

TITÂNIO



Cristais de perovskita, média de 0,2 mm (salitre, Minas Gerais).

Fonte: Oliveira (2015).

Lucia Castanheira de Moraes

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

Hildor José Seer

CEFET-MG/Unidade Araxá
hildorseer@cefetmg.br

SUMÁRIO

1. ASPECTOS GERAIS.....	1
2. MINERALOGIA.....	3
3. APLICAÇÕES.....	5
4. GEOLOGIA	6
4.1. TITÂNIO EM MINAS GERAIS	8
4.2. TITÂNIO NOS COMPLEXOS CARBONATÍTICOS	9
4.3. GRUPO MATA DA CORDA NA REGIÃO DE PRESIDENTE OLEGÁRIO (MG).....	10
5. ASPECTOS ECONÔMICOS.....	12
5.1. PRODUÇÃO INTERNA.....	14
5.2. IMPORTAÇÃO	15
5.3. EXPORTAÇÃO	15
5.4. CONSUMO INTERNO	15
5.5. PROJETOS EM ANDAMENTO E/OU PREVISTOS.....	16
5.5.1. Titânio na região de Presidente Olegário, MG	16
5.5.2. Titânio em Tapira, MG	16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17

1. ASPECTOS GERAIS

O nome titânio deriva do grego Titan, termo que segundo a mitologia grega referia-se a uma raça de gigantes imortais e incrivelmente fortes (Woodruff & Bedinger 2013). Ele foi descoberto em 1791 por William Gregor, mas o seu nome foi conferido poucos anos depois por Martin Heinrich Klaproth. Este metal ganhou notabilidade quando Kroll, em 1946, criou um método que permitia a produção de titânio a partir da redução de tetracloreto de titânio com magnésio, garantindo sua produção em escala comercial (Christie & Brathwaite 1998). O titânio apresenta cor cinza prateada, é altamente resistente à corrosão e quimicamente inerte (Woodruff & Bedinger 2013). Ele apresenta cinco isótopos (massas 46, 47, 48, 49 e 50), dentre os quais o isótopo de massa 48 é o mais abundante (Rosman & Taylor 1998).

Segundo Lins (2008), o titânio está relacionado tanto com compostos da classe dos minerais metálicos, quanto da de Rochas e Minerais Industriais (RMIs). Na primeira classe, estão aqueles minérios ou minerais dos quais os metais são extraídos para diversas aplicações. Por outro lado, os RMIs são aplicados diretamente (com pouco ou nenhum tratamento) ou são usados como matéria prima. Neste segundo grupo encontram-se os minerais de titânio usados para a produção de pigmentos.

Os principais minerais de titânio são ilmenita, anatásio e rutilo, estes últimos polimorfos de TiO_2 . Em 2014, África do Sul, Austrália e China eram os maiores produtores de titânio (cada um responsável individualmente por mais de 10% da produção), mas nenhum deles dominava amplamente a produção (Figura 1). Por sua vez, o Brasil contribuiu com menos de 1% da produção mundial (Bedinger 2016). Segundo Bedinger (2016), a ilmenita é fonte de 89% do Ti produzido no mundo (Figura 2). Em relação à origem dos minerais de titânio atualmente explorados, boa parte deles provém de depósitos sedimentares consolidados ou não. Estes depósitos se formam em decorrência da alta gravidade específica ($> 2.85 \text{ g/cm}^3$) de alguns minerais como ilmenita e rutilo (Woodruff & Bedinger 2013).

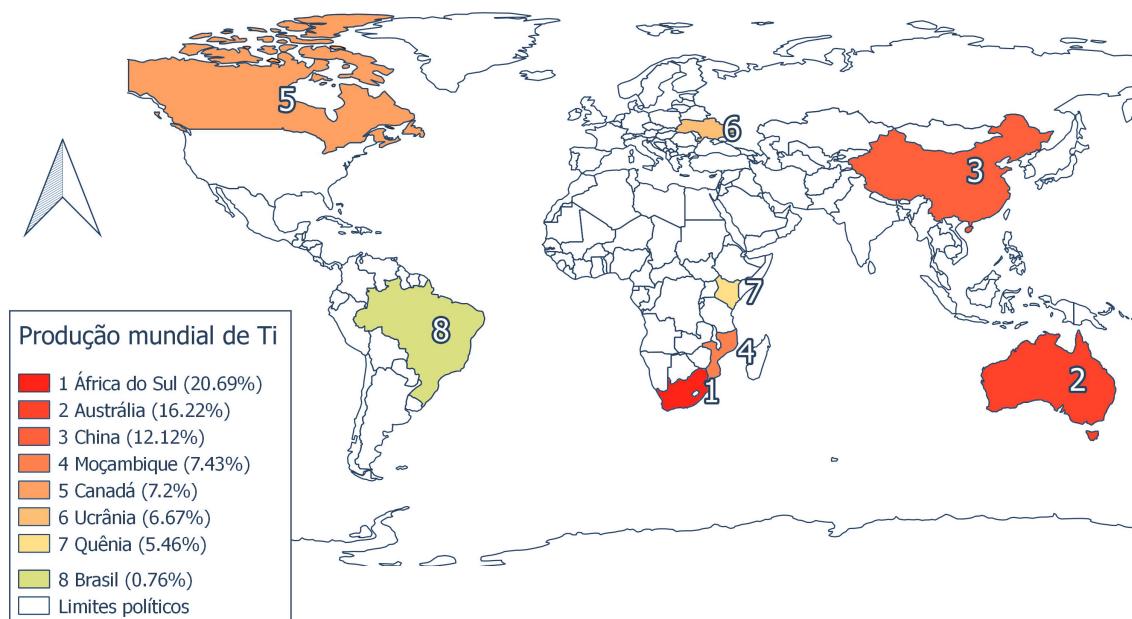


Figura 1. Principais países produtores de titânio em 2014, segundo Bedinger (2016).

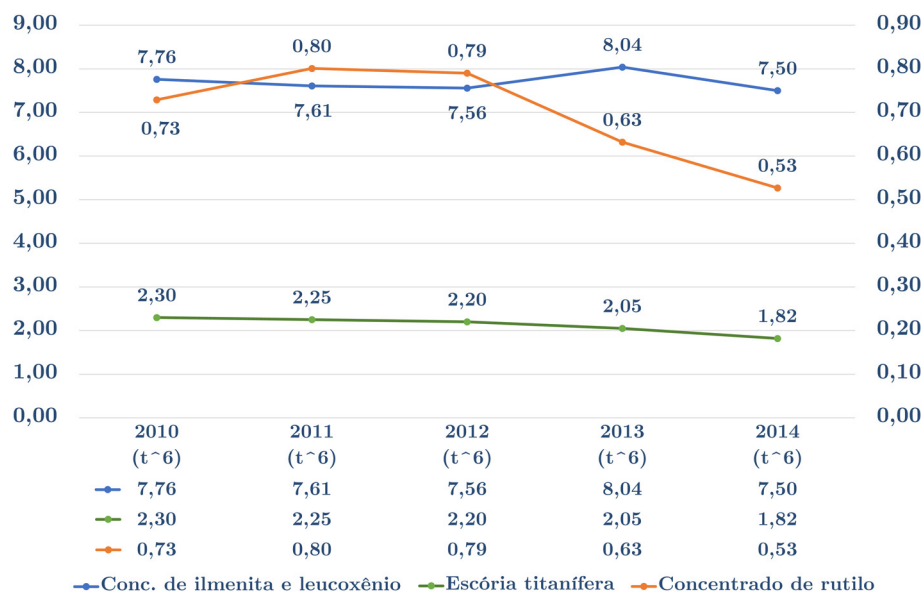


Figura 2. Produção de concentrados de minerais de titânio no mundo entre 2010 e 2014. Os valores de escória titanífera e concentrado de ilmenita e leucoxênio são apresentados no eixo da esquerda, enquanto que aqueles relativos ao concentrado de rutilo aparecem no eixo da direita. Dados retirados de [Bedinger \(2016\)](#).

