

2ª Edição revisada e ampliada

EDITORES: ADÃO BENVINDO DA LUZ & FERNANDO A. FREITAS LINS

ROCHAS & MINERAIS INDUSTRIAIS

usos e especificações



SUMÁRIO

PARTE I: INTRODUÇÃO GERAL

01. PANORAMA DAS ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS NO BRASIL 3
Fernando A. Freitas Lins

02. DESEMPENHO FUNCIONAL DOS MINERAIS INDUSTRIAIS: 25
DESAFIOS TECNOLÓGICOS, FERRAMENTA DE MARKETING E ESTRATÉGIA DE VALORIZAÇÃO
Renato R. Ciminelli

PARTE II: ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS: USOS E ESPECIFICAÇÕES

03. AGALMATOLITO 69
Adão Benvindo da Luz, Paulo Tomedi e Rodrigo Martins

04. AMIANTO 79
*Normando Claudino Moreira de Queiroga, William Bretas Linares, Joselito Dasio da Silva
e Adão Benvindo da Luz*

05. AREIA INDUSTRIAL 103
Adão Benvindo da Luz e Fernando A. Freitas Lins

06. AGROMINERAIS - ENXOFRE 125
*Gildo de Araújo Sá C. de Albuquerque (in memoriam), Ronaldo Simões L. Azambuja (in memoriam)
e Fernando A. Freitas Lins*

07. AGROMINERAIS - FOSFATO 141
Francisco E. Lápido Loureiro, Marisa Bezerra de Mello Monte e Marisa Nascimento

08. AGROMINERAIS - POTÁSSIO 175
Marisa Nascimento, Marisa Bezerra de Mello Monte e Francisco E. Lápido Loureiro

09. AGROMINERAIS - ROCHAS SILICÁTICAS COMO FONTES MINERAIS 205
ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO PARA A AGRICULTURA
*Éder de Souza Martins, Claudinei Gouveia de Oliveira, Álvaro Vilela de Resende e Marcello
Silvino Ferreira de Matos*

10. ARGILA - ATAPULGITA E SEPIOLITA 223
Adão Benvindo da Luz e Salvador Luiz M. de Almeida

11. ARGILA - BENTONITA 239
Adão Benvindo da Luz e Cristiano Honório de Oliveira

12. ARGILA - CAULIM	255
<i>Adão Benvindo da Luz, Antônio Rodrigues de Campos, Eduardo Augusto de Carvalho, Luis Carlos Bertolino e Rosa Bernstein Scorzelli</i>	
13. BARITA	295
<i>Adão Benvindo da Luz e Carlos Adolpho Magalhães Baltar</i>	
14. BAUXITA	311
<i>João Alves Sampaio, Mônica Calixto de Andrade e Achilles Junqueira Bourdot Dutra</i>	
15. BERILO	339
<i>Marcelo Soares Bezerra e Júlio de Rezende Nesi</i>	
16. CALCÁRIO E DOLOMITO	363
<i>João Alves Sampaio e Salvador Luiz Matos de Almeida</i>	
17. CIANITA REFRATÁRIA	389
<i>Caroline Meira Lopes de Castro Joffily e Claudinei Gouveia de Oliveira</i>	
18. CROMITA	403
<i>João Alves Sampaio, Mônica Calixto de Andrade e Paulo Renato Perdigão Paiva</i>	
19. DIAMANTE	427
<i>Mario Jorge Costa e Adão Benvindo da Luz</i>	
20. DIATOMITA	451
<i>Silvia Cristina Alves França, Adão Benvindo da Luz e Paulo Francisco Inforçati</i>	
21. FELDSPATO	467
<i>Adão Benvindo da Luz, Fernando A. Freitas Lins e José Mario Coelho</i>	
22. FLUORITA	487
<i>João Alves Sampaio, Carlos Adolpho Magalhães Baltar e Mônica Calixto de Andrade</i>	
23. GIPSITA	505
<i>Carlos Adolpho Magalhães Baltar, Flavia de Freitas Bastos e Adão Benvindo da Luz</i>	
24. GRAFITA	527
<i>João Alves Sampaio, Paulo Fernando Almeida Braga e Achilles Junqueira Bourdot Dutra</i>	
25. HALITA	551
<i>Paulo Roberto Cabral de Melo, Renato Senna de Carvalho e Dorival de Carvalho Pinto</i>	

26. LÍTIÓ	585
<i>Paulo Fernando Almeida Braga e João Alves Sampaio</i>	
27. MAGNESITA	605
<i>Luís Rodrigues Armôa Garcia, Paulo Roberto Gomes Brandão e Rosa Malena Fernandes Lima</i>	
28. MANGANÊS	633
<i>João Alves Sampaio, Mônica Calixto de Andrade, Achilles Junqueira Bourdot Dutra e Márcio Torres Moreira Penna</i>	
29. MICA	649
<i>Carlos Adolpho Magalhães Baltar, João Alves Sampaio e Patrícia Maria Tenório Cavalcante</i>	
30. NEFELINA SIENITO	663
<i>João Alves Sampaio, Silvia Cristina Alves França e Paulo Fernando Almeida Braga</i>	
31. QUARTZO	681
<i>Pedro Luiz Guzzo</i>	
32. RMIS: ROCHAS E MINERAIS PARA CERÂMICA DE REVESTIMENTO	723
<i>Mônica Calixto de Andrade, João Alves Sampaio, Adão Benvindo da Luz e Alberto Buoso</i>	
33. RMIS: ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA	747
<i>Marsis Cabral Junior, José Francisco Marciano Motta, Amilton dos Santos Almeida e Luiz Carlos Tanno</i>	
34. RMIS: ARGILA PLÁSTICA PARA CERÂMICA BRANCA	771
<i>José Francisco Mariano Motta, Adão Benvindo da Luz, Carlos Adolpho Magalhães Baltar, Marcelo Soares Bezerra, Marsis Cabral Júnior e José Mario Coelho</i>	
35. TALCO	793
<i>Ivan Falcão Pontes e Salvador Luiz Matos de Almeida</i>	
36. TERRAS-RARAS	817
<i>Simon Rosental</i>	
37. TITÂNIO: MINERAIS DE TITÂNIO	841
<i>Carlos Adolpho Magalhães Baltar, João Alves Sampaio, Mônica Calixto de Andrade e Dorival de Carvalho Pinto</i>	
38. VERMICULITA	865
<i>José Fernandes de Oliveira Ugarte, João Alves Sampaio e Silvia Cristina Alves França</i>	
39. ZEOLITAS NATURAIS	889
<i>Nélio das Graças de Andrade da Mata Resende, Marisa Bezerra de Mello Monte e Paulo Renato Perdigão Paiva</i>	
40. ZIRCONITA	917
<i>Luiz Carlos Bertolino, Nely Palermo, João Alves Sampaio e Silvia Cristina Alves França</i>	

