

## TITÂNIO

Dr. João Henrique Grossi Sad  
Geologia e Sondagens Ltda.

Coordenador:

Dr. Benedito Paulo Alves

"The project is too ambitious. The topic is gigantic. One short essay must inevitably distort, omit, exaggerate, oversimplify, dogmatize, and make outright errors. Worse, the material is not static. No matter how accurate, an account grows obsolete as it is being written"

Paul Anderson, 1969.

## 1. - INTRODUÇÃO

O titânio foi descoberto pelo clérigo inglês Willian Gregor, em 1790. Em 1906 foi comercialmente aplicado na produção de ferro-liga, nos EEUU. Desde 1918 o titânio é empregado no fabrico de pigmento de bióxido de titânio. A utilização do metal na cobertura de elétrodos de solda data de 1935.

A partir de 1948 o titânio, sob forma metálica, tornou-se comercialmente importante.

Os E.E.U.U. são atualmente o maior consumidor mundial de titânio, na forma de pigmento ou na forma metálica.

O titânio é predominantemente usado na produção de pigmento branco. Este tipo de uso totaliza cerca de 92% da aplicação do elemento.

As duas fontes principais de titânio são a ilmenita e o rutilo. O pigmento branco, preparado a partir desses minerais e comercialmente vendido na forma de substâncias que têm estrutura cristalina idêntica ao do rutilo e anatásio, modificações polimórficas do óxido de titânio. Em geral a ilmenita é usada no preparo de pigmento e o rutilo, de pigmento e metal.

A tendência mundial é cada vez mais usar a ilmenita, pois que as reservas conhecidas de rutilo não são grandes e o custo de produção do mineral é comparativamente elevado.

O pigmento branco, em vista da sua brancura, elevado índice de refração e poder de dispersão da luz, é excelente para o preparo de tintas, papel borracha e outros materiais. Todo o papel usado na impressão leva pigmento branco, exceto papel de jornal, papel de catálogo telefônico e papel higiênico.

A aplicação de titânio metálico tem crescido sobremaneira, em vista de suas peculiares propriedades, tais como leveza e resistência à corrosão. Pode-se prever o progressivo aumento do consumo de material, sob forma metálica.

O consumo mundial de minerais de titânio, como matéria-prima, está em torno de 1,5 milhões de toneladas por ano. Até o fim do século, isto é, daqui a 27 anos, prevê-se que o consumo situar-se-á entre um mínimo de 3 milhões de toneladas e um máximo de 7 milhões de toneladas (1,2).

Um balanço entre o consumo mundial de titânio e o suprimento de matéria-prima mostra que a ilmenita contribui com 85% para o suprimento, e o rutilo, 15%. Com base nas reservas conhecidas de rutilo, pode-se prever que elas se esgotarão em meados da próxima década.

Se considerarmos o contextro brasileiro, verifica-se ser pequena a produção de ilmenita e rutilo, assim como as reservas (3,4). A reserva medida de minério de ilmenita é de 1.643.000 ton., sendo de 53.000 ton. as reservas indicada e inferida. A produção de ilmenita tem decrescido de modo irregular; era de 7.687 em 1960, atingindo 1.460 ton em 1971; a maior parte do material é estocado.

A importação de ilmenita foi iniciada em 1970, atingindo cerca de 10.000 ton e tal valor vem aumentando progressivamente.

A importação de pigmento de bióxido de titânio cresce na ordem de 2000 ton anuais. Em 1970 importou-se 18.307 ton de pigmento.

⊕ O panorama brasileiro referente a depósitos de ilmenita e rutilo é pouco encorajador, especialmente se lembrarmos que os depósitos de areias de praias, portadoras dos minerais mencionados, em geral contém apenas 2% de material aproveitável, conforme o demonstra a experiência de mineração em países produtores.

É possível que áreas com areias de praias, quando forem convenientemente pesquisadas possam vir a suportar nossas necessidades de ilmenita. Contudo tal trabalho de pesquisa não vem sendo realizado.

Por outro lado, existem dois importantes cinturões de rochas granulares básicas de facies charnockítica no leste brasileiro (estados de Bahia, Minas Gerais, Espírito Santo). Como cerca de 50% das reservas conhecidas de ilmenita são encontradas em anortositos não seria temerário prever a descoberta de ilmenita comercialmente explorável em anortositos dos dois cinturões mencionados. É relevante mencionar que os depósitos de praia, portadores de ilmenita, no estado do Espírito Santo (90% das reservas brasileiras conhecidas) parecem derivar dos cinturões de rochas charnockíticas.

No tocante ao rutilo, acreditamos ser pouco provável o achado de depósitos importantes. As ocorrências conhecidas associam-se especialmente a rochas quartzozas metassedimentares dos grupos Canastra e Araxá, em Minas Gerais e Goiás.

