

Fradique Chies é engenheiro operacional em Mecânica e Produção pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (1978). Exerceu a função de laboratorista no Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem no período de 1971 a 1977. Foi técnico responsável na ENECON no período de 1980 a 1981. Atualmente é servidor público da CIENTEC, enquadrado como engenheiro, exercendo atividades de pesquisa nas áreas de Mecânica dos Solos, Materiais e Componentes de Construção e Cerâmica. Desempenha também atividades de coordenador substituto dos Laboratórios de Reciclagem e Cerâmica e Mecânica dos Solos.
E-mail: fradique@cientec.rs.gov.br

Neli Iloni Warpechowski da Sliva é engenheira de Minas pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS (1978), tendo defendido mestrado na área de Engenharia Mineral em 1992. Trabalha na Fundação de Ciência e Tecnologia – CIENTEC desde 1979, exercendo atividades nos Laboratórios de Tecnologia de Rochas, Mecânica de Solos e Reciclagem e Cerâmica, e em projetos de pesquisa. Coordenou projetos nas áreas de Beneficiamento de Minerais e Cerâmica Vermelha. Foi gerente do Departamento de Engenharia Mineral (1993–1994).
E-mail: neli@cientec.rs.gov.br

Oleg Zwonok é geólogo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS (1970). Trabalhou na Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE) do estado do Rio Grande do Sul no período 1970-1971. Desde 1971 trabalha na Fundação de Ciência e Tecnologia - CIENTEC em atividades de pesquisa e em laboratórios. Gerente do Departamento de Engenharia Mineral (1987-1990) e coordenador do Laboratório de Reciclagem e Cerâmica desde 1996. Coordenou projetos de pesquisa na área de Reciclagem (projeto CINCAL) e na área de Geotecnia (Pró-Guaíba).
E-mail: oleg@cientec.rs.gov.br

7.

Desenvolvimento de blocos e tijolos a partir de cinzas de fundo de carvão - CIPECAL

Fradique Chies, Neli Iloni Warpechowski da Silva e Oleg Zwonok

1 Cinzas de carvão mineral

1.1 Processo de geração do resíduo

Cinzas de fundo são subprodutos das usinas termelétricas. Trata-se de resíduos silicoaluminosos com partículas finamente divididas, algumas vezes aglomeradas, produtos da combustão de carvão mineral pulverizado em leito de arraste em usinas termelétricas.

Estima-se que a produção mundial de cinzas de carvão atinja, na atualidade, mais de 500 milhões de toneladas/ano, das quais apenas cerca de 20% são aproveitadas (MANZ, 1995).

Tanto as condições de queima quanto as características do carvão mineral são determinantes das propriedades tecnológicas das diferentes cinzas.

A separação da matéria inorgânica (cinza) da matéria carbonosa ocorre no processo de queima de carvão em grandes caldeiras de geração de vapor, que alimentam turbinas geradoras de eletricidade e outros processos. O carvão utilizado é na forma de um pó muito fino (passa 100% na peneira de malha de 0,15 mm), obtido a partir da moagem do carvão britado, em moinhos instalados na própria unidade de queima, equipamentos trituradores que insuflam carvão pulverizado na fornalha da caldeira.

A combustão do carvão pulverizado se dá em altas temperaturas, entre 1.200 e 1.300 °C, num ambiente gasoso oxidante, sendo o tempo de permanência das partículas em chama oxidante, em média, de 2 segundos, condição suficiente para a fusão total ou parcial da matéria mineral. Dois tipos de cinzas são formados: cinza de fundo e cinza volante.

As cinzas de fundo são retiradas da fornalha pela sua base, caindo dentro de tanques com água de resfriamento. Depois de passar por um sistema de redução do tamanho das partículas, ainda dentro da usina, são enviadas hidraulicamente para tanques de decantação, onde, depois de sedimentadas, estão prontas para serem removidas e aptas para o uso. As cinzas volantes são coletadas por equipamentos específicos – precipitadores eletrostáticos.

1.2 Caracterização dos resíduos

1.2.1 Características físicas

1.2.1.1 Análise granulométrica

Para a realização dos ensaios foi adotado o procedimento indicado pela NBR 7181:1984 para solos.

Conforme pode ser observado no Quadro 1, as cinzas estudadas, tendo em vista as diferentes procedências, apresentam uma grande variação nas composições granulométricas.

Cinza pesada	Argila (0,0-0,002 mm) (%)	Silte (0,002-0,06 mm) (%)	Areia (%)			Pedregulho Fino (2,0-6,0 mm) (%)
			Fina (0,06-0,2 mm)	Média (0,2-0,6 mm)	Grossa (0,6-2,0 mm)	
Candiota	1	30	42	20	7	-
Copesul	2	56	29	9	3	1
Charqueadas	1	44	41	13	1	-
Riocell	1	29	34	26	10	-
Tubarão	-	33	35	22	8	2

Quadro 1 – Composições granulométricas das cinzas de fundo

Há, por outro lado, uma boa uniformidade textural para as cinzas de fundo procedentes de uma mesma unidade industrial, conforme revelam resultados obtidos nas últimas três décadas.

1.2.1.2 Características morfológicas

A caracterização morfológica foi realizada por observação em lupa binocular e microscópio eletrônico de varredura (MEV).