2. MINERALOGIA

Há várias fases minerais onde o titânio é um dos principais constituintes: ilmenita, rutilo, anatásio, leucoxênio, perovskita, titanita e brookita. Entretanto, segundo os dados de produção apresentados por [Bedinger \(2017\)](#), apenas quatro delas são relevantes em termos econômicos: ilmenita, rutilo, anatásio e leucoxênio. As jazidas de titânio dos complexos carbonatíticos da Província Ígnea do Alto Paranaíba (PIAP), em especial a de Tapira (MG), conferem relevância também a outro mineral portador de Ti: perovskita.

A **ilmenita** (FeTiO_2) (Figura 3) é um mineral acessório comum em rochas ígneas e metamórficas. Em função da sua alta densidade, também é encontrada em depósitos sedimentares em meio a outros minerais pesados ([Bowles et al. 2011](#)). O sistema cristalino da ilmenita é trigonal, tem densidade específica entre 4,7 e 4,79 g/cm³, dureza entre 5 e 6 e é preta (opaca). Segundo [Deer et al. \(2013\)](#), Mn e Mg podem substituir o Fe, o que caracteriza o sistema ternário (solução sólida) entre FeTiO_3 (ilmenita), MgTiO_3 (geikelita) e MnTiO_3 (pirofanita). Sua alteração, dentre outras fases, pode dar origem ao leucoxênio.



Figura 3. Principais minerais de titânio. Ilmenita por [Baum \(2008\)](#). Rutilo por [Géry \(2008\)](#). Anatásio por [Millan \(2008\)](#). Brookita por [Vassil \(2008\)](#). Perovskita por [Silver \(2011\)](#). Titanita por [Millan \(2010\)](#).

O **rutilo** (TiO_2) (Figura 3) corresponde ao polimorfo de mais alta temperatura e o mais comum na natureza. Tem sistema cristalino tetragonal, densidade específica entre 4,23 a 5,5 g/cm³, dureza entre 6 e 6,5 e é geralmente marrom avermelhado, mas também pode apresentar outras cores como preto, violeta, amarelo e verde ([Deer et al. 2013](#)). O alto índice de refração do rutilo permite que pigmentos brancos produzidos a partir dele confirmem alta opacidade às superfícies onde são aplicados ([Chemours 2018](#)). Este efeito está relacionado com o fenômeno óptico de refração da luz, que leva boa parte da luz incidente sobre pigmentos de TiO_2 a ser dispersada, ou seja, a não atravessar o material.

O **anatásio** (TiO_2) (Figura 3) é um dos principais polimorfos de dióxido de titânio. Geralmente é formado a partir da alteração de outros minerais de titânio (Bowles *et al.* 2011). Seu sistema cristalino é tetragonal, ele apresenta densidade específica de 3,82 a 3,97 g/cm³ e dureza entre 5 e 6. A sua gama de cores é bastante extensa (marrom, amarelo, laranja, verde, azul, azul esverdeado). O anatásio, polimorfo de baixa temperatura do TiO_2 , ocorre em rochas intemperizadas e metassomatizadas, tais como os bebedouritos do complexo de Salitre (Araújo 2015, Barbosa *et al.* 2012).

Outro polimorfo de TiO_2 , a **brookita** (Figura 3), ocorre como mineral primário em algumas rochas ígneas e metamórficas. Ela também pode ser um mineral secundário e é comum achá-la em associação com rutilo, anatásio e titanita (Bowles *et al.* 2011). Geralmente é encontrada em veios que cortam rochas ultramáficas que contém titânio. O sistema cristalino da brookita é ortorrômbico. A densidade específica varia entre 4,08 e 4,18 g/cm³, e a dureza entre 5,5 e 6. Ela pode ser amarelada a marrom, vermelha amarronzada ou preta.

A perovskita (CaTiO_3) (Figura 3) possui densidade específica de 3,98 a 4,84 g/cm³ e a sua dureza é 5,5. Elementos terras raras, metais alcalinos e alcalino-terrosos podem substituir o Ca, enquanto o titânio pode ser substituído por nióbio e tântalo. Pode ser preta, amarela ou marrom. Geralmente, constitui um mineral acessório em rochas ígneas básicas, frequentemente associadas a melilitolitos, nefelinitos e kimberlitos (Bowles *et al.* 2011). Entretanto, segundo Barbosa *et al.* (2012), nos carbonatitos de Salitre, pode constituir até 33% dos bebedouritos. O sistema cristalino da perovskita é ortorrômbico e a sua estrutura cristalina é extremamente compacta, o que desperta interesse em estudos de alta pressão de fases minerais formadas no manto da Terra (Deer *et al.* 2013).

A **titanita** (CaTiSiO_5) (Figura 3) é um mineral acessório muito comum em rochas ígneas. Ela também pode ser encontrada em gnaisses e xistos ricos em minerais ferromagnesianos (Deer *et al.* 2013). Ela é monoclinica, apresenta densidade específica de 3,48 a 3,6 g/cm³ e dureza 5. Sua cor pode ser amarela, verde, marrom, preta ou mesmo incolor. A quantidade de elementos traço na titanita é expressiva. A presença comum de Th e U torna ainda este mineral interessante para datação radiométrica.

O produto de alteração comum de minerais de titânio é o **leucoxênio**. Quando associado a ilmenita, ele é identificado por uma alteração branca esverdeada e representa rutilo e pseudorutilo ($\text{Fe}^{2+3}\text{Ti}_3\text{O}_9$) de granulação fina (Deer *et al.* 2013).

3. APLICAÇÕES

As propriedades químicas do titânio, bem como alguns de seus compostos, tornam-no relevantes para diversas aplicações. Boa parte da produção é convertida em TiO_2 e usada na produção de tintas. Este composto é um pó branco empregado como pigmento, capaz de branquear, conferir luminosidade e opacidade a uma variedade de produtos, tais como plásticos, papel e tintas (Lins 2008). Como o TiO_2 é relativamente inerte, ele é utilizado para colorir produtos que, caso apresentassem qualquer toxicidade ao corpo humano, poderiam comprometer seriamente a segurança de seus consumidores. Exemplos destes produtos são leite desnatado, pasta de dente e protetores solares (Woodruff & Bedinger 2013).

Apenas 5% do concentrado de minerais de titânio produzido anualmente é empregado na produção do metal titânio (Woodruff & Bedinger 2013). Este metal, devido a sua resistência à corrosão e força, é usado extensivamente na indústria aeroespacial (fabricação de motores de mísseis, estruturas de aviões e veículos espaciais etc.). Ligas de titânio também têm sido estudadas e empregadas no desenvolvimento de próteses dentárias e médicas (Baltar *et al.* 2008).

4. GEOLOGIA

O titânio pode ser encontrado em praticamente todas as rochas, de forma que concentrações economicamente interessantes deste metal foram descritas em rochas ígneas, sedimentares e metamórficas. Além disso, como se pode observar na Tabela 1, a sobreposição de processos supergênicos e hidrotermais pode originar concentrações anômalas de titânio (Force 1991). Sedimentos inconsolidados constituem a principal fonte de minerais de titânio para o mercado mundial (Woodruff *et al.* 2017). No Brasil há depósitos de titânio relacionados com rochas sedimentares, ígneas e ainda aqueles relacionados com processos supergênicos (Figura 4). Os principais produtores brasileiros são os municípios de Mataraca (PB), São Francisco de Itabapoana (RJ) e Santa Bárbara de Goiás (GO), apresentados na Figura 4.



Figura 4. Ocorrências ou depósitos de titânio no Brasil.

A jazida de Guaju (município de Mataraca, PB) é constituída por acumulações sedimentares recentes e possui concentrações relevantes de ilmenita, zircão, rutilo e cianita (Ferreira 2006), as quais são exploradas atualmente pela empresa Cristal. No caso do depósito de São Francisco de Itabapoana (RJ), administrado pelas Indústrias Nucleares do Brasil S.A., a natureza do depósito é semelhante ao de Mataraca, entretanto nele encontra-se também monazita (Schnellrath *et al.* 2001, Silva 2000). O depósito de Santa Bárbara de Goiás (GO) está relacionado com um corpo gabro-anortositico, onde se encontram camadas mineralizadas constituídas por ilmenita, magnetita, espinélio e hematita (Santos 2010). Este depósito vem sendo explorado pela empresa Titânio Goiás. Em São José do Norte (RS), a

empresa Rio Grande Mineração está implementando o Projeto Retiro, com o objetivo de extrair ilmenita, rutilo e zircão (Queiroz Filho & Amorim Neto 2014).

