

# ESTUDO DA VIABILIDADE DO TRANSPORTE DE CINZAS DE CARVÃO MINERAL EM MEIO DENSO

*I.M. Cócio; S.R. Bragança; J.J. Da Rosa; M. R. F. Gonçalves; Caponi, F.; T. Basegio; Siqueira, A. J.Rubio; C.P. Bergmann*

**Resumo** - O transporte de cinzas de carvão mineral feito em caminhões abertos mostra-se nocivo ao ambiente e representa elevados custos operacionais às empresas geradoras (minas de carvão e usinas termoeletricas). Uma das soluções para tal problema é a utilização de sistemas fechados de transporte em meios densos. Nestes sistemas, utilizando-se de bombeamento hidráulico, transporta-se através de tubulação de aço o material sólido fluidificado em água. No presente trabalho é apresentado um estudo de caso do transporte de cinza de carvão mineral (leve e pesada) em teste em uma usina termoeletrica a carvão no Estado do Rio Grande do Sul. Foram testadas formulações de massas constituídas de cinzas (leve e pesada) obtidas na descarga de cada uma das Fases (A e B) de combustão da Usina, aditivadas com baixos teores de água (teor de sólidos de 70%). Para tanto, as polpas (cinzas umidificadas) foram caracterizadas quanto a sua composição química, pH, distribuição granulométrica e comportamento geológico.

**Palavras chaves** - Cinzas de carvão mineral, transporte em meio denso, propriedades químicas e físicas.

## I. INTRODUÇÃO

O transporte das cinzas da Unidade Termoeletrica Presidente Médici - UTPM até a cava da mina, onde se dá a disposição final das cinzas, é realizado por caminhões. O sistema de carregamento das cinzas nos caminhões é o principal responsável pela contaminação por cinzas na Usina, sendo prejudicial à imagem da empresa e à saúde de seus funcionários.

Cerca de 20% da cinza é comercializada, carregada seca, em caminhões fechados. O sistema de carregamento deste tipo de cinza mostra-se bastante eficiente, uma vez que é feito com a utilização de tubulação retrátil e adaptável ao caminhão.

A cinza restante que não é comercializada é umidificada e carregada em caminhões abertos que a deposita na cava de mineração. O sistema de

umidificação não possui controle, ficando a cargo do operador a quantidade de água a ser adicionada a cinza. Assim, este processo apresenta uma variabilidade muito grande na umidade da cinza que, na grande maioria das vezes, causa dispersão de sua fração mais fina no pátio da Usina. As cinzas se depositam no pátio da usina como pode ser observado na Figura 1. Isto exige um trabalho redobrado para sua captação e remoção.



(a)



(b)

Figura 1. (a) Cinzas no pátio da Usina, projetadas pela ação do vento. (b) Cinzas no piso, resultante da deficiência do sistema de carregamento dos caminhões.

Inserido nesta problemática ambiental, analisou-se neste trabalho uma alternativa tecnológica para se reduzir a contaminação ambiental associada ao uso do carvão mineral. Para tanto, analisou-se o transporte das cinzas por meio denso, ou seja, utilizando-se de bombeamento hidráulico. Neste tipo de sistema é essencial o estudo da reologia das misturas de cinzas + águas, que depende fortemente das propriedades das cinzas e da quantidade de água. Inicialmente, foram realizados diversos ensaios de caracterização como composição química, distribuição granulométricas, pH e viscosidade das polpas, inclusive com a realização de testes de transporte de cinzas (leve e pesada) em escala piloto. Como resultado, foram otimizadas as quantidades de cinza e água na formação das polpas, sendo estas, posteriormente, caracterizadas química e fisicamente, objetivando-se a obtenção de uma formulação com consistência e viscosidade adquiridas com o menor consumo de água.

## II. MATERIAIS

As cinzas utilizadas nas formulações de massas, no teste piloto de transporte no pátio da usina, foram analisadas em laboratório para definição de sua composição química, seu pH e distribuição granulométrica.