PARTE III: OS MINERAIS E O MEIO AMBIENTE

41. MINERAIS APLICADOS À TECNOLOGIA AMBIENTAL: MINERAIS VERDES 933
Silvia Cristina Alves França, José Fernandes de Oliveira Ugarte e Adriana de A. Soeiro da Silva

42. EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL E AMBIENTAL A POEIRAS DE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS 961
Zuleica Carmen Castilhos, Reiner Neumann e Olívia Bezerra

GLOSSÁRIO

CAPÍTULO 4

Amianto

Normando Claudino M. de Queiroga¹
William Bretãs Linares²
Joselito Dasio da Silva³
Adão Benvindo da Luz⁴

1. INTRODUÇÃO

A SAMA Minerações de Associadas S.A., fundada em 1939, iniciou suas atividades de lavra de amianto crisotila em 1941, na Mina de São Félix, Poções (BA). A partir de 1962, com a exaustão da Mina de São Félix e a descoberta da ocorrência de Crisotila em Minaçu(GO), a empresa concentrou seus investimentos nesta área. A atual Mina de Cana Brava está localizada no município de Minaçu, extremo Norte de Goiás, entre as coordenadas geográficas de 48º 13' 12" de longitude Oeste e 13º 31' 59" de latitude Sul, tem como acesso principal a estrada pavimentada GO 241, de 130 km, partindo da rodovia Belém-Brasília na cidade de Santa Tereza de Goiás, e distando 500 km de Goiânia.

A Mina de Cana Brava está encravada numa Concessão Estadual de 4.500 ha, dos quais 87% são mantidos como reserva ecológica e apenas 13% são utilizados para as atividades industriais e residenciais. A área industrial é compreendida de duas cavas a céu aberto, duas bancas de deposição de estéril e rejeito, usina de beneficiamento, laboratórios industrial e de controle da qualidade do ar (ocupacional e ambiental), lavanderia industrial, enfermaria, centro administrativo, oficinas mecânica e elétrica, almoxarifado e centro de formação pessoal. Na vila residencial há: hospedagens, escola, hospital, clínica odontológica, capela, clubes, centro comercial, estações de tratamento de água e esgoto.

Com o objetivo de inovação, qualificação de seu produto e processo de melhoria a SAMA iniciou a busca por excelência em maio de 1996, com a

¹Geólogo, Gerente de Desenvolvimento Tecnológico, SAMA AS – Minerações Associadas.

²Engº de Minas, Chefe do Departamento Planejamento de Lavra e Desenvolvimento de Processo, SAMA AS – Minerações Associadas.

³Engº de Minas, Gerente Industrial, SAMA AS – Minerações Associadas.

⁴Engº de Minas/UFPE, D.Sc. em Engenharia Mineral/USP, Pesquisador Titular do CETEM/MCT.

certificação do SGQ – Sistema de Gestão da Qualidade, com base na NBR ISO 9002:1994 (recertificada na NBR ISO 9001:2000), pela DNV, tornando-se a primeira mineração de amianto do mundo a obter essa certificação (recertificação em 1999, 2002 e 2005), visando o atendimento aos clientes nos diversos segmentos do mercado. Nas questões ambientais, o SGA – Sistema de Gestão Ambiental, foi certificado em dezembro de 1998, também pela DNV, com base na NBR ISO 14001:1996 (atualmente NBR ISO 14001:2004, com recertificação em 2001 e 2004).

A produção na mina de Cana Brava iniciou em julho de 1967, numa pequena usina piloto ampliada, que após sucessivos projetos de expansão e de otimização do processo industrial destaca-se hoje entre as maiores e melhores produtoras de amianto crisotila do mundo em qualidade e tecnologia, com capacidade instalada de 270 mil toneladas de crisotila por ano; com investimentos recentes, passa a produzir a partir de julho/2008, 350 mil toneladas por ano. É a terceira mina maior produtora de amianto crisotila do mundo, ficando somente atrás a duas minas da Rússia.

Na escala de produção e conhecimento dos corpos de minérios atuais, a vida útil da mina de Cana Brava está estimada para produzir até 2057.

As propriedades físico-químicas do crisotila da mina de Cana Brava - resistência mecânica, comprimento, flexibilidade e filtrabilidade - atendem as necessidades técnicas do mercado industrial, especialmente do fibrocimento.

Em 2006, as vendas alcançaram um total de 221,6 mil toneladas de fibra, sendo 59 % exportadas e 41 % comercializadas no mercado interno. Neste mesmo período, a produção foi de 227,3 mil t.

Todo o beneficiamento do minério é realizado a seco em plantas cujos equipamentos são totalmente enclausurados, com um eficiente sistema de aspiração e filtragem do ar. Modernos filtros de mangas, com capacidade de filtragem superior a 2,3 milhões de m³/h asseguram a qualidade do ar no ambiente de trabalho e no entorno do empreendimento. Os monitoramentos periódicos comprovam a eficiência deste sistema, em 2006 100% dos postos de trabalho as concentrações de fibras foram iguais ou inferiores a 0,1 fibras/cm³. A legislação nacional define o limite como sendo 2,0 fibras/cm³. No entorno do empreendimento a concentração de poeiras de fibras de crisotila são inferiores a 0,0005 fibras/cm³.

A SAMA possui elevado nível de automação do processo de beneficiamento que segue rigorosamente os padrões de qualidade internacional que culminou com as certificações ISO. Paralelamente, a política de produção visa uma perfeita harmonia com o meio ambiente e cuidados rigorosos com a saúde e segurança de seus colaboradores.

2. MINERALOGIA

Definição - Amianto e asbesto são palavras de origem latina (*amianthus*) e grega que significa incorruptível (amianto) e incombustível (asbesto), revelando duas notáveis propriedades físicas dessas fibras naturais. Amianto e asbesto são nomes genéricos dados a uma grande variedade de minerais fibrosos encontrados em toda a crosta terrestre. Em função da sua estrutura cristalina e composição química se apresentam em diferentes tipos, cores e texturas. São divididos em dois grandes grupos de minerais: a serpentina e o anfibólio. O grupo da serpentina tem o crisotila como a única variedade fibrosa (amianto branco), e o grupo do anfibólio apresenta cinco variedades: crocidolita (amianto azul), amosita (amianto marrom), tremolita, antofilita e actinolita. As fibras do crisotila são curvas, flexíveis e macias, enquanto as do anfibólio são retas, duras, pontiagudas (crocidolita) e quebradiças (antofilita e tremolita). O crisotila é um silicato hidratado de magnésio, com fórmula química básica: $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$. As fibras do anfibólio são ricas em ferro e cálcio: $Na_2OFe_2O_3FeOSiO_2$ (crocidolita), $FeOMgOSiO_2$ (amosita) e $CaOMgOSiO_2$ (tremolita).

