Zona 1 da NBR 7211, porém ela fica bem perto desta classificação. Também podemos concluir que a cinza pesada é um material um pouco mais grosseiro que a areia fina utilizada no nosso processo, pois a nossa cinza pesada (MF=2,0) tem um módulo de finura maior que a da areia fina (MF=0,7). Apesar destes fatores acreditou-se que a cinza pesada poderia ter um bom comportamento em substituição a areia fina, fato este que será comprovado com os resultados apresentados nesta pesquisa.

3.1.5.2 Massa Específica & Massa Unitária

Tabela 03 – Massa específica da Cinza Pesada pelo método do picnômetro

nº amostra	massa amostra (g)	massa picn. + H ₂ O (g)	massa picn. + H ₂ O + amostra (g)	massa específica (g/cm ³)	Massa específica média (g/cm ³)
1	50,032	657,30	681,50	1,94	1,91
2	50,075	656,70	680,20	1,88	
3	50,027	644,60	668,60	1,92	
4	50,088	657,30	680,80	1,89	
5	50,005	656,70	680,50	1,91	
6	50,075	644,60	668,70	1,93	

Tabela 04 - Massa unitária da Cinza Pesada com umidade natural.

nº amostra	Volume recipiente (dm ³)	massa amostra (kg)	massa unitária (g/cm ³)	massa unitária média (g/cm ³)
1	3,375	12,48	0,576	0,59
2		12,54	0,594	
3		12,54	0,594	

Tabela 05 - Massa unitária da Cinza Pesada seca em estufa.

nº amostra	Volume recipiente (dm ³)	massa amostra (kg)	massa unitária (g/cm ³)	massa unitária média (g/cm ³)
1	3,375	12,62	0,618	0,62
2		12,64	0,624	
3		12,60	0,612	

3.1.5.3 Perda de Massa ao Fogo

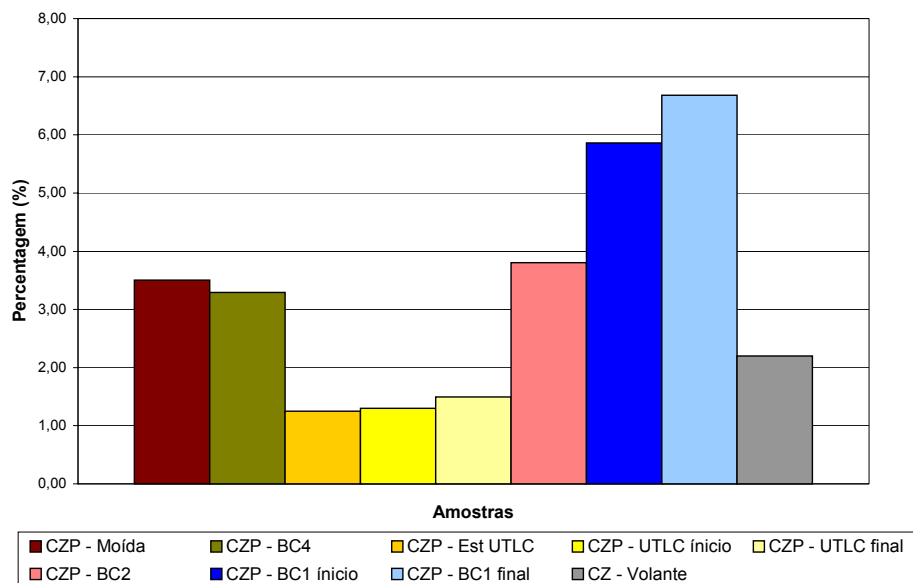


Figura 01 – Perda de Massa ao fogo das diferentes amostras de Cinza Pesada e uma amostra de Cinza Volante.

3.1.5.4 Índice de Pozolanicidade

Foi realizado o ensaio segundo a NBR 5752, para se avaliar o índice de atividade pozolânica das diferentes amostras de cinza pesada do complexo termétrico de Jorge Lacerda, esses índices estão apresnetados na figura 03.