As cinzas são divididas em leves (cinzas volantes) e cinzas pesadas. Por sua vez, estas se dividem pela sua origem, seja das caldeiras da Fase A (mais antigas) e Fase B (mais novas).

### COMPOSIÇÃO QUÍMICA

A composição química das cinzas foi determinada por fluorescência de raios-X, em ensaio realizado no laboratório de Materiais Cerâmicos da UFRGS. As cinzas utilizadas foram coletadas nos pontos de descarga de cada uma das Fases (A e B). A Tabela I apresenta os resultados obtidos.

TABELA I  
COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS CINZAS

Compostos	Composição química (%)			
	Cinza leve		Cinza pesada	
	Fase A	Fase B	Fase A	Fase B
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,70	7,31	2,33	10,55
MnO	0,04	0,05	0,11	0,06
TiO <sub>2</sub>	0,61	0,62	0,83	0,68
CaO	1,27	1,16	1,83	1,36
K <sub>2</sub> O	1,59	1,62	1,67	1,65
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04	0,04	0,063	0,04
SiO <sub>2</sub>	69,48	68,43	70,70	64,36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,21	19,98	19,91	19,34
MgO	0,56	0,52	1,20	0,75
Na <sub>2</sub> O	0,41	0,25	1,36	1,2

### ANÁLISE DO PH DAS POLPAS

As cinzas de carvão apresentaram ampla variação dos valores de pH em água deionizada e por isto fez-se um estudo específico sobre quais fatores justificariam tal variação. Considerando a origem das cinzas, o carvão mineral passou a ser então o alvo desses estudos. Em função da quantidade de cinza leve produzida no processo, o estudo em questão foi feito apenas com este tipo de cinza. Os dados da Tabela II apresentam grande variabilidade de pH, chegando a um valor máximo de 9,88 e um valor mínimo de 3,67, ou seja, uma variação de concentração acima de 6. Este alta variação de concentração caracteriza um comportamento típico das cinzas que sofrem influência da variação da matéria-prima e das condições do processo. Portanto, a variação do tipo de carvão, principalmente, com variação do carvão proveniente do Banco de lavra 1 ou 2, que caracterizam-se com diferentes teores de calcário, justifica os resultados encontrados.

TABELA II  
ANÁLISE DO PH DAS CINZAS LEVE.

Amostra	pH água	pH amostra
1	6,57	4,92
2	5,7	7,83
3	5,7	9,88
4	5,7	7,48
5	5,7	4,19
6	6,57	3,67
7	5,7	3,99
7	6,56	3,88
8	4,81	7,75
9	5,7	4,35
10	6,56	3,91
11	4,81	4,63
12	4,81	4,15

A Figura 2 mostra o comportamento das cinzas ao longo do tempo. A cada 15 minutos foram medidos os valores de pH, durante um período de quatro horas, resultando em pouca variação do pH.

Ao se observar os resultados obtidos nesta análise mostrada na Figura 2, verifica-se que os valores de pH para todas as cinzas mantiveram-se quase inalterados, condição esta favorável ao processo de transporte em análise. No entanto, a forte variação de pH deve ser considerada na especificação do material de tubulação.

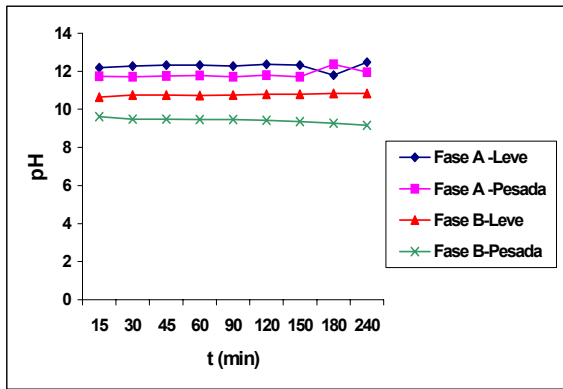


Figura 2. Variação do pH das cinzas em presença de água destilada/deionizada.

### DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Para realização do ensaio foram utilizadas 5 amostras de cinza, com 20g cada. A análise das amostras foi feita em um granulômetro a laser. As Figuras 3 e 4 apresentam a distribuição granulométrica das cinzas ensaiadas.

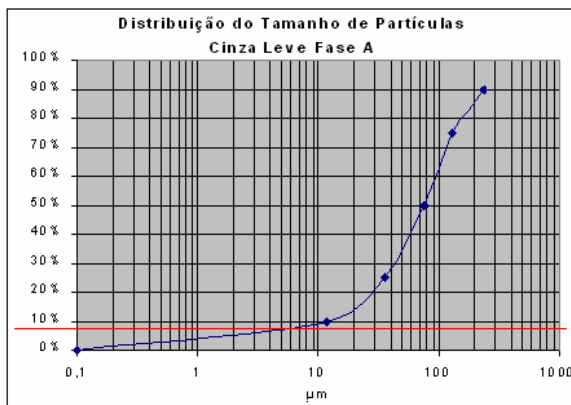


Figura 3. Distribuição granulométrica das partículas de cinzas da Fase A.

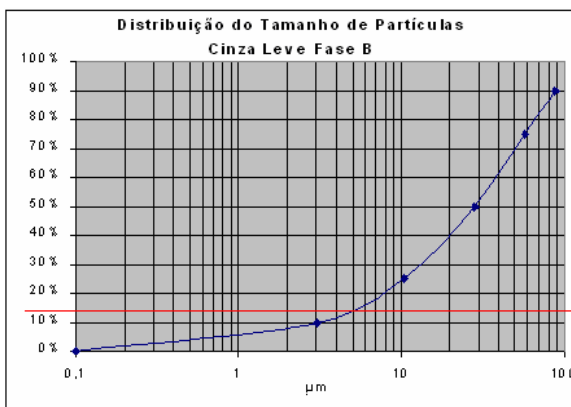


Figura 4. Distribuição granulométrica das partículas de cinza da Fase B.

Esta análise mostrou que para a cinza leve da Fase A o tamanho médio de partícula é de 104,31 μm e da Fase B é de 35 μm. Cabe observar que o volume de partículas de tamanho menor ou igual a 5 μm, menor tamanho de particulado permitido no ar ambiente, é de cerca de 9% na Fase A e 15% na Fase B.

Considerando que particulados com tamanho menor ou igual a 5 μm são mais prejudiciais à saúde humana, pois pode causar sérios problemas respiratórios, e o elevado volume de cinza movimentado nos pátios da usina percebe-se a importância de obtenção de métodos de eliminação destes particulados no ar e de sistemas de transporte eficiente.

Já para a cinza pesada a análise de distribuição granulométrica mostrou que tanto na Fase A como na B, o tamanho de partícula é muito superior a 5 μm. Não sendo, portanto, elemento causador de poluição.

Por outro lado, o elevado percentual de partículas de pequeno tamanho significa um alto potencial de atividade pozolânica, o que deve ser considerado no estabelecimento da velocidade mínima crítica de transporte da cinza e, principalmente, em eventuais paradas.

### III. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para realização do ensaio prático de transporte de cinzas foram utilizados equipamentos fornecidos pela empresa PUTZMEISTER. O teste foi executado com uma bomba pneumática (modelo KOS 1050HCB) ligada a uma tubulação de aço com diâmetro de 5", 66,7m de comprimento, que recalcou massa de cinza numa diferença de nível de cerca de 3,20m (Figura 5).



Figura 5. Equipamentos utilizados no ensaio prático de transporte de cinzas.

As Formulações de massas foram propostas com dosagem de traços de acordo com o volume de cinzas produzido na descarga de cada uma das Fases (A e B). Para a medição da quantidade de cinza, por traço, foi utilizada uma padiola com volume igual a 0,0429 m<sup>3</sup> ou 42,9l. A Tabela III descreve a composição das formulações testadas, onde tem-se duas massas compostas de diferentes percentuais de cinzas leve e pesada de cada fase de produção da usina.