O crisotila é o único tipo de fibra encontrada na mina de Cana Brava. Na Tabela 1 há um resumo das características geológicas, mineralógicas, físicas e químicas da fibra de crisotila.

Composição mineralógica dos serpentinitos da mina de Cana Brava - Os serpentinitos de cor marrom são caracterizados pela presença freqüente de minerais remanescentes do protólito ultramáfico (olivina e piroxênio), circundados por minerais do grupo da serpentina (antigorita e/ou lizardita, secundados por crisotila) e, ainda, pelos opacos hematita e magnetita. O serpentinito de cor verde é caracterizado pela ausência dos minerais da rocha-mãe, sendo constituído predominantemente por serpentinas, das quais o crisotila é o mais abundante. Os minerais opacos principais são a magnetita e a hematita. Além desses dois tipos de serpentinitos são encontradas rochas com características intermediárias. A Tabela 2 resume a composição química dos serpentinitos da Mina de Cana Brava.

Estrutura da fibra de crisotila - A estrutura cristalina do crisotila é tubular devido ao enrolamento das camadas octaédricas $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$ e as tetraédricas $[(\text{Si}_2\text{O}_4)]$ que têm diferentes dimensões cristalográficas na composição da cela unitária estrutural: $a=5,4 \text{ \AA}$ e $b=9,3 \text{ \AA}$ (brucita) e $a=5,0 \text{ \AA}$ e $b=8,7 \text{ \AA}$ (sílica). Isso produz um desemparelhamento entre as camadas de magnésio e sílica. Essa tensão provoca um enrolamento das camadas, num fenômeno conhecido como serpentinização, dando origem a uma fibrila de geometria tubular. Portanto, as superfícies internas e externas da crisotila são compostas de camadas de $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$ e $[(\text{Si}_2\text{O}_4)]$, respectivamente. Da justaposição de 8 a 12 camadas, obtém-se uma fibrila, com diâmetro externo de 15 a 50 nm e 7 nm interno aproximadamente. A estrutura tubular é geralmente oca podendo estar preenchida por material não cristalino (ZUCCHETTI, 1994).

Tipo, estrutura e textura - A mineralização de crisotila preenche as fraturas do serpentinito originado de dunitos ou peridotitos, associados a metabasitos e metaultrabasitos do Maciço de Cana Brava, em forma de veios compactos de fibras. A distribuição espacial destes veios na rocha é predominantemente irregular, sem orientação preferencial (*stockwork structure*), seguida pela estrutura de cisalhamento (*shear structure*) associada a esforços tectônicos e, menos freqüentemente, a paralela (*ribbon structure*) associada à zona de contato basal. As fibras compactas de crisotila apresentam os mais variados ângulos em relação às paredes dos veios, de perpendicular a inclinada (*cross fiber*) e, menos freqüentemente, paralela (*slip fiber*). Fibras muito finas distribuídas na massa da rocha (*mass fiber*) podem ser observadas ao microscópio. As fibras *cross* mostram-se de forma contínua e/ou descontínua nos veios, ou seja, partidas em duas ou mais vezes, com ou sem preenchimento de magnetita (maciça ou granular) nas suas extremidades. A textura da fibra *cross* é de macia a sedosa, é flexível e resistente à tração, enquanto a *slip*, associada à estrutura de falha, é de sedosa a talcosa e quebradiça. O comprimento real das fibras varia de milímetros a poucos centímetros, com média de 6 mm. O teor médio de fibra é de 6,7% e sua distribuição granulométrica corresponde ao tipo comercial CB-4Z, característico para fabricação de produtos de fibrocimento.

Propriedades físicas e químicas - Duas das mais importantes propriedades do crisotila são a alta resistência mecânica (comparável à do aço) e incombustibilidade, seguidas pela superfície específica (desfibramento) e pelo comportamento da camada superficial da fibra (química e eletrocinético), dentre muitas outras características importantes, tais como: alta flexibilidade e fiabilidade; baixa resistência a ácidos; baixa condutividade térmica, boa capacidade de isolamento elétrico e acústico; baixa permeabilidade magnética;

propriedades superficiais que permitem absorção e adsorção um grande número de produtos e moléculas; alta resistência dielétrica; boa resistência aos ataques bacteriológicos; boa resistência ao calor e quebradiça a altas temperaturas (acima de 800°C o crisotila se decompõe no mineral forsterita, não fibroso). Possui carga elétrica positiva e grande afinidade ao cimento, resinas e ligantes plásticos, formando uma trama estrutural.

A fibra de crisotila de Cana Brava, além de apresentar todas as propriedades inerentes às demais fibras, se destaca pela elevada capacidade de filtração, característica importante na indústria de fibrocimento.

Com essas propriedades, o amianto permite a fabricação de mais de três mil produtos, dentre os quais os de fibrocimento (que corresponde hoje mais de 96% do consumo final das fibras produzidas na mina de Cana Brava), fricção, têxtil, papel e papelão, filtros, revestimentos de pisos e isolantes térmicos.



Figura 1 – Bloco de serpentinito com veios de crisólita.

3. PLANEJAMENTO E MÉTODO DE LAVRA

Planejamento da Lavra

Todas as operações de lavra na mina de Cana Brava são apoiadas em cuidadoso planejamento periodicamente revisadas, visando antecipar quaisquer mudanças, quer seja no tocante à geologia, na escala de produção, nas exigências do mercado, na frota de equipamentos, ou mesmo devido às condições climáticas.

Como qualquer planejamento, o da mina de Cana Brava é subdividido em planejamentos de longo, médio e curto prazo.

O planejamento de longo prazo contempla a cava de exaustão e os planos de lavra para os períodos acima de 10 anos. No planejamento de médio prazo são detalhados os trabalhos para os períodos até 10 anos.

No curto prazo são mantidos permanentemente atualizados os planos anuais para os próximos 3 anos. O primeiro desses planos (primeiro ano) é subdividido, por sua vez, em planos trimestrais, sendo o primeiro desses detalhados em planos semanais.

O primeiro plano semanal é entregue à operação para execução. A partir desse ponto o controle passa à área operacional que elabora seus programas de produção.

Os planejamentos são feitos com o apoio do software de mineração Vulcan 3D™.

