









NIÓBIO



Cristal octaédrico de pirocloro, 3,6 x 3,2 x 1,8 cm (Rússia). Foto: Rob Lavinsky & iRocks.com. Acesso em 13/7/2018

Hildor José Seer

CEFET-MG/Unidade Araxá, hildorseer@cefetmg.br

Lucia Castanheira de Moraes

CEFET-MG/Unidade Araxá 2013luciam@gmail.com

SUMÁRIO

1. ASPECTOS GERAIS	1
2. MINERALOGIA	5
3. APLICAÇÕES	7
4. GEOLOGIA	
4.1. Complexos Carbonatíticos de Minas Gerais	14
5. ASPECTOS ECONÔMICOS	
5.1. Produção Interna	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

1. ASPECTOS GERAIS

O nióbio foi oficialmente reconhecido como um elemento químico em 1949. Seu nome deriva, na mitologia grega, de Niobe, a filha do rei Tântalo. Esses dois elementos ocorrem intimamente associados e são de difícil distinção por terem propriedades químicas e físicas similares. Na verdade, o nióbio foi descoberto em 1801 pelo químico inglês Charles Hatchett que deu a ele o nome de Colúmbio. Mas a semelhança entre os dois elementos levou o químico William Hyde Wollaston a concluir que se tratava de uma só substância e, então, de 1809 a 1846 assim foram considerados. Os estudos de Heinrich Rose, também químico, permitiram concluir que havia, sim, outro elemento associado ao tântalo e que foi chamado de nióbio. Somente em 1865 ficou claro que nióbio era o mesmo colúmbio descoberto por Hatchett.

Além de ser o mais leve dos metais refratários, é considerado hoje um metal estratégico por suas propriedades de resistência quando submetido a alta temperatura e a corrosão e pelo fato de que a adição de 200 gramas a 1.000 gramas do metal a uma tonelada de ferro serem suficientes para mudar as propriedades do aço radicalmente para melhor, tornando-o mais leve e, portanto, mais eficiente do ponto de vista energético. Outra vantagem é sua elevada temperatura de fusão (2468 °C), que lhe faculta ser utilizado em ligas empregadas em aplicações de alta temperatura. Igualmente significativo é o fato de o nióbio desenvolver propriedades supercondutoras quando submetido a temperaturas inferiores a -264°C. Essas características fizeram dele um metal conhecido por ser "uma solução em busca de problemas"!

Dados de 2013 (Pereira Junior 2014) mostram que as reservas de nióbio se concentram no Brasil, Canadá (províncias de Quebec e Ontário), Austrália (província da Austrália Ocidental), Egito, República Democrática do Congo, Groenlândia (território pertencente à Dinamarca), Rússia (Sibéria, República da Yakútia), Finlândia, Gabão, Tanzânia, em ordem decrescente de volume. No Brasil, que é o maior produtor mundial, a reserva lavrável distribui-se entre os estados de Minas Gerais (Figura 1, Tabela 1), Amazonas, Goiás, Rondônia e Paraíba. Em Araxá, MG, a reserva lavrável alcança a cifra de 395,6 Mt de minério de pirocloro [(Na,Ca)₂Nb₂O₆(OH,F)]. Em Tapira, MG, soma-se 113 Mt de minério de pirocloro. Já no estado de Goiás, destaca-se Catalão (110,5 Mt de minério de pirocloro), enquanto no Amazonas a reserva lavrável de Pitinga conta com 165,3 Mt de minério columbita-tantalita [(Fe,Mn)(Nb,Ta)₂O₆], seguido de Rondônia (44,7 Mt minério columbita-tantalita) (Figura 2). Os teores variam em média de 0,23% a 2,34% de Nb₂O₅ contido. As reservas de pirocloro acham-se inseridas em corpos de carbonatito, enquanto aquelas de columbita-tantalita encontram-se em pegmatitos associados a granitos rapakivi.

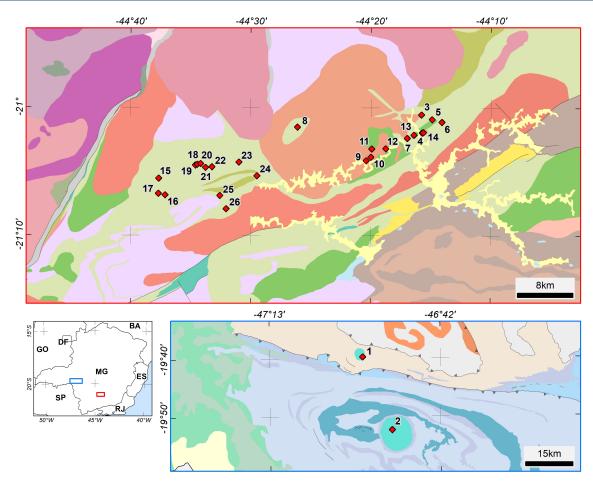


Figura 1. Principais ocorrências de nióbio no estado de Minas Gerais. A numeração se refere aos itens da Tabela 1. Mapa geológico modificado de Pinto & Silva 2014.

Tabela 1. Principais ocorrências de nióbio no estado de Minas Gerais (localizadas nos mapas da Figura 1).

	Tabela 1 . Principais ocorrências de nióbio no estado de Minas Gerais (localizadas nos mapas da Fig					
		Descrição	Toponímia	Município	Latitude	Longitude
	1	Jazida des. no manto de intemperismo a partir de dolomita carbonatito e foscorito ricos em Bapirocloro na porção central do Comp. Carb. de Araxá - área 1800m de diâmetro. Maior reserva mundial de Ni com 461,75Mt -média 5% Nb2O5 até 8% localmente.	Barreiro	Araxá	-19,665833	-48,935
	2	A jazida de Nióbio desenvolveu-se no manto de intemperismo a partir de carbonatito em profundidade superior a 200m, com teor médio de 0,9% de Nb2O5, podendo alcançar até 5% em alguns pontos. As reservas atingem 113 Mt de minério de Nióbio.	Distrito-sede Distrito sede Tapira	Tapira	-19,873333	-46,846667
	3	Ocorrências de Columbita associada a Cassiterita e Tantalita em corpos pegmatíticos.	Resende Costa	Resende Costa	-21,009167	-44,263056
	4	Ocorrências de Columbita associada a Cassiterita e Tantalita em corpos pegmatíticos.	Distrito-sede Coronel Xavier Chaves	Coronel Xavier Chaves	-21,032778	-44,261944
	5	Ocorrências de Columbita associada a Cassiterita e Tantalita em corpos pegmatíticos.	Distrito-sede Coronel Xavier Chaves	Coronel Xavier Chaves	-21,015278	-44,248056
	6	Ocorrências de Columbita associada a Cassiterita e Tantalita em corpos pegmatíticos.	Distrito-sede Coronel Xavier Chaves	Coronel Xavier Chaves	-21,018889	-44,234722
7	7	Ocorrências de Columbita associada a Cassiterita e Tantalita em corpos pegmatíticos.	Distrito-sede Ritápolis	Ritápolis	-21,039722	-44,282778
	8	Ocorrências de Columbita associada a Cassiterita e Tantalita em corpos pegmatíticos.	Distrito-sede Ritápolis	Ritápolis	-21,025556	-44,435278
9	9	Ocorrências de Columbita associada a Cassiterita e Tantalita em corpos pegmatíticos.	Distrito-sede Ritápolis	Ritápolis	-21,069167	-44,339722
	10	Ocorrências de Columbita associada a Cassiterita, Tantalita e Lítio em corpos pegmatíticos.	Distrito-sede Ritápolis	Ritápolis	-21,064444	-44,333056