Tabela 1 Tipos de depósitos minerais de titânio, minerais associados e exemplos. Modificado de (Force 1991).

Classe	Tipo	Mineralogia típica	Exemplo
Metamórfica	Eclogito	Rutilo	Piampaludo, Itália
	Aluminossilicato	Rutilo	Evergreen, Colorado
	Contato entre serpentinito e xisto (fácies xisto-verde)	Rutilo	Dinning, Maryland
Ígnea	Anortosito	Rutilo, Ilmenita	Roseland, Virginia (parcialmente)
	Albitito (<i>kragerito</i>)	Rutilo	Kragerø, Noruega
	Alcalina	Perovskita, Nb-Rutilo, Nb-brookita	Powderhorn, Colorado; Magnet Cove, Arkansas
Hidrotermal		Rutilo	Bingham, Utah
Sedimentar	Fluvial	Ilmenita, Rutilo	Gbangbama, Serra Leoa
	Glácio-lacustre	Ilmenita	Port Leyden, Nova Iorque
	Depósitos em linha de costa	Ilmenita (fresca ou alterada), rutilo	Richards Bay, África do Sul; Stradbroke Island, Austrália; Guaju, Brasil; São Francisco de Itabapoana, Brasil
Rochas intemperizadas	Derivada de rochas alcalinas	Anatásio	Tapira, Brasil
	Derivada de rochas máficas	Ilmenita	Roseland, Virginia (parcialmente)
	Derivadas de <i>placers</i>	Ilmenita alterada, leucoxênio	Trail Ridge, Florida (parcialmente)

No complexo alcalino-carbonatítico de Monte Alegre, de idade neoproterozoica, situado no Pará (Lemos & Gaspar 2002) foi descrita uma ocorrência primária e supergênica de minério de titânio, contido em ilmenita e anatásio (Klein *et al.* 2014). Próximo à divisa entre Bahia e Piauí, em Campo Alegre de Lourdes (BA), encontra-se o Complexo Máfico-Ultramáfico de Campo Alegre de Lourdes (Moraes & Veiga 2008). Corpos de ilmenita-magnetitito pertencentes a este complexo apresentam-se em superfície na forma de morrotes.

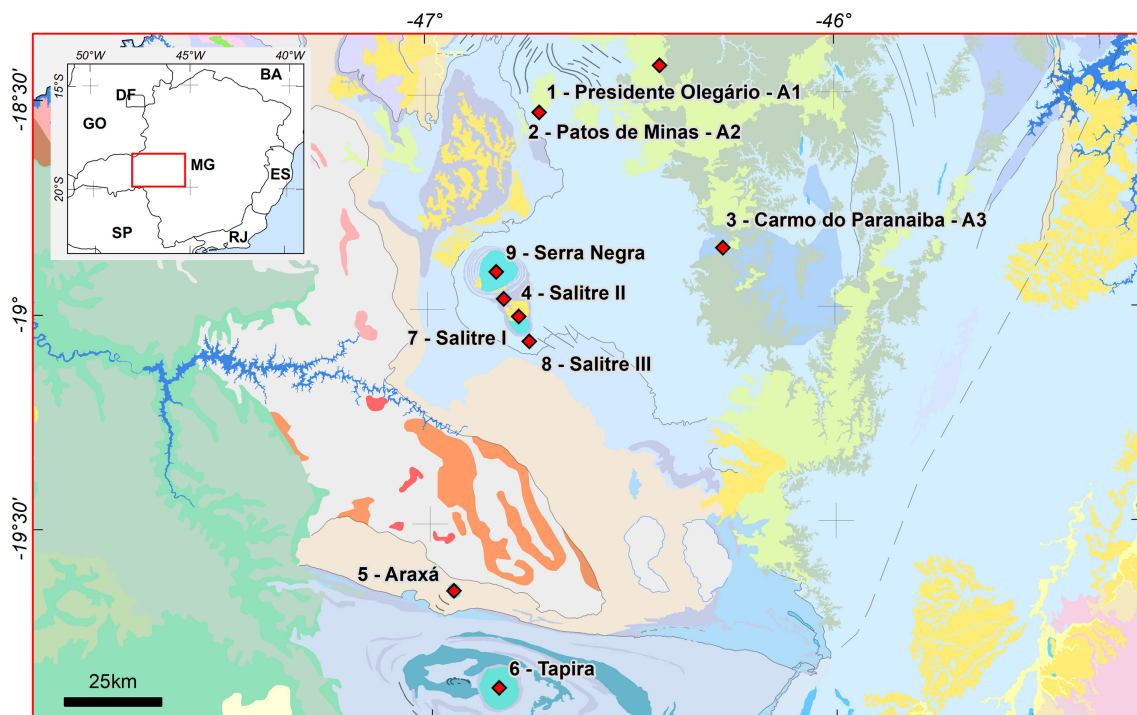


Figura 5. Principais ocorrências de titânio ou depósitos de titânio exclusivamente no estado de Minas Gerais.

A numeração se refere aos itens da Tabela 2. Mapa geológico modificado de [Pinto & Silva 2014](#). Os pontos A1, A2 e A3 correspondem aos pontos descritos por [Rosa \(2015\)](#) no Grupo Mata da Corda.

Rochas ígneas com concentrações anômalas de titânio são encontradas nos estados de Goiás e Minas Gerais, e estão relacionadas com carbonatitos. Essas rochas são encontradas em Catalão (GO, Figura 4) e Tapira, Araxá, Serra do Salitre, Serra Negra (todos em MG, Figura 5 e Tabela 2). Ainda em Minas Gerais, em Presidente Olegário, foram encontradas rochas com elevadas concentrações de TiO_2 no Grupo Mata da Corda, formado por rochas vulcânicas e sedimentares (Figura 5 e Tabela 2).

Tabela 2. Principais ocorrências de titânio ou depósitos de titânio exclusivamente no estado de Minas Gerais. Os pontos A1, A2 e A3 correspondem aos pontos descritos por [Rosa \(2015\)](#) no Grupo Mata da Corda.

	TOPONÍMIA	MUNICÍPIO	ROCHA HOSPEDEIRA	ROCHA ENCAIXANTE	Latitude	Longitude
1	Presidente Olegário – A1	Presidente Olegário	Alcalinas máficas e ultramáficas efusivas	Folhelhos, arenitos, siltitos e conglomerados do Grupo Areado.	-18,435815	-46,42574
2	Patos de Minas – A2	Patos de Minas	Alcalinas máficas e ultramáficas efusivas	Siltitos, arenitos, folhelho e lentes carbonáticas do Subgrupo Paraopeba (Grupo Bambuí).	-18,542912	-46,721333
3	Carmo do Paranaíba – A3	Carmo do Paranaíba	Alcalinas máficas e ultramáficas efusivas	Folhelhos, arenitos, conglomerados e siltitos do Grupo Areado, além de diamictitos e pelitos do Grupo Bambuí.	-18,862238	-46,274046
4	Salitre II	Patrocínio	Carbonatito	Siltitos, arenitos, folhelhos e lentes carbonáticas do Grupo Bambuí.	-18,977199	-46,812689
5	Araxá	Araxá	Carbonatito	Quartzito do Grupo Canastra e Clorita xisto do Grupo Ibiá	-19,656493	-46,942912
6	Tapira	Tapira	Carbonatito	Quartzito e filito do Grupo Canastra	-19,884153	-46,833701
7	Salitre I	Patrocínio	Carbonatito	Siltitos, arenitos, folhelhos e lentes carbonáticas do Grupo Bambuí.	-19,018378	-46,776495
8	Salitre III	Serra do Salitre	Carbonatito	Siltitos, arenitos, folhelhos e lentes carbonáticas do Grupo Bambuí.	-19,0769	-46,75129
9	Serra Negra	Patrocínio	Carbonatito	Siltitos, arenitos, folhelhos e lentes carbonáticas do Grupo Bambuí.	-18,914164	-46,830832

4.1. Titânio em Minas Gerais

Os depósitos de titânio de Minas Gerais estão diretamente associados ao magmatismo alcalino do Cretáceo Superior (Tabela 3). Parte dele é constituído de rochas ígneas alcalinas ultrapotássicas, representadas pelos complexos alcalino-carbonatíticos da região do Alto Paranaíba. Há ainda potenciais depósitos em rochas do Grupo Mata da Corda ([Campos & Dardenne 1997](#)), na região de Presidente Olegário ([Rosa 2015](#)).