TABELA III  
FORMULAÇÕES DE MASSA DE CINZAS (LEVE E PESADA).

Formulações		Composição			
		% em peso		Volume (m <sup>3</sup> )	
		Cinza Leve	Cinza Pesada	Cinza Leve	Cinza Pesada
<i>Massa1 (M1)</i>	<i>Fase A</i>	22	06	0,43	0,13
	<i>Fase B</i>	59	13	1,11	0,21
<i>Massa2 (M2)</i>	<i>Fase A</i>	16	20	0,30	0,38
	<i>Fase B</i>	41	23	0,77	0,43

Para realização do teste, após a dosagem das massas (cinzas + água), as cinzas foram lançadas em um misturador acoplado à bomba pneumática e imediatamente umedecidas. A água era adicionada empiricamente à massa que percorria a tubulação e retornava ao misturador para nova adição de água até adquirir fluidez continuada. A partir de então, a umidade das massas era determinada.

Para caracterização química (composição e pH) e física (umidade de massa, distribuição granulométrica, consistência e viscosidade) das massas de cinzas testadas, amostras foram coletadas no misturador ao final de cada ciclo de transporte.

#### IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### CARACTERIZAÇÃO DAS MASSAS DE CINZAS (POLPAS)

###### ANÁLISE QUÍMICA

Assim como para as cinzas, a composição química das polpas (Massa 1 e Massa 2) foi determinada por fluorescência de raios-X. A Tabela IV apresenta os resultados obtidos.

TABELA IV  
COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS MASSAS DE CINZAS.

Compostos	Massa 1	Massa 2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,29	9,06
MnO	0,05	0,06
TiO <sub>2</sub>	0,65	0,70
CaO	1,32	1,37
K <sub>2</sub> O	1,61	1,63
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,06	0,07
SiO <sub>2</sub>	68,16	67,67
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,16	18,83
MgO	0,50	0,49
Na <sub>2</sub> O	0,19	0,13

###### ANÁLISE DO PH

Para análise do pH das massas de cinzas utilizou-se a mesma metodologia adotada anteriormente para as cinzas. A Figura 6 apresenta os resultados obtidos.

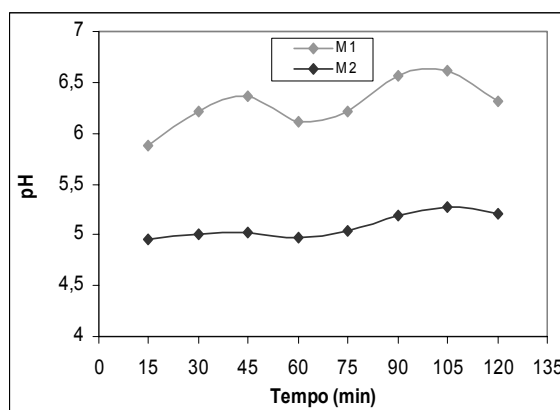
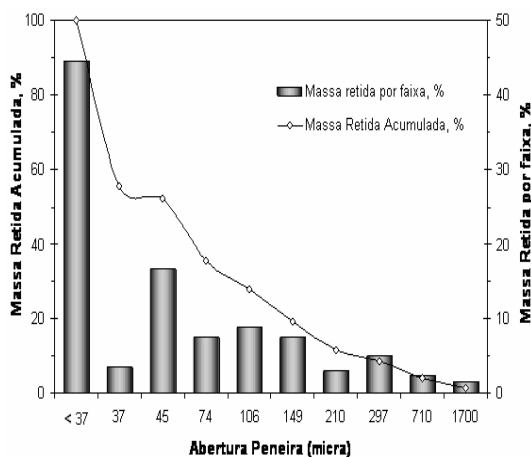


Figura 6. pH das massas de cinzas testadas (M1 e M2) em função do tempo de ensaio.