	Descrição	Toponímia	Município	Latitude	Longitude
13	Cassiterita e Tantalita em corpos pegmatíticos.	Distrito-sede Ritápolis	Ritápolis	-21,053611	-44,331944
12	Cassiterita e Tantalita em corpos pegmatíticos.	Distrito-sede Ritápolis	Ritápolis	-21,053333	-44,3125
13	Ocorrências de Columbita associada a Cassiterita e Tantalita em corpos pegmatíticos.	Distrito-sede Ritápolis	Ritápolis	-21,035556	-44,273333
14	Cassiterita e Tantalita em corpos pegmatíticos.	Distrito-sede Coronel Xavier Chaves	Coronel Xavier Chaves	-21,032222	-44,260556
1!	Ocorrências de Columbita associada a Cassiterita e Tantalita em corpos pegmatíticos.	Distrito-sede Nazareno	Nazareno	-21,0925	-44,627778
10	Cassiterita e Tantalita em corpos pegmatíticos.	Distrito-sede Nazareno	Nazareno	-21,114167	-44,618889
17	Cassiterita e Tantalita em corpos pegmatíticos.	Distrito-sede Nazareno	Nazareno	-21,112222	-44,628333
18	Ocorrências de Columbita associada a Cassiterita, Tantalita e Lítio em corpos pegmatíticos.	Distrito Mercês de Água Limpa	São Tiago	-21,074167	-44,574167
19	Ocorrências de Columbita associada a Cassiterita e Tantalita em corpos pegmatíticos.	Distrito Mercês de Água Limpa	São Tiago	-21,075278	-44,576667
20	Ocorrências de Columbita associada a Cassiterita e Tantalita em corpos pegmatíticos.	Distrito Mercês de Água Limpa	São Tiago	-21,073333	-44,569444
2:	Ocorrências de Columbita associada a Cassiterita e Tantalita em corpos pegmatíticos.	Distrito Mercês de Água Limpa	São Tiago	-21,078333	-44,562778
22	Ocorrências de Columbita associada a Cassiterita e Tantalita em corpos pegmatíticos.	Distrito Mercês de Água Limpa	São Tiago	-21,0775	-44,553889
23	Ocorrências de Columbita associada a Cassiterita e Tantalita em corpos pegmatíticos.	Distrito Mercês de Água Limpa	São Tiago	-21,071389	-44,516389
24	Ocorrências de Columbita associada a Cassiterita e Tantalita em corpos pegmatíticos.	Distrito-sede Conceição da Barra de Minas	Conceição da Barra de Minas	-21,089167	-44,491389
2!	Ocorrências de Columbita associada a Cassiterita e Tantalita em corpos pegmatíticos.	Distrito-sede Conceição da Barra de Minas	Conceição da Barra de Minas	-21,115	-44,542778
20	Ocorrências de Columbita associada a Cassiterita e Tantalita em corpos pegmatíticos.	Distrito-sede Conceição da Barra de Minas	Conceição da Barra de Minas	-21,132222	-44,534167

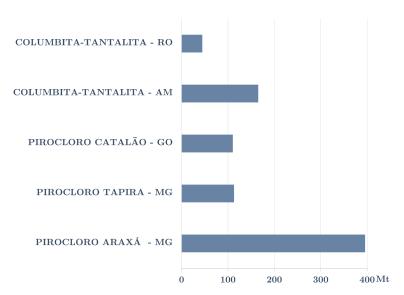


Figura 2. Principais reservas de minério de Nióbio do Brasil, (Fonte: IBRAM 2012).

A produção mundial é dominada pelo Brasil, que responde por algo como 98% do total, divididos essencialmente entre a Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (responsável por 80% do total, em Araxá) e a Mineração Catalão, em Goiás. No Brasil, o nióbio é produzido na forma de concentrado de pirocloro, de liga ferro-nióbio e nióbio metálico, mas somente os dois últimos são exportados. O volume de vendas é suficiente

para que esse metal ocupe lugar de destaque na pauta de exportação mineral, entre os 10 mais importantes (Figura 3).

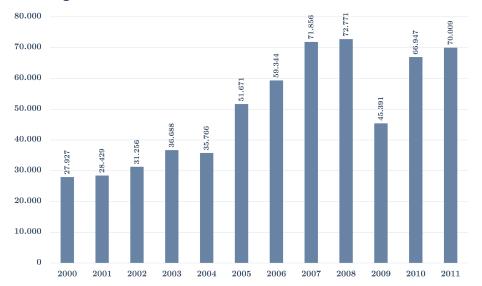


Figura 3. Exportação de nióbio, em toneladas, entre 2000 e 2011, de acordo com IBRAM (2012).

2. MINERALOGIA

Já foram descritas mais de 90 espécies minerais de nióbio e tântalo na natureza, sendo a maioria delas muito rara como, por exemplo, o grupo da fergusonita (óxido de nióbio que pode ser enriquecido em ítrio, neodímio ou césio), e o grupo da stibiocolumbita (óxido de nióbio e tântalo com antimônio ou bismuto). Os minerais mais comuns são a **columbitatantalita** (Fe,Mn)(Nb,Ta)₂O₆, com teor máximo de 76% de Nb₂O₅; o **pirocloro** (Na₂,Ca)₂(Nb,Ti)(O,F)₇, com teor máximo de 71% de Nb₂O₅ e a **loparita** (Ce,Na,Ca)₂(Ti,Nb)₂O₆, com teor máximo de 20% de Nb₂O₅ (Figura 4).O **bariopirocloro**, (Ba,Sr)₂(Nb,Ti)₂(O,OH)₇, descrito por Hogarth em 1977 e aprovado pelo IMA – International Mineralogical Association – neste mesmo ano, não é mais considerado uma espécie desde 2010; hoje é definido como uma variedade do pirocloro rica em bário e estrôncio. A **pandaíta** (Ba,Sr)₂(Nb,Ti,Ta)₂ (O,OH,F)₇ já foi considerada um mineral de nióbio, mas hoje é não mais que um sinônimo para bariopirocloro, de acordo com Mindat (2017).

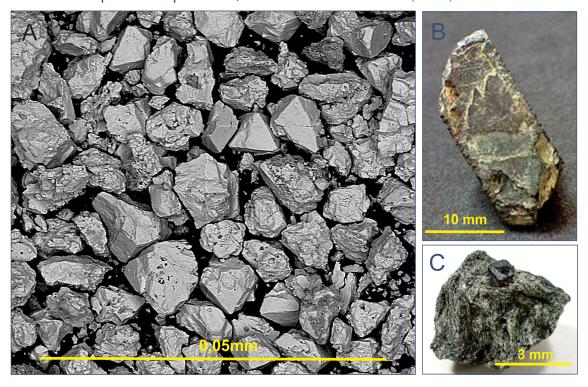


Figura 4. A) Concentrado de pirocloro do Complexo Alcalino-Carbonatítico de Araxá (Issa Filho *et al.* 2001); B) Columbita-tantalita (2,5 X 1 cm) do Zimbabwe (foto de Maria Vidal); C) Cristal maclado de Loparita (6 mm) do Maciço de **Khibiny**, Península de Kola (foto de Rob Lavinsky & iRock.com 2010. Acesso em 13/7/2018).

O **Pirocloro** (Figura 4A) é um mineral da classe dos óxidos, isométrico, de hábito octaédrico, que apresenta dureza relativa de 5 a 5,5 e densidade relativa de 4,5 g/cm³, com cores que variam de preto, castanho avermelhado a amarelado e verde. Seu nome vem do grego pyr - "fogo" e chloros - "verde". O pirocloro caracteristicamente se decompõe em H₂SO₄. A variedade bariopirocloro possui dureza variando entre 4,5 e 5, densidade entre 3,85 e 4,15 g/cm³, brilho resinoso e cor variando entre verde acinzentado a amarelado, com teor máximo de 67% de Nb₂O₅.