Método de Lavra

A lavra da mina de Cana Brava é a céu aberto, em bancadas com altura de 10 a 15m, bermas finais obedecem aos parâmetros técnicos de estabilidade de talude, variando de 6 a 12 m de largura, e com operação em duas cavas fechadas denominadas A e B. A movimentação atual é de aproximadamente de 9 milhões de toneladas de rocha por ano e a relação estéril/minério da reserva lavrável é de 2,0:1.

Perfuração - A perfuração é realizada por perfuratrizes Atlas Copco L8-54 de 5,5” e Ingersoll Rand DM 45 de 6,5”, com os parâmetros: 15° de inclinação com a vertical, 2,0 m de subperfuração e malha triangular alongada de (4 x 8) m². Não há

desmontes secundários, a fragmentação de matacos (blocos com diâmetro maior que o *gape* do britador primário) é realizada por rompedor hidráulico marca Montabert acoplado a uma escavadeira sobre pneus CAT M318C.

Desmonte - Os furos são carregados com explosivo tipo emulsão (40%) e Nitrato de Amônio (60%), bombeado diretamente do caminhão aos furos. A iniciação é realizada com dois reforçadores 450 g, um colocado no topo e outro na base da carga. O elemento iniciador do reforçador é o cordel detonante. A razão de carga é em média 160 g/t. As velocidades de onda resultantes, provocadas pelos desmontes são monitoradas por sismógrafos portáteis Geosonic, instalados em pontos previamente definidos.

Carregamento - O carregamento é realizado por pás Caterpillar 992D, Volvo L220E sobre pneus e escavadeira hidráulica Caterpillar 330 CL sobre esteiras, munidas de caçamba de 10,4 m³, 4,9 m³ e 2,7 m³, respectivamente.

Transporte - O transporte é realizado por caminhões Caterpillar 777C, Randon RK 430B, com capacidade de 85 e 27,2 t, respectivamente e caminhões rodoviários com capacidade de 25 t.

Serviços Auxiliares - Para os serviços de apoio à lavra são utilizados: trator de lâmina sobre esteiras CAT D8L e D8T, trator de lâmina sobre pneus CAT 824H e motoniveladoras CAT 140H.

Atualmente, a cava A está com 143 m de profundidade e com as seguintes dimensões na superfície: 1.450 m no sentido norte-sul e 590 m no sentido leste-oeste; enquanto a cava B, com 156 m de profundidade e na superfície com 1.110 m no sentido norte-sul e 845 m no sentido leste-oeste.

Em 2006, foram lavradas 3,5 milhões de toneladas de minério e 5,1 milhões de toneladas de estéril. O estéril é depositado nas bancas com recobrimento vegetal concomitante com sua construção. E o minério, com blocos no máximo de 1,10 m de diâmetro, é transportado ao britador primário.

Os caminhões CAT 777B e 777C, transformados em pipa, com capacidade de 68 e 76 m³ de água, respectivamente, aspergem continuamente água nas frentes de lavra e nos acessos das duas cavas visando evitar a emissão de poeiras pelo tráfego e nas operações de carregamento de minério e estéril. Como resultado dessa operação, o índice de fibras no ar é inferior a 0,1 fibras/cm³ em todos os postos de trabalho.



Figura 2 – Cavas A (à direita) e B (à esquerda), vista satélite – 2002.

4. BENEFICIAMENTO

O beneficiamento de amianto crisotila é um processo mecânico, realizado a seco, por meio de sucessivos estágios de britagem, peneiramento, impactação e aspiração, seguidos de desfibramento, classificação, homogeneização, ensacamento e paletização. O processo é dividido didaticamente em três fases descritas a seguir:

Fase de Britagem

Concentração e Secagem – consiste em cominuir, enriquecer e secar o minério para a etapa de tratamento e classificação das fibras. É subdividida em cinco estágios.

Britagem Primária

O britador primário, tipo giratório e modelo Faço 5474, é alimentado por caminhões RK 430 B. Os blocos de minério, de diâmetro médio inferior a 1,10 m, são fragmentados e reduzidos em frações inferiores a 275 mm. Os blocos de diâmetros maiores são quebrados pelo rompedor hidráulico. A granulometria do minério britado é ajustada pela seleção da abertura na saída do eixo giratório, que varia de 5 a 11 polegadas.

A capacidade de britagem primária é de 1.100 t/h. As correias transportadoras que transferem o minério para a britagem secundária são enclausuradas, evitando a geração de poeira para o meio ambiente.

O controle ocupacional e ambiental é realizado por sistema de aspersão de água no britador primário durante a operação de basculamento do minério proveniente da mina e nos pontos de descarga e de transferência entre correias transportadoras, bem como a captação de finos pelo sistema de filtros de mangas, com capacidade de filtrar 30.600 m³ de ar por hora. Os mecanismos envolvidos consistem basicamente em compressão e cisalhamento.

Britagem Secundária

Neste estágio, o minério britado passa por duas linhas de operação com capacidade total de 850 t/h, compostas cada uma com peneira vibratória tipo Faço XH 8x16 e um britador cônico Faço, modelo H-1560, onde:

- (i) o *oversize*, fração maior que 25 mm, será novamente fragmentado no britador cônico, reduzindo-o a uma granulometria inferior a 75 mm. Este produto é transportado por correia, também enclausurada, até a planta de concentração;
- (ii) o *undersize*, fração menor que 25 mm e normalmente úmida, é transportada por correia transportadora, enclausurada, para o silo de minério úmido, localizado na planta de secagem.

O controle ocupacional e ambiental é realizado com a captação de finos pelo sistema de filtros de mangas, com capacidade de filtrar 85.000 m³ de ar por hora durante o processo de britagem.

Concentração

A planta de concentração tem o objetivo de “enriquecer” o teor de fibra no minério proveniente da britagem secundária, descartando, no final, as frações grosseiras, inviáveis economicamente através basicamente em estratificação e segregação.

É constituída por duas linhas paralelas, nas quais o minério passa por três estágios de peneiramento, intercalados por três estágios de impactações, duas em britadores Hazemag. O *oversize* do terceiro peneiramento é novamente impactado em moinho tipo JM, seguido de peneiramento e aspiração da fibra

liberada. As frações aspiradas e os *undersizes* dos três estágios de peneiramentos seguem por correia transportadora enclausurada ao silo de minério concentrado seco (SMS).

O rejeito da concentração, descarte da fração grosseira, é em média 15% do minério alimentado nesta planta e contém aproximadamente 0,90% de fibra.

As duas linhas paralelas da planta de concentração produzem em média 700 t/h de minério concentrado.

