

# CARACTERIZAÇÃO E REAPROVEITAMENTO ECONÔMICO DE REJEITOS DE CARVÃO DISPOSTOS EM ÁREA ABANDONADA PELA NOVA PRÓSPERA MINERAÇÃO EM CRICIÚMA, SC

Edson J. Maciel<sup>1,2</sup> & Ivo André H. Schneider<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina. EDUTECH - Escola Educacional Técnica SATC, Rua Pascoal Meller, 73. Bairro Universitário. CEP: 88805-380. Criciúma - SC  
Fone: 55 48 3431.7535 / 55 48 3431.7500. E-mail: macielsatc@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais  
LEAMET - Laboratório de Estudos Ambientais para a Metalurgia  
Centro de Tecnologia, Av. Bento Gonçalves, 9500. Bairro Agronomia. CEP: 91501-970.  
Porto Alegre - RS Tel. (0xx) 51 3308 7104, Fax. (0xx) 51 3308 7116.  
E-mail: ivo.andre@ufrgs.br

## RESUMO

Um dos principais impactos ambientais relacionados à atividade de mineração em Santa Catarina decorre da disposição de resíduos sólidos produzidos durante as etapas de lavra e beneficiamento do carvão. Como consequência, grandes áreas foram degradadas e tiveram seus recursos naturais comprometidos. A área em estudo, com uma extensão de 35,5 hectares, localizada no Bairro Sangão - Criciúma (SC) apresenta-se degradada por depósitos de rejeitos de carvão. A área encontra-se abandonada, sem plano de fechamento da mina, desde julho de 1996. Assim, o objetivo do presente trabalho foi caracterizar os rejeitos depositados nessa área degradada e verificar a possibilidade de reaproveitamento econômico do material depositado. A metodologia do trabalho consistiu na quantificação e caracterização dos rejeitos de carvão dispostos no local. Coletaram-se amostras de rejeitos granulados e finos. Caracterizou-se o material em relação à granulometria e faixas densimétricas, os quais foram analisados em relação ao teor de cinzas e enxofre total. Os estudos demonstraram que o volume de rejeitos de carvão nesta área é da ordem 742.422 toneladas sendo que 84% são materiais granulados e 16% são materiais finos. Os resultados demonstraram que é possível recuperar 50% do material para fins energéticos, o que poderá reduzir de maneira significativa o impacto ambiental.

**PALAVRAS-CHAVES:** beneficiamento de carvões, rejeitos de carvão, meio ambiente.

## ABSTRACT

One of the main environmental impacts related to the mining activity in Santa Catarina elapses from coal tailings. Huge areas were degraded with a big damage of the natural resources. The area analyzed has an extension of 35,5 ha and is located at Sangão - Criciúma (SC). The mining operations stopped in July 1996, without any mine closure or reclamation plan. The aim of this work was to characterize the coal tailings and to study the economic recovery of the material. The work methodology consisted in the quantification and characterization of the waste piles. Samples of granulated and fine tailings were collected. The material was characterized in terms of particle size and density fractions, which were analyzed in terms of ash and total sulfur content. The studies demonstrated that the total amount of coal tailings in the area are in the order of 742.422 metric tons, being 84% of coarse and 16% fine materials. The results showed that it is possible to recover 50% of the material for energy production in thermoelectric plants, reducing significantly the environmental impact.

**KEY WORDS:** coal preparation, coal tailings; environment.

## 1. INTRODUÇÃO

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 beneficiamento (Rubio, 1988).

O estado de Santa Catarina possui a segunda maior reserva de carvão mineral do País (3,4 bilhões de toneladas) e produz aproximadamente 2,4 milhões de toneladas/ano, destinadas principalmente à produção de energia elétrica. A produção de carvão em larga escala data da década de 40 com a criação da CSN (Companhia Siderúrgica Nacional). Ao longo do tempo, em especial na mineração de carvão no Estado de Santa Catarina, grandes depósitos de rejeitos foram gerados, com graves conseqüências ambientais. Áreas foram degradadas e tiveram seus recursos naturais comprometidos (Schmitt, 1989; Kopezinski, 2000).