A **Columbita-Tantalita** (Figura 4B) pertence à classe dos óxidos e forma uma série isomórfica na qual o tântalo e o nióbio se substituem em todas as proporções, estando

presente em pegmatitos de granito e aluviões. É um mineral ortorrômbico, que possui dureza 6, densidade relativa variável de 5,2 a 8,1 g/cm³ (tanto maior quanto maior é a porcentagem de tântalo), brilho metálico e cor negro acastanhado, negro do chumbo ou do ferro. Apresenta clivagem perfeita e traço vermelho escuro.

Já o mineral **Loparita** (Figura 4C) foi descrito na Península de Kola e originalmente considerado como uma variedade de Knopita rica em álcalis. De fato, é um mineral da classe dos óxidos, rico em nióbio, cério, sódio e cálcio. É granular a quebradiço, preto a cinzento acastanhado, com brilho metálico a submetálico, densidade 4,77g/cm³ e dureza entre 5,5 e 6,0, que cristaliza no sistema isométrico.

3. APLICAÇÕES

As características do nióbio fazem dele um elemento químico precioso, que cada vez mais encontra espaço na indústria, em especial naquela de ponta. Pertence ao grupo dos metais de transição, é cinza, brilhante, tendendo ao azul quando em contato com o ar. De baixa dureza, possui densidade alta (8,57 g/cm³) e temperatura de fusão 2.468°C. É capaz de conduzir corrente elétrica livre de resistência em grandes densidades, o que favorece campos e forças magnéticas que tornam possíveis as aplicações práticas em áreas distintas como de transporte e de diagnóstico médico. Apresenta, ainda, propriedades supercondutoras de temperatura e eletricidade quando em temperaturas abaixo de -264°C e é resistente à corrosão, além de ser um metal dúctil. Com essas características, as principais aplicações do nióbio são (CBMM 2017a, Wikipédia 2017; Figura 5):

- Na forma de liga com o ferro, já que aumenta a resistência do aço, mantendo sua maleabilidade característica;
 - Indústria automotiva um carro mais leve, mas ainda assim mais resistente à colisão é obtido com a adição de 300 g de nióbio ao aço. Essa liga é capaz de reduzir o peso final de um carro médio em 200 kg, "possibilitando economia de um litro de combustível a cada 200 km rodados" (CBMM 2017a). Tem a vantagem extra de emitir menos CO₂ (na produção de aço e na queima de combustível por quilômetro rodado);
 - Aços estruturais a utilização de matéria mais leve permite redução de custo na construção, por economia de tempo e de matéria prima na comparação com edificações tradicionais à base de concreto e aços comuns. Ambientalmente é positivo, pois menos aço utilizado resulta em menos CO₂ emitido. A adição de nióbio reduz a porcentagem de carbono no aço melhorando sua capacidade de soldabilidade; ganham os projetos de infraestrutura que fazem uso de arquitetura funcional e artística, já que exigem maleabilidade, resistência e uso de solda. Também atende às exigências legais quanto a terremotos e incêndios. Exemplo dessas estruturas são as torres eólicas e de transmissão, os trilhos e rodas ferroviários, construção de navios e plataformas marítimas de petróleo, pontes, edifícios, aeroportos;
 - Indústria de dutos de transporte as características de soldabilidade, capacidade de conformação mecânica e tenacidade permitem a fabricação de estruturas com paredes mais finas e diâmetros maiores, sem perda de segurança, apropriadas para a construção de gasodutos e oleodutos, de modo que mais petróleo e gás sejam transportados a um preço menor por unidade de transporte. Aços com apenas 0,11% de Nb são ideais em áreas de climas extremos como a Sibéria, já que garantem maior segurança;
 - Aços inoxidáveis a aplicação de nióbio aos aços inoxidáveis torna-os resistentes a altas temperaturas e, portanto, adequados para serem utilizados em sistemas de exaustão de alta eficiência catalítica, que podem atingir 950°C. Ambientalmente, representa redução de emissão de gases de efeito estufa por veículos. A associação

entre nióbio e aço inoxidável ferrítico também tem sido empregada em aquecedores solares, placas e vigas para construção de tetos e fachadas e encanamentos de água;

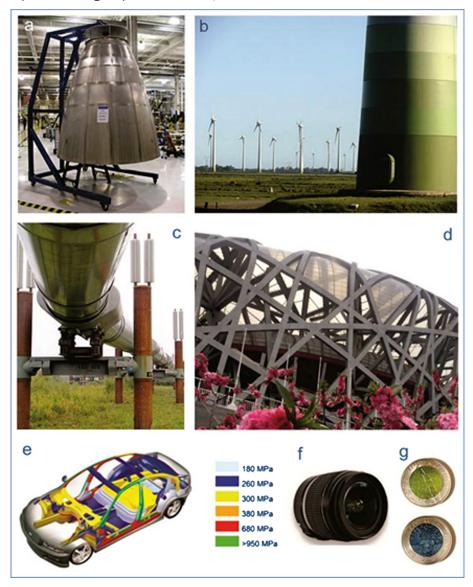


Figura 5. Exemplos de equipamentos que utilizam Nb em suas estruturas; **a)** bocal do motor Merlin, no foguete lançador Falcon 9 (Foto: StackExchange Acesso em 19/12/2017); b) Parque Eólico de Osório em janeiro de 2007. (Foto: Eduardo Fonseca); c) oleoduto no Alaska. (Foto: Derek Ramsey); d) Estádio ninho de pássaro, China. (Foto: Christine Marote Acesso em 19/12/2017); e) Ilustração gráfica de diferentes tipos de aço utilizados em um veículo de passageiros. As cores refletem a resistência do aço (em unidades de megapascal; CBMM Acesso em 19/12/2017); f) lentes mais finas, com índice de refração mais elevado que as convencionais e, portanto, mais precisas (CBMM Acesso em 19/12/2017); g) moedas coloridas de Euro, comemorativas para eventos diversos (Foto: Wikiwand Acesso em 19/12/2017).

Superligas

 A resistência a temperaturas elevadas faz com que ligas com nióbio sejam ideais na fabricação de turbinas de produção de energia ou de aviões. Nesse caso, as chamadas superligas grau vácuo são fundamentais e, em 1961, a Wah Chang Corporation criou a 89Nb-10Hf-1Ti, utilizada na fabricação das turbinas. A liga citada foi também utilizada nos motores do Módulo Lunar Apollo. Nesses casos a peça ganha um revestimento para evitar que se torne quebradiça, já que o nióbio é oxidado em temperaturas de 400°C;

- A superliga utilizada nos sistemas de purificação de ar do programa Gemini, da NASA, é formada com cerca de 50% de Ni, 18,6% de Cr, 18,5% Fe, 5% de Nb, 3,1% Mo, 0,9% de Ti, e 0,4% de Al. Mas as superligas podem ser geradas a partir da liga ferro-nióbio ou níquel-nióbio ou, ainda, do nióbio metálico.

Imãs supercondutores

- As propriedades de supercondutividade fazem do nióbio metálico um componente essencial na composição de equipamentos como ressonância magnética de geração de imagens para diagnósticos médicos. Os compostos de nióbio-germânio (Nb₃Ge), nióbio-escândio e as ligas de nióbio-titânio são utilizados como tipos de semicondutores II, como fios de ímãs supercondutores. O scanner da máquina de imagens por ressonância magnética e de ressonância magnética nuclear fazem uso desses imãs supercondutores. Os aceleradores de partículas de alta energia fazem uso de nióbio metálico em temperaturas criogênicas pela mesma razão. O Grande Colisor de Hádrons é um exemplo, utilizando 600 toneladas de cordões supercondutores de Nb3Sn e cerca de 250 toneladas de cordões supercondutores de NbTi;
- Para detectar radiação eletromagnética usa-se microbolômetros à base de nitrito de nióbio em função de sua alta sensibilidade de semicondutor. São utilizados na astronomia para estudar a radiação cósmica de fundo e estão presentes em vários telescópios. Mas também estão presentes em câmeras de visão noturna, em satélites monitores do clima e de focos de incêndio e em detectores de câncer de pele;
- Semicondutores com nióbio em estado nativo são utilizados nas cavidades dos aparelhos de radiofrequência dos lasers de elétrons livres nas pesquisas do FLASH (Free-Electron Laser in Hamburg) e da European XFEL (X-ray free-electron laser).

