

**Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**  
**Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo**

ISSN 0104-0553

**BT/PMI/175**

---

**Considerações sobre o  
Aproveitamento dos Rejeitos de  
Produção do Carvão Catarinense**

---

**Claudio Beneton Zilli  
Eldon Azevedo Masini**

**São Paulo - 2003**

1348840

O presente trabalho é parte da dissertação de mestrado apresentada por Claudio Beneton Zilli, sob a orientação do Prof. Dr.: Eldon Azevedo Masini "Considerações sobre o Aproveitamento dos Rejeitos de Produção do Carvão Catarinense", defendida em 17/02/03, na EPUSP.

A íntegra da dissertação encontra-se à disposição dos interessados com o autor e na Biblioteca do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da USP.

#### FICHA CATALOGRÁFICA

Zilli, Claudio Beneton

Considerações sobre o aproveitamento dos rejeitos de produção do carvão catarinense / C.B. Zilli, E.A. Masini. – São Paulo : EPUSP, 2003.

18 p. – (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, BT/PMI/175)

1. Carvão – Santa Catarina 2. Rejeitos de mineração 3. Proteção ambiental I. Marini, Eldon Azevedo II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo III. Título IV. Série  
ISSN 0104-0553

CDU 622.333  
622'17  
504.06

**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE  
SÃO PAULO**

**CONSIDERAÇÕES SOBRE O APROVEITAMENTO DOS  
REJEITOS DE PRODUÇÃO DO CARVÃO CATARINENSE**

**Autores:  
ELDON AZEVEDO MASINI  
CLAUDIO BENETON ZILLI**

**SÃO PAULO  
2002**



## RESUMO

Os carvões brasileiros caracterizam-se pelo elevado teor de matéria mineral e de pirita disseminados na matriz orgânica, gerando grande quantidade de rejeito no processo de concentração, e também na queima do concentrado. Estes rejeitos são descartados em grandes depósitos, cujas conseqüências ambientais são bastante marcantes nas regiões carboníferas de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. O aproveitamento industrial destes subprodutos é de fundamental importância para estas regiões, tanto do ponto de vista ambiental, como econômico e social. A dissertação apresenta um panorama da indústria do carvão em Santa Catarina, juntamente com uma caracterização sucinta de seus rejeitos. Faz uma comparação com base nas características químicas, entre os rejeitos de produção e a do carvão. Apresenta também, uma síntese da utilização de subprodutos da queima de carvão no mundo, e o que é feito ou já foi feito no Brasil. E por fim, destaca o potencial de aproveitamento destes rejeitos e os ganhos ambientais decorrentes. Os principais ramos de atividade com potencial para valerem-se destes subprodutos são: a indústria da construção civil, agrícola, e química.

## ABSTRACT

Brazilian coals are characterized by a high quantity of tailings and associated mineral matter. That means high ash content in the product, along with high amount of tailings in preparation, giving way to large deposits of by-products of its production or its use. The environmental consequences of these deposits are remarkable in the coal producing areas of Rio Grande do Sul and Santa Catarina. Industrial recycling of these by-products is of paramount importance for these regions, in terms of environmental, economic and social points of view. This thesis provides a bibliographic review of all techniques for industrial use, for coal ashes and refuse, in Brazil and around the world. Techniques in order to recycle and reclaim millions of tons of refuse and ashes we dispose of every year, along with social and economic benefits. It is of an easy conclusion, that the ashes of coals around the world are very similar, therefore the fields of utilization, are very much the same. A chemical comparison is made between, coal refuse and coal ashes. Meanwhile, there are various kinds of ashes, and each one of them, has a more suitable application. The main fields of application for coal ashes are: civil engineering industry, agriculture, environmental reclamation and chemicals. In the civil engineering industry, ashes can be used in manufacturing mortars, cement, lightweight aggregates, road bases, structural fill, etc. All them profiting from the pozzolanic and binding properties of the ashes. In agriculture, ashes can be used as soil amendment and reclamation of mined out areas, both profiting from the alkaline properties of the ashes, mainly those of fluidized bed, that use lime to reduce sulfur emissions. Finally, the chemicals industry, which uses ashes mainly as "filler" in the manufacture of paints, polymers, resins, rubber, ceramic, etc., all them profiting from the physical and chemical properties of the ash, with good advantages over similar competing materials.



## 1 INTRODUÇÃO

O carvão encontrado no Brasil tem origem Gonduânica (hemisfério sul) e é sabidamente um carvão de baixa qualidade, apresentando altos teores de cinza e enxofre, com baixos rendimentos no seu beneficiamento. Portanto, a geração de rejeitos de produção de carvão no Brasil, é algo que precisa ser considerado com relevância, tendo em vista seus impactos ambientais. Até meados do século XX pouca contaminação ocorreu, pois a produção era pequena, e não havia preocupação ambiental.

Todas as etapas da exploração do carvão mineral são fontes potenciais para a degradação do meio físico e biótico. Desde a frente de lavra, passando pelo beneficiamento, transporte, estendendo-se ao uso e transformação (Krebs et al, 1994).

Desta forma, há necessidade de se encontrar um destino adequado para estes milhões de toneladas de rejeitos de produção do carvão, que são gerados anualmente, que não seja apenas o de fazer uma disposição adequada dos mesmos.

Em 1982, como funcionário da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), o autor participou de um estudo para industrializar o que a natureza realizava espontaneamente, dando destino a milhões de toneladas de rejeito poluidor. O estudo se baseava na viabilização da queima de rejeitos carbonosos para produção de pozolana, utilizando um forno vertical de leito fixo, como aqueles utilizados na calcinação de calcário.

O estudo mostrou a viabilidade do processo, no entanto mostrou também a necessidade do controle das emissões de gases tóxicos (principalmente SO<sub>2</sub>). Meses depois, o estudo foi suspenso e abandonado pela empresa.

Decorridos vinte anos, o assunto continua extremamente pertinente e atual. O aproveitamento dos rejeitos do carvão, em especial os de Santa Catarina é possível, e de primordial importância para a região, tanto do ponto de vista econômico como social, além de ser ecologicamente correto.

Este trabalho faz um levantamento de todas as possibilidades e técnicas de utilização, de rejeitos de produção e de queima de carvão encontrados na literatura, que podem servir como alternativas para o caso de Santa Catarina. O autor não se preocupou em fazer uma análise profunda e detalhada das técnicas descritas, deixando isto, para trabalhos posteriores, onde o objetivo específico seria o de estudar individualmente, cada uma das técnicas aqui apresentadas. Permanece, portanto, o desafio tecnológico para o aproveitamento dos rejeitos em questão.

## 2 TÉCNICAS DE APROVEITAMENTO DOS REJEITOS

A seguir é apresentada uma revisão do estado da arte na utilização de rejeitos de carvão, em que o autor mostra as várias maneiras que vem sendo empregadas para industrializar ou aproveitar tais rejeitos.

Vale salientar que a revisão aborda também o uso da "cinza volante", que é um dos rejeitos de queima mais importantes do carvão. Ela apresenta grande similaridade com os rejeitos de carvão, no que diz respeito à composição química da cinza. Similaridade facilmente compreensível tendo em vista que, a origem da matéria mineral do carvão tem a mesma origem dos siltitos e folhelhos, que constituem as intercalações de rejeito contidos na camada de carvão (McClung et al, 1979). Esta identidade indica que os rejeitos calcinados podem ter o mesmo uso, o

que não deixa de ser uma utilização nobre para um material que está sendo descartado como rejeito, trazendo sérias conseqüências ambientais.

A relação abaixo mostra as alternativas possíveis para utilização de cinzas e rejeitos de carvão, referidas na bibliografia acessada (*US Western Region Ash Group, 2000*). Quais sejam:

- Insumos para a fabricação de argamassa, cimento e concreto;
- Agregado leve (concreto leve);
- Solo cimento;
- Base e sub-base de estradas;
- Fabricação de blocos e tijolos com cimento;
- Tijolos refratários;
- Enchimentos isolantes;
- Enchimento fluido para minas (*paste fill*);
- Cimento asfalto (agregado);
- Enchimento industrial mineral;
- Recuperação ambiental;
- Corretivo de solos;
- Estabilização de taludes.

### 2.1 Pozolanas para argamassa, cimento e concreto

Tendo em vista as características pozolânicas da cinza do carvão e dos rejeitos calcinados, determinados conceitos sobre pozolana serão a seguir abordados.

Pozolana é um material sílico-aluminoso que por si só não é aglomerante, mas quando finamente dividido e na presença de água, reage com hidróxido de cálcio formando compostos com poder aglomerante (NBR-12653). A atividade pozolânica pode ser explicada de uma maneira genérica, por uma instabilidade do sistema composto de cal, pozolana e água. Esta instabilidade, em condições adequadas, causa uma série de reações acompanhadas de endurecimento do sistema, que assume alta resistência mecânica. A atividade pozolânica aumenta com o teor de  $Al_2O_3$ , fato que sugere a formação de um composto de alumínio, provavelmente um aluminato cálcico (Santos, 1975).

As pozolanas podem ser classificadas de acordo com a NBR-12653, como:

1. Naturais (Classe N) Ex.: cinzas e tufo vulcânicos, argilas, folhelhos e diatomitos.
2. Artificiais, resultantes de processos industriais ou, provenientes de tratamento térmico, com atividade pozolânica.
  - 2.1. Argilas calcinadas (entre 500°C e 900°C);
  - 2.2. Cinzas volantes (Classe C), e;
  - 2.3. Outras não tradicionais tais como: escórias siderúrgicas ácidas, cinzas de resíduos vegetais e rejeitos de carvão (Classe E).

O processo de produção de argamassa compreende uma moagem a seco da pozolana e da cal, seguida de mistura e posterior hidratação.

O cimento é obtido na moagem do clínquer, que por sua vez, é obtido através do tratamento térmico da mistura de argila e calcário, em quantidades adequadas. O cimento obtido desta forma é chamado de cimento Portland.



**Tabela 1 - Composição química de rochas vulcânicas tidas como pozolanas naturais**

(% em peso)

Pozolanas	P.F.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Itália	3,05	53,08	18,20	4,29	9,05	1,23	3,08	7,61
Itália	4,03	45,47	19,59	9,91	9,27	4,52	0,85	6,35
Alemanha	11,10	52,12	18,29	5,81	4,94	1,20	1,48	5,06
Alemanha	7,41	62,45	16,47	4,41	3,39	0,94	1,91	2,06
França	0,24	46,60	17,60	11,80	9,84	5,58	3,14	1,76
Grécia	4,80	63,80	13,00	5,70	4,00	2,00	3,80	2,50

Fonte: Contribuição ao estudo das pozolanas no Brasil (Kihara-Shukuzawa), 1982.