O aproveitamento industrial destes rejeitos de carvão é de fundamental importância para estas regiões, tanto do ponto de vista ambiental, como econômico e social. Neste contexto, rejeitos de carvão podem ser rebeneficiados e aproveitados na produção de energia em usinas termoelétricas em operação ou em instalação. O advento de novas usinas com técnicas de queima avançadas e de baixo impacto, permitirá a utilização de carvões com até 67% de teor de cinzas.

A área em estudo apresenta uma extensão de 35,5 hectares e está localizada no Bairro Sangão, Criciúma (SC). Recebeu rejeitos de carvão produzidos pela CSN no período de 1988 a 1990. Entre 1990 e 1991, as instalações permaneceram desativadas. Em 1991, a Nova Próspera Mineração adquiriu os ativos da CSN e assumiu a exploração até o ano de 1996, quando a área foi abandonada sem plano de recuperação.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi caracterizar os rejeitos depositados nessa área degradada e verificar a possibilidade de reaproveitamento econômico do material depositado.

## 2. EXPERIMENTAL

### 2.1. Local de estudo e quantificação dos rejeitos

A área de estudo está localizada no município de Criciúma, Bairro Sangão, no pátio de operação da Mina A da Nova Próspera Mineração. Os rejeitos graúdos (Pontos 1 a 6) e finos (pontos A a F) foram depositados em vários locais conforme mostra a Figura 1. A quantificação volumétrica do material depositado foi realizada por medidas da área ocupada (obtida por medidas topográficas) pela profundidade (obtida por furos de sondagem). Uma estimativa da massa foi calculada considerando a massa específica aparente dos rejeitos graúdos como  $2,1 \text{ t/m}^3$  e dos rejeitos finos como  $1,8 \text{ t/m}^3$ .

### 2.2. Amostragem

As amostras de rejeitos de carvão foram coletadas de acordo com a NBR 8291 (ABNT, 1983a). O estudo dos rejeitos graúdos foi realizado com uma amostra composta obtida das pilhas 1, 2, 3, 4, 5 e 6. Os rejeitos finos, por diferirem bastante entre si, foram analisados em separado, com amostras das pilhas A, B e F.

### 2.2. Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada por peneiramento nas seguintes aberturas (em mm): rejeito graúdo - 32, 16, 8, 4,75, 2, 1, 0,5, 0,25; rejeito fino - 2, 1, 0,5, 0,25. A operação foi realizada a seco com auxílio de um peneirador vibratório. Cada fração obtida foi cominuída para granulometria inferior a 0,25 mm, conforme NBR 8292, para análise de umidade, cinzas e enxofre total (ABNT, 1983b).

### 2.3. Ensaio densimétricos

A análise densimétrica foi realizada por ensaios de afunda-flutua em líquidos orgânicos (Sampaio e Tavares). Nesta análise, foram usadas as seguintes densidades relativas: 1,4, 1,6, 1,8, 2,0 e 2,2. Cada fração obtida foi cominuída para granulometria inferior a 0,25 mm, conforme NBR 8292, para análise de umidade, cinzas e enxofre total (ABNT, 1983b).

### 2.4. Análises do material

A análise do carvão foi realizada em termos do teor de cinzas e enxofre total. A análise de cinzas foi realizada pela queima de 1,0 grama de carvão, por 1 hora a  $800^\circ\text{C}$ , em mufla, conforme NBR 8289 (ABNT, 1983c). O enxofre total foi analisado via instrumental, pelo equipamento Leco SC 457, conforme norma ISO 334-1975 (E). Os

valores obtidos foram corrigidos em relação ao teor de umidade, medida pela secagem de 1,0 g de amostra, por 1 hora a 110°C, conforme a norma NBR 8293 (ABNT, 1983d).