Todos os equipamentos operam sob pressão negativa exercida por um sistema de filtros de mangas, com capacidade de filtrar 204.000 m³ de ar por hora.

Secagem

O objetivo deste estágio é reduzir a umidade das fibras, desviadas na britagem secundária, para valores inferiores a 5,5% para que juntamente com o material proveniente da concentração, atinja uma umidade média de 3%, que é a umidade planejada para a seqüência do processo.

A secagem é realizada em três fornos rotativos e dois de leito fluidizado, com capacidade total de secagem para 250 t/h e com um consumo médio de 6,0 litros de óleo 2A por tonelada de minério secado.

O minério seco é encaminhado, por correia transportadora enclausurada, ao silo de minério concentrado seco, sendo misturado ao concentrado produzido na planta de concentração.

A exaustão dos secadores para o processo, controle ocupacional e ambiental é realizada por filtros de mangas, com capacidade de filtrar 204.000 m³ de ar por hora.

Silo de Minério Concentrado Seco (SMS)

O silo de minério concentrado seco tem o objetivo de estocar, pelo menos três tipos de concentrado com comprimentos de fibras distintos, possibilitando a alimentação da usina com a mistura desejada. O silo de minério é enclausurado e está em pressão negativa, mantida pelo sistema de filtros mangas, com capacidade de filtrar 170.000 m³ de ar por hora.

A operação de estocagem é realizada por uma correia transportadora tipo *tripper*, que é controlada na sala centralizada de operações.

De acordo com a programação de produção, esses tipos de minério são retomados por dezessete alimentadores vibratórios instalados na base do silo.

A área “viva” deste silo tem a capacidade de armazenar 10.000 t de concentrado seco.

Fase de Tratamento e Classificação de Fibras

Consiste na produção de fibra, com os parâmetros técnicos acordados com os clientes, através basicamente de aeroseparação a partir do minério concentrado seco em vários estágios aqui denominados de circuitos:

Circuito de Minério

É constituído por cinco linhas de tratamento de minério com cinco estágios de peneiramento em peneiras giratórias Fournier com coifas de aspiração, intercalados com três estágios de impactação em impactadores tipo JM/JW.

O processo resulta em quatro produtos:

- (i) concentrado de fibras, em caixa separadora acoplada em ciclones, com tamanhos diferentes em função do estágio aspirado (circuito de fibra longa);
- (ii) fração média (circuito de fibra média-longa);
- (iii) frações finas dos peneiramentos (circuito de fibra curta);
- (iv) fração final grosseira (rejeito).

Circuito de Fibra Longa

É constituído por cinco linhas de tratamento com peneiras giratórias Fournier com coifas de aspiração, seguidas por tromeis rotativos, intercalados com separadores pneumáticos Bauer, ciclones e abridores de fibra tipo *cage mill*, com objetivo de retirar areias e pedriscos das fibras coletadas nos ciclones do circuito de minério, desfibrar e, em seguida, classificá-las pelo comprimento das fibras.



Peneiras Giratórias Fournier



Moinho de Impacto JM

Circuito de Fibra Longa-Média

É constituído por seis linhas de tratamento com peneiras giratórias Fournier com coifas de aspiração, seguidas por tromeis rotativos, abridores de fibra tipo *cage mill*, separadores pneumáticos Bauer e ciclones.

Este circuito trata as frações pesadas recuperadas dos separadores pneumáticos dos Bauers da usina, acrescidas das frações médias do circuito de minério, produzindo fibras classificadas como média-longa.

Circuito de Fibra Média-Curta

É constituído por cinco linhas de tratamento com peneiras giratórias Fournier com coifas de aspiração, seguidas por tromeis rotativos, abridores de fibra tipo *cage mill*, separadores pneumáticos Bauer e ciclones.

Este circuito trata as frações aspiradas no quarto estágio do circuito de minério, acrescidas das frações retidas nos ciclones acoplados nas caixas separadoras, produzindo fibras de comprimento médio-curto.

Circuito de Fibra Extra-Curta

São constituídas por quatro linhas de tratamento, compostas por equipamentos específicos: moinhos de martelo, peneiras giratórias com coifas de aspiração, troméis e tamizadores, separadores pneumáticos tipos *zig-zag* e *wizzer*, ciclones e abridores de fibras tipo *hurricane* e *turbo jet*.

O circuito tem por objetivo recuperar e produzir fibras curtas, menores de 1,0 mm, provenientes dos peneiramentos dos circuitos de minério e de fibras da planta de tratamento e classificação de fibras e, opcionalmente, finos retidos nos filtros de mangas da usina.

Circuito de Homogeneização

É constituído por dez silos verticais que recebem e homogeneizam as fibras produzidas nas diversas linhas dos circuitos de fibras de acordo com a especificação dos tipos de fibra acordados com os clientes. Cada silo possui capacidade para 40 t. As fibras são retiradas por conjuntos de rosca-sem-fim instalados no fundo destes silos.

Um sistema de recirculação por meio de elevadores de canecas e roscas transportadoras permite a homogeneização das fibras de cada silo antes do ensacamento. Durante o enchimento dos silos, amostradores automáticos coletam periodicamente incrementos de amostras que são encaminhadas, por dutos, diretamente ao laboratório industrial. A cada um terço de silo, uma amostra de aproximadamente 4 kg é coletada. Após a análise das três amostras, a fibra do silo é automaticamente classificada por sistema informatizado, comparando os resultados dos ensaios com as especificações dos produtos previamente cadastradas. Confirmado o resultado dos ensaios, o minério é liberado para ensacamento.

Os ensaios realizados no laboratório industrial de controle de qualidade seguem os procedimentos definidos pela Associação dos Mineradores de Asbestos de Quebec (*Quebec Asbestos Mining Association - Q.A.M.A.*), Canadá. Estes ensaios são adotados internacionalmente como padrão para classificação e comercialização das fibras de crisotila.

Todos os equipamentos dos circuitos da fase de tratamento e classificação de fibras e ainda do circuito de ensacamento operam sobre pressão negativa para atendimento do processo e controle ambiental e operacional, exercida por dois

filtros de mangas, um deles com capacidade de filtrar 170.000 m³ de ar por hora e outro com capacidade de 952.000 m³ de ar por hora, este contendo 8.400 mangas.

Circuito de Transporte de Rejeitos

Consiste em um conjunto de correias enclausuradas, provenientes da concentração e da usina de beneficiamento, que transportam os rejeitos grosso e fino ao silo situado na banca de deposição. Esses rejeitos são transportados desse silo e dispostos controladamente em bancas de rejeito, em caminhões basculantes com capacidade de 27 toneladas.