Lupa binocular

De um modo geral, as cinzas de fundo são caracterizadas por partículas de quatro tipos morfológicos principais:

- partículas transparentes, arredondadas, constituindo aglomerados de cores acinzentadas ricos em vesículas;
- partículas transparentes de forma irregular, geralmente subangulosas, com estrutura esponjosa;
- partículas opacas angulosas a subangulosas, de coloração cinza-chumbo a preta, caracterizadas pela presença de material carbonoso não calcinado;
- partículas opacas de formas esféricas, coloração cinza-chumbo, metálicas, de caráter magnético.

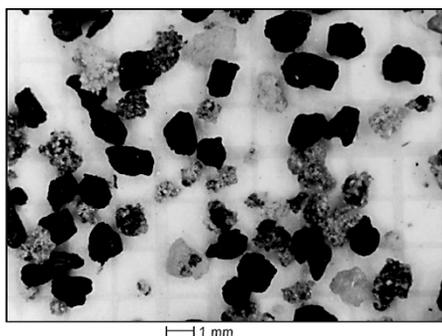


Foto 1 – Detalhe de uma partícula de cinza de fundo de Charqueadas (passada 0,59 mm e retida 0,30 mm)

Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)

As estruturas observadas foram do tipo:

- esferas de superfície lisa: normalmente de composição silicoaluminosa;
- esferas com textura “lunar”: trata-se de partículas de composição silicoaluminosa mostrando-se localmente com um caráter esponjoso; e

- esferas com partículas superficiais: as partículas superficiais são compostas de ferro e enxofre dispostos sobre uma base constituída de silício e alumínio conforme mostra a Foto 2 e o EDS abaixo.

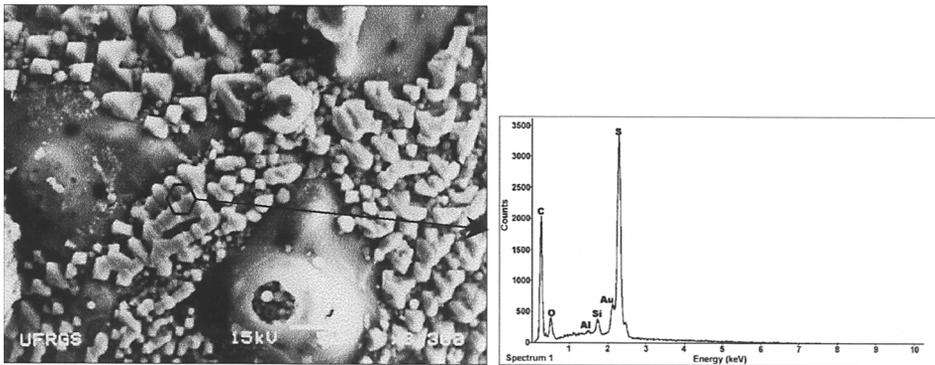


Foto 2 – Microfotografia de partículas esféricas silicoaluminosas com grãos metálicos de enxofre na superfície de cinza de fundo de Tubarão e sua respectiva análise química qualitativa pontual (EDS)

1.2.1.3 Limites de Liquidez e Plasticidade

Todas as cinzas de fundo estudadas, para os propósitos de engenharia, podem ser consideradas como não plásticas e não coesivas.

1.2.1.4 Massas Específicas

Foram determinadas massas específicas dos grãos e massas unitárias. Os resultados obtidos foram:

Procedência das cinzas	Massa específica dos grãos (kg/m ³)	Massa Unitária	
		(kg/m ³)	Umidade durante o ensaio (%)
Copesu ¹	2.280	700,0	24,0
Tubarão	2.120	800,0	24,5
Charqueadas	2.210	622,0	38,4
Riocell	2.090	703,0	44,0
Candiota	2.270	639,0	38,6

Quadro 2 – Resultados das massas específicas dos grãos e das massas unitárias

1.2.1.5 Índice de Suporte Califórnia

São apresentados os resultados (Quadro 3) das massas específicas aparentes secas máximas e umidades ótimas que foram determinadas por meio de ensaio de compactação de acordo com a NBR 7182:1988, junto com os resultados dos índices de suporte Califórnia que foram realizados segundo a norma NBR 9895:1987 da ABNT – Solo – Índice de suporte Califórnia. Foram aplicadas as energias normal e intermediária na moldagem dos corpos-de-prova.

Procedência das cinzas	Massa específica aparente seca máxima (kg/cm ³)		Umidade ótima (%)		ISC (%)		Expansão (%)	
	normal	inter.	normal	inter.	normal	inter.	normal	inter.
Copesul	1.162	1.191	31,5	30,2	22	31	0,3	0,3
Tubarão	1.120	1.152	30,3	29,7	23	33	0,0	0,0
Charqueadas	904	958	54,5	49,7	19	24	0,1	0,2
Riocell	869	960	52,8	46,2	25	42	0,0	0,0
Candiota	868	910	50,6	51,2	32	37	0,0	0,0

Quadro 3 – Resultados dos ensaios de compactação e índice de suporte Califórnia

Os resultados obtidos revelam serem as cinzas de fundo materiais não expansivos e com boa capacidade de suporte.

1.2.1.6 Permeabilidade

Os ensaios de permeabilidade foram baseados no procedimento de Bjerrum e Hunder (1957), realizados em corpos-de-prova compactados a 95-100% da massa específica aparente seca máxima do ensaio de compactação, na energia do Proctor normal. Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 4 e mostram tratarem-se de materiais de média a alta permeabilidade quando compactados na forma pura. Quando estabilizados com cal passam a ter baixa permeabilidade.