Tabela 3. Depósitos associados aos complexos alcalino-carbonatíticos da PIAP. Modificado de [Ribeiro et al. \(2014\)](#).

	Associações Petrogenéticas	Afiliação	Complexo	Composição dos carbonatitos	Depósitos
Alto Paranaíba (PIAP) 80-90 Ma	Séries bebedourítica, foscorítica, carbonatítica e rochas metassomáticas	Ultrapotássica	Araxá	Mg	Nb, P, ETR, Ba, (U), (Ti), (Fe)
			Tapira	Ca, Mg	P, Nb, Ti, ETR, (Fe)
			Salitre	Ca, Mg	P, Ti, Nb, (Fe)
			Serra Negra	Ca, Mg	Ti, P, (Zr), (Fe)
			Catalão I	Mg	P, Nb, Ti, ETR, Vermiculita, (Ba), (U), (Fe)
			Catalão II	Ca, Mg	Nb, P e ETR

4.2. Titânio nos complexos carbonatíticos

Carbonatitos são rochas ígneas raras, compostas por mais de 50% de carbonatos. Minas Gerais abriga parte da Província Ígnea Alcalina do Alto Paranaíba (PIAP), do Cretáceo Superior, a qual é composta por kamafugitos, kimberlitos, lamproítos e os complexos alcalino-carbonatíticos Catalão I e II (em Goiás), Serra Negra, Salitre I, II e III, Araxá e Tapira (Barbosa *et al.* 2012, Ribeiro *et al.* 2014). Os complexos da PIAP são conhecidos pela grande diversidade de depósitos que abrigam, dentre eles os de Ti (Tabela 3).

O anatásio constitui os depósitos de titânio dos complexos de Tapira, Serra Negra e Salitre. Os processos de diferenciação em magmas alcalinos e carbonatíticos são importantes para explicar parte da gênese deles. Isso decorre da baixa viscosidade destes magmas alcalinos, o que facilita o fracionamento, permitindo a formação de rochas cumuláticas bebedouríticas ricas em perovskita (Ribeiro 2008; Ribeiro *et al.* 2014).

Dentre estes complexos merece destaque o de Tapira (Figuras 6, 7, 8 e 9). Este complexo foi formado por várias intrusões e é composto por bebedouritos, dunitos serpentinizados, sienitos, diques ultramáficos potássicos, carbonatitos, melilitolitos e flogopititos metassomáticos. As rochas deste complexo abrigam uma das maiores reservas de titânio do mundo, entretanto, apesar dos esforços e recursos empregados por diferentes empresas, estas reservas ainda não puderam ser aproveitadas (Iluka 2014, Santos 2010).

Nas rochas frescas dos complexos de Tapira, Salitre e Serra Negra, a perovskita encontra-se bem preservada (processos metassomáticos pouco intensos). Desta forma, a alteração intempérica destas rochas, com a consequente transformação da perovskita para anatásio, é a responsável por criar os depósitos de titânio destes complexos (Ribeiro *et al.* 2014).

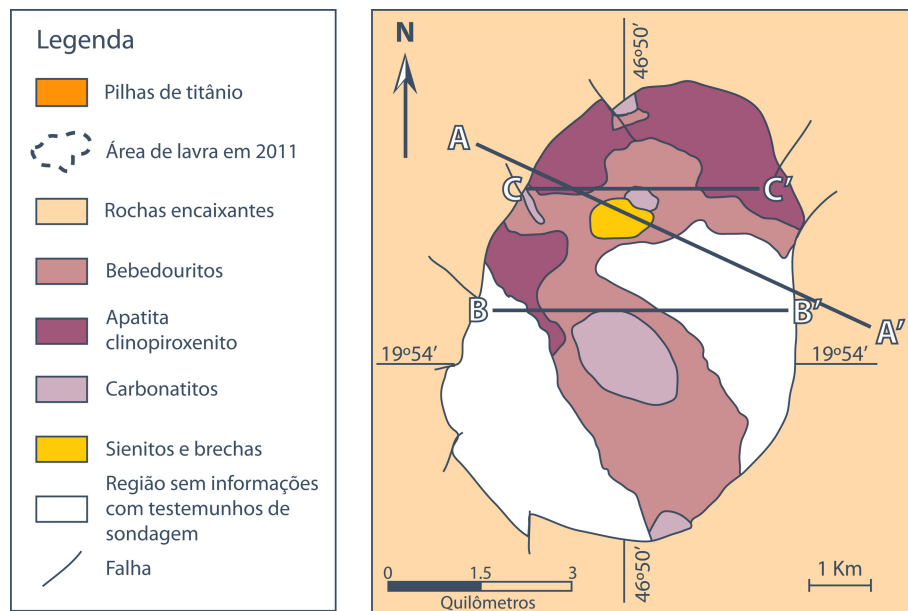


Figura 6. Mapa simplificado do complexo carbonatítico de Tapira (MG). Modificado de Iluka (2014) e Brod *et al.* (2013). As seções geológicas estão nas figuras 7, 8 e 9.

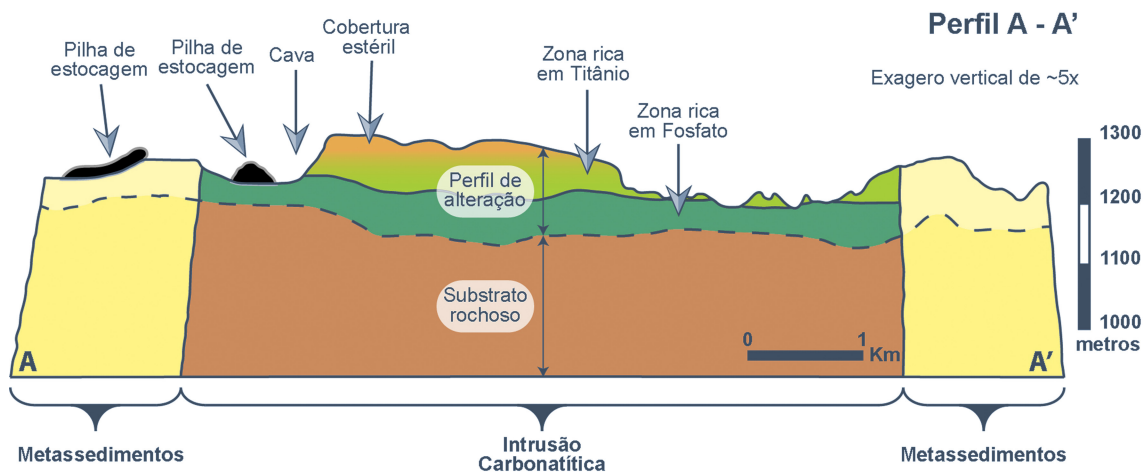


Figura 7. Perfil geológico identificado pelos pontos A e A' na Figura 6. Modificado de Iluka (2014).