Outras aplicações não siderúrgicas

- A adição de Nb₂O₅ ao vidro permite obter lentes mais finas e leves que as lentes comuns e ainda melhora sua precisão, já que aumenta seu índice de refração;
- Também é utilizado na fabricação de vidros e cerâmicas especiais empregadas em equipamentos como receptores de televisão e sensores de pH;
- Outra aplicação é na fabricação de catalizadores químicos para a oxidação seletiva de propano em ácido acrílico;
- As propriedades ferromagnéticas do niobato de lítio são aproveitadas na produção de telefones celulares, nos moduladores ópticos e na fabricação de aparelhos de superfície de ondas acústicas. O composto é considerado uma alternativa mais econômica para o desenvolvimento de capacitores, apesar da predominância dos capacitores de tântalo;
- A indústria nuclear faz uso de componentes com nióbio em virtude de suas características de baixa captura de nêutrons termais;

- Em razão de suas características hipoalergênicas e inércia fisiológica, o nióbio tem sido aplicado na indústria médica. Por exemplo, associado ao hidróxido de sódio forma uma camada porosa utilizada nos tratamentos de osseointegração. Também está presente em marca passo;
- O mercado de produção de joias tem feito uso do nióbio, não só pelas características citadas no item anterior como pela possibilidade de resultar em diversas colorações através do processo de anodização. Nesse caso, as ligas são com o titânio, o tântalo e o alumínio. As cores podem ser amarelo, castanho, violeta, roxo, verde e azul;
- Na confecção de moedas comemorativas que podem ser coloridas em associação com prata ou ouro. Por exemplo, a Áustria produziu uma série de moedas coloridas de €25 em ouro e nióbio e prata e nióbio para a comemoração dos 150 anos de inauguração da via férrea de Semmering.

4. GEOLOGIA

Os minerais de nióbio ocorrem basicamente em dois ambientes geológicos. O primeiro e mais importante são os complexos carbonatíticos que, no Brasil, estão presentes em cinco Províncias Alcalino-Carbonatíticas, a saber: Amazônica, Alto Araguaia, Alto Paranaíba, Sudeste e Sul (Figuras 6 e 7). O segundo ambiente é aquele relacionado aos pegmatitos associados a magma granítico.

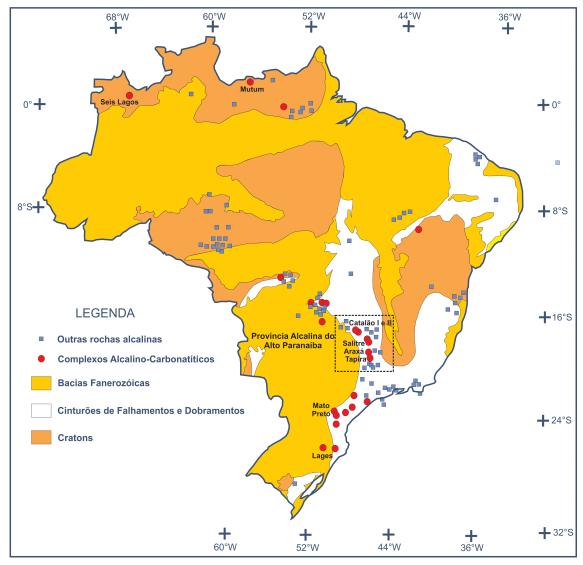


Figura 6. Principais ocorrências de rochas ígneas alcalinas no território brasileiro, com destaque para os complexos alcalino-carbonatíticos e localização da Província Ígnea Alcalina do Alto Paranaíba, apresentada na Figura 5. Modificado de Ribeiro *et al.* (2014).

De acordo com Rodrigues & Lima (1984), 21 complexos carbonatíticos são reconhecidos no Brasil, todos localizados em zonas marginais de áreas cratônicas. Ainda que o complexo alcalino-carbonatítico de Mutum (PA), seja de idade pré-Cambriana e os de Mato Preto (PR) e Lages (SC) sejam cenozoicos, todos os demais apresentam idade mesozoica. Compartilham, ainda, distribuição geográfica marcada por importante controle tectônico, anomalias aerogeofísicas marcantes e geralmente com valores radiométricos e magnetométricos coincidentes (em especial na região do Alto Paranaíba), manto de intemperismo muito profundo, presença de fraturas radiais e anelares (que podem ser

preenchidas por diques) estrutura dômica, com fenitização e arqueamento das encaixantes (que favorece a presença de drenagem em padrão anelo-radial) e uma variação litológica expressiva de caráter básico/ultrabásico alcalino. O conhecimento atual indica uma predominância de carbonatitos calcíticos sobre os demais, ainda que sejam conhecidos três complexos ferrocarbonatíticos, ricos em siderita e ankerita (Lages, Seis Lagos e Caiapó) e alguns possuam quantidades dominantes de dolomita sobre calcita (como o de Araxá).

As mineralizações são caracteristicamente supergênicas e podem ser assim resumidas: **Nióbio** em Araxá e Tapira (MG), Catalão I e II (GO) e Seis Lagos (AM); **Fosfato** em Araxá, Tapira, Salitre I e II (MG), Jacupiranga, Juquiá e Ipanema (SP), Anitápolis (SC) e Catalão I (GO); **Titânio** em Tapira, Salitre I e II e Serra Negra (MG), Catalão I (GO); **Terras Raras** em Araxá, Tapira, Catalão I, Caiapó (GO), Itanhaém e Itapirapuá (SP/PR), Mato Preto (PR) e Seis Lagos (AM). Também são reportadas mineralizações de vermiculita, magnetita, barita, bauxita, fluorita e níquel. Em Jacupiranga, ao contrário de todos os demais complexos carbonatíticos, a lavra é realizada em rocha fresca.

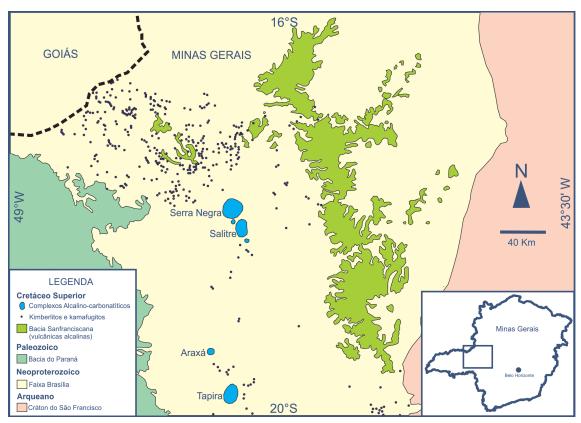


Figura 7. Província Ígnea Alcalina do Alto Paranaíba no estado de Minas Gerais, de idade neocretácica. Ver localização na Figura 6. Modificado de Oliveira *et al.* (2004).

O nióbio associado a magmas graníticos não tem importância econômica no Brasil, dada a grandiosidade das reservas do Complexo Carbonatítico de Araxá. Somente uma parcela ínfima sai como subproduto da mineração de tântalo, especialmente ligada a pláceres, nas explotações de columbo-tantalita da Província Estanífera do Amazonas e de Rondônia, segundo dados oficiais (Pereira Junior 2014). No Amazonas, a reserva lavrável de Pitinga conta com 165,3 Mt de minério columbita-tantalita [(Fe,Mn)(Nb,Ta)₂O₆]. Em Rondônia, com 44,7 Mt de minério columbita-tantalita, os teores variam em média de 0,23%

a 2,34% de Nb₂O₅ contido. Extraoficialmente também há produção em Minas Gerais, Bahia, Rio Grande do Norte e Ceará (Tabela 2, Figuras 8 e 9).