Procedência das cinzas	Copesul	Tubarão	Charqueadas	Riocell	Candiota
Coefficiente de permeabilidade (k 20 °C) (cm/s)	0,90 x 10 ⁻⁴	2,49 x 10 ⁻⁴	3,5 x 10 ⁻⁴	0,73 x 10 ⁻³	2,87 x 10 ⁻³

Quadro 4 – Resultados dos ensaios de permeabilidade

1.2.1.7 Fusibilidade

Na fusibilidade das cinzas foram adotados os procedimentos indicados na NBR 9164:1985 – Fusibilidade da cinza de carvão em microscópio de aquecimento com registro do ensaio por filmagem em vídeo. A preparação das amostras obedeceu à NBR 8292:1983. Os resultados constam no Quadro 5.

Procedência das cinzas	Copesul	Tubarão	Charqueadas	Riocell	Candiota
Temp. inicial de deformação (°C)	1.340	1.340	1.460	1.290	1.380
Temp. de amolecimento (°C)	1.360	1.370	1.470	1.340	1.420
Temp. de hemiesfera (°C)	1.440	1.400	1.580	1.450	1.480
Temp. de fluidez (°C)	1.460	1.400	1.580	1.490	1.520

Quadro 5 – Resultados dos ensaios de fusibilidade em cinzas de fundo

1.2.1.8 Adensamento

Os procedimentos dos ensaios de adensamento foram baseados na norma NBR 12007:1992, na condição de amostra inundada. A variação dos índices de compressibilidade, entre 0,08 a 0,13, revelam materiais de baixa compressibilidade.

Os valores dos coeficientes de adensamento variaram de $4,9 \times 10^{-3}$ a $1,17 \times 10^{-2}$ cm^2/s para as diversas amostras ensaiadas. A análise dos resultados dos ensaios revela que a deformação das cinzas é, em grande parte, instantânea.

1.2.1.9 Triaxiais

Foram realizados ensaios triaxiais adensados rápidos, saturados por percolação em corpos-de-prova de cinzas de fundo, moldados estaticamente, nas condições de massa específica aparente seca máxima e umidade ótima, determinados nos ensaios de compactação, na energia do Proctor normal, sem reuso do material. Os procedimentos adotados para a realização dos ensaios basearam-se na norma ASTM D2850-95.

Os parâmetros de resistência são característicos de materiais de comportamento granular, que fornecem a boa estabilidade de cinzas de fundo compactadas, com boas possibilidades para o uso na construção em geral.

1.2.2 Características químicas

1.2.2.1 Análise elementar

A análise dos constituintes maiores CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, Na₂O e K₂O, foi realizada nos laboratórios do Departamento de Química da CIENTEC por espectrometria de fluorescência de raios X, através da técnica de fusão a 1.100 °C com tetraborato de lítio, na proporção de 1 g de amostra para 5 g de fundente (ASTM D4326-94). A perda ao fogo foi determinada por gravimetria. Carbono e enxofre foram determinados segundo a ASTM D5373-96 e D4239-94 – método C, respectivamente. Alguns elementos traços, como Ba, Cd, Pb, Cu, Cr e Ag, foram determinados nas cinzas de fundo por espectrometria de absorção atômica.

Os resultados obtidos dos constituintes maiores das cinzas de fundo bem como de cinzas volantes, para fins de comparação, encontram-se no Quadro 6.

Constituintes maiores	Copesul		Tubarão		Charqueadas		Riocell		Candiota	
	Cinza		Cinza		Cinza		Cinza		Cinza	
	fundo	volante	fundo	volante	fundo	volante	fundo	volante	fundo	volante
SiO ₂	64,40	66,40	59,20	56,50	63,30	62,20	62,50	59,40	66,70	65,70
Al ₂ O ₃	22,00	18,20	24,60	28,00	24,50	26,00	24,60	27,50	19,20	24,30
Fe ₂ O ₃	7,10	6,50	8,20	6,40	4,50	2,90	3,90	2,10	9,00	4,60
TiO ₂	0,89	0,80	1,20	1,31	0,98	1,10	0,98	1,15	0,72	0,69
CaO	1,70	2,15	1,34	0,92	1,31	1,26	4,70	2,20	0,60	0,37
MgO	0,40	0,88	0,41	0,45	0,40	0,35	0,34	0,43	0,30	0,46
K ₂ O	1,15	1,41	2,40	2,50	1,60	1,41	1,10	1,10	1,20	1,12
Na ₂ O	0,14	0,34	0,23	0,23	0,14	0,18	0,14	0,12	0,13	0,10
C	0,33	0,14	2,32	0,21	3,13	1,09	1,47	1,19	0,34	0,05
S	0,12	0,09	0,09	<0,05	0,05	<0,05	0,12	0,09	<0,05	<0,05

Quadro 6 – Concentração (%) dos constituintes maiores nas cinzas de fundo e volantes

Conforme se pode deduzir, as cinzas são constituídas predominantemente de silicatos e aluminatos amorfos, com valores de sílica superiores a 60%. Todas as cinzas apresentaram baixas concentrações de metais alcalinos. O Ca foi o elemento alcalino-terroso predominante; o Fe predominou nas cinzas de fundo, destacando-se nas de Tubarão (11,2%) e de Candiota (9,0%).

