

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, Sílvia 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 Sílvia 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 Sílvia 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 40

Zirconita

Luiz Carlos Bertolino¹

Nely Palermo²

João Alves Sampaio³

Silvia Cristina Alves França⁴

1. INTRODUÇÃO

O mineral zirconita, também comumente chamado de zircão, é um ortossilicato tetragonal de zircônio ($ZrSiO_4$) com composição aproximada de 67,2% de ZrO_2 e 32,8% de SiO_2 . Pode conter Hf, Fe, Ca, Na e Mn, entre outros elementos. A quantidade de Hf usualmente varia de 1 a 4%, mais raramente foram encontrados teores de até 24% de HfO_2 , sendo denominado de hafnã (Klein e Hurlbut, 1993). O zircônio e o háfnio são encontrados na zirconita na proporção de 50:1 e é muito difícil separá-los. A origem do nome *Zirconita* é muito antiga e provavelmente é derivada das palavras árabes *zar*, ouro e *gun*, cor.

Quando puro, esse mineral é transparente e bem cristalizado e possui valor comercial como gema. Com contaminantes, as cores variam entre amarelo, laranja, vermelho, azul, marrom e verde. variedades utilizadas como gemas recebem vários nomes, sendo o jargão a variedade de zirconita incolor, ligeiramente amarelo-avermelhado, enquanto o jacinto é o tipo laranja ou castanho-avermelhado (Deer *et al.*, 1981 e Schumann, 1985).

A zirconita ocorre, em geral, associada a rochas ígneas, como granito, granodiorito, monzonito, sienito e nefelina-sienito, sendo menos frequente nas rochas metamórficas, como gnaisses e xistos. Como a zirconita é um mineral de relativa estabilidade química e resistência à erosão, é freqüentemente encontrada nos sedimentos (Klein e Hurlbut, 1993; Sabedot e Sampaio, 2002).

¹Geólogo, D.Sc. Professor Adjunto da UERJ.

²Geóloga, D.Sc. Professora Adjunta da UERJ.

³Eng^o de Minas/UFPE, D.Sc. em Engenharia Metalúrgica/COPPE-UFRJ, Tecnologista Sênior do CETEM/MCT.

⁴Eng^a Química/UFS, D.Sc. em Engenharia Química/COPPE-UFRJ, Tecnologista do CETEM/MCT.

Devido às suas propriedades físico-químicas e à ocorrência de U e Th, a zirconita é um dos minerais mais importantes nas investigações geocronológicas de rochas ígneas e metamórficas. A zirconita é resistente a processos metamórficos e tectônicos, mas sua estrutura interna sofre um processo de alteração denominado metamitização, resultante da substituição do Zr por U e Th (Garnar, 1994; Sabedot e Sampaio, 2002). Esse processo provoca um intenso dano estrutural, resultado da colisão entre os átomos da rede cristalina do mineral, ficando gravados os eventos pelos quais a rocha hospedeira passou (Nasdala *et al.*, 1996).

Os depósitos de zirconita estão, em geral, associados aos minerais pesados de titânio, como a ilmenita (FeTiO_3) e o rutilo (TiO_2), e de estanho (cassiterita, SnO_2). Podem ser divididos em primários e secundários. Os depósitos primários relacionados à rocha parental são do tipo: depósitos de segregação magmática (ex.: Mina de Pitinga, Amazonas), relacionados a intrusivas alcalinas (ex.: Minas de Tapira, Salitre e Catalão, em Goiás) e associados a metamorfismo de contato. Os depósitos secundários são do tipo *placer*, desenvolvidos por concentração mecânica durante o Cenozóico, em drenagens no interior e ao longo do litoral (Dardenne e Schobbenhaus, 2001). São encontrados em depósitos associados a cordões litorâneos (ex.: Mina de Mataraca, Paraíba), depósitos marinhos, depósitos de aluviões e paleoaluviões.