**Tabela 2 - Composição química de cinzas volantes e cinza de rejeitos carbonosos**

(% em peso)

Ensaio	Jorge Lacerda (SC)	Charquea das (RS)	Presid. Médici (RS)	Riocel (RS)	Copesul (RS)	Butiá (RS)*	Rocinha (SC)*
PF	2,61	2,08	0,45	0,59	0,20	1,45	6,48
SiO <sub>2</sub>	55,62	63,80	69,01	60,85	64,68	64,26	52,61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28,65	25,69	21,33	29,25	25,55	28,00	20,93
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,15	4,10	6,30	3,15	5,02	1,44	8,09
Cão	1,36	1,66	0,54	2,32	2,12	0,54	0,90
MgO	0,94	0,75	0,54	0,48	0,40	0,35	0,48
SO <sub>3</sub>	0,35	0,11	0,23	0,20	0,23	n.d.	n.d.
Na <sub>2</sub> O	0,23	0,58	0,44	0,36	0,20	n.d.	n.d.
K <sub>2</sub> O	2,32	1,38	1,12	1,28	1,25	1,47	2,52

Fonte: KIHARA, 1992.

(\*) - Rejeito carbonoso

Na fabricação do cimento Portland, a pozolana pode ser utilizada como matéria prima na mistura com calcário antes da queima, ou simplesmente moída a seco com o clínquer para fazer o chamado cimento pozolânico (Gonzales, 1989).

Sendo a propriedade fundamental de uma pozolana a sua capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio, formando compostos estáveis de poder aglomerante, ela impede a reação álcali-agregado pela absorção dos álcalis liberados na hidratação do cimento. As partículas finas preenchem os espaços na massa de concreto, agindo como rolamentos facilitando a trabalhabilidade da massa, aumentando sua resistência e durabilidade (Santos, 1975).

## 2.2 Calcinação de argilas para fabricação de pozolanas

Argila é um material natural terroso de granulação fina (abaixo de 4µm), composta por argilominerais. O termo folhelho é utilizado para especificar argilas laminadas ou estratificadas naturalmente (Santos, 1989).

Argilas cauliniticas e montmoriloníticas calcinadas a temperaturas entre 700°C e 900°C desenvolvem atividade pozolânica. As argilas utilizadas geralmente contêm de 50 a 65% de SiO<sub>2</sub> e de 17 a 38% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, sendo que a atividade pozolânica aumenta com o aumento do teor Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> conforme já citado em 5.1.

A calcinação feita acima de 900°C ou 1000°C, apresenta redução da atividade pozolânica, provavelmente devido à formação de compostos cristalinos não reativos (estáveis).

As variações da atividade pozolânica de argilas, em função da temperatura estão correlacionadas com as variações estruturais que ocorrem nos diferentes argilominerais.

Esquemáticamente, podemos apresentar o exemplo da caulinita, que é um argilomineral de duas camadas equidimensional muito comum, cujas transformações com o aumento da temperatura, são os seguintes:

Caulinita > 400°C a 700°C > metacaulinita > 900°C nucleação de mulita > 1225°C > cristalização completa da mulita (Santos, 1989).

A fase metacaulinita apresenta atividade pozolânica, provavelmente devido à grande desordem cristalina, com maior área específica e maior atividade química. A caulinita não calcinada, não apresenta nenhuma atividade pozolânica (não reage com hidróxido de cálcio).

A calcinação de argilas montmoriloníticas, que são argilas de três camadas, de retículo cristalino expansivo equidimensional, apresenta comportamento diferente, devido ao fato que diferentes produtos são formados durante a desidroxilação deste argilomineral. Os folhelhos argilosos (*shales*) contêm, predominantemente ilita e argilominerais de camadas mistas de ilita e montmorilonita, que podem produzir pozolanas de qualidade variável em função de sua composição química, e do tratamento térmico utilizado. Possivelmente os rejeitos de carvão de Santa Catarina, estejam dentro desta categoria. Naturalmente que precisam ser mais bem caracterizados e testados em laboratório.

### 2.3 Calcinação de argilas para fabricação de agregados leves

Denomina-se genericamente agregado leve, ao material inorgânico de origem mineral que é usado em combinação com um meio aglomerante para fazer, principalmente concreto betuminoso ou concreto de cimento Portland. Usualmente usa-se rocha britada (densa e dura) para fabricação de concreto com areia e cimento Portland, dando origem a um concreto pesado com peso específico por volta de 2,40 t/m<sup>3</sup>. Contudo, no final do século XIX (1875), iniciou-se a utilização de materiais mais leves para a fabricação de concretos leves. Estes materiais recebem o nome de agregado leve (Santos, 1975).

As transformações que ocorrem quando uma argila é aquecida em um forno rotativo para fabricação de agregado leve são as seguintes (Santos, 1989):

- Secagem: remoção da umidade;
- Remoção da água absorvida e de matéria orgânica;
- Remoção da água de constituição (hidroxilas);
- Oxidação de enxofre, ferro, carbono e outros elementos;
- Dissociação: redução de carbonatos de Ca e Mg, sulfatos, óxidos, etc;
- Vitrificação: primeira formação de vidro ou fusão incipiente;
- Piroplástico: fase em que argilas, folhelhos e ardósias se expandem;

Estes argilominerais apresentam ferro no retículo cristalino ou na forma de óxidos e hidróxidos, que liberam oxigênio nas temperaturas e condições adequadas. Também apresentam quantidades apreciáveis de elementos alcalinos e alcalino-terrosos, que servem como fundentes e formadores de vidro durante a queima rápida.

Os argilitos que formam os rejeitos de carvão são citados pela literatura (*National Research Council Canadá*, 2000), como possíveis de serem utilizados por este método, para fabricação de agregado leve. No caso dos rejeitos de carvão do

Brasil, possivelmente eles não sirvam para a expansão térmica, devido ao baixo teor de ilita e dos outros minerais promissores citados acima.

Método semelhante de calcinação pode ser utilizado para o tratamento de rejeitos de carvão antes da sua disposição. A Tabela 3 abaixo nos mostra os efeitos da temperatura sobre a mineralogia dos rejeitos de carvão, durante a calcinação.

**Tabela 3 - Efeitos da calcinação sobre a mineralogia de rejeitos de carvão**

Temp(°C)	Pirita	Argilas	Quartzo	Calcita	Hematita	Coríndon
Natural	Presente	Presente	Presente	Presente	--	--
600	--	Presente	Presente	--	Presente	--
800	--	Presente	Presente	--	Presente	--
1000	--	--	Presente	--	Presente	--
1200	--	--	Presente	--	Presente	Presente

Fonte: Tailings Management (Ritcey G.M.)

#### 2.4 Fabricação de blocos e tijolos de cimento

As principais referências bibliográficas que tratam de processos e pesquisas sobre a fabricação de tijolos com subprodutos de queima de carvão, são a seguir apresentadas.

Na Inglaterra, mais de dois milhões de toneladas de cinza de carvão são utilizadas para fabricação de vários tipos de blocos de cimento. Um destes blocos com o nome comercial de 'aircrete', é fabricado a partir de uma mistura de: cinza volante, cimento, cal e água. A participação da cinza volante pode chegar a 90%. Um aditivo de pó de alumínio é adicionado antes da moldagem, criando uma reação química com geração de diminutas bolhas, que dão o aspecto poroso e leve ao produto.

A cinza de fundo também é utilizada para fabricação de blocos de cimento. Neste caso, ela substitui o agregado leve e a areia, sendo misturada com cinza volante, cimento e água, moldada e colocada para cura ao ar livre por 28 dias (American Electric Power, 2000).

Na Alemanha, tijolos de areia e cal são produzidos usando uma mistura ponderada de escória de forno, cinza volante, cal e água. Os tijolos são moldados por compressão e a seguir passam por autoclaves, para endurecimento, o qual é realizado a 190°C sobre pressão de 14 kgf/cm<sup>2</sup>. Subprodutos de queima de carvão podem compor até 95% das misturas usadas para fabricar estes tijolos (Torrey, 1978). Este tipo de tijolo, também é fabricado comercialmente na China (Clarke, 1992).

Na Suécia a fabricação do bloco *Duxox*, um tipo de concreto celular leve, envolve a utilização de cimento e cal em combinação com materiais silicosos finamente pulverizados, tais como cinza volante, areia quartzosa, xistos aluminosos e escória de alto forno. O pó de alumínio é usado como espumante para dar volume à mistura (Guimarães, 1997).

Nos Estados Unidos, pesquisadores da Universidade de West Virginia (Morgantown - WV), apresentaram estudos para a fabricação de tijolos de cinza volante, com excelentes resultados em termos de resistência mecânica, peso reduzido, isolante térmico, e boa resistência ao intemperismo. Um típico tijolo deste tipo tem a seguinte composição: 72% de cinza volante, 25% de cinza de fundo, e 3% de silicato de sódio.

Técnicos também da CIENTEC, estudaram a possibilidade da produção de produtos cerâmicos tais como blocos, tijolos, telhas e agregados leves a partir de rejeitos argilosos resultantes do processo de mineração de carvão a céu aberto na mina do Recreio, em Butiá – RS, sem e com adição de 20 a 30% de cinza pesada do carvão queimado na Klabin-Riocel em Guaíba – RS. Os resultados obtidos foram animadores, podendo ser repassados de imediato ao setor industrial, com vantagens tais como: baixo custo da matéria prima, produto com excelentes propriedades tecnológicas, preservação de recursos naturais e redução da agressão ao meio ambiente (Mymrin et al. 2001).

## 2.5 Fabricação de tijolos refratários

Um material ou produto refratário é todo aquele material natural ou manufaturado que pode suportar temperaturas elevadas em condições específicas de emprego, sem se deformar ou fundir. Estes materiais são constituídos de argilas refratárias, cuja refratariedade é medida através do cone pirométrico (CO), ensaio ABNT MB-69. O cone pirométrico é um número que indica em ordem crescente, a temperatura em que a argila inicia o amolecimento. Quanto mais elevado for o cone pirométrico, mais refratária será a argila. Por exemplo: CO15 (1.430°C), CO19 (1.541°C), CO26 (1.621°C), e CO33 (1.743°C).

No Brasil considera-se como argila refratária, a argila que apresenta uma refratariedade ou cone pirométrico, igual ou superior a CO15. A refratariedade de uma argila está diretamente ligada à quantidade de alumina que ela contém (Santos, 1975).

Os argilitos contidos nos rejeitos de carvão de Santa Catarina, também podem ser utilizados como argilas refratárias “expansivas” após queima. Estas argilas são utilizadas em produtos que não podem apresentar redução de volume. Quando aquecidos devem inclusive expandir. A dilatação permanente pode ser devida ao polimorfismo de espécies minerais presentes (notadamente sílica), a reações químicas no estado sólido e, principalmente a evolução dos gases oriundos de decomposição ou oxidação de minerais acessórios presentes.

## 2.6 Corretivos de solos e recuperação ambiental

Cinza volante assim como outras cinzas pulverizadas de carvão podem ser misturadas com resíduos orgânicos, tais como esterco de gado e galinha, ou outros biosólidos, para formarem uma espécie de adubo. Este tipo de mistura já é utilizado, e continua sendo estudado nos Estados Unidos, para fazer a recuperação de áreas de mineração a céu aberto (*Texas A&M University*, 2000).

Esterco de gado esta sendo misturado na proporção de 50/50, com cinza de leite fluidizado, que contém calcário, para produção de um adubo corretivo barato, no *Plant Sciences Institute*, em *Beitsville-Md, USA*. O destino do fósforo, aplicado às plantas por meio deste adubo, esta sendo estudado.