1.2.2.2 Estabilidade química

É importante observar que os resultados das análises elementares mostram que as composições químicas, no que se refere aos elementos maiores, como Si e Al,

não variam muito de uma cinza para outra, o que é bastante lógico, uma vez que todas as cinzas estudadas são derivadas de carvões de mesmo *rank*. Por serem estes elementos os responsáveis, normalmente, pela atividade pozolânica das cinzas, deduz-se que todas as cinzas estudadas são potencialmente favoráveis a reagir com cal hidratada. O grau de reação, no entanto, depende também de outras variáveis, como mineralogia e textura.

1.2.3 Características ambientais

1.2.3.1 Ensaios de lixiviação e de solubilização

A lixiviação das cinzas foi realizada segundo a NBR 10005:1987, baseada na EPA – SW 846 (1992), com extração da fase sólida com água deionizada na proporção de 1:16.

Os ensaios foram realizados em amostras com granulometria inferior a 9,5 mm.

As determinações dos elementos nos lixiviados foram realizadas por espectrometria de absorção atômica com forno de grafite (Cd, As, Se), vapor frio (Hg) e chama para os demais elementos (Ba, Pb, Cr, Ag). O fluoreto foi determinado por potenciometria com eletrodo íon-seletivo.

Os resultados obtidos nos testes de lixiviação para as cinzas de fundo em estudo constam no Quadro 7.

Parâmetros (mg/l)	LMP	Copesul	Tubarão	Charqueadas	Riocell	Candiota
Fluoreto	150	1,1	0,78	1,9	0,58	0,54
As	5,0	0,04	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Ba	100	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6
Cd	0,5	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Pb	5,0	<0,2	<0,2	<0,2	<0,3	<0,2
Cr	5,0	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07
Cr ⁺⁶	5,0	-	-	-	-	-
Hg	0,1	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007
Ag	5,0	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Se	1,0	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
PH inicial	-	9,1	9,3	9,3	9,3	8
PH final	-	4,9	4,6	4,3	5,2	3,4

Nota: os valores precedidos do sinal menor (<) representam, em cada caso, o limite de detecção determinado no laboratório (baseado em 3SY/X).

Quadro 7 – Parâmetros químicos e físico-químicos determinados no extrato lixiviado segundo NBR 10005, em amostras de cinzas de fundo

A comparação entre os valores obtidos no extrato lixiviado e o limite máximo permitido (LMP), segundo a Norma Brasileira NBR 10004:1987, Anexo G, listagem n.º 7, mostrou que as concentrações são inferiores ao LMP, ou seja, as cinzas de fundo não apresentam toxidez.

A solubilização das cinzas de fundo foi realizada segundo a NBR 10006:1987, com adição de 1000 ml de água deionizada a 250 g de cinza. Os ensaios foram realizados em amostras com granulometria inferior a 9,5 mm.

A comparação entre os valores obtidos no extrato solubilizado e o limite máximo permitido (LMP), segundo a Norma Brasileira NBR 10004:1987, Anexo H, listagem n.º 8, mostrou que as concentrações, com exceção do As na cinza de fundo da Copesul, são inferiores ao LPM.

1.2.3.2 Corrosão

Com o objetivo de desenvolver uma investigação preliminar sobre a ação corrosiva das cinzas de fundo, foram realizados ensaios laboratoriais de corrosividade em aço 1020, baseados nos procedimentos indicados no Laboratory Corrosion Testing of Metals for the Process Industries, pela National Association of Corrosion Engineers – NACE (1969).

Em função das perdas ocorridas e medidas, foram calculadas as taxas de corrosão, obedecendo às equações indicadas no item 7, “Calculating Corrosion Rates”, do método de ensaio “Laboratory Corrosion Testing of Metals for the Process Industries”. Os resultados obtidos, de uma forma geral, revelaram valores menores que os máximos estabelecidos pela NBR 10004:1987 – Resíduos sólidos. Das 45 chapas de aço testadas, nas diferentes cinzas e diferentes condições, apenas três não atenderam aos limites de desgaste estabelecidos pela norma.

1.2.4 Características mineralógicas

Estudos mineralógicos realizados utilizando diferentes técnicas têm revelado uma predominância de materiais amorfos numa faixa entre 60% e 75%.

Análises realizadas para determinação dos minerais cristalinos, através da difração de raios X, mostraram a presença de quartzo, mulita, óxidos de ferro, cristobalita, caulinita, calcita e feldspato.

Estima-se que da fração cristalina cerca de 20% sejam constituídos de mulita, 30% de quartzo, 30% de óxidos de ferro (hematita e magnetita) e 2% de mica e outros.

1.3 Sistema atual de gestão do resíduo

O consumo total de carvão em 1997 foi de 16,1 milhões de toneladas, o que representa um acréscimo de 9% em relação a 1996. A termelétricidade há vários anos vem sendo o principal mercado consumidor de carvão mineral no Brasil. Em 1997 teve uma participação de 79% no consumo total, ficando o restante para o parque industrial, cujos principais segmentos foram: petroquímica, 6%; papel e celulose, 5%; cimento, 3%; alimentos, 3%; e cerâmico, 3%. A participação do carvão na termelétricidade deverá crescer ainda mais nos dois próximos anos com a entrada em operação das usinas termelétricas que estão em construção e em projeto.

Apesar das vantagens técnicas e econômicas que o carvão apresenta sobre todas as outras alternativas energéticas atualmente conhecidas, o seu uso traz alguns prejuízos, destacando-se entre os seus maiores estigmas os produtos residuais.