O minério de zirconita é a principal fonte do metal zircônio, que também é encontrado na baddeleyta (96,5 a 98,5% de óxido de zircônio) e no caldasito ou zirkita (mistura de óxido e silicato de zircônio). Devido às suas propriedades físico-químicas como alta dureza (D 7,5), elevado índice de refração, elevado ponto de fusão (1.500°C), baixa expansão térmica, resistência ao ataque de escórias ácidas, ao choque térmico e ao desgaste pelo atrito, a zirconita é utilizada em diferentes segmentos da indústria.

O zircônio é um metal resistente ao ataque ácido, porém pode se dissolver com ácido fluorídrico concentrado e água-régia, formando complexos com os fluoretos.

2. PRINCIPAIS APLICAÇÕES DA ZIRCONITA E DO METAL ZIRCÔNIO

A zirconita é um mineral funcional com várias aplicações na indústria, principalmente nos setores de fundição, cerâmica e como refratário (Garnar, 1994; Sabedot e Sampaio, 2002). A seguir são relacionados os principais usos da zirconita:

- | | |
|---|---------------------------------------|
| (i) tintas de faceamento para fornos e moldes; | (ii) confecção de moldes de fundição; |
| (iii) abrasivo nas indústrias de vidro, tintas e soldas; | (iv) refratários à base de zircônio; |
| (v) opacificante para cerâmica industrial e louças; | (vi) isoladores térmicos e elétricos; |
| (vii) pigmentos para esmalte porcelanizado; | (viii) cimento refratário; |
| (ix) tijolo para fornos de alumínio, vidro, entre outros. | |

O metal zircônio é utilizado principalmente como revestimento de reatores nucleares, devido à sua baixa captura de nêutrons. Também é usado na fabricação de ziralloy, liga usada para encapsular combustível nuclear. Devido às características de alta absorção de nêutrons, o háfnio não pode estar presente no zircônio utilizado nos reatores nucleares.

O zircônio também é utilizado como aditivo em aços, obtendo-se materiais muito resistentes, e em ligas com o níquel na indústria química, devido à sua resistência diante de substâncias corrosivas. Além disso, o zircônio serve como trocador de calor, em tubos de vácuo e filamentos de lâmpadas e como agente incendiário para fins militares.

As ligas de zircônio com nióbio possuem supercondutividade a baixas temperaturas, podendo ser empregadas para construir imãs supercondutores. Por outro lado, a liga com zinco é magnética a temperaturas abaixo de 308°C (35 K).

O óxido de zircônio impuro é empregado na produção de utensílios de laboratório que suportam mudanças bruscas de temperaturas, revestimentos de fornos e como material refratário em indústrias cerâmicas e de vidro. Também

tem utilização em joalheria, como gema artificial denominada zirconita que imita o diamante.

É usado, na indústria química, como anticorrosivo, para remover oxigênio de válvulas eletrônicas, em ligas de aço, em lâmpadas de flash, em explosivos etc. Nitreto de zircônio (ZrN) é usado em substituição ao nitreto de titânio no revestimento de brocas. O óxido impuro é empregado como refratário na indústria de cerâmica e vidro e em cadinhos de laboratório (http://www.msps.eng.br/quim1/quim1_040.asp#hist).

3. PROPRIEDADES CRISTALOGRÁFICAS DA ZIRCONITA

O mineral zirconita é cristalizado em prismas quadráticos, possui uma clivagem pobre, dureza variando entre 6,5 e 7,5, densidade relativa de 3,9 a 4,86 e brilho adamantino (Klein e Hurlbut, 1993).

Na estrutura da zirconita, cada átomo de silício está rodeado por um grupo tetraédrico de quatro átomos de oxigênio, a uma distância de 1,61 Å, enquanto cada átomo de zircônio fica entre quatro átomos de oxigênio, a distância de 2,15 Å e de outros quatro à distância de 2,29 Å. As dimensões da malha são $a \cong 56,60$, $c \cong 5,98$ Å; $Z = 4$ (Deer *et al*, 1981).