Cinzas pulverizadas ou cinza volante, também podem ser misturadas com calcário, para formar uma espécie de corretivo de solo. Esta mistura pode beneficiar o solo em termos de acidez principalmente, e ainda suprir nutrientes como magnésio, fósforo, potássio e enxofre (*Combustion Products Management*, 2000).

Um produto deste tipo é comercializado nos Estados Unidos com o nome de “*Nutra-Ash*”. No início tiveram problemas, pois a mistura em contato com a água da

chuva, por exemplo, endurecia com o mesmo princípio do cimento. O problema foi resolvido de forma simples. A mistura foi feita e adicionada água, sendo em seguida espalhada e deixada endurecer por 40 a 60 dias. Após este tempo, o material foi recolhido britado e moído, sendo então comercializado junto aos fazendeiros, para ser espalhado e incorporado ao solo (*American Electric Power*, 2000).

No Japão é fabricado comercialmente um fertilizante a base de cinza volante (50%), potassa (KOH) (20%), e hidróxido de magnésio ( $Mg[OH]_2$ ) (30%). O processo consiste de moagem, mistura, granulação (1 a 3mm) e secagem a quente (Clarke, 1992).

### 2.7 Fabricação de agregado leve com rejeitos de produção e queima de carvão

Um tipo de agregado leve pode ser produzido a partir de cinza volante, ou um rejeito de carvão moído que possa substituí-la, usando aproximadamente o mesmo processo acima para a fabricação do corretivo agrícola (mistura de cinza volante com calcário).

Nos Estados Unidos existe um agregado leve patenteado e vendido comercialmente com o nome de “*Trans-Agg*”. Este agregado é produzido a partir da mistura de cinza volante, com cal, soda (aditivo) e água. A mistura passa ao longo do tempo por reações aglomerantes resultando um produto estável com aumento da resistência mecânica (*TRANS ASH*, 2000).

O processo de sinterização pode ser utilizado na fabricação de agregado leve. Neste caso o agregado leve é produzido a partir da sinterização, em grelha móvel, de pelotas de argilas ou cinza volante. Esta cinza normalmente apresenta um certo teor de carbono, que não foi queimado totalmente na fornalha, quando da queima do carvão. Um certo teor de carbono é necessário, para manter o processo de sinterização. Caso este teor de carbono seja muito baixo, acrescenta-se um pouco de finos de carvão, e então se faz a pelotização.

Uma vez feita a ignição mantida pela sucção de ar, uma camada de pelotas queima continuamente em forno de grelha móvel. Neste processo há fusão superficial das pelotas que se fundem e se ligam umas às outras, formando um bloco poroso que será posteriormente britado na granulometria adequada (*The Fly Ash Resource Center*, 2000).

Através desta técnica, usando argilas, é comercializado nos Estados Unidos o produto denominado “*Lyttag*”. Produto similar é fabricado na Inglaterra e comercializado com o nome de “*Aglite*”, no Japão com o nome de *FA-lite*.

### 2.8 Enchimentos industriais e isolantes

Vários tipos de argila (ex. caulim), talco, carbonato de cálcio e outros minerais são usados como materiais inertes com complemento ou enchimento (*filler*) de produtos industrializados. Cinzas de carvão como a cinza volante (*fly ash*), podem ser usadas como substituto para estes materiais, com vantagens técnicas e econômicas.

A cinza volante é superior em dureza e densidade, com relação a outros materiais minerados, para ser usada como *filler* na fabricação de tintas e outros revestimentos de proteção (superfície anti derrapante), além de apresentar menor custo.

A indústria da borracha descobriu no início do século, o poder reforçador do “negro de fumo”. Chama-se reforçador, o material que incorporado à borracha, lhe

confere propriedades mecânicas superiores às da borracha vulcanizada sem carga. Acredita-se que o poder reforçador do negro de fumo seja devido a ligações entre o carbono e a borracha (Santos, 1975).

Mais recentemente foi descoberto o poder reforçador de caulins e argilas, como carga inorgânica na produção de borracha, além de baratos são brancos, permitindo assim, o emprego de pigmentos inertes coloridos, o que não é possível com o negro de fumo.

Dentro do aspecto da utilização industrial das cinzas, técnicos da CIENTEC (Porto Alegre, RS), estudaram a modificação da microestrutura cristalina das cinzas de geração termoelétrica (volante e de fundo), com o objetivo de fazerem a síntese de zeolitas. Processo semelhante foi estudado pela Universidade de *Tokushima*, no Japão (Clarke, 1992).

Zeolitas são silicatos hidratados de alumínio, cuja estrutura cristalina tridimensional apresenta propriedades de alto interesse industrial, tais como: alto nível de hidratação, baixa densidade e grande volume de vazios quando desidratada, alta estabilidade quando desidratada, troca de cátions, condutividade elétrica, absorção de gases ou vapores e propriedades catalíticas.

## 2.9 Base e sub-base de estradas e cimento asfáltico

Em vários países da Europa, o aumento e a constante necessidade de materiais para construção de rodovias pavimentadas, trouxe à tona a utilização de rejeitos de carvão na metade do século XX. Inicialmente utilizavam-se rejeitos queimados naturalmente por combustão espontânea, para fazer bases de estradas. Com a exaustão deste material, passou-se a estudar a possibilidade de utilizar o próprio rejeito, como sai dos lavadores de carvão. Na Inglaterra, estes rejeitos são aditivados com cal, asfalto ou cimento, para poderem ser estruturalmente e ecologicamente utilizados na construção de bases de estradas. O cimento Portland normal tem se mostrado um aditivo ideal. Mistura de 10% de cimento nos rejeitos tem mostrado significativo aumento na resistência à compressão, com custos bastante razoáveis, além da neutralização do rejeito com os hidróxidos gerados na hidratação do cimento (M.E.S., 2000).

No *Kingsley Park* em *Staffordshire*, um quilometro de base da estrada A-52, foi construído com uma mistura de 3% de CaO, 12% de cinza volante, 27% de areia e 58% de agregado reciclado (*GFA – gravel, fuel ash/lime*). A base foi executada em duas camadas de 150mm cada, sobre a qual foi colocado o asfalto. Após 28 dias, a resistência à compressão da base da estrada era de 50 kgf/cm<sup>2</sup> (*UNITED K.Q.A.A.*, 2001).

Uma mistura de 75% de areia, 22% de cinza moída (ou cinza volante) e 3% de cal, têm sido usadas para fazer base de pavimentação de rodovias urbanas. Duas camadas desta massa, com 100mm cada formam uma boa base para colocação de 25mm de asfalto como revestimento de desgaste. Usada por mais de oito anos nos Estados Unidos, tem se comportado satisfatoriamente, com um custo 30% mais barato que as bases convencionais (*IGS Resources*, 2000).

No Brasil, a Fundação de Ciência e Tecnologia – CIENTEC (Porto Alegre – RS) desenvolveu no início dos anos 80 o projeto CICASOL, que objetivava a mistura de cal e cinza volante na estabilização de solos para fins de pavimentação.

Do mesmo modo que o projeto ALCON, este projeto por ser financiado pela iniciativa privada, tem seus dados técnicos mantido sob sigilo.

### 3 UTILIZAÇÃO DE REJEITOS DA QUEIMA DE CARVÃO NO MUNDO

Atualmente, são produzidas cerca de 500 milhões de toneladas de cinza de carvão no mundo, com a seguinte distribuição:

- China – 120 milhões de t.
- América do Norte – 83 milhões de t.
- Índia – 85 milhões de t.
- Rússia – 50 milhões de t.
- Europa Ocidental – 47 milhões de t.
- Europa Oriental – 45 milhões de t.
- África do Sul – 30 milhões de t.
- Outros – 30 milhões de t.

Na Austrália são produzidas anualmente em torno de 8,0 milhões de toneladas de cinza volante sendo que apenas 10% é utilizado adequadamente, o resto termina estocada em depósitos.

Nos Estados Unidos em 1998, foram produzidas 74,9 milhões de toneladas de cinzas de carvão, dos diversos tipos (44,9 milhões de toneladas de cinza volante; 10,2 milhões de toneladas de cinza de fundo, 1,0 milhão de toneladas de escória de fornalhas e 18,7 milhões de lama de dessulfurização) sendo que, apenas 30% foi utilizado industrialmente (*The Fly ash resource center, 2000*).

Em *Hong Kong*, a cinza volante da central térmica de *Castle Peak* era um grande problema, tendo em vista a exigüidade de espaço para sua disposição. Com o desenvolvimento de técnicas de utilização, o que era um problema passou a ser uma oportunidade de negócio, pois esta sendo usada principalmente na construção civil (Lancaster, 2001).

A Índia que tem reservas comprovadas de carvão mineral, da ordem de 200 bilhões de toneladas, tem seu setor de geração térmica apoiado na queima de carvão bruto com alto teor de cinza (40%). Em 1999 foram consumidas, nas termoelétricas, em torno de 235 milhões de toneladas de carvão, gerando 85 milhões de toneladas de cinzas. Para o ano de 2002, a expectativa é de consumir 285 milhões de toneladas de carvão, com uma geração de cinzas da ordem de 115 milhões de toneladas. O índice de aproveitamento das cinzas na Índia, esta na faixa dos 5%, apenas.

Isto tem preocupado extremamente as autoridades indianas, que estão impondo limites para o teor de cinza no carvão (34% a partir de junho/2001), impondo quantidades mínimas de utilização das cinzas em certos produtos, dando um prazo de dez anos para a utilização de 100% das cinzas para as novas usinas (15 anos para as atuais), e incentivando fortemente com redução de impostos, os projetos que utilizem cinzas (Basu, 1999).

A China é o maior produtor mundial de carvão com uma produção anual superior a um bilhão de toneladas. Anualmente são geradas, somente nas usinas térmicas deste país, mais de 120 milhões de toneladas de cinza volante, fato que fez o governo tomar uma série de medidas, no sentido de promover sua utilização em maior escala.

## 4 APROVEITAMENTO DE REJEITOS INDUSTRIAIS DO CARVÃO NO BRASIL

Este capítulo apresenta o potencial de aproveitamento dos rejeitos do carvão produzidos no Brasil. Os rejeitos do carvão aqui considerados são classificados como segue:

### **Rejeitos de beneficiamento:**

Rejeito piritoso (R1);  
Rejeitos carbonosos (R2 e R3).

### **Rejeitos de queima:**

Cinza volante (*fly ash*);  
Cinza de fundo (cinza úmida);  
Escória de caldeira (*boiler slag*);  
Cinza de leito fluidizado (*furnace bottom ash - FBA*);  
Lama de dessulfurização (*flue gas desulfurization -FGD*).

### 4.1 O aproveitamento dos rejeitos de beneficiamento em SC

Uma análise do que pode ser feito e do que já foi feito, com os subprodutos do beneficiamento do carvão ROM das minas de Santa Catarina, é a seguir apresentada. O beneficiamento do carvão é feito para eliminar os folhelhos e argilitos que formam a maioria da cinza contida no carvão bruto. Conforme a densidade de corte, eles são classificados em: Rejeito Piritoso (R1) e Rejeito Carbonoso (R2 e R3). Em Santa Catarina são gerados anualmente, cerca de cinco milhões de toneladas destes rejeitos.