Os rejeitos são umidificados para o transporte e nos locais de transferência de correias há aspiração por filtros de mangas portáteis.

Fase de Embalagem do Produto

O ensacamento da fibra produzida e sua posterior paletização são realizados em dois circuitos:

Circuito de Ensacamento

É constituído por vinte e uma máquinas de ensacamento, tipo *pressure packer*, instaladas em três linhas, sendo a primeira com sete máquinas, a segunda com treze máquinas e a última com uma máquina exclusiva para o tipo CB-7TF.

Este circuito ensaca automaticamente as fibras provenientes dos dez silos de homogeneização, após serem liberados pelo laboratório industrial de controle de qualidade. A fibra é ensacada em sacos de rafia de polipropileno, sanfonados e trançados, com filme externo de polipropileno e polietileno, acrescido de aditivo anti-UV. Atendendo solicitação de clientes, a fibra pode também ser acondicionada em sacos de papel Kraft. Cada bloco pesa 50 kg e este controle é realizado por meio de balanças tipo check-weight.

Circuito de Paletização

É constituído por: duas máquinas paletizadoras, uma recobridora de capa plástica termo-retrátil de polietileno e uma máquina de termo-contracção, todas interligadas por transportadores de roletes. O sistema tem capacidade para paletizar 45 t de fibra por hora. É utilizado sistema de aplicação de cola entre sacos durante a paletização, visando garantir a estabilidade da embalagem durante o transporte.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todo o processo produtivo da SAMA, desde a lavra até a embalagem final da fibra de crisotila é controlado em uma sala centralizada, onde o acompanhamento da produção e a operação de todos equipamentos são monitorados *on line*.



Figura 3 – Interior do Sistema de filtros mangas.

Exceto no laboratório industrial, onde são realizados os ensaios de controle da qualidade da produção e o manuseio da fibra é realizado em capelas com pressão negativa, em nenhuma fase do processo há contato do homem com a fibra.

Para manter sempre a qualidade de seu produto em sua unidade a SAMA possui detectores de metais e rolos magnéticos instalados em equipamentos para reduzir assim possíveis contaminantes metálicos.

Todos equipamentos são enclausurados com pressão negativa, aspirando o ar para os sistemas de filtros mangas que asseguram a qualidade do ar no ambiente de trabalho e no entorno do empreendimento. Esta qualidade é

assegurada pelo monitoramento *on line*, utilizando aparelhos eletrônicos instalados nas saídas dos filtros de ar que detectam a emissão de particulados para a atmosfera.

A Qualidade do Processo Industrial e a Qualidade do Meio Ambiente são certificadas e auditadas pelo OCC *Det Norske Veritas - DNV*, com base no cumprimento das Normas NBR ISO 9001/2000 e NBR ISO 14000/2004, respectivamente. Da mesma forma, a Qualidade do Ar Ocupacional e Ambiental é controlada e auditada pelo *Centro de Evaluacion, Medicion y Seguridad Ocupacional - CEMSO S.A.* com base na Norma do Uso Controlado do Amianto - UCA, segundo a Organização Internacional do Trabalho - OIT.



Figura 4 – Vista geral da área industrial.

6. USOS E FUNÇÕES DO AMIANTO CRISOTILA

A fibra de amianto crisotila, devido às suas propriedades físicas e químicas, é empregada como reforço ou armação em diversos produtos que exigem alta resistência mecânica, isolamento térmico e capacidade filtrante, dentre outras como observado a seguir.

Propriedades	Produtos Industriais
Resistências à tração, à intempérie e à bactéria; Coeficiente de atrito; aderência e armação estrutural com cimento; higroscópico; estabilidade química; elasticidade; incombustível.	<i>Fibrocimento</i> : telhas onduladas, chapas de revestimento, painéis divisórios, tubos e caixas de água. A fibra é fixada a uma matriz de cimento, sendo assim encapsulada. O setor de fibrocimento responde por mais de 90% do consumo mundial das fibras de crisotila, sendo que sua participação no produto final é de 8 a 10%.
Resistências térmica, mecânica, aos agentes químicos, óleos e graxas; aderência às resinas fenólicas; estabilidade térmica às variações bruscas de pressão e temperatura; coeficiente de atrito elevado.	<i>Produtos de fricção</i> : pastilhas, lonas de freio e discos de embreagem para automóveis, caminhões, tratores, metrô, trens e guindastes. Participa na composição destes produtos com 25 a 70%. No Brasil, este setor responde por aproximadamente 3% do consumo de fibras de crisotila.
Resistências ao fogo, a abrasão, a corrosão e a tração; isolante térmico e elétrico; impermeável.	<i>Produtos têxteis</i> : fios para confecção de tecidos, cordas e feltros que, por sua vez, são utilizados na fabricação de gaxetas, lonas de freio, embreagens, filtros, mantas para isolamento térmico de caldeiras, motores, tubulações e equipamentos diversos nas indústrias química e petrolífera. São utilizados ainda na produção de roupas especiais (aventais e luvas) e biombos para proteção contra fogo.
Resistências química, térmica e a bactéria; adsorção química e radiativa; filtração e incombustível	<i>Filtros</i> : filtros especiais empregados nas indústrias farmacêuticas e de bebidas (vinho e cerveja), também na fabricação da soda cáustica. Também são utilizadas na produção de diafragmas para serem usado com líquidos, vapores e gases em temperaturas de até 600 ^o C e sob a ação de agentes químicos.
Resistências térmica, elétrica e química; incombustível.	<i>Papéis e papelões</i> : laminados de papel e papelão utilizados em fornos, caldeiras, estufas e tubulações de transporte marítimo para isolamento térmico e elétrico.
Resistências térmica e mecânica; resistentes à ação de agentes químico e biológico; incombustível.	<i>Produtos de vedação</i> : juntas de revestimento e vedação, guarnições diversas, além de mástiques e massas especiais, usadas nas indústrias automotivas e de extração de petróleo.
Resistências térmica e mecânica; incombustível.	<i>Isolantes térmicos</i> : placas e outros elementos de revestimentos para as indústrias aeronáutica e aeroespacial, empregados como elemento de isolamento térmico.
Resistências térmica, mecânica e química; estabilidade química; elasticidade e incombustível	Plásticos e revestimentos: placas ou mantas vinílicas, resinas moldadas e outras, adesivos, colas, tintas e impermeabilizantes.
Adsorção de moléculas em sua superfície; química estável mesmo em ambientes com pH distintos; parede externa de caráter básico, resistência à putrefação.	<i>Aplicações</i> : despoluição de águas, adsorvendo moléculas de detergente. Reaproveitamento de determinados reagentes em processos industriais, como enzimas. Separação de isômeros na síntese de medicamentos e identificação das substâncias presentes em compostos químicos.