O problema básico, portanto, da combustão do carvão, com alto teor de matéria mineral, é a geração de grandes quantidades de resíduos sólidos inorgânicos, que trazem sérios problemas ambientais e outros problemas relacionados (ver Foto 3).



Foto 3 – Depósito irregular de cinzas de Candiota, RS

Com base nos levantamentos realizados pela CIENTEC em 1995, cerca de 34% das cinzas produzidas naquele ano foram comercializadas, conforme mostra o Quadro 8. Este panorama é atualmente muito diferente.

ESTADO	TERMELÉTRICA	RESÍDUOS (t)			
		CINZA VOLANTE		CINZA DE FUNDO	
		Produção	Comercialização	Produção	Comercialização
RS	PRESIDENTE MÉDICI	812.336	88.517	203.084	69.846
	CHARQUEADAS	103.281	49.514	80.315	3.578
SC	JORGE LACERDA	305.000	176.972	203.000	205.445
RS/SC	PRODUÇÃO TOTAL	1.220.617	315.000	486.399	278.869

Quadro 8 – Produção e comercialização de resíduos de carvão nas centrais termelétricas que operam com carvão-vapor, situadas na região Sul do Brasil (1995)

As quantidades comercializadas, as empresas compradoras e os principais usos que foram dados aos referidos resíduos em 1995 constam no Quadro 9, a seguir.

TERMELÉTRICA	RESÍDUOS DA COMBUSTÃO DO CARVÃO COMERCIALIZADOS			
	EMPRESA CONSUMIDORA	QUANTIDADE DE RESÍDUOS ADQUIRIDOS (t)		USO
		Cinza Volante	Cinza Pesada	
Presidente Médici	Cia. de Cimento Portland Gaúcho	88.177	45.283	cimento
	Cimento e Mineração Bagé	340	12.000	cimento
	Dagoberto Barcelos S/A	-	12.040	cal pozolânica
	Mineração Mônico Ltda.	-	423	cal pozolânica
	Indústria de Calcário Caçapava Ltda.	-	100	cal pozolânica
Charqueadas	Cia. Cimento Portland Rio Branco	4.478	-	cimento
	Cia. de Cimento Portland Gaúcho	38.856	3.578	cimento
	Cinzasul Comércio e Representações Ltda.	5.570	-	cimento
	Multiblok Ind. e Com. de Cimentos e Concreto Ltda.	312	-	blocos de cimento/ concreto
	Pozolana Indústria e Comércio Ltda.	75	-	cimento
	Complemix do Brasil Ind. e Com. De Cimento	223	-	cimento/concreto
Jorge Lacerda	Cia. de Cimento Portland Rio Branco	82.417	191.829	cimento
	Pozolana Comércio e Indústria Ltda.	31.656	-	cimento
	Multiblok Ind. e Com. de Cimentos Ltda.	19.527	12.000	blocos de cimento/ concreto
	Imbralit Ltda.	13.646	-	produtos de fibrocimento
	Complemix do Brasil Ind. e Com. Cimento	10.482	-	blocos de cimento/ concreto
	Isdralit Industrial do Paraná Ltda.	9.123	-	produtos de fibrocimento
	Cia. de Cimento Itambé	5.301	-	cimento
	Pozofly Comércio de Cinza Lima Ltda.	2.121	-	artefatos de cimento
	Carlos Alberto Silva	1.405	-	artefatos de cimento
	Cimespar	1.190	-	bl. de cimento/concreto
	Sandro Max Motta	104	-	artefatos de cimento
	Cerâmica Evolução Ltda.	-	1.616	tijolos

Quadro 9 – Empresas que compram resíduos da combustão do carvão das termelétricas brasileiras, quantidades comercializadas e principais usos

1.4 Alternativas de reciclagem ou reutilização

De uma maneira geral, os grupos industriais que utilizam os subprodutos cinzas e escórias de carvão podem ser divididos em três categorias principais:

- construção (uso direto, como aterros, barragens, etc.);
- fabricação; e
- estabilização de resíduos.

A categoria “construção” é, normalmente, o maior usuário dos subprodutos do carvão. Compreende empresas construtoras e de projetos comerciais, departamentos governamentais de rodovias e transportes, e várias outras agências federais, estaduais e locais.

Dentro dos principais usos no setor da Construção pode-se citar: aplicações em concreto, fabricação do cimento Portland pozolânico, em argamassas, cinzas em processos de estabilização sob pressão, aterros estruturais, bases estabilizadas e solos modificados e estabilizados para rodovias, pistas e edificações, e como *filler* em misturas betuminosas.

No setor da fabricação, compõe os grupos industriais que têm provavelmente o maior potencial para desenvolver novas aplicações que irão aumentar significativamente o emprego de resíduos de carvão. Destacam-se nesta categoria os grupos industriais voltados à fabricação de artefatos para a construção civil, como blocos, tijolos, placas, lajotas, painéis, etc.

Quanto à estabilização de resíduos, a maioria das aplicações tem sido adotada para estabilizar resíduos inorgânicos. Trata-se de um potencial de uso para resíduos de carvão em grande crescimento.

1.5 Produção de resíduos de carvão no Brasil

As termelétricas brasileiras em atividade, que utilizam carvão mineral como combustível, estão situadas geograficamente junto aos principais jazimentos carboníferos do país, nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná.