#### 4.1.1 Concentração do Rejeito Piritoso

O rejeito piritoso pode ser beneficiado para produção de concentrado piritoso, que é a fração mais pesada constituída basicamente por um sulfeto de ferro (pirita e/ou marcassita).

Para a separação da pirita ( $\text{FeS}_2$ ) dos outros materiais mais leves, os rejeitos são fragmentados para liberação, permitindo sua recuperação através de processo gravimétrico. Nesta operação também é obtida, uma pequena quantidade de carvão fino, que não foi devidamente liberado quando da britagem para beneficiamento do ROM. Esses finos podem ser utilizados, como carvão energético.

O concentrado piritoso quando submetido à combustão em fornos do tipo leito fluidizado proporciona, além de geração térmica, insumos básicos que podem ser aproveitados para produção de ácido sulfúrico, tendo como subproduto o óxido de ferro (Montenegro, 1983).

#### **Tecnologia já utilizada**

Diante da timidez da iniciativa privada em promover a industrialização dos rejeitos piritosos, não obstante as facilidades instituídas, o governo criou pelo decreto n.º 631, de 16 de junho de 1969, a Indústria Carbonífera Catarinense S/A (ICC) que, como empreendimento pioneiro, desenvolveu um know-how próprio, adaptando a tecnologia existente ao aproveitamento dessa matéria prima.

O empreendimento da ICC, no município de Imbituba em Santa Catarina, compreendia basicamente as seguintes unidades:



- Uma fábrica de ácido sulfúrico com capacidade para produzir 300.000 t/ano, consumindo exclusivamente matéria-prima nacional, o concentrado piritoso;
- Uma usina termoeletrica de 10,7MW que utiliza o próprio calor gerado na ustulação do concentrado piritoso;
- Uma unidade de ácido fosfórico de 110.000 t/ano, em termos de  $P_2O_5$ , que consome o ácido sulfúrico produzido.

Enquanto isso, os rejeitos piritosos de produção corrente, separados na operação de beneficiamento do carvão na boca das minas, continuam sendo dispostos inadequadamente, a despeito da legislação e fiscalização mais rigorosas aplicadas, principalmente nos últimos dez anos. A disposição dos rejeitos ao ar livre, sem condições convenientes de estocagem, sujeitos às intempéries, ocasionam com sua degradação e lixiviação, o agravamento da poluição na região carbonífera.

#### **4.1.2 Industrialização do Rejeito Carbonoso (R2 e R3)**

O rejeito carbonoso é considerado como sendo a fração intermediária, entre o concentrado piritoso e o carvão. É composto basicamente por siltitos, argilitos e folhelhos carbonosos. Seu teor de cinza está na faixa de 75 a 80%, com um poder calorífico em torno de 1000 kcal/kg.

Considerando que os rejeitos de carvão sofrem combustão espontânea, bastaria explorar esta propriedade industrialmente, para produzir a pozolana.

Os rejeitos carbonosos de beneficiamento de carvão da região de Butiá (RS) e Içara (SC), naturalmente calcinados, já foram utilizados pela indústria cimenteira para produção de cimento pozolânico.

Não há informação bibliográfica atual da utilização de rejeitos carbonosos no Brasil, que não seja o uso discreto, de pequena escala na indústria de tijolos refratários. Normalmente o que se observa é a utilização indiscriminada, tanto na construção de bases de estradas vicinais, como em aterros de banhados próximos às minas.

Em suma, o horizonte para os estudos do aproveitamento destes rejeitos é bastante grande e promissor, tendo em vista sua disponibilidade e potencial de utilização na indústria da construção civil.

#### **4.2 O aproveitamento dos rejeitos de queima**

Os rejeitos de queima são aqueles resíduos gerados quando da queima do carvão beneficiado ou bruto. Conforme o processo de queima, estes resíduos são classificados em: cinza volante, cinza de fundo, escória de caldeira, cinza de leito fluidizado e lama de dessulfurização.

No Brasil, são poucas as fornalhas em escala industrial com queima de carvão em leito fluidizado. A maioria delas encontradas nas cerâmicas de Santa Catarina. Nestas fornalhas não existe controle rígido das emissões. Não se utiliza calcário com o carvão e, nem são utilizados processos de tratamento de gases efluentes com leite de cal. Portanto, não temos geração de lama de dessulfurização, e as cinzas normalmente são coletadas via úmida, sendo depositadas em bacias de decantação, sem utilização. Algumas cerâmicas já estão pensando em alterar o processo de retirada das cinzas, para a via seca, pensando na sua comercialização.

A escória de caldeira é gerada com a queima de carvão em grelhas de leito fixo ou móvel, em vários segmentos da indústria. No Brasil a geração deste tipo de

cinza é muito pequena, com praticamente nenhuma utilização. Se considerarmos a escória de alto forno, esta é produzida em grande escala no Brasil, uma vez que somos um grande produtor de aço, devendo atingir em 2002, a casa dos 28 milhões de toneladas, com um consumo de aproximadamente 12 milhões de toneladas de carvão metalúrgico importado. Em 1996, foram geradas no Brasil 6,4 milhões de toneladas de escória de alto forno e, 3,2 milhões de toneladas de escória de aciaria. A escória de alto forno é constituída basicamente da cinza do coque siderúrgico, fundentes (calcário) e impurezas do minério de ferro. É em parte resfriada lentamente e, o resto retirado granulada. Contudo, nem toda escória granulada é consumida pela indústria cimenteira, permanecendo acumulada em aterros (John, 1997).

A cinza de fundo é gerada juntamente com a cinza volante nas caldeiras de queima de carvão pulverizado (PC), para produção de vapor na geração termelétrica. No entanto, a cinza de fundo representa apenas 25 a 30% de toda a cinza gerada nas caldeiras. No Brasil, são geradas anualmente cerca de 360 mil toneladas destas cinzas, que são descartadas através de minerodutos, para depósitos em grandes bacias de decantação. Sua utilização esta em fase de estudo, principalmente na indústria da construção civil, para produção de argamassa.

Como mais de 85% do carvão produzido no Brasil, é utilizado na geração termoelétrica, a cinza volante daí gerada representa a maior produção e utilização de subprodutos de queima de carvão no Brasil.

#### **4.2.1 Utilização de cinza volante**

As cinzas volantes rejeitos da queima de carvão mineral, têm sido utilizadas no Brasil como pozolanas desde 1964 e, mais intensivamente a partir de 1969, na fabricação de cimento pozolânico (CP-IV) e composto (CP II-Z) (Kihara et al, 1992).

Os ganhos com sua utilização já foram citados acima no item 4.5.1. Do ponto de vista da utilização de resíduos de queima de carvão, as cinzas volantes, são as que apresentam melhores características de qualidade como material pozolânico pela sua granulometria fina, alto conteúdo de vidro, baixo teor de carbono e maior frequência de partículas arredondadas (esferólitos).

As cinzas secas das termoelétricas Jorge Lacerda (SC), Charqueadas (RS), Presidente Médici (RS) e dos sistemas de geração de vapor da RIOCEL e COPESUL, são consideradas cinzas volantes típicas e são usualmente empregadas como material pozolânico. Mineralógicamente são compostas por uma fase vítrea, de natureza sílico-aluminosa constituindo a maioria dos grãos de cinza e, secundariamente, por mulita, quartzo, hematita e magnetita. Associado aos grãos de cinza é comum a ocorrência de carbono amorfo. Apresentam composições mineralógicas e feições morfológicas semelhantes, diferindo na proporção de seus constituintes e na frequência das diferentes feições morfológicas (Kihara op. cit.).

Em 1992 a estimativa de produção nacional de cinzas volantes estava próxima de um milhão de toneladas, sendo aproximadamente 65% comercializada como pozolana (Kihara op cit). Atualmente a produção esta na casa de 1,4 milhão de toneladas/ano, sendo praticamente toda comercializada como pozolana (John, 1997).

## **5 CONCLUSÕES**

A economia carbonífera deve ser estruturada de modo a integrar no seu contexto, as atividades relacionadas com o aproveitamento dos rejeitos que são atualmente descartados quando se processa o beneficiamento do carvão.

No Estado de Santa Catarina onde os rejeitos do beneficiamento do carvão representam praticamente 60% do carvão bruto, eles devem merecer um tratamento prioritário tendo em vista, entre outros, os seguintes aspectos:

- Parcela expressiva (cerca de 30%) da energia contida no carvão bruto é desperdiçada nos rejeitos;
- A obtenção do concentrado piritoso permite minimizar de forma expressiva a carga poluidora dos rejeitos e recuperar uma fração de carvão que é arrastada com estes;
- A indústria carboquímica do concentrado piritoso proporciona, tanto o aproveitamento de seu poder calorífico na geração térmica como, a produção de importantes insumos básicos como ácido sulfúrico e óxido de ferro;
- Estudo da industrialização e utilização do rejeito carbonoso, considerando as técnicas de aproveitamento aqui apresentadas, principalmente aquelas relacionadas à construção civil.

A industrialização do rejeito piritoso já foi fato concreto no estado de Santa Catarina, durante a existência da Indústria Carboquímica Catarinense – ICC. Infelizmente ela foi desativada, mas enquanto operou prestava um grande serviço como complementação do setor carbonífero deste Estado.

O aproveitamento dos rejeitos carbonosos pode ser feito *'in natura'*, ou através da industrialização de sua queima tendo em vista, (1) a quantidade gerada na produção corrente do CE4500, (2) a quantidade estocada em pilhas de rejeito atuais e antigas e finalmente, (3) seu potencial energético (900 a 1.200 kcal/kg). As alternativas para este aproveitamento são várias, no entanto as que nos parecem mais viáveis são:

- A fabricação de agregado leve pela queima conforme a técnica alemã da *Still Otto GmbH*, ou pela técnica dos ingleses do BRE;
- Produção de base para estradas com a mistura de rejeito, cal e/ou cimento;
- Moagem do rejeito para incorporação à massa de fabricação de cerâmica vermelha ou refratária;
- Queima do rejeito com calcário para produção de um aglomerante intermediário.

Com relação aos rejeitos de queima do carvão, a cinza volante já esta sendo praticamente toda utilizada pela indústria cimenteira. Restam estudar com mais detalhes, as técnicas de utilização da cinza de fundo gerada pelas termelétricas. Esta cinza tem um bom potencial de utilização, no entanto é quase toda descartada em bacias de decantação, como rejeito, o que caracteriza sua sub utilização.

Recomenda-se o estabelecimento de um programa de pesquisa e divulgação do aproveitamento de cinzas de carvão (rejeito de produção ou de queima), fundamentado na criação de um centro de documentação e divulgação, similar àqueles existentes no exterior, bem como apoio aos centros de pesquisas tecnológicas e universidades, estimulando estudos sobre seu aproveitamento.