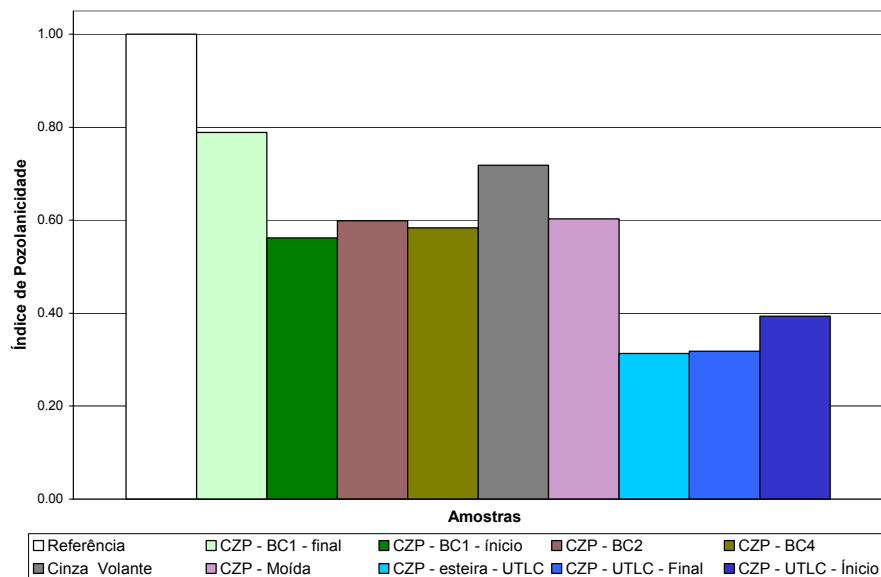


Figura 02 - Gráfico do índice de atividade pozolânica das diferentes amostras de Cinza Pesada

3.2 Processo Empregado em Laboratório

Com base nas dosagens realizadas em fábrica, pegamos o traço que eles já utilizam para a fabricação de seus blocos pré-moldados de acordo com a tabela abaixo, tomando como base os dois traços que podemos denominar como os “Carros Chefes” na fabricação e vendas da TONIOLO, que são os Blocos Estruturais de 14x19x39cm de com resistência característica de 6 Mpa aos 28 dias, e os blocos de vedação de 14x19x39 cm com resistência característica de 2,5 Mpa aos 28 dias.

Tabela 06 - Tabela da Dosagem de Blocos em Fábrica

Blocos	Cimento (Kg)	Areia Fina (Kg)	Areia Média (Kg)	Pedrisco (Kg)	Água (Kg)
Estruturais	95,00	50,00	640,00	330,00	78,5
Vedação	75,00	150,00	500,00	390,00	78,5

Obs: a água é calculada como 7% em relação ao peso total dos materiais.

3.2.1 Estudo da Força necessária para se atingir a densidade requerida

Com isso refizemos o estudo de força de aplicação, e desta vez utilizamos também velocidades de prensagem diversas, em 3 dos principais traços de dosagem em blocos estruturais, o de referência, 50% de substituição da areia fina e 100% de substituição da areia fina, sendo que a cinza utilizada foi a bruta, isto é cinza com umidade natural. Com isso obtemos os seguintes gráficos:

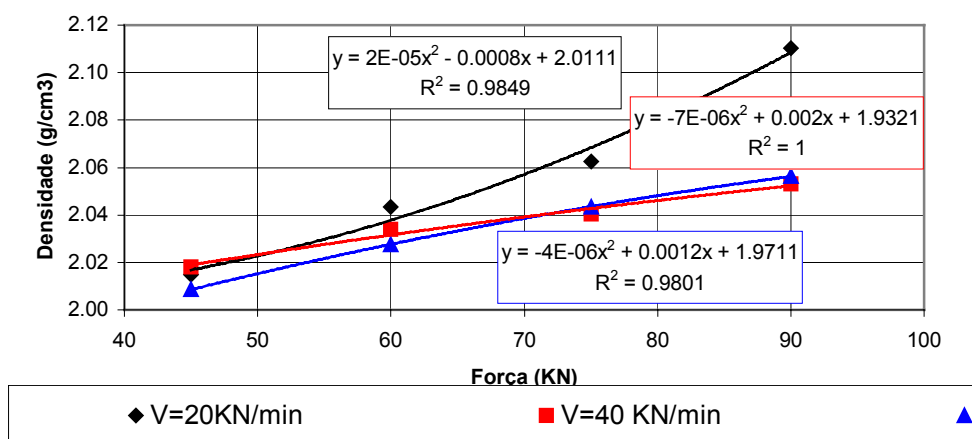


Figura 03 – Gráfico do estudo de força de prensagem dos cp's de 10x20cm para blocos estruturais.