As propriedades óticas e o peso específico da zirconita podem variar devido à existência do íon ferro e de elementos semelhantes que ocorrem na estrutura do mineral. Outras modificações também podem ocorrer com o grau de alteração ou metamização. A metamização está associada aos defeitos na estrutura do mineral, devido ao bombardeamento radioativo causado pela existência de alguns elementos na estrutura do mineral, principalmente, pelo urânio e tório.

A zirconita é facilmente identificada na lupa binocular pelo seu hábito prismático, pela sua cor, brilho, dureza e alto peso específico. Distingue-se da baddeleyta principalmente pelo hábito tabular ou fibroso desta última.

4. ZIRCONITA NO MUNDO

O zircônio não é encontrado na natureza como metal livre, porém forma numerosos minerais. A principal fonte de zircônio é proveniente da zirconita ($ZrSiO_4$), que se encontra em depósitos na Austrália, África do Sul, Ucrânia, Estados Unidos, Brasil, China e Índia.

As maiores reservas de zirconita estão localizadas na Austrália e na África do Sul, sendo estes países os principais produtores (Tabela 1). A Austrália detém cerca de 42,3% das reservas mundiais de zirconita e, em 2006, produziu 480 mil toneladas, ou seja, 52,5% da produção mundial (DNPM, 2007).

Tabela 1 - Distribuição das principais reserva de zirconita (DNPM, 2006 e 2007).

PAÍSES	R1		R2		
	2006 ^(p)	%	2005 ^(r)	2006 ^(p)	%
Brasil	3.669	5,17%	25,5	26,5	2,90%
África do Sul	14.000	19,73%	305	310	33,90%
Austrália	30.000	42,27%	445	480	52,50%
China	3.700	5,21%	17	20	2,20%
EUA	5.700	8,03%
Índia	3.800	5,35%	20	20	2,20%
Ucrânia	6.000	8,45%	35	37	4,10%
Outros países	4.100	5,78%	20	20	2,20%
Total	70.969	100,00%	867,5	913,5	100,00%
R1 - Reservas (10^3 t) (medidas e indicadas em metal contido de ZrO) R2 - Produção (10^3 t) (concentrado de zircônio)					

Fonte: DNPM/DIDEM para dados referentes ao Brasil; *Mineral Commodity Summaries 2007* (USGS) para dados referentes aos demais países; (r) revisado; (p) dados preliminares; (...) dado não disponível.

5. ZIRCONITA NO BRASIL

As reservas brasileiras de zircônio são representadas pela zirconita (zircão) e pelo caldasito. O caldasito é um material composto de 75% de zirconita e cerca de 25% de óxido de zircônio (baddeleyita) (Schobbenhaus e Santana, 1997).

Os depósitos de zirconita no Brasil representam 5,17% do total das reservas mundiais. As reservas brasileiras oficialmente reconhecidas pelo DNPM somam 2.023.071.239 t (medida) e estão distribuídas pelos seguintes estados (Tabela 2).

Tabela 2 – Distribuição das reservas de zirconita no Brasil, em 2005 (DNPM, 2006).

Estado	Reservas medidas (t ZrSiO ₄)	%	Estado	Reservas medidas (t ZrSiO ₄)	%
Amazonas	1.877.848	47,7	Paraíba	160.742	4,08
Bahia	77.813	2	Rio de Janeiro	18.017	0,45
Minas Gerais	1.802.320	45,7	Espírito Santo	50.131*	-

Obs.: *reserva medida de minério.

A produção brasileira de concentrado de zirconita é feita, principalmente, pela empresa Millenium Chemicals do Brasil S.A., no município de Mataraca, PB. Há um projeto no estado do Tocantins, em fase de implantação pela empresa MITO - Mineração Tocantins Ltda, para produção deste bem mineral, cujo início está previsto para 2008, com reserva inferida de 64 mil toneladas de minério contido. No estado do Rio de Janeiro, município de São Francisco de Itabapoana, há, também, produção de zirconita pelas Indústrias Nucleares do Brasil S.A. – INB, porém em fase de exaustão.

O zircônio produzido no Brasil é utilizado principalmente na fabricação de produtos cerâmicos, pisos e revestimentos. O estado de São Paulo é o maior consumidor desse produto.