Tabela 2. Mineral minério por estado produtor, produção beneficiada de Nb₂O₅ em 2015, e o teor médio, de acordo com Pinheiro *et al.* (2016).

Substância	Quantidade (ROM)	Min. Contido	Teor Médio Nb₂O₅
MG - Pirocloro	132.501 t	71.453 t	53,93%
GO - Pirocloro	20.208 t	10.578 t	52,35%
AM - Columbita Tantalita	16.815 t	1.681 t	10,00%
RO - Columbita Tantalita	5.160 t	477 t	9,24%
TOTAL	174.683 t	84.189 t	48,20%

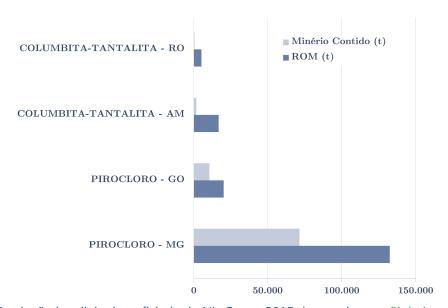


Figura 8. Produção brasileira beneficiada de Nb₂O₅ em 2015 de acordo com Pinheiro *et al.* (2016).

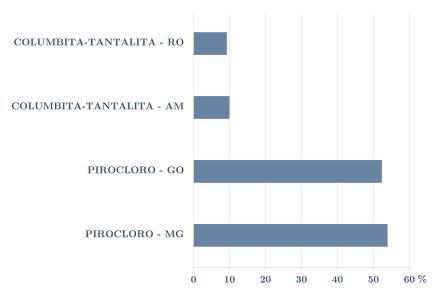


Figura 9. Teor médio dos principais minérios brasileiros de Nb₂O₅ de acordo com Pinheiro *et al.* (2016).

4.1. Complexos Carbonatíticos de Minas Gerais

Os complexos alcalino-carbonatíticos de Minas Gerais situam-se na Província Ígnea do Alto Paranaíba (Almeida 1983), no oeste de Minas Gerais (Figura 7). Os corpos possuem

áreas variáveis entre 15 km² e 65 km², forma circular a ovalada e são intrusivos em rochas metamórficas neoproterozoicas da Faixa Brasília. São denominados Serra Negra, Salitre I, II e III, Araxá e Tapira.

Do ponto de vista genético, estão associados a magmatismo alcalino ultrapotássico, compostos por proporções variáveis de rochas das séries de diferenciação bebedourítica, foscorítica e carbonatítica. A evolução dessas rochas parte de magmas primitivos de afinidade kamafugítica sob ação, em proporções distintas, de imiscibilidade de líquidos e/ou cristalização fracionada (Brod *et al.* 2004).

Na série bebedourítica produzem-se rochas por cristalização fracionada de um magma silicático ultrapotássico, que resultam em proporções variadas de olivina, clinopiroxênio, apatita, perowskita, magnetita e flogopita. Ainda de acordo com Brod *et al.* (2004), especialmente nos complexos de Tapira e Salitre estão presentes feições de acamamento magmático, com intercalações de bebedourito, apatitito, magnetitito ou perovskitito. Nos termos finais de diferenciação dessa série, podem ocorrer sienitos. Brod *et al.* (2004) propõem um sistema de classificação petrográfico modal para essa série, até então inexistente.

Sendo rico em fluidos e de alta temperatura, sua instalação na crosta terrestre gera intensa modificação nas rochas encaixantes, em um processo conhecido como fenitização; a rocha derivada é conhecida por fenito.

A diferenciação de magmas fosfáticos – definida por variações modais de apatita, magnetita e olivina – origina a série foscorítica. Foscorito é definido como uma rocha constituída por proporções equivalentes desses minerais além de flogopita e carbonato. Já a série compõe dunitos, apatititos, magnetititos e nelsonitos (apatita + magnetita) e essas variações estão presentes no complexo de Araxá.

A série carbonatítica é definida com base nas proporções modais dos diferentes carbonatos presentes, seguindo a recomendação de Le Maitre *et al.* (2002): calcita carbonatito, dolomita carbonatito e ferro carbonatito.

Na Província Ígnea do Alto Paranaíba flogopititos, no interior dos complexos, e fenitos, nas encaixantes, são produtos de metassomatismo alcalino disseminado.

4.1.1. Complexo de Araxá (ou do Barreiro)

O Complexo Alcalino-Carbonatítico de Araxá, com seus 4,5 km de diâmetro, é um dos mais importantes do mundo, pelos recursos minerais que contém. Situa-se nas imediações da cidade de Araxá, região denominada Barreiro, e se formou entre 77 Ma e 97 Ma atrás. Suas águas minerais já são referenciadas na literatura desde o século 19, mas a mineralização de fosfato foi identificada na década de 1940 e a de nióbio em 1953, ambas pela equipe do geólogo Djalma Guimarães, trabalhando em um projeto do Conselho Nacional de Pesquisas em busca de recursos minerais radioativos no Brasil.

Os carbonatitos são principalmente dolomita carbonatito, com calcita e ankerita subordinadas, além de barita, apatita, magnetita, perovskita, flogopita, pirita, anfibólio sódico, isokita, estroncianita e bariopirocloro. O mapa geológico (Figura 10) mostra o efeito

dos fluidos magmáticos nas rochas encaixantes do complexo, produzindo uma auréola de fenitização – flogopititos, quartzitos fenitizados e xistos fenitizados – que pode alcançar 2,5 km de largura. As rochas originais encontram-se completamente transformadas por lixiviação dos elementos solúveis, por acumulação do ferro na forma de lateritas e por concentração dos minerais resistentes à alteração. Esse processo conduziu à formação dos depósitos minerais e foi tão intenso que o perfil de intemperismo varia de uns poucos metros até 250 metros.

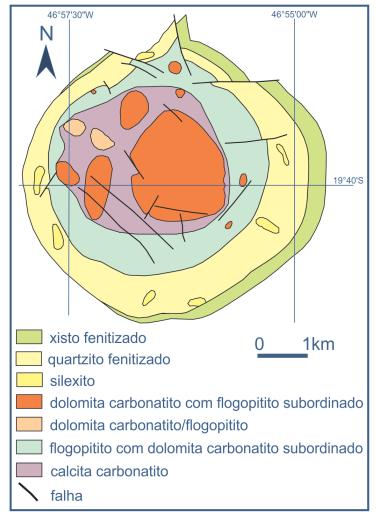


Figura 10. Mapa geológico do Complexo Alcalino-Carbonatítico de Araxá, adaptado de Silva et al. (1979).

A jazida de nióbio desenvolveu-se sobre dolomita carbonatito e foscorito ricos em bariopirocloro, na porção central da estrutura, compondo uma área circular com diâmetro de 1.800 metros. É a maior reserva mundial de nióbio, alcançando 461,75 Mt de minério com 2,5% Nb₂O₅ em média. Localmente, os teores atingem 8% de Nb₂O₅. A Figura 11 ilustra a mina, a empresa e as áreas mineralizadas.

A jazida de fosfato é também significativa, com reservas de 460 Mt de minério, e teor médio de 15,07% P₂O₅, na forma de apatita. As reservas de barita – variando entre veios hidrotermais, minério disseminado e concreções de origem supergênica – somam reservas de 463 Mt de minério com teor médio de 20,67% BaSO₄. Ainda não estão disponíveis os valores das reservas de Terras Raras, mas sabe-se que a presença de veios de silexito ricos em monazita e monazita disseminada é expressiva no Complexo Carbonatítico de Araxá.