## LISTA DE REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S. F. Combustíveis Fósseis. In: \_\_\_\_\_. **Recursos Minerais do Brasil**. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.
- AMERICAN ELETRIC POWER – Disponível em: <http://www.aep.com> - Acesso em: 06 mar. 2000.
- AUSTRALIAN Academy of Technological Sciences and Engineering – ATSE – Disponível em: <http://www.atse.org.au> – Acesso em: 16 jun. 2000.
- BASU, K. Mounting fly ash problems in growing coal based power stations – Few pragmatic approaches towards a solution. In: INTERNATIONAL ASH UTILIZATION SIMPOSIUM, Lexington, Kentucky. 1999, p. 115 – 121.
- BERGER, T. R. The Sintered Lightweighth Aggregate Industry. In: KENTUCKY COAL REFUSE AND UTILIZATION SEMINAR, 3., University of Kentucky, 1977.
- BOFF, M.; MEKISRAITIS, P.R.C.; ANDRADE, A.C.F.; CHIES, F. Cinza e cal: potencialidades na construção de tijolos. In: SEMINÁRIO DE ESTUDOS DA APLICAÇÃO DOS RESÍDUOS DA COMBUSTÃO MINERAL, 2., Florianópolis-SC, 1989.
- BOYNTON, R.S. **Chemistry and technology of lime and limestone**. New York, John Wiley & Sons, 1966.
- BRAZILIAN ENERGY BALANCE. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 1999. p. 151. il.
- CAMPOS, A. R. Mineração e Beneficiamento do carvão mineral. In: ECONOMIA E TECNOLOGIA DA ENERGIA. Rio de Janeiro: Marco Zero/FINEP, 1985.
- \_\_\_\_\_. **Dessulfuração de finos de carvão de Santa Catarina por concentradores centrífugos**. 2001. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.
- CAMPOS, A. R.; ALMEIDA, S.L.; SANTOS, A.T. **Estudo tecnológico dos carvões do Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1977.
- CARR, L. E.; BRODIE, H.L.; CHRISTIANA, G.A.; UDINSKEY, J.R. **Composting fly ash and bottom ash with poultry litter**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON USE AND MANAGEMENT OF COAL COMBUSTION BY-PRODUCTS (CCBs), 11., Orlando- Florida, USA, 1995. v-2, p. 77-1 a 77-16.
- CHIES, F.; MALLMANN, J. E.; ZWONOK, O. Características dos tijolos cinza/cal. In: ENTAC – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. AVANÇOS EM TECNOLOGIA E GESTÃO DA PRODUÇÃO DE EDIFICAÇÕES. São Paulo, nov. 1993.
- CLARKE, L. B. **Applications for coal-use residues**. London: International Energy Agency – IEA Coal Research, 1992.
- CRANSVELD, J.; NIËL E. Activated slag cement from coal fly ash. In: International Symposium – Ash a valuable resource, 2., Johannesburg, South Africa, 1994. v-1. p. 1-13.
- COMBUSTION PRODUCTS MANAGEMANT – Disponível em: [www.cpmash.com](http://www.cpmash.com) - Acesso em: 12 set. 2000.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL – DNPM, Sumário Mineral 2001. Disponível em: [www.dnpm.gov.br](http://www.dnpm.gov.br) – Acesso em: 28 set. 2001.

- EISELE, T. C.; KAWATRA, S. K.; BANERJEE, D. D. **Utilization of fly ashes as an inorganic pellet binder**. Aachen – Germany: XX IMPC, 1997. p. 121-134. EUROPEAN ASSOCIATION FOR USE OF THE BY-PRODUCTS OF COAL FIRED POWER STATIONS – Disponível em: [www.ecoba.com](http://www.ecoba.com) - Acesso em: 13 jun. 2000 e 05 ago. 2000.
- FEDERAL ENERGY TECHNOLOGY CENTER – US Department of Energy – Disponível em: [www.fetc.doe.gov](http://www.fetc.doe.gov) – Acesso em: 12 jun. 2000.
- FERNANDES, I. D.; FERRET, L.; KHAHL, C. A.; ENDRES, J. C. T.; MAEGAWA, A. Crystalline microstructure modification of brazilian coal ash with alkaline solution. In: INTERNATIONAL ASH UTILIZATION SIMPOSIUM, Lexington, Kentucky, 1999. p. 239 – 245.
- GONZALES, G. M. **Teoria e problemas de materiais de construção**. Trad. Celso Parciornick. São Paulo: Macgraw-Hill do Brasil, 1989.
- GUIMARÃES, J. E. P. **A cal: fundamentos e aplicações na engenharia civil**. São Paulo: Pini, 1997.
- HEYNEN, J.J.M.; BOLK, H.N.J.A.; SENDEN, G.J.; TUMMERS, P.J. Re-use of colliery spoils in construction materials using fluidized bed combustion. In: GOUMANS, J.J.J.M.; VAN DER SLOOT, H.A.; AALBERS, T.G. **Environmental Aspects of Construction with Waste Materials**. London: Elsevier, 1994. p. 655-664
- HINCKEL, R. Caracterização de cinzas de leito fluidizado. In: SEMINÁRIO DE ESTUDOS DA APLICAÇÃO DOS RESÍDUOS DA COMBUSTÃO DO CARVÃO MINERAL, 2., 1989. Florianópolis-SC.
- INFORMATIVO ANUAL DA INDÚSTRIA CARBONÍFERA. Brasília: DNPM/MME, 1999.
- \_\_\_\_\_. Brasília: DNPM/MME, 2000.
- ISG RESOURCES, Inc. Disponível em: [www.flyash.com](http://www.flyash.com). Acesso em: 05 jun. 2000.
- INSTITUTE OF GAS TECHNOLOGY. Disponível em: [www.igt.com](http://www.igt.com). Acesso em: 10 jun. 2000.
- JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos agro-industriais para uso na construção civil no Brasil: Ocaso da escória de alto forno**. In: Reciclagem na construção civil. alternativa econômica para proteção ambiental. São Paulo, 1997. PCC USP, p. 67-76
- KIHARA, Y.; SCANDIUZZI, L., **Uso de resíduos de combustão de carvão na indústria brasileira de cimento**. São Paulo, ABCP, 1992.
- KIHARA, Y.; SHUKUZAWA, K. **Contribuição ao estudo de pozolanas no Brasil**. São Paulo, ABCP, 1982.
- KREBS, A. S. J.; FABRICIO, J. A. C.; BRANCO, P. M. **Programa carvão energético em Santa Catarina**. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, Superintendência Regional de Porto Alegre – RS, 1982.
- KREBS, A. S. J.; DIAS, A. A.; VIERO, A. C. **Áreas mineradas para carvão no município de Criciúma-SC**. PROGESC - Programa de Informações Básicas para a Gestão territorial de Santa Catarina, série Recursos Minerais, v. 02, 2.ed. Porto Alegre: CRPM, 1994.

- KREBS, A. S. J.; **Contribuição ao conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos da bacia hidrográfica do Rio Ararangá-SC.** 2001. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Santa Catarina – no prelo. Florianópolis.
- KREUZ, A. L.; CHERIAF, M.; ROCHA, J.C. **Propriedades de concretos estruturais incorporando cinza pesada como parte da areia.** In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 4., São Paulo, 2001.
- KROKOSKY, E. M.; PEPE, W. **Cements produced from industrial waste materials.** In: International Ash Utilization Symposium, 4., St. Louis, MO, USA, 1976. march 24-25.
- LANCASTER, R. **Problem or opportunity.** World Coal n. 5, maio 2001. p. 21-23.
- MACCARINI, M. Estudos de aproveitamento de rejeitos poluentes do sul de Santa Catarina para a pavimentação. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 25., São Paulo, 1991.
- MASUDA, H. **Carvão e coque aplicados à metalurgia.** 2. ed. v. 01. São Paulo: ABM, 1983.
- McCLUNG, J. D.; GEER, M. R. **Properties of coal and coal impurities.** In: LEONARD, J. W. 4. ed. New York: The American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, 1979.
- MES-INTERNATIONAL MINESTONE EXECUTIVE SERVICES. Disponível em: [www.mesinter.co.uk](http://www.mesinter.co.uk) - Acesso em: 21 jun. 2000.
- MIELENZ, R.C., GREENE, K.T., SCHIELTZ, N.C.J. **Effects of calcination on natural pozzolans.** ASTM SP. Technical Publication, v. 43, 1950.
- \_\_\_\_\_. **Natural pozzolans for concretes.** Econ. Geol. v.46, p.311, 1951.
- MILIOLI, V. A. Produção e beneficiamento do carvão em Santa Catarina. In: SEMINÁRIO SOBRE TECNOLOGIA DO CARVÃO, Florianópolis, 1981.
- MILIOLI, V. A.; BRANDALISE, R. A. **Beneficiamento do carvão de Santa Catarina no lavador de Capivari S.A.** Porto Alegre: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios, 1981.
- MITSUBISHI MATERIALS Co.; CHIODA-DAMES MOORE Co. **Interim report for the feasibility study on recuperation of mined-out areas in the south region of Santa Catarina in the Federative Republic of Brazil.** Florianópolis-SC, 1997.
- MYMRIN, V.; SILVA, N. I. W. Aproveitamento de resíduo da cobertura de extração do carvão. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 4., São Paulo, 2001.
- MONTENEGRO, D. **Rejeitos piritosos – Contribuição para o Suprimento do Mercado Interno.** Carvão de Pedra, Ano XV, Jan/Fev-1983.
- NAHUYS J.; ALPERN B.; MARTINEZ L. **Matéria mineral em carvões com muitas cinzas e não laváveis; influência nas propriedades químicas.** Porto Alegre: CNPq/CIENTEC, 1983. 52p.
- NASCIMENTO, R.S.V.; ABREU, E. S. Utilização de cinzas de carvão da termelétrica Jorge Lacerda no desenvolvimento de compósitos poliméricos. In: SEMINÁRIO DE ESTUDOS DA APLICAÇÃO DOS RESÍDUOS DA COMBUSTÃO DO CARVÃO MINERAL, 2., Florianópolis, 1989.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL CANADA – Disponível em: [www.nrc.ca](http://www.nrc.ca). Acesso em: 28 maio 2000.
-