O Quadro 10 mostra as produções estimadas de resíduos da combustão de carvão para o ano 2005.

SITUAÇÃO	TERMELETRICA	RESÍDUOS (t)		
		Cinza volante	Cinza pesada	Escória
EM OPERAÇÃO	Presidente Médici (RS)	1.500.000	375.000	-
	São Gerônimo (RS)	5.000	-	50.000
	Charqueadas (RS)	295.058	126.453	-
	Jorge Lacerda I, II, e III (SC)	408.000	472.000	-
	Figueira	-	50.000	-
EM CONSTRUÇÃO	Candiota III (RS)	700.000	150.000	-
	Jacuí I (RS)	700.000	150.000	-
	Jorge Lacerda IV (SC)	400.000	200.000	-
EM PROJETO	CELESC/Iniciativa privada	200.000	100.000	-
	Seival	700.000	150.000	-

Quadro 10 – Capacidade máxima de produção de resíduos da combustão de carvão prevista para o ano 2005

2 A produção dos blocos e tijolos CIPECAL

O processo de obtenção de blocos e tijolos CIPECAL, à base de cinzas de fundo de carvão, é similar ao processo utilizado na obtenção dos blocos silicocalcários, produzidos no Brasil e em muitos países europeus, como Alemanha, Rússia e Inglaterra.

Os materiais silicocalcários são obtidos de uma mistura de areia e cal virgem, e curados em autoclave a altas temperaturas. Os blocos propostos no presente projeto prevêem a substituição da areia pelas cinzas originadas na queima do carvão em forma pulverizada.

O processo consta basicamente dos passos a seguir.

a) Preparação das matérias-primas

As cinzas de fundo não necessitam de tratamento prévio, sendo utilizadas como recebidas das fontes produtoras. Eventualmente necessitam de operações de secagem, ao sol ou secador, antes de serem levadas à linha de produção.

A cal hidratada, que pode ser comprada em sacos ou a granel, é adquirida no comércio, sendo, na prática das dosagens, considerada como seca.

b) Dosagem e mistura das matérias-primas

As matérias-primas, cinza de fundo e cal hidratada, são dosadas em proporções adequadas, em função da resistência requerida do produto final, e misturadas, juntamente com a água, na quantidade ótima necessária.

A mistura ótima é aquela que utiliza o menor teor de cal e atende às especificações técnicas estabelecidas pela ABNT. Para todas as cinzas de fundo estudadas, a proporção de 10% de cal e 90% de cinza de fundo pode ser considerada adequada.

c) Moldagem das peças

A mistura cinza/cal/água não possui plasticidade suficiente para permitir outro processo de conformação que não seja por prensagem com cargas elevadas. Os blocos e tijolos são conformados por prensas, preferencialmente hidráulicas, de grande capacidade de produção, sob pressões que variam conforme as características que se requerem do produto final, 50 a 100 hgf/cm². Estas, por sua vez, serão função das exigências e dos interesses do mercado consumidor.

d) Cura e estocagem

Saídos das máquinas de prensagem, os elementos de alvenaria necessitam ficar por algum tempo em repouso, sem perder a umidade de moldagem, para adquirir resistência mecânica.

Em uma área própria para cura e estocagem, os blocos e/ou tijolos são empilhados na forma de pirâmide com aproximadamente mil unidades e cobertos com lona plástica, onde, após aproximadamente 20 dias, estão suficientemente enrijecidos para uso na construção civil. Quanto mais tempo os blocos permanecerem na área, maior será sua resistência.

A cura pode ser acelerada por meio de tratamentos hidrotérmicos, com ou sem pressão de vapor de água. Assim, resistências obtidas aos 20 dias de cura ao meio ambiente podem ser atingidas aos dois dias de cura em autoclave.

A definição da qualidade dos produtos foi feita por meio de ensaios de resistência à compressão simples e absorção de água indicados pela ABNT.

e) Características do produto

Os blocos obtidos pela prensagem e posterior cura de uma mistura de cinza e cal hidratada apresentam a forma paralelepípedica com intertravamento vertical, obtido

pela presença de saliência troncocônica na superfície do topo e rebaixos da mesma forma, na superfície de base do bloco.

Devido à sua precisão dimensional, não se necessita no processo construtivo do emprego de linha de nível, nem, eventualmente, do preenchimento com reboco para obter o nivelamento das paredes.

Em função da sua geometria e conformação, sendo um bloco de encaixe, dispensa o uso de argamassa para assentamento, reduzindo o tempo de execução e, conseqüentemente, o custo total da obra.

Para blocos com dois vazados de 5 centímetros de diâmetro e dois encaixes, com dimensões de 30 cm x 15 cm x 5 cm, traço 10% de cal hidratada e 90% de cinza de fundo, moldados sob pressões de 50 a 100 kgf/cm², as resistências à compressão simples e absorções de água, para produtos prontos ao uso, ficam na faixa entre 60 e 100 kgf/cm², e 25% e 30%, respectivamente.

Segue um fluxograma de produção sumário.