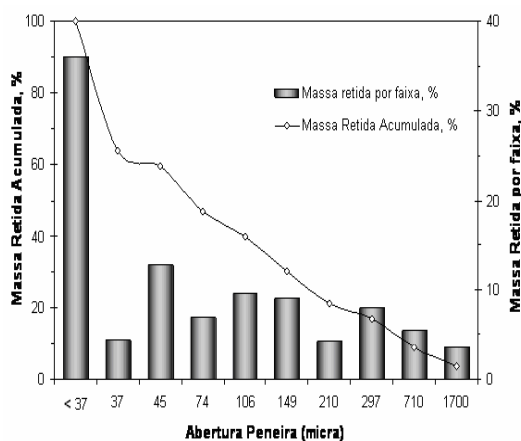
Observados os valores de pH, verifica-se que as formulações de massa M1 e M2 apresentam estabilidade quanto ao pH, sendo a massa M2 levemente mais ácida.

###### DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

A análise da distribuição granulométrica das massas de cinzas, determinada por peneiras ABNT, mostrou uma maior concentração de partículas grossas na faixa de distribuição granulométrica da massa M2 (Figura 7).



(a)



(b)

Figura 7. Distribuição granulométrica das massas de cinzas. (a) M1  
(b) M2.

## ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA

Para análise de consistência das massas de cinza foram realizados ensaios para determinação do abatimento do tronco de cone, segundo especificações da NBRNM67. Este ensaio foi realizado em analogia aos testes com concretos bombeáveis. Este procedimento guiou este ensaio e o de viscosidade, como forma de se obter uma massa com as características ideais ao bombeamento.

Os resultados mostraram que, independente da quantidade de água adicionada, as massas apresentaram pouca variação nos abatimentos medidos. Para a massa M1 o abatimento de cone foi de 17 cm e para a massa M2 foi de 18 cm. Ainda que pequena, a diferença observada pode ser justificada pela presença de maior quantidade de cinza pesada na massa M2. Além do maior tamanho, as partículas de cinza pesada são mais desuniformes e irregulares, propiciando a formação de poros de maior tamanho e capilares que ajudam no escoamento da água e aumentam a fluidez da massa.

## ENSAIO DE VISCOSIDADE

Por último, as massas de cinzas foram ensaiadas para determinação do índice de viscosidade em um viscosímetro de disco (BROOKFIELD). O teor de água foi determinado a partir dos ensaios práticos em escala piloto, apresentando aqui 3 amostras de cada ensaio para cada massa, possuindo pequena variação de até 2% de umidade devido ao erro na dosagem nos ensaios em escala piloto.

A viscosidade é um índice usado para definir as características das bombas empregadas no transporte em meio denso. Busca-se, preferencialmente, massas com teor suficientemente elevado de viscosidade, para evitar a segregação da massa no transporte, e baixos teores de umidade, como forma de evitar o desgaste excessivo dos equipamentos envolvidos (bombas e tubos de aço) e desperdício de energia e água, no transporte do excesso desta. Além da umidade, outro fator que afeta a viscosidade de uma massa é a distribuição granulométrica de seus componentes.

As Figuras 8 e 9 apresentam os índices de viscosidade das massas de cinzas testadas. Como pode se ver, a massa M1 apresenta os mais altos índices de viscosidade com os mais baixos teores de umidade. Estes resultados certamente têm origem na composição e dosagem da massa M1 que contém os maiores teores de cinza leve (Tabela III). O menor tamanho de partícula da cinza leve e sua maior área superficial diminuem a quantidade de água livre na massa e mantém as partículas mais próximas.

A partir de um momento inicial, a viscosidade tende a estabilizar-se, não ocorrendo mais variações significativas desta, mesmo para tempos mais longos, quando mantidas sob agitação. No entanto, ao ficar novamente a polpa sob repouso, a viscosidade tende a aumentar, requerendo, portanto, um torque inicial mais elevado para começar o movimento, como mostra o início de teste, cujo comportamento é similar, representado nas Figuras 8 e 9.