7. ESPECIFICAÇÕES DE AMIANTO CRISOTILA DA MINA DE CANA BRAVA

A Associação dos Mineradores de Asbestos de Quebec (*Quebec Asbestos Mining Association - Q.A.M.A.*), Canadá, desenvolveu ensaios de laboratório para classificar comercialmente as fibras de amianto produzidas em suas minas, segundo sua utilização industrial. Estes ensaios são adotados internacionalmente como padrão para classificação e comercialização das fibras de crisotila.

O quadro abaixo mostra, resumidamente, a classificação por grupo de fibras produzidas pela SAMA e sua principal utilização industrial:

- (i) **Grupo 3:** têxtil, tubos de fibrocimento de alta pressão.
- (ii) **Grupo 4:** fibrocimento, células eletrolíticas.
- (iii) **Grupo 5:** fibrocimento, fricção.
- (iv) **Grupo 6:** fibrocimento, fricção, papel, papelão e plástico.
- (v) **Grupo 7:** tinta, piso, papel, papelão, plástico, mástiques, cola.

O laboratório de controle de qualidade da SAMA, adota, como padrão de qualidade, os testes de laboratório do *Chrysotile Asbestos Test Manual*, publicado em 1974, pela *Quebec Asbestos Mining Association - Q.A.M.A.*, do Canadá.

Dentre os ensaios executados pela SAMA, destacam-se:

- (i) Granulometria por via seca: Quebec e Ro-tap;
- (ii) Granulometria por via úmida: Turner & Newall, Bauer Mc Nett e Lavagem 200 mesh;
- (iii) Grau de desfibramento: Volume Úmido, elutriador Turner & Newall;
- (iv) Resistência à flexão: unidade de resistência;
- (v) Tempo de escoamento da água: filtração
- (vi) Teor de material granular: porcentual de grânulos menores de 3,36 mm;
- (vii) Teor de umidade: porcentual de umidade.

A SAMA considera os ensaios de Turner & Newall (TN) e Volume Úmido como os mais representativos para classificar as fibras de crisotila por ela produzidas.

Os principais tipos de fibra produzidos pela SAMA e os respectivos resultados de ensaios referentes à produção de 2006 estão ilustrados a seguir:

Produto	TN +1,2 mm (%)	TN - 0,074 mm (%)	Volume Úmido (mL)	Umidade (%)	Material Granular - 3,36 mm (%)
CB-4K	41	31	999	2,37	0,54
CB-4T	35	36	933	2,51	0,56
CB-4X	28	42	866	2,52	0,55
CB-4Z	24	46	811	2,40	0,55
CB-5K	22	48	791	2,33	0,55
CB-5R	19	49	758	2,39	0,54
CB-6D	15	53	715	2,39	0,56
CB-5RP	7	46	893	2,01	0,09
CB-6DF	1	61	588	1,98	0,12
CB-6DP	1	69	580	1,94	0,13
CB-7MF	1	69	412	1,99	0,13
CB-7MP	0	72	382	2,00	0,12
CB-7TF	-	-	-	2,36	0,00

TN +1,2 mm: ensaio Turner & Newall, porcentagem acumulada de fibras retidas nas malhas 8 e 16;

TN - 0,074 mm: Ensaio Turner & Newall, % de fibras passantes na malha 200.

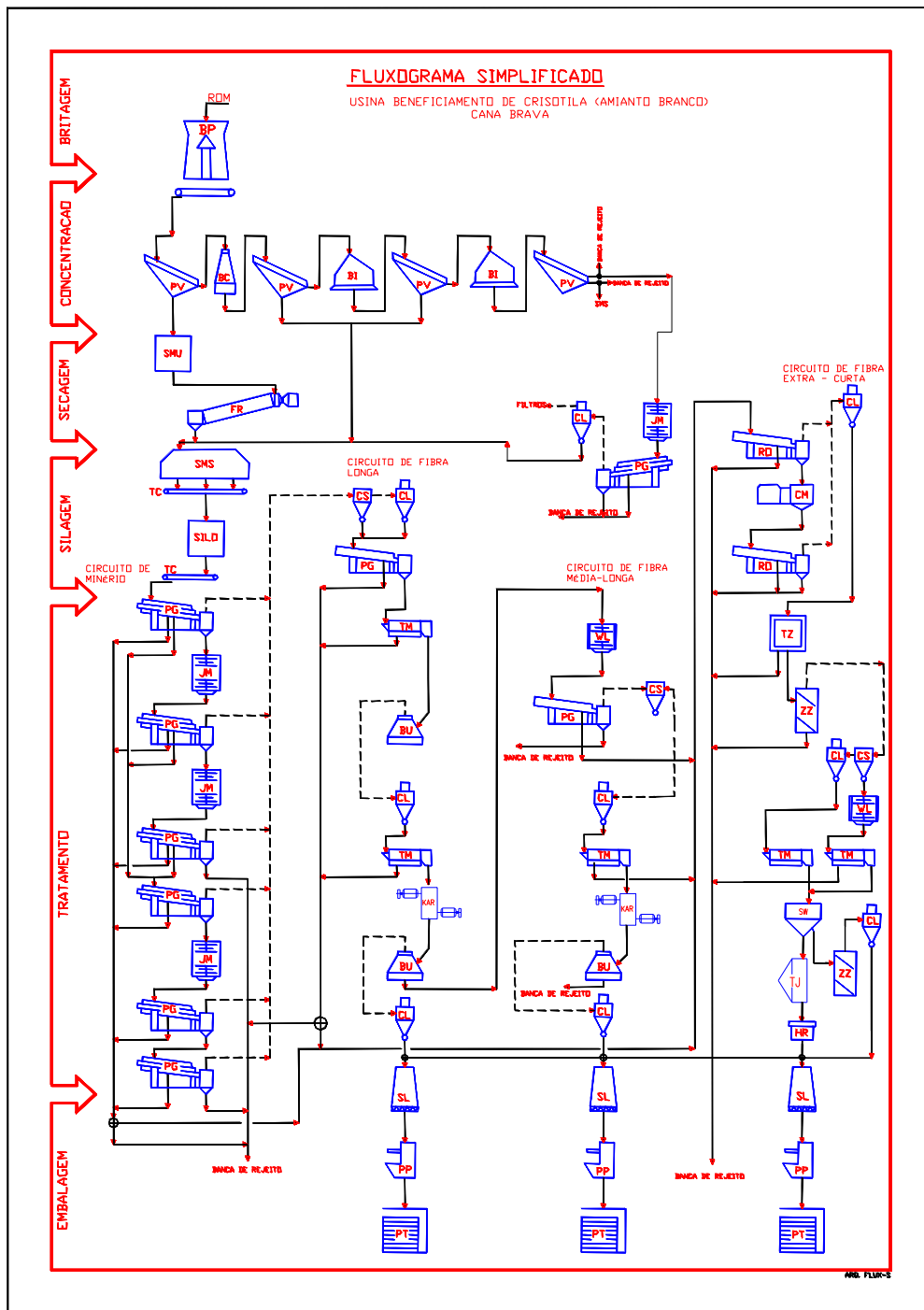


Figura 5 – Usina de Beneficiamento de Crisotila (amianto branco) Cana Brava.