A dependência do mercado externo aumentou, em termos de valor, as importações em relação a 2005, resultando num montante de US\$FOB 30.002 milhões (FOB - *Free on board*). A importação de bens primários atingiu US\$FOB

16.733 milhões e volume em torno de 20,8 mil toneladas. O restante dividiu-se entre compostos químicos e manufaturados (DNPM, 2007).

Descrição dos Principais Depósitos Brasileiros

Ocorrências e/ou depósitos de zirconita no Brasil são do tipo *placer* marinho e/ou depósitos primários associados a rochas alcalinas e granitos. Destacam-se os depósitos de *placer* de praia na margem costeira, desde o litoral do estado do Rio de Janeiro até o Rio Grande do Norte. Em geral, são depósitos de areias ilmeno-monazíticas, com rutilo e zirconita associados a sedimentos de praia e nos campos de dunas litorâneas. Encontram-se, também, depósitos nos estados do Amazonas (Presidente Figueiredo), Minas Gerais (Caldas, Pouso Alegre, São Gonçalo do Sapucaí, Silvianópolis, Poços de Caldas) e Tocantins.

O depósito de Ti-Zr de Mataraca, no litoral da Paraíba, limite com o Rio Grande do Norte, é o maior do tipo *placer* marinho em fase de exploração no Brasil. As reservas são da ordem de 2,7 milhões de toneladas de minerais pesados, sendo 81,54% de ilmenita, 2,4% de rutilo e 16,06% de zirconita. As maiores concentrações são encontradas nos campos de dunas, onde os teores médios dos minerais pesados nas areias variam de 3,3 a 5% (Caúla e Dantas, 1997). As especificações do concentrado de zirconita da Mataraca, explorado pela empresa Millennium, encontra-se discriminado abaixo (Tabela 3).

Tabela 3 – Especificações do concentrado de zirconita da Millennium (Sampaio *et al.*, 2001).

Compostos	Teor (%)	Compostos	Teor (%)
ZrO ₂ (inclusive HfO ₂)	66,00	P ₂ O ₅	0,10
Fe ₂ O ₃	0,11	Nb ₂ O ₅	<0,10
TiO ₂	0,06	MnO	<0,05
SiO ₂	32,00	CaO	<0,10
Al ₂ O ₃	0,80	MgO	<0,50
SiO ₂ livre	0,05	-	-

A zirconita do minério laterítico da Mina do Pitinga, no norte do estado do Amazonas, ocorre associada à cassiterita, da qual é obtida como subproduto. A zirconita ali produzida ainda não é comercializado devido à presença de elevados teores de UO₂ e ThO₂.

A mineralogia da zirconita da mina do Pitinga revela que o mineral possui prismas de até 0,5 cm de diâmetro, com terminações piramidais, de coloração cinzenta, creme a castanho. Dados termo gravimétricos mostram que este mineral perde 8,66% de seu peso entre 30 e 180°C, sendo esta diferença de peso atribuída à presença de H₂O e/ou OH.

Com base na relação Zr/Hf x Hf é possível classificar as zirconitas da Mina do Pitinga como derivados de rochas plutônicas félsicas e, portanto, com a fácies álcali-granito porfirítico e a fácies albita granito pegmatóide (Horbe *et al.*, 1999).

As ocorrências de zirconita nos municípios de Peixe e Paranã, no estado de Goiás, encontram-se relacionadas às intrusivas alcalinas e graníticas como depósitos coluvionares e eluvionares originados por processos de concentração residual (Svisero *et al.*, 1982). O minério é constituído por solo argiloso de coloração creme avermelhada, no qual estão dispersos zirconita, coríndum, titanita, magnetita, ilmenita e, raramente, pirocloro e granada. A zirconita ocorre em dimensões variadas, e coloração variando de marrom, vermelha a incolor, em cristais idiomorfos. As análises químicas indicam a existência de impurezas como Ti, Hf, U, Th, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Cu, Na e P (Svisero *et al.*, 1982). O minério é utilizado na preparação de ligas metálicas do tipo Fe-Si-Zr, assim como, o minério de zirconita da jazida de Poços de Caldas, Minas Gerais (Pumputis e Lamdin, 1988).