Com este gráfico de estudo de força e de velocidade de carregamento, vimos que a carga máxima utilizada foi a que atingiu valores de densidade mais próximo da realidade do nosso processo ($d=2,1\text{g/cm}^3$). Logo admitimos então uma força de carregamento que atinge a 90 KN, e com um valor de velocidade de carregamento de 40 KN/min, assim temos a certeza que seja qual for a dosagem realizada, a densidade atingirá valores próximos a realidade, ocorrendo diferenças somente pelas diferentes características que são inerentes a cada material que são utilizados.

3.2.2 Moldagem dos Corpos de Prova (10x20 cm)

Tabela 07- Dosagem dos traços feitos em Laboratório – Traço Estrutural

Traço	Cimento (g)	Areia Média (g)	Pedrisco (g)	Areia Fina (g)	Cinza Pesada (g)	Água (g)
REF	960.00	6772.82	3334.74	520.12	-	468.40
10-EST-U	864.00	6702.63	3334.74	516.33	129.63	508.76
20-EST-U	768.00	6702.63	3334.74	516.33	259.26	475.13
30-EST-U	672.00	6702.63	3334.74	516.33	388.89	441.50
50-EST-U	960.00	6772.82	3334.74	260.06	341.13	387.33
100-EST-U	960.00	6772.82	3334.74	-	682.26	306.26
100+10-EST-U	864.00	6702.63	3334.74	-	811.89	342.83
10-EST-S	864.00	6702.63	3334.74	516.33	96.00	542.39
20-EST-S	768.00	6702.63	3334.74	516.33	192.00	542.39
30-EST-S	672.00	6702.63	3334.74	516.33	288.00	542.39
50-EST-S	960.00	6772.82	3334.74	260.06	252.63	475.83
100-EST-S	960.00	6772.82	3334.74	-	505.26	483.26
100+10-EST-S	864.00	6702.63	3334.74	-	601.26	553.45

Obs: Nos traços REF, 50-EST e 100-EST a umidade da areia média foi de 4,72% e da areia fina foi de 2,94%, nas demais traços a umidade da areia média foi de 3,64% e da areia fina de 2,19%.

Tabela 08 – Dosagem dos traços feitos em Laboratório – Traço Vedação

Traço	Cimento (g)	Areia Média (g)	Pedrisco (g)	Areia Fina (g)	Cinza Pesada (g)	Água (g)
REF	750.00	5186.72	3900.00	1544.12		549.66
10-VED-U	675.00	5246.59	3900.00	1532.85	104.90	471.17
20-VED-U	600.00	5246.59	3900.00	1532.85	209.79	441.27
30-VED-U	525.00	5246.59	3900.00	1532.85	314.69	411.38
50-VED-U	750.00	5181.88	3900.00	766.42	1034.69	297.51
100-VED-U	750.00	5181.88	3900.00		2069.37	29.24
100+10-VED-U	675.00	5181.88	3900.00		2172.84	0.77
10-VED-S	675.00	5246.59	3900.00	1544.12	75.00	489.79
20-VED-S	600.00	5246.59	3900.00	1544.12	150.00	489.79
30-VED-S	525.00	5246.59	3900.00	1544.12	225.00	489.79
50-VED-S	750.00	5186.72	3900.00	772.06	750.00	571.72
100-VED-S	750.00	5186.72	3900.00		1500.00	593.78
100+10-VED-S	675.00	5186.72	3900.00		1575.00	593.78

3.2.2.1 Execução do ensaio

Para a execução dos ensaios foram confeccionados 3 corpos de prova de 10x20 cm, para cada idade de rompimento (7, 28 e 90 dias). O sistema de moldagem usado para confeccionar os corpos de prova de 10x20 cm (figura XX) é constituído dos seguintes equipamentos:

- Um misturador mecânico com capacidade da cuba de 5 litros;
- moldes de concreto de 10x20 cm; (1)
- 3 braçadeiras com diâmetro de abertura >10 cm, com fechamento através de parafuso com borboleta; (2)
- 3 anéis prolonadores com o mesmo diâmetro dos moldes (10cm) e com altura de 4 cm; (3)
- 3 placas de metal ou madeira circular (D> 12cm) ou quadrada (L> 12cm), para suporte do corpo de prova após a moldagem; (4)
- 1 disco de aço com altura de 4cm e diâmetro de 10cm, assegurando que o encaixe desta bolacha nos anéis seja justa;(5)
- 1 peso de 4Kg com base circular de diâmetro de 10 cm, para uma pré-adensagem das camadas nos moldes;(6)
- 1 régua de ferro achatada de ± 30 cm de comprimento e 4cm de largura;(7)

A colocação dos materiais na cuba foi realizada na mesma sequência que é feita no processo industrial, Primeiro são colocados os agregados da mistura; na seguinte sequência: pedrisco, areia média e areia fina, e se faz uma mistura prévia de 30 segundos na velocidade lenta; Em seguida colocado-se a cinza pesada e o cimento, mistura-se mais 30 segundos na velocidade lenta. Após esse primeiro minuto é colocado a água até completar mais 30 segundos, e a mistura é mantida na velocidade lenta por mais 30 segundos, completando 2 minutos. Depois se coloca a mistura em velocidade rápida por mais 2 minutos, somando um total de 4 minutos de homogeneização.

O preenchimento dos corpos de prova foi realizada da seguinte maneira inicia-se o processo de enchimento do corpo de prova já com a braçadeira e o anel superior encaixados no molde metálico; o corpo de prova foi preenchido em 3 camadas de espessuras praticamente iguais, e mais uma camada superior preenchendo o anel de altura de 4 cm, sendo que o excesso no anel assegura a compactação final na prensa; cada camada foi previamente compactado com o auxílio de um peso de massa 4,00Kg, aplicando-se 15 golpes na primeira camada, 10 golpes na segunda camada e 5 golpes na última camada e mais 5 golpes na camada que preenche o anel superior. Essa diferença de golpes das camadas teve por objetivo assegurar a regularidade e distribuição do material em camadas e manter o mesmo grau de compactação em todas as camadas.

Após o ajuste da última camada foi feito um rasadura, com o auxílio da régua de aço, para se obter uma superfície praticamente horizontal, proporcionando uma transferência de carga da prensa de forma homogênea em toda área do corpo de prova; o disco de aço então foi colocado, procurando encaixá-lo cerca de 1 ou 2 mm dentro do anel, evitando-se a transferência de carga para o anel metálico. A compactação final foi feita com o auxílio da prensa Shimadzu do LMCC aplicando uma velocidade constante de 40 KN/min até atingir uma carga final de 90,00 KN;

Após a compactação a braçadeira superior foi retirada do corpo de prova e logo em seguida retirado também o anel superior com o disco de aço que foi usado para a prensagem, que permaneceu encaixado no anel. Após a compactação é pesado a massa do corpo de prova (M) que ficou dentro da altura do molde (20 cm), sempre transportando-o com a base para que o molde não fosse destruído, calcula-se o valor da densidade no estado fresco ($d = M/V$), após determinação da densidade as amostras compactadas foram levados para cura, permanecendo até atingir as idades de rompimento, ou seja, 7, 28 e 90 dias.