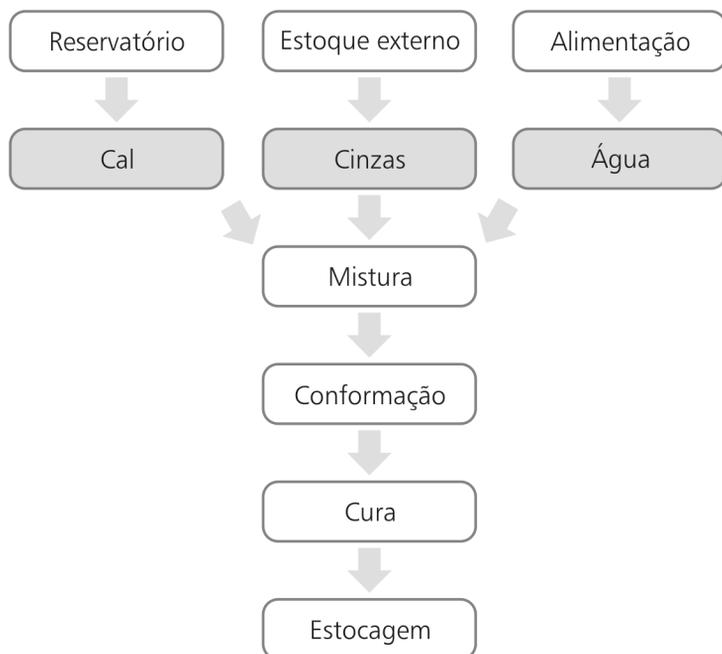


Figura 1 – Fluxograma de produção sumário

3 Aspectos econômicos

O produto CIPECAL ainda não existe no mercado, que é dominado, basicamente, por elementos cerâmicos, como os blocos do tipo “gauchão” e tijolos maciços.

O mercado riograndense de blocos/tijolos é superior a dois milhões de unidades/dia, sendo cerca de 40% a 50% desse mercado abastecido por artefatos provenientes do estado de Santa Catarina, onde o produto é mais barato devido à política fiscal estadual.

De acordo com os dados do Sindicato das Indústrias de Olarias e Cerâmicas do Rio Grande do Sul (SIOCERGS), entrou na década de 90 quase um milhão de blocos/tijolos por dia no estado.

Estudos realizados pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em 1997 – Caminhos para o Desenvolvimento – revelaram que, para uma escala de produção de aproximadamente 150.000 blocos por mês, o produto CIPECAL é 20% mais barato que o preço encontrado no mercado atual, ofertado pelo concorrente gaúcho com o melhor preço. Essa diferença poderia aumentar se a escala de produção fosse maior.

Apesar de os preços dos blocos/tijolos cerâmicos provenientes de Santa Catarina serem mais baixos que os do Rio Grande do Sul, ainda assim o produto CIPECAL é competitivo, além de ter qualidade normalmente superior.

4 Conclusões

Tradicionalmente, até bem pouco tempo, todos os materiais de construção, conforme o seu destino ou a sua função, deviam cumprir um certo número de condições técnicas, econômicas e estéticas.

A qualidade de um material resulta de sua aptidão em atender às condições técnicas, peculiares à sua utilização. O material é de boa qualidade quando satisfaz de maneira favorável as condições técnicas, como resistência, trabalhabilidade, durabilidade e conforto.

Quanto às condições econômicas, estas constituem requisitos da maior importância a serem observados para a escolha de um material de construção. É condi-

ção essencial que os materiais a serem utilizados sejam os de menor custo e os que atendam às condições técnicas e estéticas.

Modernamente, além dos aspectos acima referidos, devem também ser avaliados os aspectos de caráter ambiental. A incidência de custos associados ao impacto ambiental no custo final de um material de construção é significativa, de tal forma que a utilização de um recurso mineral não renovável pode se tornar economicamente inviável ante o dano ambiental que venha a causar.

O projeto CIPECAL, nesse sentido, ao estudar as potencialidades de uso, como material de construção, das cinzas de fundo, preocupou-se tanto em caracterizar esses materiais quanto às suas propriedades técnicas, quanto em avaliar os reflexos ambientais de sua utilização.

A qualidade dos materiais estudados foi estimada, principalmente, por meio de testes laboratoriais. Alguns monitoramentos *in situ*, com observações macroscópicas em obras de alvenaria, também foram realizados.

Os testes foram conduzidos em diferentes laboratórios da CIENTEC e da UFRGS, onde se determinaram as propriedades físicas, químicas e mineralógicas. As observações *in situ* foram realizadas em algumas paredes que fazem parte das estruturas de vedação (Foto 4) do Laboratório de Reciclagem de Resíduos.

O cotejo entre as grandezas que definiram os materiais em estudo e as das especificações estabelecidas por normas permitiram avaliar o potencial e a qualidade do produto estudado.

Por se tratarem as cinzas de fundo de resíduos industriais com características técnicas e ecológicas adequadas para a produção de artefatos para a construção civil, o seu aproveitamento, em grande escala, ao mesmo tempo, vem ao encontro do que reza a lei de crimes ambientais n.º 9.605, de 13 de fevereiro de 1998 (FAMURGS), aprovada pelo Congresso Nacional, que contextualiza as novas formas de crimes, em função do avanço tecnológico. Nesse sentido, o lançamento de resíduos sólidos, entre outros, recebe tratamento exemplar na lei de crimes ambientais, ou seja, aquele que causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resulte ou passe a resultar em danos à saúde humana ou que provoque a mortandade de animais ou a destruição da flora será punido com pena de reclusão de um a cinco anos.

Dentro desse cenário fica evidenciada a importância que deve ser dada à reciclagem de resíduos industriais, especificamente aos resíduos da combustão do carvão.

A sua concretização, no entanto, está vinculada à elaboração de estratégias, planos ou programas para a utilização adequada desses recursos disponíveis.