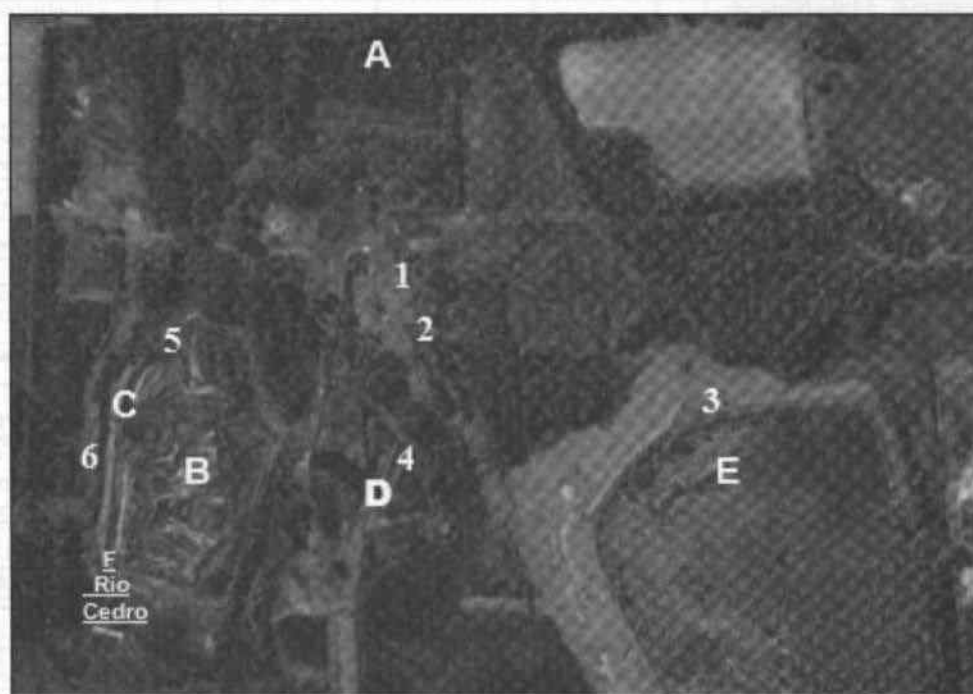


Figura 1. Localização dos depósitos de rejeito. Áreas A, B, C, D, E, F são depósitos de finos.

Áreas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 são depósitos de rejeitos graúdos.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Estimativa dos volumes de rejeito de carvão

De acordo com a metodologia adotada, estima-se que estejam depositadas na área aproximadamente 628.000 toneladas de rejeitos graúdos e 115.000 toneladas de rejeitos finos. A Tabela I apresenta os resultados obtidos para as pilhas com rejeito graúdo e a Tabela II para os diques construídos para os rejeitos finos. A área F não foi possível quantificar devido ao rompimento do sistema de contenção.

Tabela I. Quantificação dos depósitos de rejeitos graúdos.

	Área (m <sup>2</sup> )	Profundidade (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Reserva (t)
Área 1	1.400	5,0	7.000	14.700
Área 2	570	10,0	5.700	11.970
Área 3	6.000	4,0	104.000	218.400
Área 4	2.700	6,0	16.200	34.020
Área 5	21.000	6,0	126.000	264.600
Área 6	8.000	5,0	40.000	84.000
TOTAL	59.670	***	298.900	627.690

**Tabela II.** Quantificação dos depósitos de rejeitos finos.

	Área (m <sup>2</sup> )	Profundidade (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Reserva (t)
Área A	3.140	1,0	3.140	5.652
Área B	17.000	1,0	17.000	30.600
Área C	2.900	2,0	5.800	10.440
Área D	1.200	1,5	1.800	3.240
Área E	24.000	1,5	36.000	64.800
Área F	***	***	***	***
Total	48.240	***	63.740	114.732

### 3.2 Depósito dos Rejeitos Graúdos

O resultado da separação granulométrica para a amostra composta do rejeito graúdo está demonstrado na Tabela III. Observa-se que 73,8% da massa do material graúdos encontra-se nas faixas granulométricas entre 50 e 2 mm (que poderiam ser rebeneficiadas em um circuito de grossos) e 17% encontram-se na faixa entre 2 e 0,25 mm (que poderiam ser rebeneficiadas em um circuito de finos). Os valores de cinzas variaram de 68,2 a 77,3%, não havendo indicação de um material de melhor qualidade em alguma faixa granulométrica. Assim, o beneficiamento gravimétrico do material é necessário, mesmo para o emprego em termoeletricas que operam com carvões com alto teor de cinzas (até 67%)