- NOVOA, R. V. **Beneficiamento de carvões do sul do Brasil**. In: Simpósio do Carvão Nacional, Curitiba, 1969.
- \_\_\_\_\_. **O lavador de Capivari e sua função no beneficiamento do carvão de Santa Catarina**. Carvão de Pedra, n. 17, p. 9-12, 1971.
- NUNES, A. V.; MULLER, E.; SANTOS, M. A. **Diagnóstico do carvão mineral catarinense**. Florianópolis, SECTME/SC, 1990.
- PIAZZA, J. L.; RUI, V. Comportamento das cinzas pesadas de carvão mineral como substituto da areia quartzosa em argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 2., Vitória, 1999.
- REYNOLDS, K.; KRUGER, R.; RETHMAN, N. The manufacture and evaluation of an artificial soil (SLASH) prepared from fly ash and sewage sludge. In: INTERNATIONAL ASH UTILIZATION SIMPOSIUM, Lexington, Kentucky, 1999. p. 378 – 385.
- RISSATO, A. O. **Materiais alternativos para a construção civil a partir de resíduos do carvão**. Carvão, Informação e Pesquisa, v. 5, n. 14, Out/Dez. 1982.
- RITCEY, G. M. **Tailings Management: problems and solutions in the mining industry**. New York, ELSEVIER, 1989.
- RUBIO, J. **Carvão Mineral: caracterização e beneficiamento**. Rio Grande do Sul: Nova Linhares Artes gráficas, 1988.
- SANTOS, P. S. **Tecnologias de argilas: aplicada às argilas brasileiras**. v. 02. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1975.
- \_\_\_\_\_. **Ciência e tecnologias de argilas**. São Paulo, Edgard Blücher, 1989.
- SHAO, J.; LI, H.; ZHU, S.; WANG, Z. **Fly ash utilization in China**. Aachen – Germany: XX IMPC, 1997. p. 109-119.
- SILVESTRINI, G. Corrida contra o tempo no setor carbonífero de SC. **Gazeta Mercantil**, p. 4, 30 de ago. 1999.
- SLONAKER, J. F. **Lightweight fly ash brick**. Coal Research Bureau, West Virginia University, Report n. 153, June 1978.
- SOARES, P. S. M. **Projeto conceitual para recuperação ambiental da bacia carbonífera sul catarinense**. Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, dez. 2000.
- SOUZA, G. F. S. **Perfil Analítico do Carvão**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia - Departamento Nacional da Produção Mineral, 1973. Boletim n. 6.
- TEMINI, M.; CAMPS, J. P.; LAQUERBE, M. **Fly ash in manufactured clay materials**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM – ASH A VALUABLE RESOURCE, 2., Johannesburg, South Africa, 1994. v-1, p. 633 – 646.
- TEXAS A&M University. **Agricultural research and extension center** – Disponível em: [www.tamu-commerce.edu](http://www.tamu-commerce.edu) - Acesso em: 25 jul. 2000.
- THE FLY ASH RESOURCE CENTER – Disponível em: [www.geocities.com](http://www.geocities.com) - Acesso em 13/jun/2000.
- THIESSEN, G. Composition and origin of mineral matter in coal. In: CHEMISTRY OF COAL UTILIZATION, New York, 1945.
- THOBER, C. W. A. Et al. Obtenção de aglomerante hidráulico em reator de leito fluidizado multiestágio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 3., Rio de Janeiro, 1984.

- TORREY Noyes Data Corporation. **COAL ash Utilization. Fly ash, bottom ash and slag.** USA: Noyes Data Corporation, 1978.
- TRANS-ASH. Disponível em: [www.transash.com](http://www.transash.com). Acesso em: 28 maio 2000.
- U.S. METRIC ASSOCIATION Inc. (USMA)–  
<http://lamar.colostate.edu/~hillger/comum.htm>. Acesso em: 28 maio 2000.
- UNITED KINGDOM QUALITY ASH ASSOCIATION – Disponível em:  
[www.ukqaa.org.uk](http://www.ukqaa.org.uk): Acesso em: 10 dez.2001
- VAN KREVELEN D. W. **COAL typology-chemistry-physics-constitution.** Amsterdam, Elsevier, 1981. v. 3, Chapter III, p. 35-56.
- WORLD COAL INSTITUTE – Disponível em: [www.wci.com](http://www.wci.com) – Acesso em: 23 maio 2002.
- WRAG – WESTERN REGION ASH GROUP – Disponível em: [www.wrash.org](http://www.wrash.org) - Acesso em: 06 jan.2000.
- YANCEY H. F.; GEER M. R. Properties of coal and impurities in relation to preparation. In: COAL PREPARATION, by LEONARD J. W., 4. ed. New York: The American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, 1979.
- YUAN R.; GAO Q.; MAO R.; PAN G.; ZHANG X.; ZHANG W. **Simultaneous production of cement and electrical power by fluidized bed combustion of pretreated gangue.** Advances in Cement Research, 5, n. 19, p. 127-129, 1993.



## BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PMI/001 - Características Geométricas da Escavação Mecânica em Mineração: Exemplo de Escavadora de Caçamba de Arraste - ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/002 - Prospecção Geoquímica Experimental na Ocorrência de Ouro Tapera Grande - PAULO BELJAVSKIS, HELMUT BORN
- BT/PMI/003 - Estudo de Processo de Dupla Flotação visando o Beneficiamento do Minério Carbonático de Fosfato de Jacupiranga - JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/004 - Desenvolvimento de um Equipamento Não-Convencional em Beneficiamento Mineral: A Célula Serrana de Flotação Pneumática - RICARDO NEVES DE OLIVEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/005 - Ajuste de Modelos Empíricos de Operação de Ciclones - HOMERO DELBONI JUNIOR, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/006 - Contribuição ao Estudo dos Explosivos Permissíveis - AMILTON DOS SANTOS ALMEIDA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/007 - Contribuição ao Dimensionamento de Pilares em Minas Subterrâneas de Manganês - LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA, ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/008 - Exploração Mineral: Conceitos e Papel do Estado - LUIZ AUGUSTO MILANI MARTINS, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/009 - Otimização do Projeto de Pátios de Homogeneização através do Método da Simulação Condicional - FLAVIO MOREIRA FERREIRA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/010 - Considerações Gerais sobre Desmonte de Rocha: Análise de Custo - Índice de Produtividade e Otimização da Malha de Perfuração - MARCO ANTONIO REZENDE SILVA, FERNANDO AMOS SIRIANI
- BT/PMI/011 - Aglomeração de Rejeitos de Fabricação de Brita para sua Reciclagem - ARTHUR PINTO CHAVES, BRADDELEY PAUL
- BT/PMI/012 - Método de Dimensionamento de Peneiras para a Classificação Granulométrica de Rochas ou Minérios - FERNANDO AMOS SIRIANI
- BT/PMI/013 - Processo de Beneficiamento para Obtenção de uma Carga Mineral Nobre a partir do Fosfogesso - WALTER VALERY JUNIOR, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/014 - Estudo da Carboxi-Metil-Celulose como Aglomerante para Pelotização - JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/015 - A Influência do Amido de Milho na Eficiência de Separação Apatita/Minerais de Ganga Via Processo Serrana - LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/016 - Beneficiamento de Criolita Natural - Estado da Arte - HENRIQUE KAHN, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/017 - Estudo da Variação do Índice Energético Específico -  $W_i$ , segundo a Granulometria do Ensaio, Obtida através de um Moinho de Bolas Padrão, em Circuito Fechado - MARIO SHIRO YAMAMOTO, FERNANDO AMOS SIRIANI
- BT/PMI/018 - Fluorita - FERNANDO FUJIMURA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/019 - O Aproveitamento de Recursos Minerais: Uma Proposta de Abordagem a Nível Nacional - CELSO PINTO FERRAZ, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/020 - Comparação de duas Metodologias - A de Bieniawski e a de Panek, para Dimensionamento de Tirantes em Galerias Subterrâneas de Seção Retangular em Camadas Estratificadas - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/021 - Caracterização de Maciços Rochosos através de Envolvimentos de Resistência por Tratamento Estatístico utilizando Dados de Laboratório do IPT Simulando Condições Geotécnicas do Maciço - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/022 - Avaliação de Impactos Ambientais na Mineração de Combustíveis Fósseis Sólidos - GILDA CARNEIRO FERREIRA, ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/023 - O Lado Nocivo do Elemento Quartzo no Desgaste Abrasivo de Mandíbula de Britadores - FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/024 - Conceitos Básicos de Iluminação de Minas Subterrâneas - SÉRGIO MEDICI DE ESTON, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/025 - Sistema Computadorizado para Ajuste de Balanço de Massas e Metalúrgico - ANTONIO CARLOS NUNES, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/026 - Caracterização Mineralógica/Tecnológica das Apatitas de alguns Depósitos Brasileiros de Fosfato - SARA LAIS RAHAL LENHARO, HELMUT BORN
- BT/PMI/027 - Classificação de Maciços quanto à Escarificabilidade - GUILHERME DE REZENDE TAMMERIK, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO, LINDOLFO SOARES

- BT/PMI/028 - Análise Comparativa de Métodos de Amostragem de Depósitos Auríferos - FÁBIO AUGUSTO DA SILVA SALVADOR, HELMUT BORN
- BT/PMI/029 - Avaliação da Qualidade de Corpos Moedores para o Minério Fosfático de Tapira - MG - GERALDO DA SILVA MAIA, JOSÉ RENATO B. DE LIMA
- BT/PMI/030 - Contribuição ao Estudo da Cominação Inicial à Partir da Malha de Perfuração - MARCO ANTONIO REZENDE SILVA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/031 - Análises Químicas na Engenharia Mineral - GIULIANA RATTI, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/032 - Usos Industriais da Atapulga de Guadalupe (PI) - SALVADOR LUIZ MATOS DE ALMEIDA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/033 - Minerais Associados às Apatitas: Análise de sua Influência na Produção de Ácido Fosfórico e Fertilizantes Fosfatados - ROBERTO MATTIOLI SILVA, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMI/034 - Beneficiamento dos Caulins do Rio Capim e do Jari - ADÃO BENVINDO DA LUZ, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/035 - Dimensionamento de Suportes em Vias Subterrâneas - LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/036 - Estudos da Modelagem Matemática da Moagem com Seixos para Talco de Diversas Procedências - MARIO VALENTE POSSA, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/037 - Mecânica de Rochas Aplicada ao Dimensionamento do Sistema de Atirantamento em Minas Subterrâneas - LEONCIO TEÓFILO CARNERO CARNERO
- BT/PMI/038 - Geometria de Minas a Céu Aberto: Fator Crítico de Sucesso da Indústria Mineral - FÁBIO JOSÉ PRATI, ANTÔNIO JOSÉ NAGLE
- BT/PMI/039 - Substituição do Aço por Polímero e Compósitos na Indústria Automobilística do Brasil: Determinantes e Conseqüências para o Mercado de Minério de Ferro - WILSON TRIGUEIRO DE SOUSA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO, ANTONIO JOSÉ NAGLE
- BT/PMI/040 - Aplicação de uma Metodologia que Simule em Moinho de Laboratório Operações Contínuas de Moagem com Seixos para Talco - REGINA COELI CASSERES CARRISSO, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/041 - A Indústria Extrativa de Rochas Ornamentais no Ceará - FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL, ANTONIO STELLIN JÚNIOR
- BT/PMI/042 - A Produção de Fosfato no Brasil: Uma Apreciação Histórica das Condicionantes Envolvidas - GILDO DE A. DE SÁ C. DE ALBUQUERQUE, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/043 - Flotação em Coluna - Estado de Arte - JULIO CESAR GUEDES CORREIA, LAURINDO SALIES LEAL FILHO
- BT/PMI/044 - Purificação de Talco do Paraná por Flotação e Alvejamento Químico - IVAN FALCÃO PONTES, LAURINDO SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/045 - Pequena Empresa - A Base para o Desenvolvimento da Mineração - GILSON EZEQUIEL FERREIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/046 - Máquinas de Flotação - ROGÉRIO CONTATO GUIMARÃES, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMI/047 - Aspectos Tecnológicos do Beneficiamento do Carvão de Candiota (RS) - ANTONIO RODRIGUES DE CAMPOS, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/048 - Efeito das Dimensões de Provetas no Dimensionamento de Espessadores - ELDON AZEVEDO MASINI, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/049 - Água no Processamento Mineral - RODICA MARIA TEODORESCU SCARLAT, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/050 - Drenagens Ácidas do Estéril Piiritoso da Mina de Urânio de Poços de Caldas: Interpretação e Implicações Ambientais - VICENTE PAULO DE SOUZA, LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/051 - "Caracterização Tecnológica de Minérios Auríferos. Um Estudo de Caso: O Minério Primário da Jazida de Salamangone, AP." - MARIA MANUELA MAIA LÉ TASSINARI, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/052 - Ensino de Engenharia de Minas - WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/053 - Redistribuição de Tensões e Desenvolvimento da Zona Clástica em Túneis Circulares - FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/054 - Projeto de Barragem para Reservação de Mistos de Minerais Pesados Rejeitados pelo Beneficiamento de Cassiterita na Mina do Pitinga - MARCELO PIMENTEL DE CARVALHO, EDER DE SILVIO, LINDOLFO DE SILVIO
- BT/PMI/055 - A Segurança e a Organização do Trabalho em uma Mineração Subterrânea de Carvão da Região de Criciúma - Santa Catarina - DORIVAL BARREIROS, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/056 - Diagnóstico de Lixiviação para Minérios de Ouro - VANESSA DE MACEDO TORRES, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/057 - O Estado da Arte em Tratamento de Minérios de Ouro - RONALDO DE MOREIRA HORTA, ARTHUR PINTO CHAVES