Lavra e Beneficiamento

Serão apresentados nesta seção dois exemplos de usinas de beneficiamento de minerais pesados, *Millenium Inorganic Chemicals* e INB – Indústrias Nucleares Brasileiras. A zirconita é um dos subprodutos do processo de beneficiamento da ilmenita e rutilo (Sampaio *et al.*, 2001).

a) Millenium

A lavra é geralmente feita a céu aberto e o desmonte do material é feito por meio de tratores de esteira (Sampaio *et al.*, 2001). O minério proveniente da mina por correias transportadoras é, então, alimentado na usina de beneficiamento. Na primeira etapa do processo, o minério passa por um peneiramento a úmido, utilizando-se peneiras vibratórias de abertura 2,5 x 2,5 mm. O *oversize* é constituído por material orgânico e areia de granulometria mais grossa, que pode ser utilizada como aterro de estradas. O *undersize*, com granulometria abaixo de 2,5 mm, forma uma polpa, que é condicionada em tanque, a uma percentagem de sólidos na faixa de 55 a 60%. Essa polpa é bombeada para uma bateria de cones

Reichter, com dimensões de 73,8 x 2000 mm, a qual é dividida em etapas desbastadora (*rougher*) e de limpeza (*cleaner*) primária e secundária.

O concentrado resultante da etapa de limpeza alimenta um classificador hidráulico (AKW), de onde a fração grossa segue para a separação magnética e o material fino segue para reprocessamento em espirais concentradoras (AKW e MULTOTEC). Os rejeitos das espirais primárias e secundárias retornam aos cones *Richter* de primeira e segunda limpezas, respectivamente. O concentrado das espirais junta-se à fração grossa do classificador, seguindo para a etapa de separação magnética a úmido, realizada em separadores *Jones*, modelo DP180, os quais operam com intensidade de campo de 15.000 G.

A fração não-magnética, rica em zirconita, rutilo e cianita, alimenta o circuito de concentração em mesas vibratórias, denominado de via úmida zirconita.

A fração magnética é rica em ilmenita (cerca de 98%) e contém mais de 50% de TiO_2 . Esse material segue para as etapas de filtração e secagem e está pronto para alimentar a etapa de separação eletrostática. A separação eletrostática tem por finalidade separar a ilmenita (mineral condutor), que é o produto final dessa etapa do beneficiamento, dos minerais não-condutores.

b) INB – Indústrias Nucleares Brasileiras

A lavra a céu aberto consiste na remoção do capeamento, desmonte, exploração, transporte do minério.

Circuito de Zirconita

No circuito de purificação da zirconita a fração não-condutora do circuito do rutilo e a não-magnética do circuito da monazita alimentam, inicialmente, um separador eletrostático de placas, SEP, (Figuras 1 e 2). A fração condutora retorna ao circuito do rutilo. Os mistos são reciclados no próprio separador de placas. A fração não-condutora segue para separação magnética de rolo induzido de dois estágios. A fração magnética do primeiro estágio (SMRI2) alimenta o segundo estágio de separação magnética (SMRI3). A fração magnética do segundo estágio alimenta o circuito da monazita.

Uma bateria de cinco mesas vibratórias a seco (MV4) processa as frações não-magnéticas dos dois estágios de separação magnética. Os mistos das mesas seguem para uma quinta mesa vibratória a seco (MV5), cujos mistos retornam às

mesas do estágio anterior. As frações leves dos dois estágios de concentração em mesa constituem o rejeito final; as frações pesadas representam o produto final, zirconita, com a seguinte especificação: 64% de $(Zr+Hf)O_2$, 0,15% de Fe_2O_3 (máx.) e 0,7% de TiO_2 (máx.).

As Figuras 1 e 2 ilustram os fluxogramas do processo de obtenção da zirconita na INB, Buena-RJ.