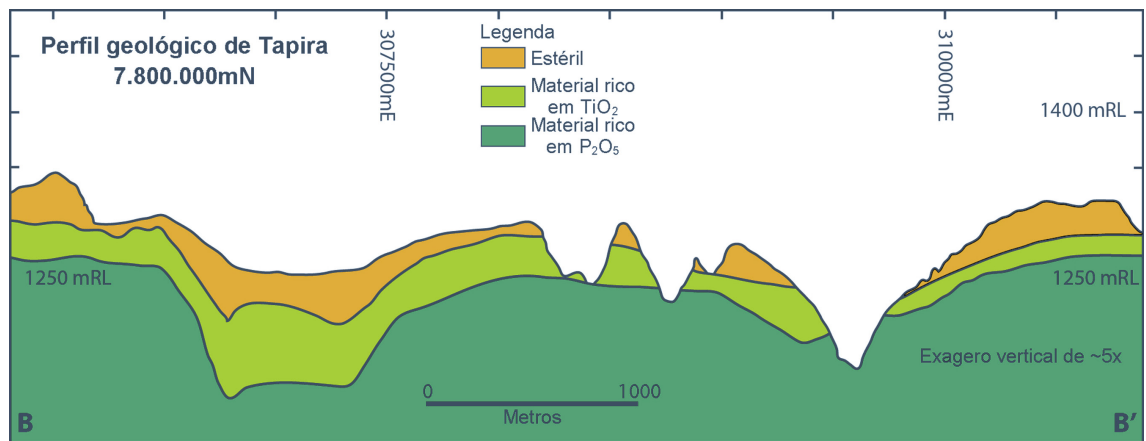


Figura 8. Perfil geológico identificado pelos pontos B e B' na Figura 6. Modificado de Iluka (2014).

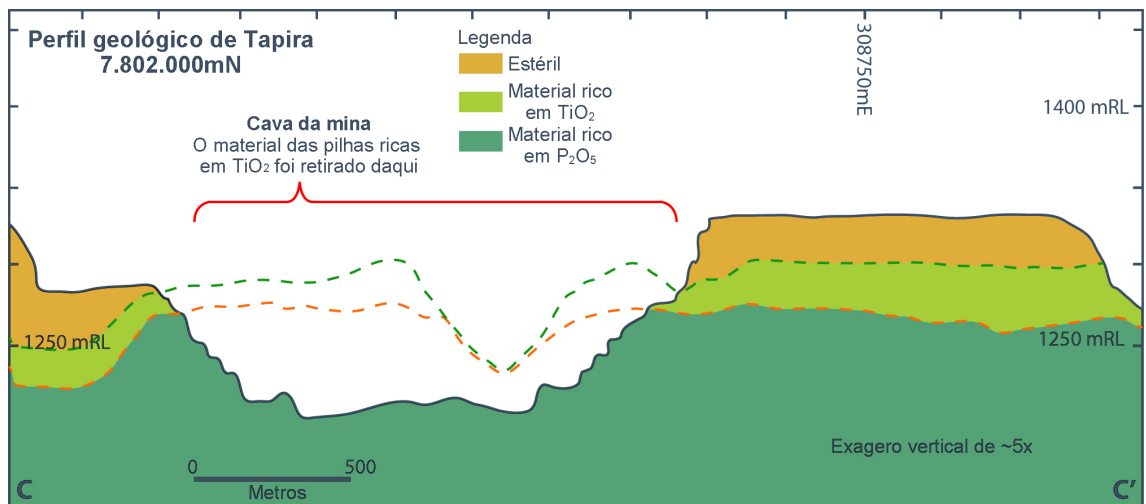


Figura 9. Perfil geológico identificado pelos pontos C e C' na Figura 6. Modificado de Iluka (2014).

4.3. Grupo Mata da Corda na região de Presidente Olegário (MG)

Formado no Cretáceo Superior, o Grupo Mata da Corda faz parte da Bacia Sanfranciscana e é dividido nas formações Patos e Capacete (Campos & Dardenne 1997). A sua gênese está relacionada com a abertura do oceano Atlântico Sul, quando se formaram rochas vulcânicas máfico/ultramáficas alcalinas e epiclásticas, estas geradas pela erosão das

primeiras (Fragoso *et al.* 2011). Segundo Campos & Dardenne (1997), a Formação Patos é composta por alcalinas máficas e ultramáficas efusivas e, predominantemente, piroclásticas. A Formação Capacete é o resultado do retrabalhamento da Formação Patos. Ela é composta por rochas epiclásticas de granulometria entre argila e seixo. Segundo Brod *et al.* (2000, 2004), as rochas da Formação Patos podem ser classificadas como kamafigitos e há significativas evidências de que a gênese destas rochas esteja intimamente ligada à dos complexos alcalino-carbonatíticos.

Rosa (2015) realizou um estudo na região de Presidente Olegário com amostras do Grupo Mata da Corda, visando minerais portadores de titânio. No conjunto de rochas analisadas, Rosa (2015) encontrou teores de TiO_2 entre 8,2% e 10,7%, os quais são bem elevados considerando-se amostras de rochas semelhantes em outras regiões. Por este motivo, a região de Presidente Olegário tem um bom potencial prospectivo para titânio.

5. ASPECTOS ECONÔMICOS

Em 2014, as reservas mundiais de titânio contido em ilmenita e rutilo totalizavam aproximadamente 770 milhões de toneladas (Figura 10). China, Austrália e Índia eram os detentores das maiores reservas destes minerais. Os dados oficiais mais recentes a respeito das reservas de titânio no Brasil constam no Sumário Mineral 2015 (ano base 2014), editado pelo DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral (Lima & Neves 2016). O Brasil, em 2014, contava com uma reserva de apenas 2,344 milhões de toneladas de TiO_2 contido em ilmenita e rutilo (Queiroz Filho & Amorim Neto 2016). As reservas nacionais de TiO_2 contido em ilmenita e rutilo entre 1999 e 2014 são apresentadas na Tabela 4 e na Figura 11. Chama a atenção o aumento dramático das reservas de rutilo entre 2003 e 2008, e de ilmenita em 2007 e 2008. A partir de 2009, o volume de reserva dos dois minerais retornou aos níveis anteriores.

Tabela 4. Reservas nacionais de TiO_2 contido em ilmenita (ilm) e rutilo (rt). Dados compilados dos sumários minerais brasileiros 2000 a 2014, publicados pelo DNPM. Os dados do titânio correspondentes ao ano de 2006 não estão disponíveis na página do DNPM.

	Ilmenita (Ilm) em 10 t	Rutilo (Rt) em 10 t
1999	4.208.000	55.000
2000	3.457.000	77.000
2001	7.259.000	122.000
2002	7.085.000	119.000
2003	11.817.000	3.546.000
2004	5.041.000	3.080.000
2005	4.913.000	3.077.000
2006	-	-
2007	84.000.000	2.500.000
2008	114.000.000	2.000.000
2009	2.400.000	1.400.000
2010	3.000.000	50.000
2011	2.223.000	43.000
2012	2.000.000	41.000
2013	2.600.000	40.000
2014	2.300.000	44.000

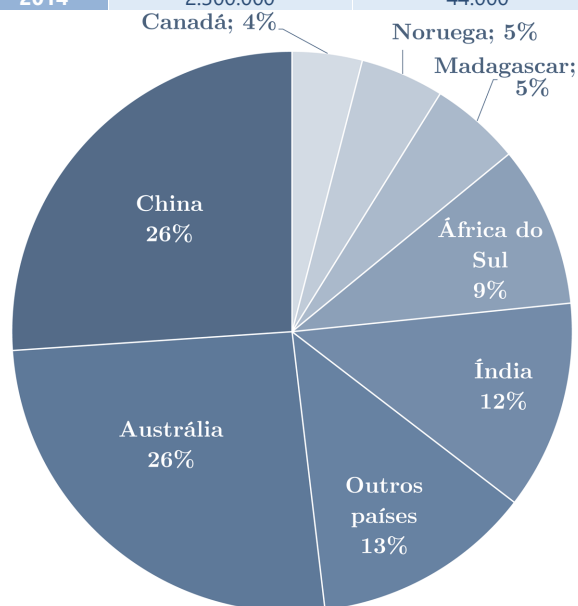


Figura 10. Reservas somadas de ilmenita e rutilo do mundo em 2014. Dados retirados de Queiroz Filho & Amorim Neto (2016).