Embora muitos esforços da CIENTEC tenham sido desenvolvidos nessa direção, não constituem uma estratégia completa e coordenada. Muitas questões tem de ser equacionadas e resolvidas.

O nível atual de utilização de cinzas no Rio Grande do Sul é ao redor de 25-30%. Para atingir maiores níveis de utilização, o setor da Construção Civil mostra-se promissor, dentro do cenário sul-brasileiro. Há no Rio Grande do Sul cerca de 1.500 olarias que atendem, conforme dados levantados em 1993 pela Secretaria de Administração do Estado, a apenas 50-60% da demanda de tijolos consumidos no estado. O restante é importado do estado de Santa Catarina.

Se os tijolos importados de Santa Catarina fossem substituídos pelos tijolos CIPECAL, cerca de 500.000 t de cinzas de carvão poderiam ser consumidas no Rio Grande do Sul.

A produção de tijolos de barro vem apresentando, por outro lado, cada vez maiores desvantagens, destacando-se o uso intensivo de solo, que leva algumas centenas de anos para formar cerca de 1 cm de camada.

No Brasil, a CIENTEC, por intermédio do Projeto CIPECAL, desenvolveu diferentes processos tecnológicos para a fabricação de tijolos prensados de cinza, envolvendo diferentes condições de cura.

Cada processo tem seus méritos e desvantagens. A escolha da técnica de fabricação é muito importante para tornar a tecnologia economicamente viável.

O assunto é ainda discutível, se as técnicas de cura por tratamento hidrotérmico ou em meio ambiente devem ou não ser adotadas para tornar economicamente viável o processo de fabricação de tijolos de cinza-cal. Diferentes aspectos devem ser levados em consideração para definir a viabilidade econômica de instalação de uma planta, tais como escala de produção, qualidade de produção final, preço da cal, localização do empreendimento e custos dos tijolos convencionais na região.

No Rio Grande do Sul, apesar das atividades desenvolvidas pela CIENTEC, na prática os resultados não foram muito significativos.

Há uma série de barreiras no caminho para uma larga utilização:

- atuação muito isolada da CIENTEC;
- o despreparo e o desinteresse das usinas para um adequado fornecimento das cinzas;
- falta de estudos econômicos confiáveis, que mostrem que efetivamente a alternativa com cinza é economicamente viável;
- falta de uma coordenação direta e interação entre as manufaturas dos produtos, baseados na cinza, e as fontes geradoras de resíduos;
- falta de uma ligação entre as usinas geradoras de cinzas, a pesquisa e as indústrias; e
- falta de uma legislação incentivadora no consumo de resíduos industriais: subsídios e taxas de concessão.

Apesar de todas essas dificuldades apontadas, a partir do desenvolvimento do produto e processo CIPECAL, algumas experiências utilizando a referida tecnologia puderam ser realizadas. As primeiras foram dentro das dependências da CIENTEC (Foto 4).



Foto 4 – Construção de paredes de vedação com tijolos CIPECAL

São obras que já existem há cerca de oito anos, expostas ao meio ambiente, sem sinais de degradação.

No ano de 2000 foi assinado um contrato com o Departamento Municipal de Habitação (DEMHAB), da Prefeitura de Porto Alegre, visando à construção de um protótipo com os blocos CIPECAL em uma vila popular. Todos os blocos necessá-

rios para a construção do protótipo foram produzidos na CIENTEC com a tecnologia desenvolvida dentro do projeto CIPECAL.

O projeto do protótipo foi elaborado por técnicos da CIENTEC, e sua construção ficou a cargo do DEMHAB.

O comportamento do protótipo e a avaliação econômica estão sendo verificados por técnicos da CIENTEC, desde as fases construtiva e de ocupação, pelo período de um ano.

No ano de 2001 foi assinado um contrato de transferência de tecnologia com a empresa V. L. Lersch e Cia. Ltda., de Santa Cruz. A referida empresa está instalada no município de Charqueadas, junto a uma usina geradora de cinzas de carvão. Terá, inicialmente, uma capacidade de produção de 15.000 blocos/dia.

Referências bibliográficas

MANZ, O. E. Worldwide Production of Coal Ash and Utilization in Concrete and Other products. In: 1995 INTERNATIONAL ASH UTILIZATIONS SYMPOSIUM, Lexington, Nov. 1995. **Anais...** Lexington, University of Kentucky Center for Applied Energy Research and the Journal FUEL. 1 v. 5 p.

CHIES, F.; ZWONOK, O.; SILVA, N. I. W.; CALARGE, L. M.
Desenvolvimento de blocos e tijolos a partir de cinzas de fundo e cal hidratada: Projeto CIPECAL. Relatório Final. Porto Alegre, CIENTEC, jun. 1999. 199 p.

UFRGS. **Tijolos de cinza de carvão.** Caminhos para o Desenvolvimento (Secretaria do Desenvolvimento de Assuntos Internacionais, Secretaria da Agricultura e Abastecimento, Secretaria de Coordenação e Planejamento), 1997. 59 p.

ZWONOK, O.; CHIES, F.; SILVA, N. I. W. **Identificação dos usos possíveis (estado da arte) para as cinzas de carvão mineral de termelétricas brasileiras.** Relatório Técnico. Porto Alegre, CIENTEC, 1996. 88 p. (ELETROBRAS - Contrato: ECE-818/96)