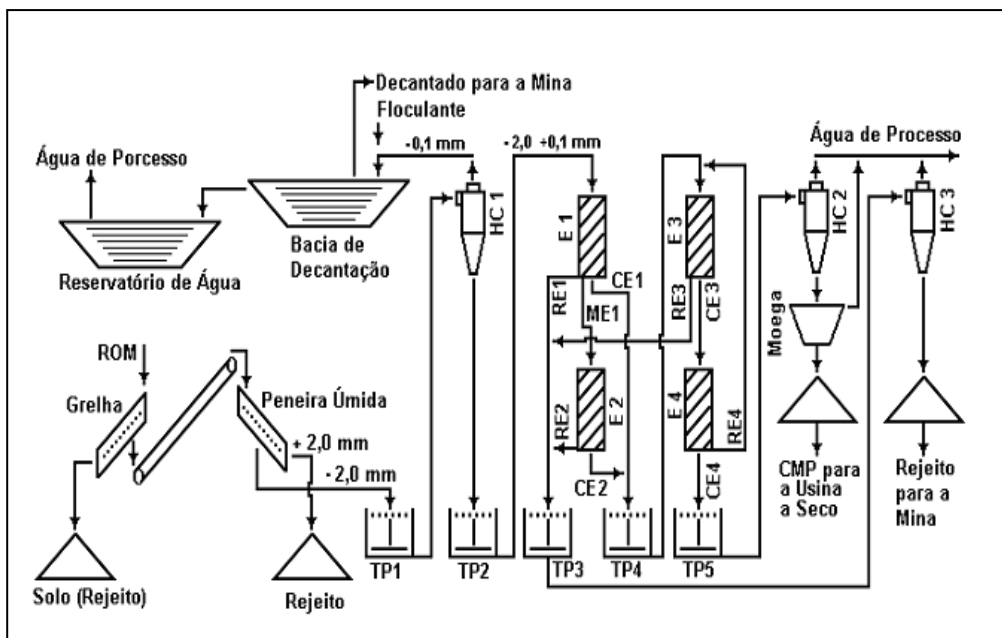


Figura 1 – Fluxograma da unidade de beneficiamento hidrogravítico da INB, Buena-RJ (Sampaio *et al.*, 2001).