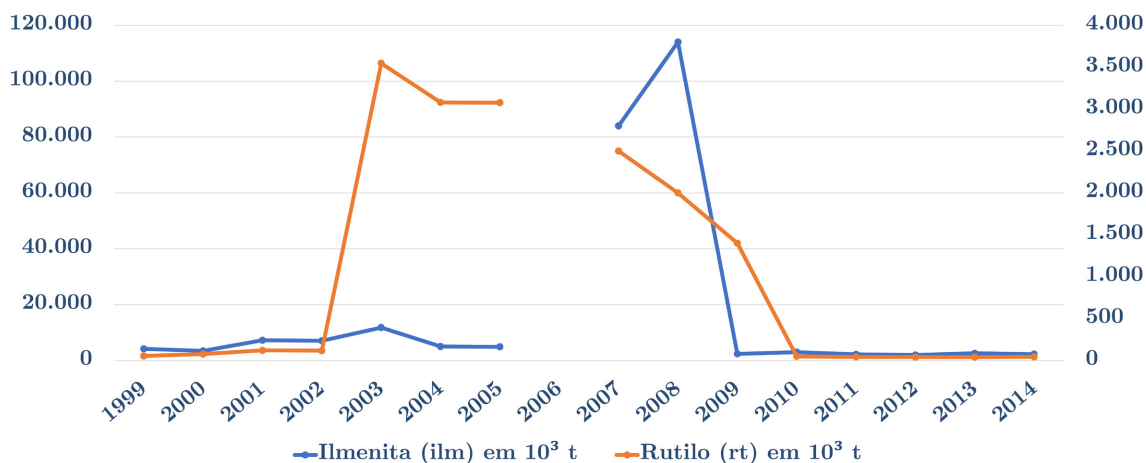


Figura 11. Reservas nacionais de TiO_2 contido em ilmenita (ilm) e rutilo (rt). Os valores de ilmenita são apresentados no eixo da esquerda, enquanto os de rutilo aparecem no eixo da direita. Dados compilados dos sumários minerais brasileiros 2000 a 2014, publicados DNPM.

A produção mundial de concentrado de rutilo e ilmenita em 2014 totalizou aproximadamente 7,5 milhões de toneladas, com a qual o Brasil contribuiu com apenas 83.000 t. O cenário entre os produtores é um pouco distinto em relação aos detentores das reservas (Figura 12). China e Austrália são produtores importantes, mas África do Sul e Canadá também detêm uma fatia importante da produção (Queiroz Filho & Amorim Neto 2016).

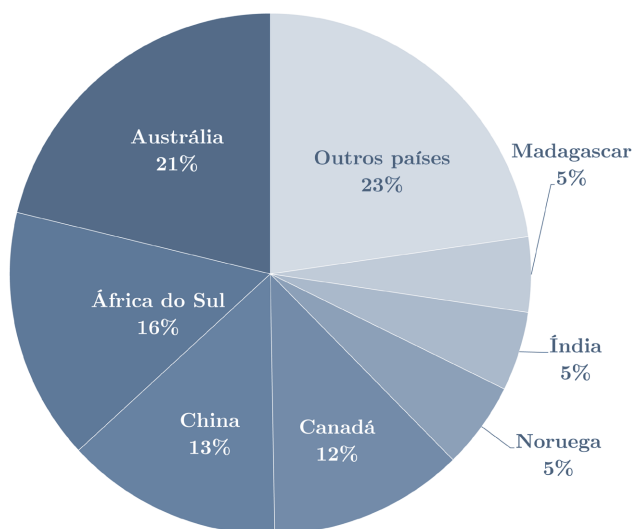
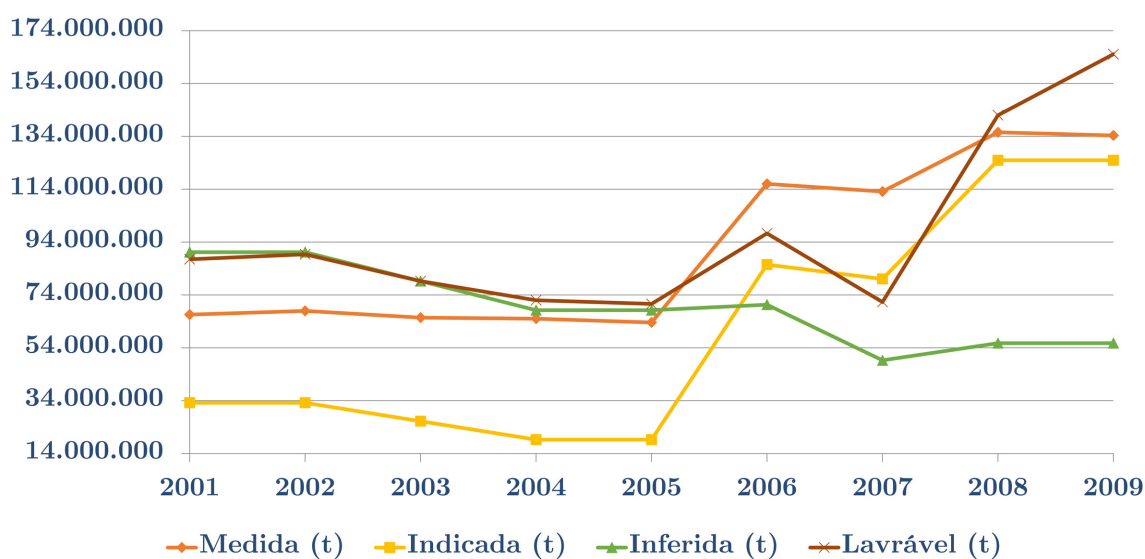


Figura 12. Produção de concentrado de ilmenita e rutilo no mundo em 2014 (Queiroz Filho & Amorim Neto 2016).

Minas Gerais detém parte de uma das maiores reservas de titânio contido em anatásio do mundo (Santos 2010). Apesar disto, as reservas de titânio em anatásio encontradas em Minas Gerais, descritas nos anuários minerais, não são citadas nos sumários minerais, que resumem os dados de todo o país (Tabela 5 e figuras 13 e 14). Ainda a respeito das reservas minerais, para os anos de 2004 e 2005 valores muito mais elevados do que a média dos outros anos foram reportados (Tabela 5).

Tabela 5. Reservas de TiO₂ no estado de Minas Gerais entre 2001 e 2009. Reservas apresentadas nos anuários minerais publicados entre 2002 e 2010 pelo DNPM.

ANO	RESERVAS				
	MINERAL	Medida (t)	Indicada (t)	Inferida (t)	Lavrável (t)
2001	Anatásio	66.551.904	33.207.768	90.205.425	87.526.545
2002	Anatásio	67.976.212	33.207.768	90.205.425	89.389.151
2003	Anatásio	65.436.298	26.239.174	79.225.796	79.271.287
2004	Anatásio	64.997.976	19.269.580	68.246.168	72.034.629
2005	Anatásio	63.595.527	19.269.580	68.246.168	70.632.180
2006	Anatásio	116.051.287	85.510.582	70.349.949	97.282.539
2007	Anatásio	113.166.785	80.093.092	49.285.929	71.321.181
2008	Anatásio	135.572.579	124.988.073	55.770.394	142.043.687
2009	Anatásio	134.347.835	124.988.073	55.770.394	165.127.034
2001	Ilmenita	203.205	14.978	44.280	59.201
2002	Ilmenita	237.149	24.871	44.280	172.707
2003	Ilmenita	281.384	92.249	2.283	281.384
2004	Ilmenita	2.967.822	14.027.543	21.972.997	16.907.710
2005	Ilmenita	2.967.822	14.024.543	21.972.997	16.906.710
2006	Ilmenita	205.582	84.463	13.509	205.582
2007	Ilmenita	189.253	84.463	13.509	189.253
2008	Ilmenita	189.253	84.463	13.509	189.253
2009	Ilmenita	189.253	84.463	13.509	186.295
2003	Rutilo	1.354.940	6.969.594	10.979.629	8.324.534

**Figura 13.** Reservas medidas de TiO₂ contidas em anatásio obtidas nos anuários minerais publicados entre 2002 e 2010 pelo DNPM.

5.1. Produção interna

A produção brasileira de titânio é realizada pelas empresas Indústrias Nucleares do Brasil S.A., Titânio Goiás Mineração, Indústria e Comércio Ltda., e pela Cristal Mineração do Brasil Ltda., a qual é responsável por grande parte do titânio beneficiado nacional. Em 2014, a produção brasileira foi de 83,1 mil t (Queiroz Filho & Amorim Neto 2016).