- BT/PMI/058 - Vias Subterrâneas em Rocha - Escavação por Explosivos - WILDOR THEODORO HENNIES, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/059 - Aumento da Seletividade na Separação da Fluorita/Calcita/Barita/Apatita por Flotação. Jazida de Mato Preto - PR - MONICA SPECK CASSOLA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMC/060 - Desenvolvimento de Processo para Extração de Gálio do Licor de Bayer por Resinas de Troca-Iônica de Poli (Acrlamidoxima) - WALDEMARAVRITSCHER, LAURINDODESALLES LEALFILHO
- BT/PMI/061 - Estudo de Aspectos Geomecânicos Aplicados ao Projeto de Minas Subterrâneas - EDUARDO CÉSAR SANSONE, LINEU A. AYRES DA SILVA
- BT/PMI/062 - Avaliação da Recuperação de Áreas Degradadas por Mineração na Região Metropolitana de São Paulo - OMAR YAZBEK BITAR, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/063 - Avaliação Técnica dos Processos de Cianetação/Adsorção da Mina de Fazenda Brasileiro - ÁUREA MARIA DIAS, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/064 - A Nova Configuração da Indústria de Fertilizantes Fosfatados no Brasil - YARA KULAIF, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/065 - Estudos de Flotação em Coluna com Finos de Fosfato da Ultrafertil em Escala Piloto - JOSÉ PEDRO DO NASCIMENTO, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/066 - Flotação da Apatita da Jazida de Tapira - MG - LUIZ A. F. BARROS, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO - LUIZ A. F. BARROS, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/067 - Minerais Industriais: Conceituação, Importância e Inserção na Economia - FRANCISCO REGO CHAVES FERNANDES, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/068 - Atividades Micro-Sísmicas e a Ruptura de Rochas - FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/069 - Metodologia para Caracterização Tecnológica de Matérias Primas Mineraias - LÍLIA MASCARENHAS SANTAGOSTINO, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/070 - Aplicação de Modelos Numéricos ao Projeto de Escavação por Explosivos de Túneis e Galerias - LUIZ CARLOS RUSILO, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/071 - O Estado da Arte da Cianetação de Minérios Auríferos - ROBERTO GOULART MADEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/072 - Revisão da Indústria Mineral de Titânio - ANTÔNIO HELENO DE OLIVEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/073 - Sistematização de Casos de Instabilidades em Encostas Rochosas no Município de Santos, Através de Nova Metodologia de Avaliação de Estabilidade - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/074 - A Minerio-Metalurgia e suas Ligações com a Geologia e suas Engenharias de Minas, Metalúrgica e Química - RICARDO ALVARES DE CAMPOS CORDEIRO, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/075 - A Redução da Umidade de Minérios de Ferro com o Emprego de Microondas - FERNANDO LEOPOLDO VON KRÜGER, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMI/076 - Estimção de Parâmetros do Modelo Cinético de Moagem - CLÁUDIO FERNANDES, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMC/077 - A Bauxita e a Indústria do Alumínio - JOSÉ CRUZ DO CARMO FLÔRES, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMC/078 - Técnicas de Tratamento de Minérios para Reciclagem de Vidro - CLEUSA CRISTINA BUENO MARTHA DE SOUZA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/079 - Comparação entre Cylpebs e Bolas na Moagem Secundária da Samarco Mineração - JOAQUIM DONIZETTI DONDA, ANTONIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMI/080 - Calcários Dolomíticos da Região de Ouro Preto para usos na Metalurgia e como Rochas Ornamentais - MARCÍLIO DIAS DE CARVALHO, PAULO ROBERTO GOMES BRANDÃO
- BT/PMI/081 - Estudo de Reoxidação e Redução de Ferro Contido em Caulins - ADÃO BENVINDO DA LUZ, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/082 - Recuperação do Gálio Existente no Licor de Bayer de Poços de Caldas por Flotação Iônica: Estudo dos Coletores - ANA MARGARIDA MALHEIRO SANSÃO, LAURINDO DE SALLES LEAL
- BT/PMI/083 - Contribuição ao Conhecimento de Argilas de Cuba - GUILLERMO RUPERTO MARTÍN CORTÉS, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/084 - Determinação da Rugosidade da Superfície de Descontinuidades Rochosas - JOSÉ MARGARIDA DA SILVA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/085 - Serragens de Granitos para Fins Ornamentais - ANTONIO STELLIN JR
- BT/PMI/086 - Evolução Magmática e Modelo Metalogenético dos Granitos Mineralizados da Região de Pitinga, Amazonas, Brasil - SARA LAIS RAHAL LENHARO, HELMUT BORN

- BT/PMI/087 – Considerações sobre o Dimensionamento de Equipamentos de Carga e Transporte em Mineração a Céu Aberto – IESO DO COUTO COUTINHO, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO, GIORGIO FRANCESCO CESARE DE TOMI
- BT/PMI/088 – Tratamento do Minério de Transição de Cobre e Ouro de Igarapé Bahia, Carajás, PA – DACILDO RODRIGUES DE SOUZA, PAULO ROBERTO GOMES BRANDÃO
- BT/PMI/089 – Variáveis que Interferem nos Problemas Ambientais Gerados Durante os Desmontes de Rochas – VALDIR COSTA E SILVA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/090 – Caracterização Mineralógica do Minério de Cobre e Ouro Secundário de Igarapé Bahia – LUIS RODRIGUES ARMÔA GARCIA, PAULO ROBERTO GOMES BRANDÃO
- BT/PMI/091 – O Topázio na Região de Ouro Preto: Minas do Vermelhão e Capão do Lana – JAIR MAZON JÚNIOR, HELMUT BORN
- BT/PMI/092 – A Mineralização Aurífera de Fazenda Brasileiro – BA Aspectos Geológicos e Planejamento de Lavra – MARCO ANTONIO DE MORAES SILVA, HELMUT BORN
- BT/PMI/093 – Estudo dos Mecanismos de Adsorção em Meio Ácido dos Metais Chumbo e Zinco em uma Turfa de Jaconé – RJ – MARIA DIONÍSIA COSTA DOS SANTOS, LAURINDO DE SALLES LEAL
- BT/PMI/094 – Cartografia de Riscos Geológicos Associados a Escorregamentos no Município de Embu – RMSF – CÉLIA MARIA GARIBLADI, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/095 – Revisão da Teoria para Projeto de Taludes Heterogêneos em Minas a Céu Aberto – FLÁVIO MOREIRA FERREIRA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/096 – Estratégias para Remediação de um Sítio Contaminada por Metais Pesados: Estudo de Caso – JOSÉ ÂNGELO SEBASTIÃO ARAUJO DOS ANJOS, LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/097 – Estudo dos Elementos Abrasivos de Fios Diamantados para a Lavra de Granitos do Ceará – FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL, ANTONIO STELLIN JÚNIOR
- BT/PMI/098 – Caracterização Mineralógica do Depósito de Terras no Complexo Alcalino – Carbonatítico de Barra do Itapirapuã (SP/PR) – Área de Detalhe I – Maria de Lourdes Lorenzi, Henrique Kahn
- BT/PMI/099 – Considerações sobre a Seleção de Equipamentos para o Transporte de Minérios – ALEXANDRE DE SANT'ANNA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/100 – Desgaste Abrasivo em Britadores de Mandíbulas – NILSON MAR BARTALINI, FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/101 – Viabilidade do Emprego de Finos de Basalto em Concreto Compactado a Rolo – KLEBER DA SILVA MENDES, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/102 – Sistema Especialista para o Processamento de Minérios de Ouro – VANESSA DE MACEDO TORRES, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/103 – Desenvolvimento de Eletrodos de Pasta de Carbono Modificados com a Resina Poliamidoxima (ES-346) para a Determinação Potenciométrica de Gálio – MARCO ROGÉRIO BARRIOS, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/104 – Desenvolvimento de Processo para o Aproveitamento do Feldspato Contido em Finos de Pedreira de Nefelina Sienito – PAULO FERNANDO ALMEIDA BRAGA, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/105 – Os Recursos Minerais e a Economia Internacional: Uma Reavaliação das Teorias – FRANCISCO REGO CHEVES FERNANDES, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/106 – Importância dos Aspectos Geológico-Geotécnicos em Obras Implantadas na Serra do Mar – Uma Metodologia de Manutenção Preventiva – ORIOVALDO CUNHA MARTINEZ, FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/107 – Lixiviação e Adsorção em Fazenda Brasileiro – CVRD: Uma Questão de Produtividade – ÁUREA MARIA DIAS GOMES, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/108 – Análise Quantitativas por Difração de Raios-X em Engenharia Mineral – Aplicação dos Métodos de Rietveld e do Padrão Interno – GABRIELA CAMPOS FRONZAGLIA, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/109 – Avaliação das Principais Causas de Acidentes em Barragens de Contenção de Rejeitos Devido a Fatores Geológicos e Geotécnicos – FERNANDO IVAN VÁSQUEZ ARNEZ, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/110 – Problemas Relacionados a Tensões Naturais Durante a Lavra de Rochas Ornamentais – HUGO ANTONIO MERCONCHINI VEGA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/111 – Sistemas de Classificação na Análise da Estabilidade de Taludes em Maciços Brandos – ANDREA CRISTINA Y. DE MATTOS, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/112 – Metodologia para Amostragem de Material Particulado em Suspensão (MPS) – IVO TORRES DE ALMEIDA, SERGIO MÉDICI DE ESTON
- BT/PMI/113 – Viabilização da Recuperação de Ouro de Minério Primário por Lixiviação em Pilha Mediante o uso de Britadores não Convencionais: Um Estudo de Caso: O Minério Primário da Mina de Almas-Paiol, TO – SALOMÃO SOLINO EVELIN, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/114 – Aplicação de Aditivos Químicos à Filtragem de Polpas de Minerais – LUIZ GUSTAVO ESTEVES PEREIRA, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/115 – Proposta de Gerenciamento Ambiental de uma Área Degradada nos Municípios de Mauá e Ribeirão Pires – Região Metropolitana de São Paulo – ÁLVARO GUTIERREZ LOPEZ, LUIZ ENRIQUE SÁNCHEZ