4 RESULTADOS DE RESISTÊNCIA

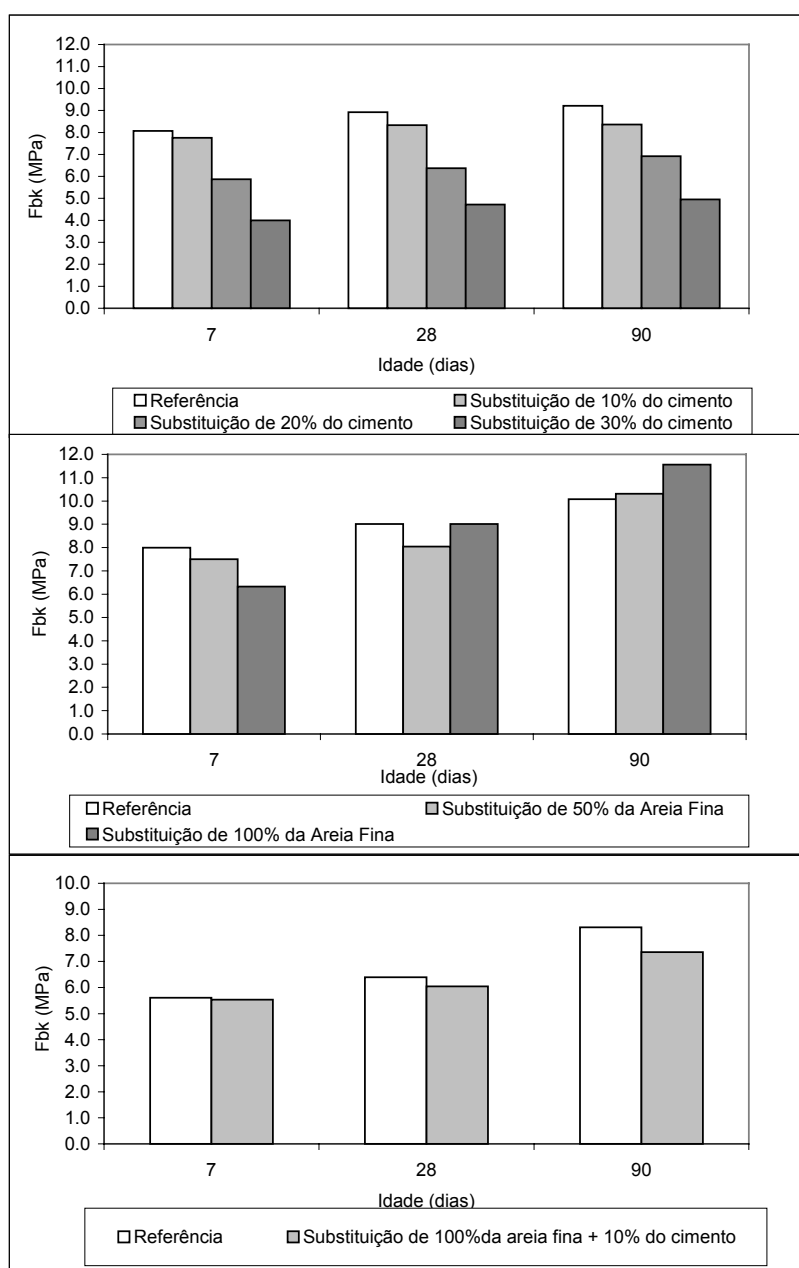


Figura 04 – Gráficos de Resistência a Compressão (Fbk), dos Blocos Estruturais.

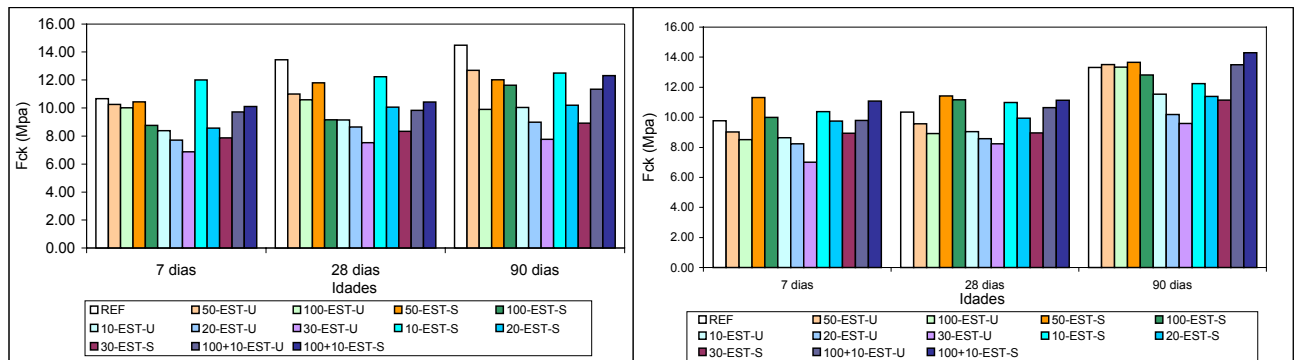


Figura 05 – Gráficos de Resistência a Compressão (F_{ck}) dos Corpos de Prova com traço Estruturais.