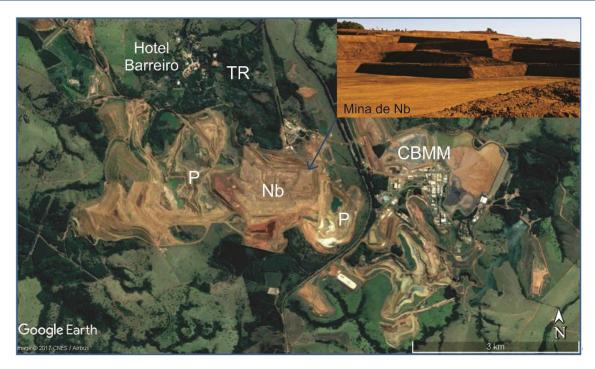


Figura 11. Imagem de satélite (Dados de mapa: Google, GoogeEarth, CNES/Airbus) ilustrando parte da área ocupada pelas minerações de fosfato (P) e nióbio (Nb) no Complexo Alcalino-Carbonatítico de Araxá, com destaque para a CBMM. Na fotografia de detalhe aspecto das bancadas da mina de nióbio da CBMM. A área onde ocorrem reservas de Terras Raras é assinalada com TR (Martins *et al.* 2014). Foto da lavra da CBMM. Disponível em http://http://www.cbmm.com.br/pt/paginas/mine.aspx, acesso em 19/12/2017.

4.1.2. Complexo de Tapira

O Complexo Carbonatítico de Tapira, formado entre 85,6 e 87,2 Ma atrás, situa-se cerca de 30 km a SE de Araxá, nas proximidades da cidade de Tapira. Possui uma área elíptica, de 35 km² (Figura 12), e está intrudido também em quartzitos que, diferentemente do caso acima citado, mostra auréola de fenitização intensa, mas limitada à área de contato. Localmente, é observado desenvolvimento de disjunção colunar nos quartzitos da encaixante. Tem sido minerado para fosfato e titânio desde a década de 1970, mas este último ainda sem aproveitamento comercial.

O avanço da lavra de fosfato na estrutura dômica alcança a rocha fresca em alguns pontos. As litologias presentes são da série bebedourítica e da série carbonatítica. Na primeira, predominam bebedouritos e clinopiroxenitos, com enriquecimento em apatita, magnetita e perovskita, minerais esses que podem formar bandas monominerálicas interpretadas como produtos de cumulados (Brod *et al.* 2004). A mineralogia completa-se com diopsídio, flogopita, melanita e titanita e a textura varia de fina a grossa, localmente pegmatítica. De forma subordinada ocorrem peridotitos e dunitos, além de diques de traquitos e lamprófiros. A fase final de cristalização chegou a formar sienitos, presentes no centro norte da intrusão.

Os carbonatitos se distribuem em cinco corpos e são compostos de 90% de calcita e 10% de minerais acessórios, tais como magnetita, apatita, flogopita e pirocloro. O contato com rochas ultramáficas encaixantes resulta no desenvolvimento de flogopitito

metassomático (flogopita+magnetita+dolomita). Dolomita carbonatitos são restritos a veios tardios.

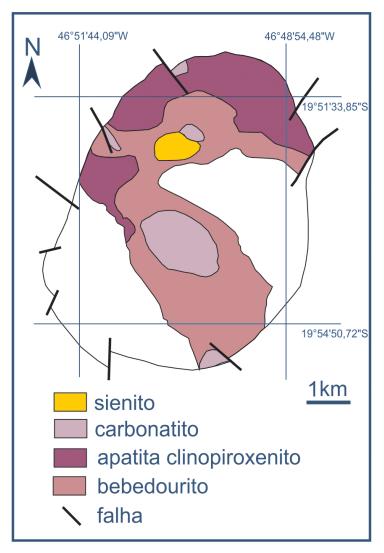


Figura 12. Complexo Alcalino Carbonatítico de Tapira – arcabouço geológico baseado em testemunhos de sondagem (Brod 1999).

A alteração generalizada, que afetou as rochas do complexo, provocou o desenvolvimento de um manto de intemperismo com espessura superior a cem metros, com concentrações de titânio, fosfato, nióbio, terras raras, ferro e vermiculita. Nele se observa, do topo para a base, a seguinte zonação (Figura 13): i) Zona estéril, de cor castanho-avermelhada, enriquecida em óxidos/hidróxidos de ferro, e argilas, com menos de 5% P₂O₅ e de 15% TiO₂; ii) Zona mineralizada em titânio, de cor esverdeada, contendo mais de 15% TiO₂ e mais de 5% P₂O₅, fazendo a transição entre a zona rica em titânio e a zona rica em fosfato; iii) Zona mineralizada em fosfato, com menos de 15% TiO₂, e com mais de 5% P₂O₅.

A mineralização de nióbio desenvolveu-se no manto de intemperismo do carbonatito, em profundidade superior a 200 metros e possui teor médio de 0,9%Nb₂O₅, podendo atingir, em alguns pontos, concentrações da ordem de 5% (Figura 13). Ao pirocloro associam-se anomalias de cério e lantânio e, em menor grau, titânio e fosfato. As reservas calculadas atingem 113 Mt de minério de nióbio.

Atualmente, só o fosfato está sendo beneficiado pela Vale, em Tapira.

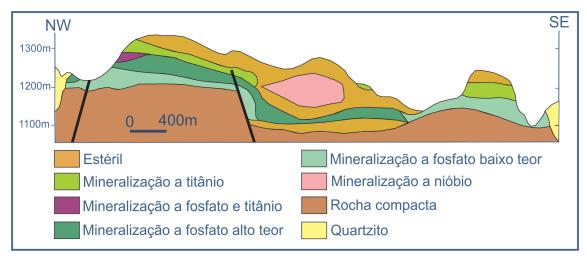


Figura 13. Esboço geológico dos horizontes mineralizados no Complexo Alcalino- Carbonatítico de Tapira, segundo Melo (1997) com destaque para a mineralização de Nióbio em cor rosa.

5. ASPECTOS ECONÔMICOS

5.1. Produção Interna

De acordo com Pereira Junior (2014), duas empresas são responsáveis por praticamente a totalidade da produção de nióbio no Brasil; a Anglo American, em Catalão, Goiás (1,3 Mt/ano de minério de pirocloro – ROM) e a Companhia Brasileira de Metalurgia E Mineração (6 Mt/ano). Além dessas, Pinheiro *et al.* (2016) citam Mineração Taboca S.A. (AM); Metalmig Mineração Indústria e Comércio Ltda. (RO); Coop. Mineradora dos Garimpeiros de Ariquemes Ltda. (RO); Cooperativa De Garimpeiros Mineralcoop (RO); Estanho de Rondônia S.A. (RO) (dados de 2015). Todavia, vale lembrar que a produção de Nb é totalmente subordinada, já que o foco dessas empresas está no estanho e no tântalo.

Na forma de produtos, os resultados para 2013 elevaram o nióbio para o terceiro colocado na pauta de exportação mineral brasileira, atrás apenas do minério de ferro e do ouro. Em 2015, a participação do nióbio no valor da produção mineral comercializada foi de 1%, atrás do ferro, ouro, cobre, alumínio e níquel. A progressão na produção a partir de 1997 é mostrada na Tabela 3 e na Figura 14. O Óxido de Nióbio é um produto exclusivo da CBMM. Entre 1997 e 2000 há pequena oscilação para mais e para menos, mas a partir de 2001 observa-se um salto significativo e persistente até 2009, quando o colapso econômico, provocado pela especulação do mercado, freou os investimentos. A partir de então, a produção se mantém estável, com oscilações ligeiras.

Tabela 3. Histórico da produção brasileira de nióbio. Fontes: DNPM-DIDEM, CPRM/DIRECOM, adaptado de Pereira Júnior (2014).