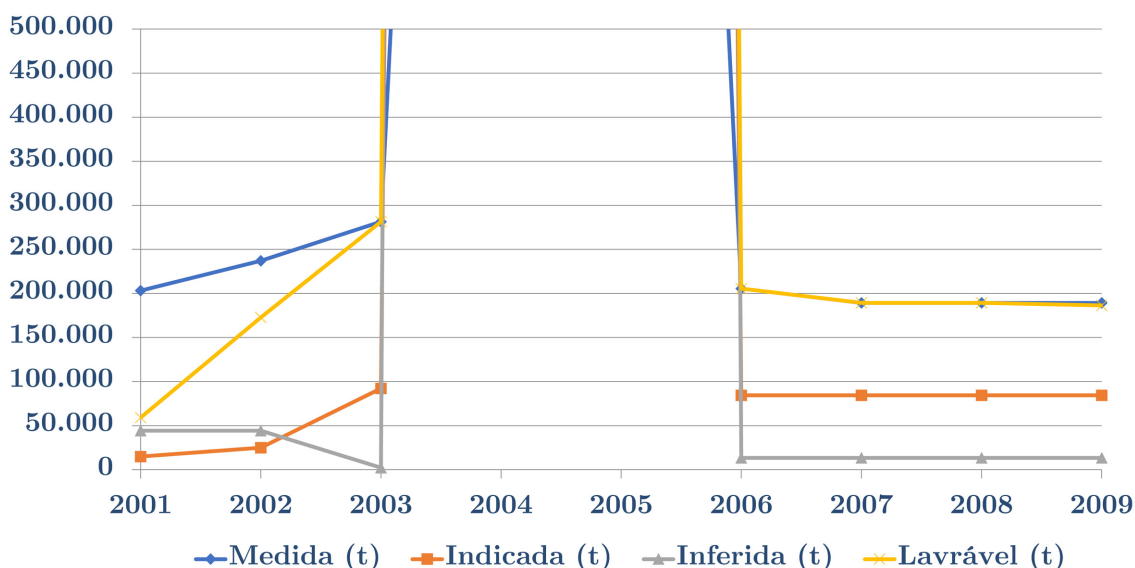


Figura 14. Reservas medidas de TiO_2 contidas em ilmenita obtidas nos anuários minerais publicados entre 2002 e 2010 pelo DNPM. Os dados de 2004 e 2005 não são exibidos por serem muito mais elevados do que o restante das curvas. Eles são detalhados na Tabela 5.

5.2. Importação

No ano de 2014, o valor das importações brasileiras de titânio foi de US\$ 448 milhões. Esse valor representa uma queda de 12,4% em relação ao ano anterior, causada pela redução do preço médio dos pigmentos de titânio, os quais constituem o principal item de importação brasileiro (Queiroz Filho & Amorim Neto 2016).

5.3. Exportação

O valor das exportações de 2014 totalizou US\$ 44,3 milhões, um aumento de aproximadamente 10% em relação ao ano anterior (Queiroz Filho & Amorim Neto 2016). Este montante é dividido entre a venda de produtos químicos, bens primários (basicamente ilmenita) e bens semi-manufaturados ou manufaturados. Mais da metade deste valor concentrou-se em pigmentos e preparos à base de dióxido de titânio, os quais foram adquiridos principalmente por países da América do Sul. A venda de bens primários (ilmenita) totalizou cerca de 32% e teve a França como principal compradora.

5.4. Consumo interno

Segundo Queiroz Filho & Amorim Neto (2016) e Amorim Neto (2013), é difícil avaliar o consumo aparente de titânio em seus diversos subprodutos. No entanto, estima-se que o consumo aparente de titânio tenha se mantido em patamares bem próximos aos dos anos anteriores, especialmente na fabricação de tintas, esmaltes e vernizes.

5.5. PROJETOS EM ANDAMENTO E/OU PREVISTOS

5.5.1. Titânio na região de Presidente Olegário, MG

Estudos de Rolim (2014) e Rosa (2015) indicam áreas potenciais para titânio no contexto do Grupo Mata da Corda. Ambos os autores encontraram rochas com concentrações de TiO_2 próximas a 10%. Além de titânio, o Grupo Mata da Corda ainda apresenta potencial para jazidas de fósforo, ferro, elementos terras raras e diamante.

5.5.2. Titânio em Tapira, MG

As empresas Vale S.A. e Iluka Resources Limited fizeram acordos de desenvolvimento conjunto (*Joint Development Agreement*, JDA) e de propriedade intelectual (*Intellectual Property Agreement*, IPA) para avaliação e potencial desenvolvimento do depósito de titânio situado no Complexo Carbonatítico de Tapira (Iluka 2014).

A primeira fase do acordo entre as empresas Iluka e Vale consistia de estudos geológicos e técnicos, análises mercadológicas, assim como do tipo de planta piloto para o estudo do beneficiamento do minério de titânio (Iluka 2014). Os alvos destes estudos eram materiais *in situ* do Complexo Carbonatítico de Tapira, constituído por um manto de intemperismo com anatásio e ilmenita (minerais residuais), bem como pilhas de material estocado.

A massa de minério do manto *in situ* é estimada entre 1 e 1,5 bilhões de toneladas, com teores de TiO_2 entre 12% e 15%. Já a massa de minério de titânio das pilhas é estimada entre 70 e 100 milhões de toneladas, com teores de TiO_2 também de 12% a 15%. Estas pilhas são constituídas pelo material que originalmente recobria as regiões mais ricas em fósforo do complexo e que começaram a ser removidas em 1978, com o início da lavra de fosfato. Além de anatásio e ilmenita, elas contêm também óxidos de elementos terras raras e magnetita.

Passados dois anos, em 2016, este acordo foi encerrado sem perspectivas claras de novas fases. Os estudos não foram capazes de identificar processos viáveis de produção de TiO_2 , o que foi atribuído à complexidade geológica da jazida e à associação mineralógica presente no complexo (Iluka 2016).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amorim Neto A.A. 2013. Titânio. In: Lima T.M. & Neves C.A.R. *Sumário Mineral 2012*. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), v. 32. p. 115-116. ISSN: 01012053.
- Araújo I. 2015. *Gênese e Controles da Mineralização Secundária de P, Ti e ETR no Complexo Alcalino Carbonatítico de Salitre, MG*. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 143 p.
- Baltar C.A.M., Sampaio J.A., Andrade M.C., Pinto D.C. 2008. Minerais de Titânio. In: Luz A.B. & Lins F.A.F. (eds.). *Rochas & Minerais Industriais*. CETEM-MCT - Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro, 2ª ed., p. 841-863.
- Barbosa E.S.R., Brod J.A., Junqueira-Brod T.C., Dantas E., Cordeiro P.F.O., Gomide C.S. 2012. Bebedourite from its type area (Salitre I complex): A key petrogenetic series in the Late-Cretaceous Alto Paranaíba kamafugite-carbonatite-phoscorite association, central Brazil. *Lithos*, **144-145**:56-72. doi: 10.1016/j.lithos.2012.04.013
- Baum M. 2008. Wikimedia Commons. Disponível em <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ilmenite-173863.jpg> Acesso em 19/5/2018
- Bedinger G. 2016. *2014 Minerals Yearbook - Titanium [Advanced Release]*. USGS - Commodity Statistics and Information. 17 p.
- Bowles J.F., Howie R.A., Vaughan D.J., Zussman J. 2011. *Rock-Forming Minerals. Non-Silicates: Oxides, Hydroxides and Sulphides*. London, Geological Society of London, v. 5, 2ª ed., 418 p. ISBN: 9781862393158
- Brod J.A., Gibson S.A., Thompson R.N., Junqueira-Brod T.C., Seer H.J., Moraes L.C., Boaventura G.R. 2000. The kamafugite-carbonatite association in the Alto Paranaíba Igneous Province (APIP) southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **30**(3):408-412. doi: 10.25249/0375-7536.2000303408412.
- Brod J.A., Ribeiro C.C., Gaspar J.C., Junqueira-Brod T.C., Barbosa E.S.R., Riffel B.F., Silva J.P. da, Chaban N., Ferrari A.J.D. 2004. Excursão 1. Geologia e mineralizações dos complexos alcalino-carbonatíticos da Província Ígnea do Alto Paranaíba. In: 42º Congresso Brasileiro de Geologia. Araxá, Guia das Excursões, p. 1-29.
- Brod J.A., Junqueira-Brod T.C., Gaspar J.C., Petrinovic I.A., Valente S.C., Corval A. 2013. Decoupling of paired elements, crossover REE patterns, and mirrored spider diagrams: Fingerprinting liquid immiscibility in the Tapira alkaline-carbonatite complex, SE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **41**:41-56. doi: 10.1016/j.jsames.2012.04.013
- Campos J.E.G. & Dardenne M.A. 1997. Estratigrafia e sedimentação da Bacia SanFranciscana: Uma revisão. *Revista Brasileira de Geociências*, **27**(3):269-282. doi:10.25249/0375-7536.1997269282.
- Chemours. 2018. *Ti Pure - Polymers, light and science of TiO₂ - Product overview*. Disponível em https://www.chemours.com/Titanium_Technologies/en_US/assets/downloads/Ti-Pure-polymers-light-science-overview.pdf. Acesso em 19/5/2018
- Christie A. & Brathwaite R. 1998. Mineral Commodity Report 16 - Titanium. *New Zealand Petroleum & Minerals* 11 p.
- Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. 2013. *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*. 3ª ed. England, Mineralogical Society, 498 p. ISBN: 9780903056274
- Ferreira K.R.S. 2006. *Caracterização do Concentrado de Ilmenita produzido na Mina do Guaju, Paraíba, visando identificar inclusões de Monazita e outros Contaminantes*. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 45 p.
- Force E. 1991. *Geology of Titanium-Mineral Deposits*. Boulder, Colorado, Geological Society of America. 112 p. ISBN: 0813722594