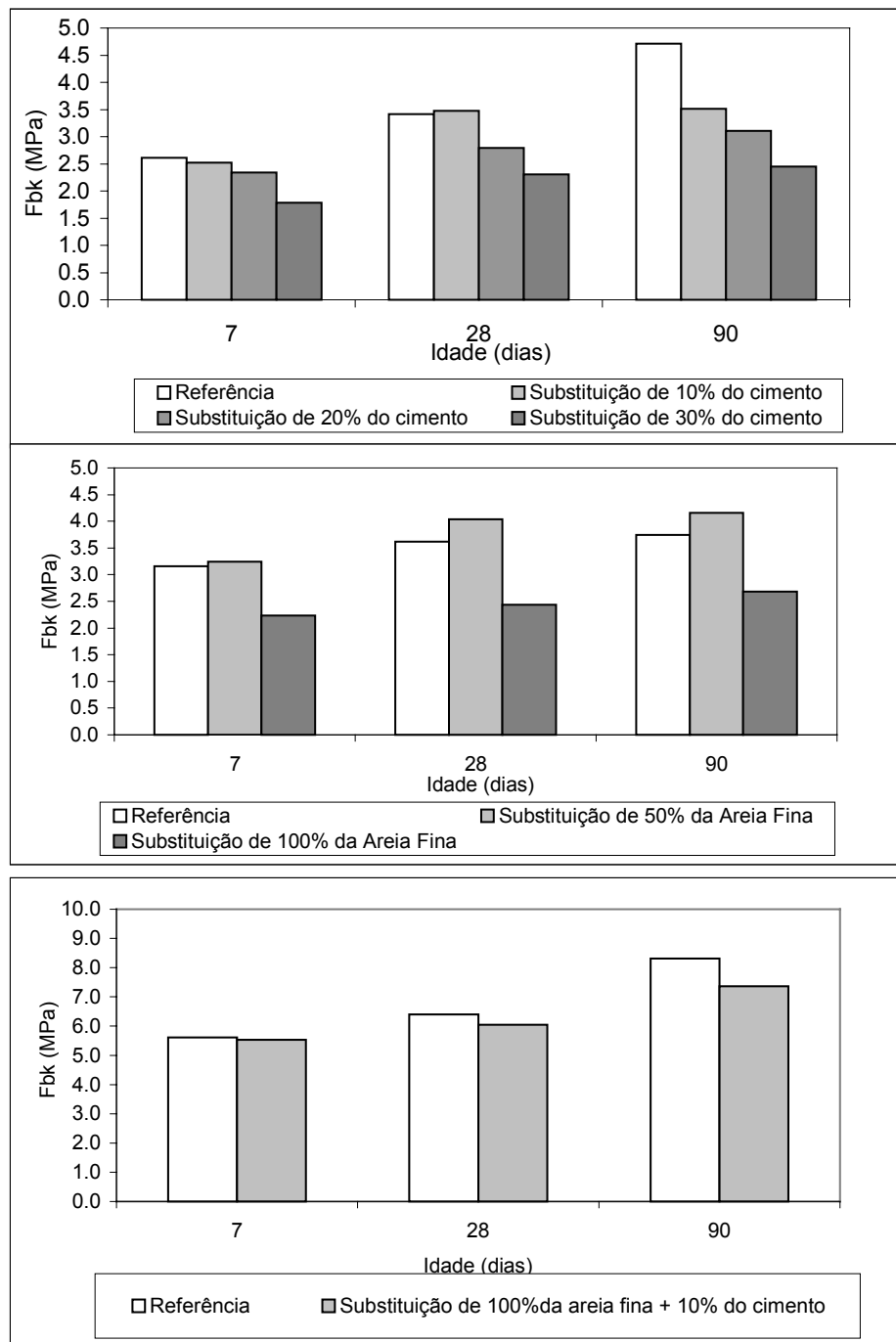


Figura 06 – Gráficos de Resistência a Compressão (F_{bk}) dos Blocos de Vedação

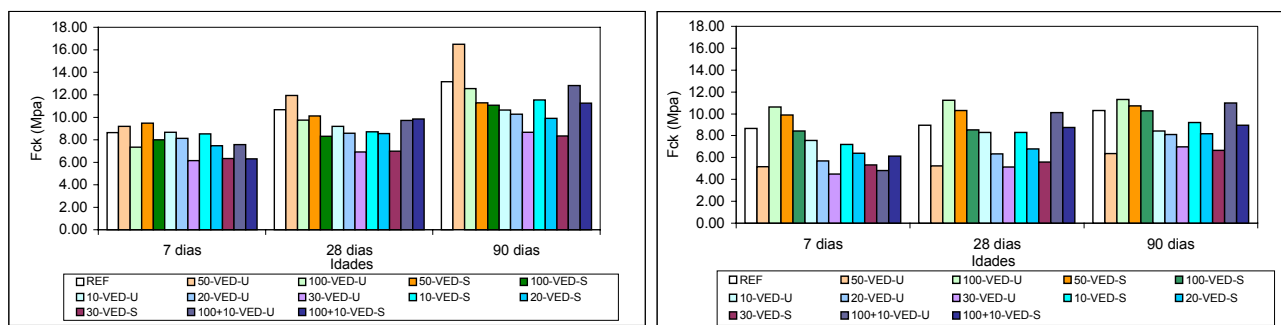


Figura 07 – Gráficos de Resistência a Compressão dos Corpos de Prova com traço de vedação

5 CONCLUSÕES

O uso de cinza pesada para a fabricação de pré-moldados mostrou-se um bom caminho para o reaproveitamento deste resíduo, tanto como substituição do cimento, porém principalmente como apêndice de utilizá-lo como um agregado na mistura.

A cinza pesada no estado mais puro, que seria quando coletada na esteira, antes de chegar às bacias de decantação, possuem uma granulometria mais elevada, que as amostras coletadas nas bacias, porém notamos que neste estado ela possui propriedades pozolânicas e minerais.

Os ensaios realizados em laboratório apresentaram resultados superiores, em valores absolutos, que os blocos moldados industrialmente, isto deve-se ao fator geométrico dos blocos em relação aos prismas cilíndricos dos corpos de prova.

Notou-se que de todos os traços realizados, os que se apresentaram melhores foram as dosagens com substituições de 100% da areia fina + 10% do cimento, evidenciando as propriedades pozolânicas da cinza pesada, pois esta dosagem foi a dosagem que se obteve a maior substituição, tanto para traços estruturais como para os traços de vedação.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