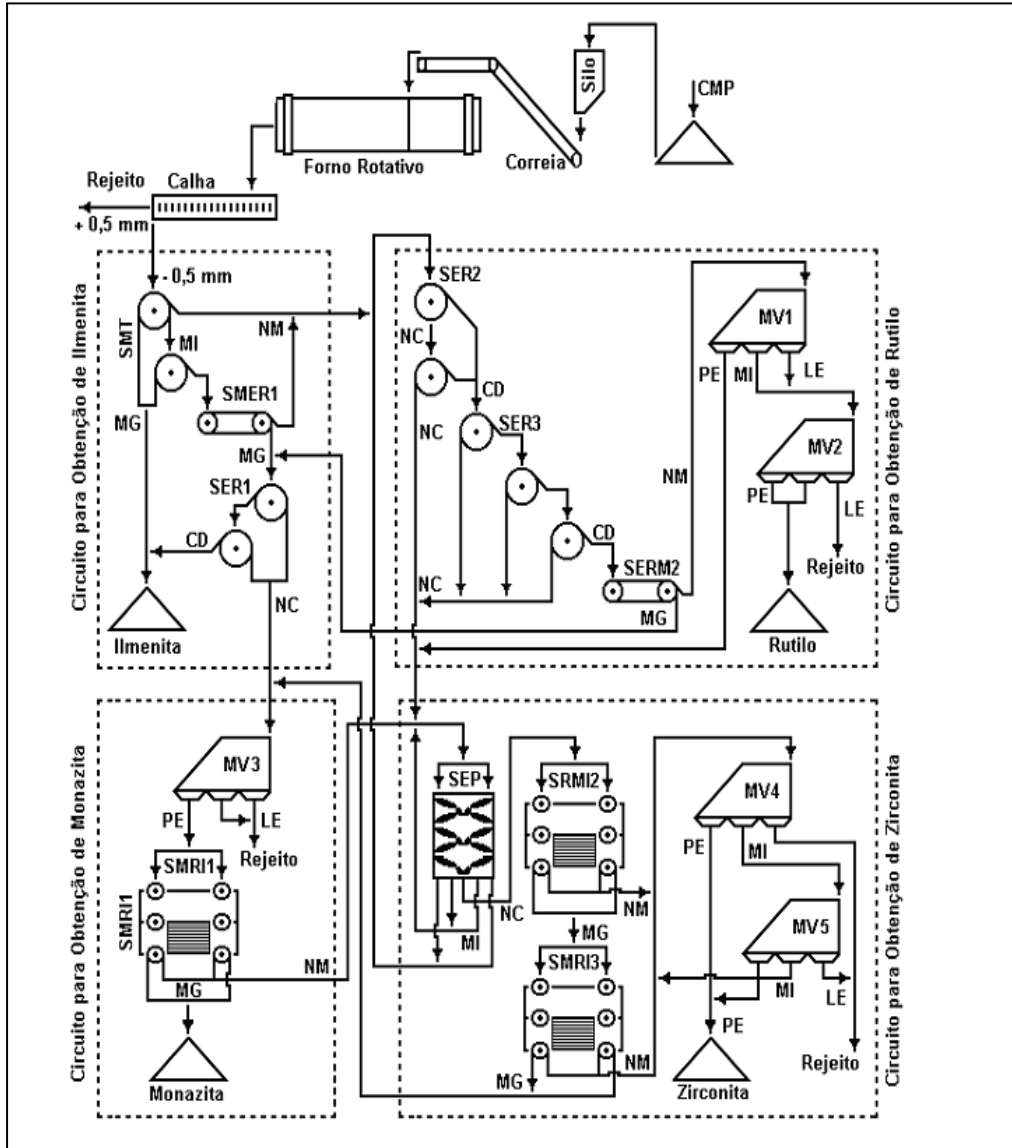


Figura 2 – Fluxograma da unidade de beneficiamento a seco da INB, Buena-RJ (Sampaio *et al.*, 2001).

6. ESPECIFICAÇÕES PARA USOS INDUSTRIAIS

A classificação comercial do minério de zirconita está relacionada à concentração de impurezas, tais como Fe_2O_3 e TiO_2 . Ele pode ser classificado como *premium*, intermediário e *standard* (Tabela 4). Na Tabela 5 são apresentadas as suas especificações.

Tabela 4 – Classificação do minério de zirconita (Skillen, 1993).

Tipo de material	Teores (%)		
	$\text{ZrO}_2 + \text{HfO}_2$	TiO_2	Fe_2O_3
“Premium”	66,0	0,10	0,05
Intermediário	65,5	0,03	0,10
“Standard”	65,0	0,25	0,12

Tabela 5 – Especificações típicas da zirconita (Garnar, 1994)

Óxidos	Teores (%)	Óxidos	Teores (%)
$\text{ZrO}_2 + \text{HfO}_2$	65-66 (min)	TiO_2	0,10-0,35 (máx)
Fe_2O_3	0,02-0,010 (máx)	Al_2O_3	0,20-2,00 (máx.)

7. OBTENÇÃO DO METAL ZIRCÔNIO

O metal é obtido segundo vários estágios de extração, principalmente, da cloração redutiva por meio do processo denominado Kroll. Primeiro se prepara o cloreto para depois reduzi-lo com magnésio em atmosfera. Num processo semi-industrial, pode-se realizar a eletrólise de sais fundidos, obtendo-se o zircônio em pó, que pode ser utilizado, posteriormente, em processos metalúrgicos.

Para a obtenção do metal com maior pureza, segue-se o processo Van Arkel, baseado na dissociação do iodeto de zircônio, obtendo-se uma esponja de zircônio metálico denominada *crystal-bar*. Tanto neste caso como no anterior, a esponja obtida é fundida para se obter o lingote.