Ano	Contido no concentrado (em t Nb₂O₅)	Óxido de Nióbio (t)	Contido na liga Fe-Nb (em t Nb)
1997	25.688	1.745	16.681
1998	33.795	2.400	20.516
1999	31.352	1.375	18.866
2000	31.190	1.274	18.218
2001	39.039	2.632	24.864
2002	41.303	2.371	24.174
2003	36.992	2.064	24.875
2004	34.016	2.529	25.169
2005	56.023	3.399	38.819
2006	68.850	4.008	41.566
2007	81.922	2.915	52.442
2008	60.692	3.812	53.839
2009	80.695	3.206	45.406
2013	73.668	6.200	46.555
2015	71.453		

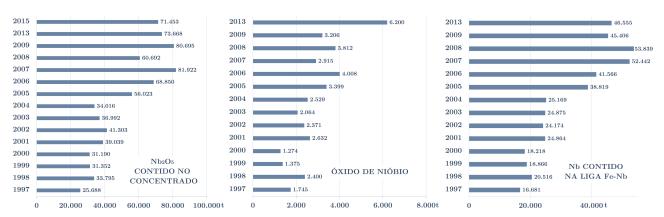


Figura 14. Produção brasileira de nióbio no período 1997-2015. Fontes: DNPM-DIDEM, CPRM/DIRECOM, adaptado de Pereira Júnior (2014).

5.2. Importação

Como o Brasil é autossuficiente para atender a demanda do mercado interno, desde 1993 não importa nióbio. Entretanto, consta no Anuário Mineral Brasileiro (Pinheiro *et al.* 2016, p. 19), com base nos dados fornecidos pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, que o país importou US\$ 192.978 (dólar americano) em 2015.

5.3. Exportação

É significativo ressaltar que o Brasil não exporta minério primário de nióbio (bruto ou concentrado) desde a década de 1970. A busca é por vender sempre produto ao menos semimanufaturado. O carro chefe das exportações é a liga ferro-nióbio, que contém em torno de 64% de nióbio e 31% de ferro, além de silício, manganês, alumínio, tântalo, fósforo, carbono e enxofre, em ordem decrescente. As duas empresas exportadoras de nióbio brasileiro produzem liga Fe-Nb e cerca de 90% da produção de nióbio são empregados na produção dessa liga. Isso significa toda a produção da Anglo American e a maior parte da produção da CBMM. A Figura 15 mostra os valores em toneladas de liga Fe-Nb exportados pelo Brasil entre 2000 e 2012. Outros produtos de nióbio, gerados e exportados pela CBMM, são:

- Óxido de nióbio (subdividido em Alta Pureza, Grau óptico, Hidratado e Oxalato de nióbio e amônio);
- Ligas de nióbio de grau vácuo (Ferro-nióbio grau vácuo e Níquel-nióbio grau vácuo);
- Nióbio Metálico (Nióbio Metálico Grau Reator, Nióbio Metálico Grau Comercial, Nióbio Zircônio).
- Em 2015, o total exportado foi de US\$1.612.528.782 (dólar americano), o que representa em torno de US\$4.243.626,54 de arrecadação em termos de Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM) e 1,02% do total arrecadado para as oito principais substâncias metálicas.

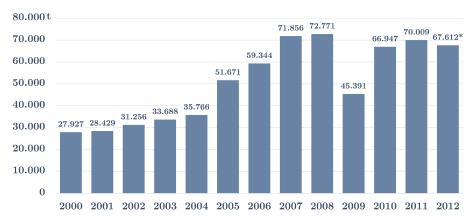


Figura 15. Dados de exportação da liga Fe-Nb (t) pelo Brasil entre os anos de 2000 e 2012 (* até o mês de novembro), segundo IBRAM (2012).

Mais de cinquenta países importam produtos de nióbio do Brasil, sendo os principais compradores China, Cingapura, Japão, Estados Unidos e países da União Europeia, em especial Holanda e Alemanha. O consumo de óxido de nióbio de alta pureza ficou restrito aos EUA (94,2%), Japão (4,4%) e países da União Europeia (1,4%) em 2007, de acordo com Pereira Junior (2009). Em 2015, esse quadro já aparece bastante alterado e a China, juntamente com o Japão, se torna responsável por 16% do total. Os dados disponíveis para a liga Fe-Nb (Figura 16) mostram essa mesma tendência de crescimento do consumo da China, nesse caso em detrimento especialmente do Japão.

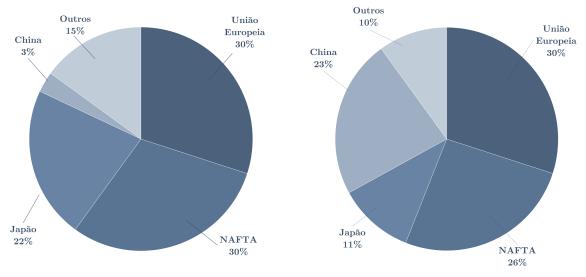


Figura 16. Países consumidores de nióbio do Brasil somam mais que 50 e encontram-se espalhados pelo mundo. Os gráficos ilustram a mudança no padrão de consumo de 1997 a 2008 para a liga Fe-Nb. Dados de Lima (2010).

5.4. Consumo interno

O mercado interno consumiu em torno de 5% da produção da liga Fe-Nb da CBMM em 2007 e superou 9% em 2013, de acordo com Pereira Junior (2014). Os principais estados consumidores, em ordem decrescente (Figura 17), fizeram uso de 96% desse total, a saber: Minas Gerais (52%), com destaque para a região do Vale do Aço (Ipatinga, Timóteo e Coronel Fabriciano); Espírito Santo (20%); São Paulo (15%), Rio de Janeiro (8%) e Rio Grande do Sul (1%).

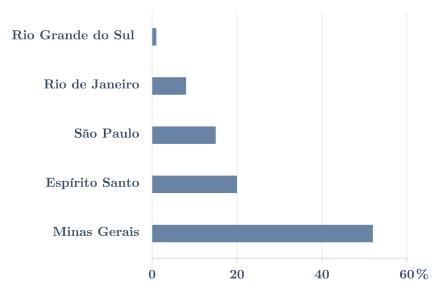


Figura 17. Principais estados brasileiros consumidores de Nióbio no ano de 2013 (Pereira Junior 2014).

5.5. Projetos em andamento e/ou previstos

O nióbio tem sua produção e consumo fortemente relacionados ao desempenho do setor siderúrgico e, indiretamente, aos setores automobilístico, aeroespacial e petrolífero. O domínio do mercado pelo Brasil representa, paradoxalmente, uma vantagem e um desafio; o Brasil tem a chance de ditar produção e preços, porém o nióbio pode ser substituído por elementos como titânio, vanádio e tântalo na composição de superligas. Em adição, nenhum consumidor se sente confortável dependendo de um só fornecedor. O tântalo é o mais próximo em características químicas, mas é mais denso, mais raro e mais caro. Já o titânio é o mais abundante dos quatro. É uma realidade que impõe estar sempre atento ao mercado, buscando novos projetos e opções tecnológicas.

As duas empresas produtoras de nióbio no Brasil têm realizado projetos de expansão de seus parques produtores e trabalhado na ampliação de seu leque de clientes. Também levam vantagem em possuir redes próprias de distribuição.

A Mineração Catalão – que foi passada ao capital chinês em 2017 – criou o projeto Rocha Fresca, que pretende dobrar a produção de nióbio, melhorando o processo de extração e aumentando a vida útil da mina. A previsão em 2014 era de geração de 800 empregos diretos e investimentos de cerca de US\$ 300 milhões. Essa empresa já havia investido, nos anos 2006/2007, R\$ 30 milhões em um projeto para reaproveitamento dos rejeitos da extração de fosfato pela Copebrás. Os resultados significaram um aumento de 30% na produção de ferro-nióbio e forte redução no volume de rejeitos de minério de apatita (fosfato).