_____. **Materiais pozolânicos – Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland – Índice de atividade pozolânica com cimento – Método de ensaio**, NBR 5752. Rio de Janeiro, 1992.

CHERIAF, M.; ROCHA, J. Cavalcante; PÉRA, J. Pozzolan properties of coal combustion bottom ash. **Cement and Concrete Research**. V. 29 (1999) 1387-1391.

KREUZ A. L. **Utilização de Cinzas Pesadas de Termelétricas na Substituição de Cimento e Areia na Confecção de Concretos**. Dissertação de mestrado do Curso de Pós-graduação da Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis, Brasil, 2001. (no prelo)

NEVILLE A. M. **Propriedades do Concreto**. Ed. PINI, 2ª edição. São Paulo, 1997. 828p.

POZZOBON, C. E. **Aplicações tecnológicas para a cinza do carvão mineral produzida no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda**. Dissertação de mestrado do Curso de Pós-graduação da Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis, Brasil, 1999. 122p.

RAVINA, D.; Mechanical properties of concrete incorporating a high volume of class F fly ash as partial fine sand replacement. **Materials and Structures/Matériaux et Constructions**, Vol.31, pp 84-90, Mars 1998.

ROCHA, J. C.; CHERIAF, M.; POZZOBON, C. E.; MAIA, M. S.; MAGRI, L.; XAVIER S. M. T.; 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. Disponível em CD-Rom.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio financeiro da Gerasul.