- Fragoso D.G., Uhlein A., Sanglard J.C., Suckau G., Guerzoni H.T., Faria P.H. 2011. Geologia dos grupos Bambuí, Areado e Mata da Corda na Folha Presidente Olegário (1:100.000), MG: Registro Depositional do Neoproterozóico ao Neocretáceo da Bacia do São Francisco. *Geonomos*, **19**(1):28-38. doi: 10.18285/geonomos.v19i1.60
- Géry P. 2008. *Wikimedia Commons*. Rutile sur hématite (Brésil). Disponível em [https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ARutile_sur_h%C3%A9matite_\(Br%C3%A9sil\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ARutile_sur_h%C3%A9matite_(Br%C3%A9sil).jpg). Acesso em 19/5/2018.
- Iluka. 2014. *Agreement with Vale S.A. for Evaluation and Development of Major Titanium Deposit, Brazil*. Australian Securities Exchange Notice. 18 p.
- Iluka. 2016. *Iluka Tapira Evaluation Terminated*. Australian Securities Exchange Notice. 1 p.
- Klein E.L., Rosa-Costa L.T., Vasques M.L. 2014. Metalogênese da Borda Oriental do Cráton Amazônico. In: Silva M., Rocha Neto M., Jost H., Kuyumjian R.M. *Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras*. Belo Horizonte, CPRM, p. 171-194. ISBN: 9788574992211.
- Lemos R.L. & Gaspar J.C. 2002. O magmatismo kamafugítico em Maicuru e seu ambiente tectônico. In: 41º Congresso Brasileiro de Geologia, João Pessoa, Sociedade Brasileira de Geologia, *Anais...* p. 539.
- Lima T.M. & Neves C.A.R. (coords.). 2016. *Sumário Mineral 2015*. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), v. 35, 135 p. ISSN: 01012053.
- Lins F.A.F. 2008. Panorama das Rochas e Minerais Industriais no Brasil. In: Luz A.B. & Lins F.A.F. (eds.). *Rochas & Minerais Industriais*. CETEM-MCT - Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro, 2ª ed., p. 3-23.
- Millan C. 2008. *Anatase, Quartz - Hardangervidda, Hordaland, Norway*. Wikimedia Commons. Disponível em https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anatase,_Quartz_-_Hardangervidda,_Hordaland,_Norway.jpg. Acesso em 19/5/2018.
- Millan C. 2010. *Titanite - Tormiq valley, Haramosh Mts, Pakistan*. Fonte: Wikimedia Commons: Disponível em https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Titanite_-_Tormiq_valley,_Haramosh_Mts,_Pakistan.jpg. Acesso em 19/5/2018.
- Moraes A.M.V. & Veiga P.M.O. 2008. *Depósitos de Fe-Ti-V: Campo Alegre de Lourdes, Bahia*. Salvador, CBPM - Companhia Baiana de Pesquisa Mineral. Série Arquivos Abertos 30. 48 p.
- Oliveira Í.L. 2015. *Isótopos de Nd e Sr em minerais de diferentes séries petrogenéticas nos complexos alcalino-carbonatíticos de Salitre e Catalão I*. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 250 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.
- Queiroz Filho A.A. & Amorim Neto A.A. 2014. Titânio. In: Lima T.M. & Neves C.A. *Sumário Mineral 2014*. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), v. 34, p. 116-117. ISSN: 01012053.
- Queiroz Filho A.A. & Amorim Neto A.A. 2016. Titânio. In: Lima T.M. & Neves C.A. *Sumário Mineral 2015*. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), v. 35, p. 110-111. ISSN: 01012053.
- Ribeiro C.C. 2008. *Geologia, geometalurgia, controles e gênese dos depósitos de fósforo, terras raras e titânio do Complexo Carbonatítico Catalão I*, GO. Tese de doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 473 p.
- Ribeiro C.C., Brod J.A., Junqueira-Brod T.C., Gaspar J.C., Palmieri M., Cordeiro P.F.O., Torres M.G., Grasso C.B., 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., Kuyumjian R.M. (orgs.). *Metalogênese das províncias tectônicas brasileiras*. Belo Horizonte, CPRM, p. 559-589. ISBN: 9788574992211.

- Rolim V.K. 2014. Mineralizações de Ti e P no Grupo Mata da Corda. In: 2º Seminário das Províncias Metalogenéticas Brasileiras. Paracatu. CPRM. *Apresentações*.
- Rosa A.F. 2015. *Estudo de Amostras da Região de Presidente Olegário Visando Identificar Minerais Portadores de Urânio*. Trabalho de Conclusão de Curso, CEFET-MG/Unidade Araxá, Araxá, 124 p.
- Rosman K.J. & Taylor P. 1998. Isotopic compositions of the elements 1997. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, **27**(6):1275-1287. doi: 10.1063/1.556031
- Santos J.F. 2010. *Relatório Técnico 36 - Perfil do Titânio*. Brasília, Ministério de Minas e Energia. Relatório Técnico 36, 29 p.
- Schnellrath J., Monte M.B.M., Veras A., Rangel Jr. H., Figueiredo C.M.V. 2001. Minerais Pesados INB. In: Sampaio J.A., Luz A.B., Lins F.F.. *Usinas de beneficiamento de minérios do Brasil*. Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 1ª ed., p. 187-197. ISBN: 8572271414
- Silva C.G. 2000. Placeres marinhos. *Revista Brasileira de Geofísica*, **18**(3):327-336.
- Silver A. 2011. *Perovskite mineral*. Wikimedia Commons. Disponível em https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3APerovskite_mineral.jpg. Acesso em 19/5/2018.
- Vassil. 2008. *Brookite sur quartz*. Wikimedia Commons: Disponível em https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ABrookite_sur_quartz_170308_2.jpg. Acesso em 19/5/2018
- Woodruff L. & Bedinger G. 2013. Titanium-Light, strong, and white. U.S. *Geological Survey Fact Sheet* 2013–3059, 2p.
- Woodruff L.G., Bedinger G.M., Piatak N.M. 2017. Titanium, chap. T. In: Schulz K., De Young Jr J., Seal II R., Bradley D. (eds.). *Critical Mineral Resources of the United States—Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply*. U.S. Geological Survey Professional Paper 1802, p. T1–T23. doi: 10.3133/pp1802T