Por seu lado, em 2008, a capacidade instalada da CBMM era 90 mil toneladas de liga Fe-Nb por ano. Nesse ano passou a investir especialmente em suas plantas de concentração e metalurgia, prevendo uma produção de 150 mil toneladas a partir de 2016 (Pereira Junior 2014). Na Figura 18 se vê uma panorâmica das instalações dessa importante empresa de mineração.

Novos usos que permitam economia – seja de produto, de consumo de combustível ou ambiental – continuam sendo buscados pela CBMM, em parceria com Instituições de Pesquisa e Ensino dentro e fora do Brasil. Um exemplo são as pesquisas realizadas pelo departamento de engenharia mecatrônica da PUC de Minas Gerais, que indicam que o nióbio é um potencial substituto do molibdênio no ADI (Austempered Ductile Iron). O ADI é um material com custo entre 20 e 40% menor que o aço convencional e, ainda assim, com alta ductibilidade, tenacidade e resistência à fadiga. Essas são características que o tornam um material especial para componentes automotivos, ferroviários, de mineração e de construção civil. O nióbio mostra algumas características compatíveis com as do molibdênio e um custo inferior. Outro é o CBMM Technology Suisse, uma subsidiária com sede na Suíça empenhada no desenvolvimento de novas aplicações e na divulgação das alternativas de emprego do nióbio. O programa é desenvolvido em cooperação com clientes, usuários finais, centros de pesquisa independentes e universidades (CBMM 2017b).



Figura 18. Instalações da Unidade de Produção da Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração que, juntamente com a mina, a sede e o centro de tecnologia, está localizado a cerca de 5 km a sul da cidade de Araxá, Minas Gerais. Foto: CBMM acesso em 11/9/2017.

Pereira Junior (2014) cita o uso, por essa empresa, de sete caminhões cujas caçambas foram produzidas com aço microligado ao nióbio; seu peso foi reduzido em 25%, o que reduz o consumo de combustível e, portanto, de emissão de gases, aumenta o volume de minério transportado e reduz os gastos com manutenção, uma vez que o aço microligado é mais resistente que o comum.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida F.F.M. 1983. Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozoicas da região meridional da Plataforma Sul-Americana. *Revista Brasileira de Geociências*, **13**(3):139-158.
- Brod J.A. 1999. *Petrology and geochemistry of the Tapira alkaline complex, Minas Gerais State, Brazil.* PhD Thesis University of Durham, UK, 486 p.
- Brod J.A., Ribeiro C.C., Gaspar J.C., Junqueira-Brod T.C., Barbosa E.S.R., Riffel B.F., Silva J.F. da, Chaban N., Ferrari A.J.D. 2004. Excursão 1. Geologia e mineralizações dos complexos alcalino-carbonatíticos da Província Ígnea do Alto Paranaíba. *In:* 42° Congresso Brasileiro de Geologia. Araxá, *Guia das Excursões*, p. 1-29.
- CBMM. 2017a. *Nióbio*. Disponível em http://www.cbmm.com.br/pt/paginas/niobium.aspx. Acesso em 11/9/2017.
- CBMM. 2017b. *Market Development Program*. Disponível em http://www.cbmmtech.ch/Paginas/default.aspx. Acesso em 11/9/2017.
- Hogarth D.D. 1977. Classification and nomenclature of the pyrochlore group. *The American Mineralogist*, **62**(5-6):403-410.
- IBRAM Instituto Brasileiro de Mineração. 2012. *Informações e análises da Economia Mineral Brasileira*. 7ª edição. Disponível em http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00002806.pdf. Acesso em 9/12/2017.
- Issa Filho A., Riffel B.F., Sousa C. 2001. Some aspects of the mineralogy of CBMM niobium deposit and mining and pyrochlore ore processing Araxá-MG/Brazil. *In:* International Symposium Niobium 2001, Orlando. *Proceedings of the International Symposium Niobium 2001.* 15 p.
- Le Maitre R., Streckeisen A., Zanettin B., Le Bas M., Bonin B., Bateman P. (eds.). 2002. Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. 2ª ed. Cambridge: Cambridge University Press. 236 p. ISBN: 9780511535581, doi: 10.1017/CBO9780511535581
- Lima J.M.G. de. 2010. *Relatório Técnico 20 Perfil da Mineração do Nióbio. In:* J. Mendo Consultoria. Contrato nº 48000.003155/2007-17: desenvolvimento de estudos para elaboração do plano duodecenal (2010 2030) de geologia, mineração e transformação mineral. Ministério de Minas e Energia MME, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral SGM. 49 p.
- Martins C., Lima P.C.R., Teixeira L.S., Teixeira M.P., Queiroz Filho A.P. 2014. *Minerais Estratégicos e Terras-Raras*. Centro de Documentação e Informação; Edições Câmara. Brasília, DF, Série estudos estratégicos, nº 3, 237 p. ISBN: 9788540202603
- Melo M.T.V. 1997. Depósitos de fosfato, titânio e nióbio de Tapira, Minas Gerais. *In:* Schobbenhaus C., Queiróz E.T., Coelho C.E.S. (coords.). Principais Depósitos Minerais do Brasil: rochas e minerais industriais. Brasília, DNPM/CPRM, v. 4, parte C, p. 41-56.
- Mindat and the Hudson Institute of Mineralogy. 2017. Disponível em https://www.mindat.org/min-527.html Acesso em 22/10/2017.
- Oliveira I.W.B., Sachs L.L.B., Silva V.A., Batista I.H. 2004. Folha SE.23-Belo Horizonte. *In:* Schobbenhaus C., Gonçalves J.H., Santos J.O.S., Abram M.B., Leão Neto R., Matos G.M.M., Vidotti R.M., Ramos M.A.B., Jesus J.D.A. (eds.). *Carta Geológica do Brasil ao milionésimo: Sistema de Informações Geográficas SIG e 46 folhas na escala 1: 1.000.000*. Brasília: CPRM. 41 CD-ROM Pack.
- Pereira Junior R.F. 2009. *Nióbio*. DNPM. Disponível em https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3976. Acesso em 22/10/2017.
- Pereira Junior R.F. 2014. Nióbio. *In:* Lima T.M. & Neves C.A.R. (coords.). *Sumário Mineral 2014.* Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), v. 34, p. 94-95. ISSN: 01012053.

- Pinheiro W.F., Ferreira Filho O.B., Neves C.A.R. (coords.). 2016. *Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas*. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral, 31 p.
- Pinto C.P. & Silva M.A. 2014. *Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, Escala 1:1.000.000.* Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais, CODEMIG e Serviço Geológico do Brasil, CPRM.
- Ribeiro C.C., Brod J.A., Junqueira-Brod T.C., Gaspar J.C., Palmieri M., Cordeiro P.F.O., Torres M.G., C.B. Grasso, Barbosa E.S.R., Barbosa P.A.R., Ferrari A.J.D., Gomide C.S. 2014. Potencial e Controles Metalogenéticos de ETR, Ti e Nb em Províncias Alcalino-carbonatíticas brasileiras. *In:* Silva M.G., Rocha Neto M.B., Jost H., Kuyumjan R.M. (orgs.). *Metalogênese das províncias tectônicas brasileiras*. Belo Horizonte, CPRM, p. 559-589
- Rodrigues C.S. & Lima P.R.A.S. 1984. *Complexos Carbonatíticos do Brasil: Geologia*. Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração, Araxá. 44 p.
- Silva A.B., Marchetto M., Souza O.M. 1979. Geologia do complexo carbonatítico de Araxá (Barreiro), MG. *Mineração e Metalurgia*, **415**:14-18.
- Wikipédia. 2017. Nióbio. Disponível em https://pt.wikipedia.org/wiki/Ni%C3%B3bio. Acesso em 10/9/2017.