**Tabela III.** Resultados da separação granulométrica de uma amostra composta de rejeitos graúdos.

Faixa Granul. (mm)	Massa (%)	Cinza b.s. (%)	Enxofre b.s. (%)	Massa Acum. (%)	Fração (%)
+32	11,7	73,1	0,7	11,7	73,8
-32,0 +16,0	19,7	76,3	0,8	34,4	
-16,0 +8,0	21,9	77,1	0,8	53,3	
-8,0 +4,7	7,1	77,3	0,6	60,4	
-4,7 +2,0	13,4	78,5	0,8	73,8	
-2,0 +1,0	6,2	77,0	1,2	80,0	17,0
-1,0 +0,5	4,5	68,2	1,1	84,5	
-0,5 +0,25	6,3	72,3	1,9	90,8	
-0,25	9,2	75,8	2,6	100,0	9,2

A Tabela IV apresenta os resultados obtidos nos ensaios de afunda-flutua do material com granulometria superior a 2 mm e a Tabela V os resultados do material com granulométricas entre 2 mm e 0,25 mm. Para cada fração obtida foram analisados os teores de cinzas e enxofre. Se for levado em consideração as termoeletricas operam com carvões com até 67% de cinzas, pode-se esperar a seguinte situação: (a) fração acima que 2 mm - um corte realizado na densidade de 2,2 permitirá uma recuperação de 33,6%, com um material contendo 63,3% de cinzas e 0,7% de enxofre total; (b) fração entre 2 e 0,25 mm - um corte realizado na densidade de 2,2 permitirá uma recuperação de 30%, com um material contendo 41,6% de cinzas e 0,9% de enxofre total.

**Tabela IV.** Resultados da separação densimétrica da fração maior do que 2 mm nos depósitos de rejeitos graúdos.

Densidade	Massa (%)	Cinzas b.s. (%)	Enxofre b.s. (%)	Massa Acum. (%)	Cinzas Acumulada (%)	Enxofre Acumulado (%)
< 1,4	0,4	19,7	1,5	0,4	19,7	1,5
1,4 – 1,6	2,3	30,2	1,0	2,6	28,7	1,0
1,6 – 1,8	4,0	44,9	0,8	6,6	38,5	0,9
1,8 – 2,0	4,8	58,9	0,5	11,4	47,0	0,7
2,0 – 2,2	22,2	71,7	0,7	33,6	63,3	0,7
> 2,2	66,4	88,1	1,0	100,0	79,8	0,9

**Tabela V.** Resultados da separação densimétrica da fração entre 2,0 e 0,25 mm nos depósitos de rejeitos graúdos.

Densidade	Massa (%)	Cinzas b.s. (%)	Enxofre b.s. (%)	Massa Acum. (%)	Cinzas Acumulada (%)	Enxofre Acumulado (%)
< 1,4	3,7	8,0	1,0	3,7	8,0	1,0
1,4 - 1,6	5,8	20,3	0,9	9,5	15,5	0,9
1,6 - 1,8	5,3	34,6	1,0	14,9	22,3	1,0
1,8 - 2,0	3,9	49,1	0,9	18,8	27,9	1,0
2,0 - 2,2	11,2	64,5	0,9	30,0	41,6	0,9
> 2,2	70,0	84,2	0,9	100,0	71,4	0,9

Assim, verificou-se que das 627.690 toneladas de rejeitos graúdos presentes no local, após o beneficiamento gravimétrico, em termos teóricos, poderiam ser comercializados aproximadamente 1/3 do material depositado para a geração de energia em termocélulas da região, reduzindo em cerca de 30% o passivo ambiental da área relacionado com a disposição de rejeitos graúdos.

### 3.3 Depósitos de Rejeitos Finos

As Tabelas VI, VII e VIII apresentam os resultados das análises granulométricas das amostras recolhidas nas Áreas A, B e F de finos, respectivamente. Diferentemente dos rejeitos graúdos, as frações finas apresentam diferenças entre os locais de coleta e entre as diferentes granulometrias. Em relação aos locais de coleta, o rejeito do depósito A apresenta 39,4% de cinzas e 1,1% de enxofre total, o rejeito do depósito B possui 65,5% de cinzas e 1,7% de enxofre total e o rejeito do depósito F possui 47,8% de cinzas e 1,1% de enxofre total. No depósito A, a maior parte da matéria carbonosa situa-se na granulometria superior a 2 mm e inferior a 0,25 mm, enquanto que nos depósitos B e F, a maior parte da matéria carbonosa situa-se na faixa entre 0,25 e 2 mm.