- BT/PMI/116 – Experiência de Gerenciamento da Reforma e Adequação de um Moinho de Bolas de 4000 HP para nova Aplicação – AROLDO DUTRA GARCIA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/117 – Efeitos da Viscosidade no Processo de Deslamagem com Microciclones em Polpa Não-Newtoniana de Rocha Fosfática – MARIO VALENTE POSSA, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/118 – Caracterização Tecnológica de Depósitos de Cromita da Província de Camagüey, República de Cuba – JULIÁN ANDRÉS MÉNDEZ GARCÉS, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/119 – Garimpo de Ouro no Brasil: Desafios da Legalização – MARIA LAURA TAVEIRA DA MOTA GERALDES DE CARVALHO BARRETO, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/120 – Contribuição ao Projeto de Reatores de Ácido Fosfórico para Processamento de Concentrados Apatíticos Brasileiros – ROBERTO MATTIOLI SILVA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/121 – Lixiviação em Pilhas de Minérios Oxidados de Cobre – GEYSA SANTOS DE PONTES PEREIRA, ELDON AZEVEDO MASINI
- BT/PMI/122 – Produção de Agregado como Alternativa para Produtores de Corretivo de Solo da Grande Curitiba – PLINIO CRISTIANO CAMBOIM DE OLIVEIRA, ANTÔNIO JOSÉ NAGLE
- BT/PMI/123 – A Competitividade da Mineração Nacional com Ênfase no Minério de Ferro – GILSON EZEQUIEL FERREIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/124 – Aplicação de Turfa na Recuperação de Solos de Degradados pela Mineração de Areia – JOSÉ GUILHERME FRANCHI, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/125 – Aproveitamento de Materiais Fosfáticos Marginais para a Produção de Fertilizantes Organo-Fosfatados – CARLOS ALBERTO IKEDA OBA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/126 – Abordagem Participativa na Gestão de Recursos Minerais – CARLOS C. PEITER, ROBERTO C. VILLAS BÔAS
- BT/PMI/127 – A Importância dos Condicionantes Geológicos-Geotécnicos na Recuperação de Áreas Degradadas por Lavra de Minas a Céu Aberto – RICARDO DEGUTI DE BARROS SILVA, FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/128 – Determinação de Indicadores de Impactos Ambientais Cumulativos Decorrentes da Mineração de Areia no Vale do Paraíba Através de Geoprocessamento – EDER LUIZ SANTO, LUIS HENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/129 – Tecnologia de Corte de Rocha Ornamental com Fio Helicoidal – FERNANDO FUJIMURA, ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/130 – Diagnóstico da Degradação do Meio Físico e Proposição de Medidas de Recuperação em Áreas de Mineração Abandonadas na Bacia do Guarapiranga, Região Metropolitana de São Paulo – MARIA MARTA TEIXEIRA VASCONCELOS, LUIS ENRIQUE SANCHEZ
- BT/PMI/131 – A Integração Competitiva do Setor Mineral Brasileiro no Cenário Internacional Estudo de Caso: O Setor de Aços Especiais Inoxidáveis – MANOEL RODRIGUES NEVES, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/132 – Contribuição à Implantação de um Novo Pólo de Fertilizantes no Nordeste do Brasil – GILDO DE ARAÚJO SÁ C. DE ALBUQUERQUE, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/133 – Metodologia Construtiva do Poço de Produção da Mina Fazenda Brasileiro – LEONCIO TEÓFILO CARNERO CARNERO, FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/134 – Aproveitamento de Finos Gerados nas Ferragens de Mármore e Granitos – IVAN FALCÃO PONTES, ANTÔNIO STELLIN JÚNIOR
- BT/PMI/135 – Aspectos Hidrodinâmicos na Flotação de Partículas Grossas – WENDEL JOHNSON RODRIGUES, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/136 – Aproveitamento de Rejeitos de Pedreiras de Santo Antônio de Pádua – RJ para Produção de Brita e Areia – SALVADOR LUIZ DE MATOS DE ALMEIDA, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/137 – Análise Crítica do Desenvolvimento de Processos de Cianetação em Tanques Agitados – RINALDO PEDRO NARDI, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/138 – A Utilização de Finos de Pedreira em Solo-Cimento Ensacado – EDILSON PISSATO, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/139 – Dessulfuração de Finos de Carvão de Santa Catarina por Concentradores Centrífugos – ANTÔNIO RODRIGUES DE CAMPOS, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/140 – Estereoquímica de Polissacarídeos e sua Influência na Seletividade da Separação Apatita/Calcita por Flotação Aniônica Direta – JULIO CESAR GUEDES CORREIA, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/141 – Avaliação do Desempenho Ambiental – Proposta Metodológica e Diretrizes para Aplicação em Empreendimentos Cíveis e de Mineração – FRANCISCO NOGUEIRA DE JORGE, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/142 – Formação de Barreira Geoquímica para o Abatimento de Drenagens Ácidas de Estéril Piritoso – VICENTE PAULO DE SOUZA, LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/143 – Técnicas de Preparação de Areia para uso na Construção Civil – WILLIAM WHITAKER, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/144 – Inovação Tecnológica e Setores da Indústria: O Contexto da Indústria Extrativa e de Transformação Mineral – MARIA HELENA MACHADO ROCHA LIMA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

- BT/PMI/145 – Determinação e Análise Estatística dos Índices Físicos de Pedras Ornamentais Brasileiras – ANTONIO STELLIN JUNIOR, EDUARDO CESAR SANSONE, MARIA RENATA MACHADO STELLIN
- BT/PMI/146 – Avaliação de Impacto Ambiental de Projetos de Mineração n Estado de São Paulo: A Etapa de Acompanhamento – ELVIRA GABRIELA C. S. DIAS, LUIS E. SÁNCHEZ
- BT/PMI/147 – Contribuição ao Estudo do Corte de Rochas por Jato D'Água Abrasivo – CARLOS TADEU LAUAND, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/148 – Competitividade na Exploração Mineral – Um Modelo de Avaliação – JOSÉ GUEDES DE ANDRADE, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/149 – Caracterização Tecnológica do Depósito de Terras Raras de Catalão I, GO. Áreas: Córrego do Garimpo e Lagoa Seca – MARIA MANUELA MAIA LÉ TASSINARI, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/150 – Contribuição ao Método de Determinação do Índice de Abrasividade de Bond (A. i.) à Luz de Outros Materiais Metálicos – JOSÉ BRUNO NETO, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/151 – Fabricação de Termofosfato Utilizando Fosfogesso – REYNALDO ARBUE PINI, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/152 – Desenvolvimento de Tecnologia Eletrohidráulica Aplicada a Desmonte de Rochas em Áreas Urbanas – CARLOS MAGNO MUNIZ E SILVA, ANTONIO STELLIN JÚNIOR
- BT/PMI/153 – Novo Método de Caracterização Tecnológica para Cominuição de Minérios – ANA CAROLINA CHIEREGATI, HOMERO DELBONI JUNIOR
- BT/PMI/154 – Desenvolvimento de Processo do Projeto Rocha Sã em Pitíngua, AM – EDER DE SILVIO, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/155 - Aplicação dos Finos Gerados pela Produção de Pedras Britadas Graníticas no Concreto Pré-Misturado em Substituição às Areias Naturais – LIGIA NEVES, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/156 - Técnica de Simulação Numérica de Escavação Subterrânea por Computador - MÁRCIO DELCHIARO NIEBLE, FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/157 - Jato de Água Abrasivo para Corte e Gravação de Materiais Friáveis – WILDOR THEODORO HENNIES, CARLOS TADEU LAUAND, GUILLERMO RUPERTO MARTÍN CORTÉS
- BT/PMI/158 – Desativação de Empreendimentos Mineiros: Estratégias para Diminuir o Passivo Ambiental – JOSÉ BAPTISTA DE OLIVEIRA JÚNIOR, LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/159 – Previsão de Desempenho do Circuito de Moagem SAG da MSF a Partir do Índice de Quebra – FERNANDO KARAM DELBIM, HOMERO DELBONI JUNIOR
- BT/PMI/160 – A Poluição das Águas em Mineração de Calcário – MARCIA ADRIANI JORGE SIQUEIRA, SERGIO MÉDICI DE ESTON
- BT/PMI/161 – Aplicação de Métodos Computacionais no Planejamento para Extração de Rocha Ornamental em Maciços Rochosos – MARCELO FILIPOV, FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/162 – Proposições para Investigação de Parâmetros Controladores da Contaminação do Subsolo e das Águas Subterrâneas – MARILDA TRESSOLDI, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/163 – Fundamentos Teóricos para a Análise dos Mercados de Matérias-Primas Minerais – YARA KULAIF, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/164 – Análise Comparativa do Desempenho de Ciclones com base em Simulações Prévias e Ensaios em Escala Industrial – FLÁVIO AUGUSTO PESCE STOROLLI, HOMERO DELBONI JR.
- BT/PMI/165 – Flotação de Gálio a Partir do Licor de Bayer – LUIZ PAULO BARBOSA RIBEIRO, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/166 – Avaliação de Técnicas de Instrumentação para o Monitoramento de Deformações nas Escavações Subterrâneas – MOUSTAFA HAMZE GUILART, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/167 – Aplicações do Mapa de ISO-Velocidades – WILSON SIGUEMASA IRAMINA, SÉRGIO MÉDICI DE ESTON
- BT/PMI/168 – Dureza Knoop em Rochas para Revestimento: Correlação com Desgaste Abrasivo – EDUARDO BRANDAU QUITETE, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/169 – Aplicação de Impelidores de Alta Eficiência na Indústria Mineral – SÉRGIO PETER HAUSER, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/170 – Recuperação de Partículas Minerais Finas e Ultrafinas de Cassiterita - PRISCILA CORREIA DE FIGUEIREDO, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/171 – Concentração de Minerais com Jigue Centrifugo Kelsey – JAIME HENRIQUE BARBOSA DA COSTA, HOMERO DELBONI JÚNIOR
- BT/PMI/172 – Caracterização Tecnológica do Carvão das Camadas Barro Branco e Bonito para Fins Energéticos na Região de Criciúma – SC – ROSIMERI VENÂNCIO REDIVO, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/173 – Desenvolvimento de Processo para Produção de Gálio Metálico a Partir do Licor de Bayer da Companhia Brasileira de Alumínio – CBA – WALDEMAR AVRITSCHER, ELDON AZEVEDO MASINI
- BT/PMI/174 – A Influência de Aditivos Químicos na Moagem de Minério de Nióbio – MARCUS VINICIUS PELAIS BENOTI, HOMERO DELBONI JUNIOR