A viscosidade mostrou sofrer influência da quantidade de água e do percentual da mistura das cinzas leve e pesada, justificando esse comportamento, como pode se observar pela diferença de viscosidade da Figura 8 para a Figura 9. Isto significa que como estes parâmetros podem variar durante a operação, deve-se tomar este cuidado no dimensionamento das bombas. No entanto, dentro dos limites analisados de variação de água (2 % em peso), o sistema sofre pequena variação da viscosidade para massa M1 e maior variação para massa M2.

Com um teor mais baixo de água e viscosidade adequada, pode-se dizer que a massa M1 mostrou um melhor comportamento para transporte em relação à massa M2. Isto sugere o cuidado na preparação das misturas das cinzas leve e pesada, como uma forma de se controlar o teor de umidade e a viscosidade da massa.

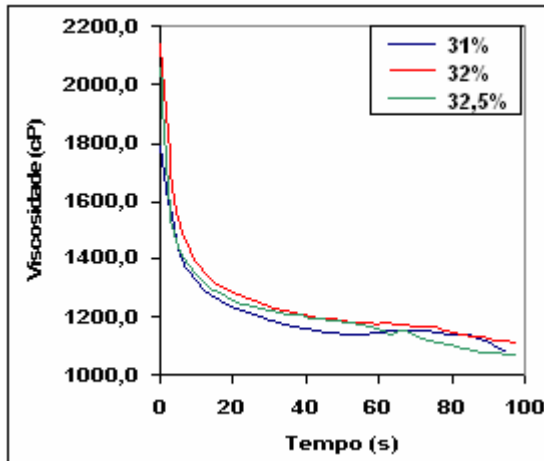


Figura 8. Viscosidade da Massa M1 de cinzas, com diferentes quantidades de umidade.

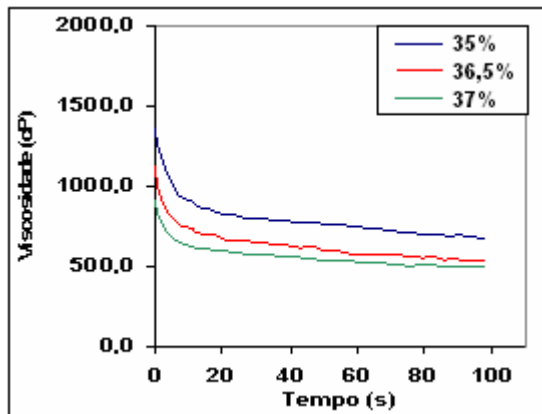


Figura 9. Viscosidade da Massa M2 de cinzas, com diferentes quantidades de umidade.

#### V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em função dos resultados de análise das massas propostas e dos testes de transporte de polpas, conclui-se que:

As cinzas apresentam variações em suas propriedades quanto à composição química, granulometria e pH das polpas. Estes parâmetros devem ser considerados nas especificações de materiais e dimensionamento dos equipamentos para o transporte por bombeamento em meio denso.

Variações na formulação das massas de misturas de cinzas + água levam a modificações na viscosidade das polpas. A elevada presença de finos na massa é o fator de maior importância na sua viscosidade. Para uma adequada fluidez a umidade das massas deve variar no intervalo de 30 a 35%.

A viscosidade das polpas tendem a serem elevadas no repouso, vindo a diminuir sob agitação e

apresentando estabilidade, após um curto período inicial.

De um modo geral, a cinza do carvão Candiota apresentou boas propriedades para o transporte em meio denso.

#### VI. CONCLUSÃO

O transporte das cinzas por meio denso é tecnicamente viável como demonstrou o estudo de caracterização das cinzas e polpas de cinzas e água. Foi possível se produzir polpas com as características desejáveis, ou seja, alto teor de sólidos. A substituição do sistema atual de transporte de cinzas pelo sistema proposto, significaria um ganho ambiental de grande importância para a Usina. Isto iria propiciar maior segurança e melhor qualidade do ar no ambiente de trabalho.

#### VII AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos técnicos da CGTEE que colaboraram no desenvolvimento deste projeto.