**Tabela VI.** Resultados da separação granulométrica no depósito A de rejeitos finos.

Faixa granulométrica	Massa (%)	Cinzas b.s. (%)	Enxofre b.s. (%)	Massa Acum. (%)	Cinzas Acumulada (%)	Enxofre Acumulado (%)
>2,0 mm	0,2	37,5	1,3	0,2	37,5	1,3
2 e 1 mm	5,0	60,7	1,0	5,2	59,9	1,0
1 e 0,5 mm	24,2	65,4	1,1	29,5	64,4	1,1
0,5 e 0,25mm	19,2	50,6	1,5	48,7	59,0	1,2
< 0,25 mm	51,3	20,9	0,9	100,0	39,4	1,1

**Tabela VII.** Resultados da separação granulométrica no depósito B de rejeitos finos.

Faixa granulométrica	Massa (%)	Cinzas b.s. (%)	Enxofre b.s. (%)	Massa Acum. (%)	Cinzas Acumulada (%)	Enxofre Acumulado (%)
>2.0 mm	0,4	63,0	1,7	0,4	63,0	1,7
2 e 1 mm	3,3	46,1	2,0	3,7	47,8	2,0
1 e 0,5	23,0	45,2	2,0	26,7	45,6	2,0
0,5 e 0,25	22,2	53,0	2,1	48,9	48,9	2,0
< 0,25 mm	51,1	81,3	1,3	100,0	65,5	1,7

**Tabela VIII.** Resultados da separação granulométrica no depósito F de rejeitos finos.

Faixa granulométrica	Massa (%)	Cinzas b.s. (%)	Enxofre b.s. (%)	Massa Acum. (%)	Cinzas Acumulada (%)	Enxofre Acumulado (%)
>2.0 mm	36,1	58,8	1,0	36,1	58,8	1,0
2 e 1 mm	28,9	48,2	1,4	65,1	54,1	1,2
1 e 0,5	26,1	31,1	1,0	91,2	47,5	1,1
0,5 e 0,25	6,3	38,7	1,2	97,5	46,9	1,1
< 0,25 mm	2,5	83,6	0,7	100,0	47,8	1,1

Esses resultados demonstram que 100% dos rejeitos finos analisados podem ser utilizados para a queima em termoeletricas aptas a receberem materiais com alto teor de cinzas (até 67%). Os materiais das pilhas A e F, se blendados, poderiam ser aplicados até mesmo em termoeletricas convencionais (que atuam com teor de cinzas de até 42%).

#### 4. CONCLUSÃO

Os resultados demonstraram que é possível empregar 30% dos rejeitos graúdos (após o beneficiamento gravimétrico) e 100% dos rejeitos finos depositados na área estudada em termoeletricas que atuam com alto teor de cinzas. Isso permitiria o aproveitamento de aproximadamente 50% do total de resíduos sólidos dispostos no local. Outra vantagem é o baixo teor de enxofre do material, que devido ao longo tempo exposição a intempéries, permitiu a oxidação da pirita e sua lixiviação pelas águas pluviais.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que colaboraram no desenvolvimento do presente trabalho. Gostaria também de agradecer ao LAPROM-UFRGS e LAEC – SATC na ajuda da parte experimental.

#### 6. REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Amostragem de Carvão Mineral Bruto e/ou Beneficiado. NBR 8291. 1983a.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Preparação de Amostra de Carvão Mineral para Análise e Ensaio. NBR 8292. 1983b.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Carvão mineral - Determinação de umidade. NBR 8293. 1983c.
- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. Carvão mineral - Determinação do teor de cinza. NBR 8289. 1983d.
- Rubio, J. Carvão Mineral Caracterização e Beneficiamento, V. I. Porto Alegre: Nova Linha Artes Gráficas, 1988. 240p.
- Sampaio, C.H.; Tavares, L.M.M. Beneficiamento Gravimétrico: Uma Introdução aos Processos de Concentração Mineral e Reciclagem de Materiais por Densidade. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 603 p.
- Schmitt, A. Impacto Ambiental da Mineração de Carvão. Brasil Mineral, n.71, p.62-71, 1989.
- Kopezinski, I. Mineração e Meio Ambiente: Considerações Legais, Principais Impactos Ambientais e Seus Processos Modificadores. Porto Alegre: UFRGS, 2000. 103p.