8. MINERAIS E MATERIAIS ALTERNATIVOS

Na indústria de fundição, a zirconita pode ser substituída pela cromita ou olivina. Já no revestimento de painéis para aço na siderurgia, a zirconita pode ser substituída pela alumina silício. Nos pigmentos para tinta, pode ser substituída pelo óxido de estanho (Schobbenhaus e Santana, 1997). Com limitações, a columbita, a tantalita e o aço inoxidável podem substituir as ligas de zircônio em aplicações nucleares. O zircônio pode ser reciclado com base em sucata gerada durante a produção e a fabricação do metal (DNPM, 2007).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAÚLA, J. A. L. e DANTAS, J. R. A. (1997). Depósito de titânio/zircônio de Mataraca, Paraíba. In: Principais Depósitos Minerais do Brasil, vol. IV, Parte C, Brasília, p. 593-598.
- DARDENNE, M. A. e SCHOBENHAUS, C. (2001). Metalogênese do Brasil. Editora Universidade de Brasília, 329p.
- DEER, W. A., HOWIE, R. A. e ZUSSMAN, J. (1981). Minerais constituintes das rochas – uma introdução. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. 559p.
- DNPM (2006). Anuário Mineral Brasileiro, Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília, MME. www.dnpm.gov.br.
- DNPM (2007). Sumário Mineral, Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília, MME. www.dnpm.gov.br.
- GARNAR, T. E. (1994). Zirconium and hafnium minerals. In: *Industrial Minerals and Rocks*. Indiana. Donald D. Carr Editor. 6th Edition, 1159-11-65.
- HORBE, A. M. C.; COSTA, M. L. da; ROSSI, A.; BIGGI, S.; COSTI, H. T.; OLIVEIRA, T. S. e SIGHNOLFI, G. P. (1999). Caracterização cristalóquímica do zircão do minério laterítico da mina do Pitinga, Amazonas. V Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, Porto Seguro, p. 264-266.
- KLEIN, C. e HURLBUT Jr., C. S. (1993). *Manual of Mineralogy*. 21st ed. John Wiley & Sons, 681 p.

- NASDALA *et al.*, (DEVEM CONSTAR TODOS OS OUTROS NOMES). (1996). Heterogeneous metamictization of zircon on a microscale. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 60, n. 6, p. 1091-1097.
- PUMPUTIS, A. e LANDIM, P.M.B. (1988). Análise geoestatística de uma jazida de zircão em Poços de Caldas (MG). 3º Simpósio de Quantificação em Geociências, Rio Claro, p.92.
- SABEDOT, S. e SAMPAIO, C. H. (2002). Caracterização de zircões da Mina Guaju (PB). *Rev. Esc. Minas*, vol 55, nº 1, UFOP.
- SAMPAIO, J. A.; LUZ, A. B.; ALCANTERA, R. M. e ARAÚJO, L. S. (2001). Minerais pesados Millennium. In: Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil. CETEM/MCT. Rio de Janeiro. p. 231-239.
- SCHOBENHAUS, C. e SANTANA, P. R. (1997). Geologia do Zircônio. In: SCHOBENHAUS, C *et al.* Principais Depósitos Minerais do Brasil, vol. IV, Parte C, Brasília. p. 585-592
- SCHUMANN, W. (1985). Gemas do mundo. 3 ed. Ao Livro Técnico. Rio de Janeiro. 254p.
- SKILLEN, A. (1993). Zirconium minerals: Seeking solace in ceramics. In: SKILLEN A.D. E GRIFFITHS, J. B. *Raw Materials for the Glass & Ceramics Industries*. 2nd Edition, p. 81-85.
- SVISERO, D. P.; SOUZA, I. M. e IWANUCH, W. (1982). Contribuição ao conhecimento do zircão dos municípios de Peixe e Paraná, Goiás. 32º Congresso Brasileiro de Geologia, Boletim de Resumos, p. 35.

http://www.mspc.eng.br/quim1/quim1_040.asp#hist.