Tabela 1 – Características Geológicas, Físicas e Químicas da Fibra Crisotila.

Geológicas		
Rocha hospedeira	Serpentinito	
Ocorrência	Veios ou vênulas em rochas	
Hábito	Fibroso, facilmente desfibrável	
Tipos de fibras	<i>Cross e Slip</i>	
Cor	Verde claro a escuro e verde amarelado	
Brilho	Sedoso	
Comprimento	0,1 a 30mm	
Textura	Macia, altamente flexível e desfibrável	
Dureza	4 na escala de Mohs	

Mineralógicas	
Estrutura cristalina	Fibrosa
Sistema cristalino	Monoclínico
Clivagem	010 perfeita
Propriedade óptica	Biaxial positiva e extinção paralela
Índice de refração	1,51 a 1,55
Crisotila	Clinocrisotila e ortocrisotila
Impurezas presentes	Ferro, níquel, cromo e cálcio

Físicas e Químicas		
Grandezas	Valores	Unidade
Resistência à tração	3.040	MPa
Módulo de Elasticidade Young	1,65 x 10 ⁶	kg/cm ²
Peso Específico	2,4 a 2,6	g/cm ³
Calor Específico	0,266	Kcal/g/°C
Coefficiente de Fricção	0,8	
Decomposição Endotérmica	101 a 139	°C
Decomposição Endotérmica	663 a 680	°C
Decomposição Exotérmica	800 a 812	°C
Temperatura de Fusão	1.450 a 1.500	°C
pH em solução aquosa	9 a 10	
Carga Elétrica Superficial	Positiva	
Superfície Específica	3 a 90	m ² /g
Diâmetro da fibrila	100 a 250	Å
Volume de Resistividade	0,003 a 0,15	MΩcm
Solubilidade em água	Insolúvel	
Odor	Inodoro	

Tabela 2 – Análises Químicas dos Serpentinóis da Mina de Cana Brava.

Composição	Teor
SiO ₂	32,8 a 40,1%
MgO	39,2 a 41,1%
Fe ₂ O ₃	3,2 a 8,5%
FeO	<0,01 a 0,56%
Al ₂ O ₃	0,42 a 0,99%
Cr ₂ O ₃	0,28 a 84%
NiO	0,22 a 0,35%
CaO	<0,11%
S	<0,08%
K ₂ O	<0,05%
P ₂ O ₅	<0,05%
TiO ₂	<0,05%
Na ₂ O	<0,04%
H ₂ O ⁺	12,91 a 15%, 15
H ₂ O ⁻	0,4 a 1,25%
Cu	6 a 363 ppm
Co	66 a 150 ppm
Cl	<20 a 610 ppm
Zn	18 a 25 ppm
V	25 a 61 ppm
Zn	20 a 36 ppm
Pb	24 a 34 ppm
Rb	7 a 11 ppm
Sr	<5 a 8 ppm
MnO	<0,13 ppm

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AMIANTO - ABRA. O Amianto no Brasil. São Paulo: Ebart, 1997, 47 p.
- ASSOCIATION DES MINES D'AMIANTE DU QUÉBEC. Publicação Institucional. Quebec, 16 p.
- AFRICAN ASSOCIATED MINES. Publicação Institucional. Zimbábue, 9 p.
- GIRODO, A. C., PAIXÃO, J. E. Perfil Analítico do Amianto. Rio de Janeiro: DNPM, 1974. boletim nº 2, p. 2 - 5.
- INSTITUTO DEL ASBESTO. El asbesto crisotilo puede salvar vidas! Canadá: Asbestos Institute, 16 p.
- JSC URALASBEST. Publicação Institucional. Rússia, 47 p.
- JSC ORENBURGASBEST. Publicação Institucional. Rússia, 15 p.
- MANN, E. L. Asbestos. Industrial Mineral and Rock. 4ª Edição. 1975. p. 380 - 425.
- NAGAO, M.; FONTANA H. Beneficiamento de Amianto Crisotila. In: 1º Congresso Brasileiro de Mineração, Brasília, 1985.
- OLIVEIRA, M. C. B. Caracterização Tecnológica do Minério de Crisotila da Mina de Cana Brava. Tese de Doutorado no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo - USP. São Paulo: 1996. 250 p.
- PAMPLONA, R. I., IANHEZ, A. C., RIBEIRO, D. T. Aspectos Geológicos da Mina de Cana Brava e Fluxograma de Beneficiamento do Amianto Crisotila. Relatório Interno. SAMA, 1986. p. 25 - 45.
- SAMA. Relatório de Pesquisa. Minaçu: SAMA, Circulação Interna, 1965.
- _____. Atualização das Reservas e do Plano de Aproveitamento Econômico da Mina de Cana Brava. Divisão de Planejamento e Controle Industrial. Minaçu: SAMA, Circulação Interna, 1997.
- _____. Planejamento de lavra de Longo Prazo da SAMA. Divisão de Planejamento e Controle Industrial. Minaçu: SAMA, Circulação Interna, 1997. vol. 9.

_____. Plano de Bom Aproveitamento. Divisão de Planejamento e Controle Industrial. Minaçu: SAMA, Circulação Interna, 2000. vol. 4.

_____. Informativos diversos e relatórios de produção e vendas. Minaçu, 2006.

SELIKOFF, J. I. e LEE, D. H. K. *Asbestos and Disease*. New York: Academic Press, 1978. p. 34 - 50.

SCLIAR, C. Amianto: Mineral Mágico ou Maldito? *Ecologia Humana e Disputa Política- Econômica*. Belo Horizonte: CDI, 1998. 152 p.

ZUCCHEATTI, R. A. M. Crisotila Brasileira como Suporte de Catalizadores: Aplicação na Oxidação de Álcoois com Radiação de Microondas. Instituto de Química - UNICAMP. Tese de Doutorado. Campinas: 1998. p. 1 - 9.