Recentemente foram descobertos enormes depósitos de anatásio e leucóxênio em complexos silicocarbonatíticos, em Minas Gerais e Goiás (5). Um enorme esforço vem sendo feito por uma das firmas detentoras dos direitos minerais em dois dos mais importantes complexos, para desenvolver um processo comercialmente factível de utilização dos minerais de titânio. Caso o desenvolvimento tecnológico conduza ao bom aproveitamento dos depósitos, eles se constituirão, sem sombra de dúvida, nas mais importantes reservas mundiais de titânio, sob forma de um polimorfo de  $TiO_2$ .

## 2. — CONSIDERAÇÕES GEOQUÍMICAS (6, 7, 8, 9)

O titânio é um elemento litófilo e dos elementos que mais se relacionam com o Silício, a saber Titânio, Hafnio e Zircônio, é o mais abundante. Seu clarke de concentração é 0,44%, sendo o nono mais importante elemento da crosta terrestre, em volume.

Sua contribuição em algumas séries rochosas vem mostrada a seguir (10, 11) em partes por milhão.

### Conteúdo médio do titânio em séries rochosas

Rochas ultramáficas	300
Rochas máficas	9000

Rochas intermediárias	8000
Rochas felsicas	2300
Folhelhos	4600
Arenitos	1500

Em relação aos elementos que pertencem ao mesmo período químico, é o Vanádio, com carga igual a 4 que substitui algum titânio, pois seus raios iônicos são semelhantes e a energia de ionização é igual. Exibe afinidades químicas com o magnésio, nióbio e fósforo, que pertencem ao mesmo grupo químico.

O potencial iônico do titânio situa-se entre 3 e 10 e por isso, quando solubilizado, precipita-se sob forma de um hidrolizado.

A percentagem do caráter iônico da sua ligação com o oxigênio é de 60% para o titânio trivalente e 51% para o titânio tetravalente.

Vários minerais contém titânio como um constituinte maior; ocorre também oculto em muitos minerais de importância petrográfica.

Os principais minerais de titânio que ocorrem em quantidades suficientemente grandes para terem importância comercial serão aqui mencionados. Apresenta-se maiormente como titânio tetravalente nos minerais independentes.

Os minerais independentes de titânio, mais abundantes, são a ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ), rutilo ( $\text{TiO}_2$ ), anatásio ( $\text{TiO}_2$ ), Titanita ( $\text{CaTiSiO}_5$ ) e perofskita ( $\text{CaTiO}_3$ ). O conteúdo teórico em  $\text{TiO}_2$  nesses minerais é 52,7% (ilmenita), 100% (rutilo e anatásio), 41% (titanita) e 58,9% (perofskita).

Os cinco minerais são acessórios comuns em várias sequências rochosas, a ilmenita sendo a mais abundante. É fácil entender tal fato, bastando considerar que os óxidos de ferro são os acessórios mais frequentes em muitos tipos rochosos. Dada a especial atração que o elemento tem pelo oxigênio, fica explicado serem óxidos os constituintes mais comuns de titânio.

Rochas alcalinas, especialmente as séries ultramáficas—máficas, tem o titânio fixado principalmente na titano-magnetita, na perofskita e no anatásio.

O rutilo mostra especial preferência para se associar a pegmatitos graníticos e nefelínicos e a filões de quartzo, em sequências metassedimentares.

A ilmenita associa-se maiormente a rochas gabro-anortosíticas presentes em cinturões charnockíticos, de idade precambriana.

O titânio mostra uma tendência a se separar na fase inicial de cristalização magmática (7,12), concentrando-se como ilmenita e titano-magnetita. Nesse caso a proporção de magnetita é superior a àquela dos minerais de titânio. Se a cristalização é tardia, a ilmenita ocorre maiormente, quando comparada a magnetita.

A presença de titânio em minérios de ferro é considerada por muitos autores como indicadora da origem primária do minério (magma). Contudo, os minérios de ferro pertencentes à Série Minas, situados fora dos limites do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, portam normalmente alguma ilmenita e apatita. Nenhum dos dois minerais é encontrado no Quadrilátero Ferrífero. Sabe-se que os minérios

COMPARAÇÃO ENTRE PROPRIEDADES DE MINERAIS DE TITÂNIO

	ILMENITA	RUTILO	ANATÁSIO	TITANITA	PEROVSKITA
Sistema	trigonal	tetragonal	tetragonal	monoclínico	monoclínico
Simetria	3	4/m 2/m 2/m	4/m 2/m 2/m	2/m	
Retículo	R	P	I	C	
Elementos axiais	a:c=1:2,76	a:c=1:0,6439	a:c=1:2,514	a:b:c=0,753:1: 0,854;β=119°43'	a=6,55, b=8,70 a=7,58, b ou c = c=7,43 15,26
Dimensões	a=5,093 c=14,06	a=4,594 c=2,958	a=3,783 c=9,51	4 [CaTiO <sub>5</sub> ] {110}	8 [CaTiO <sub>3</sub> ]
Conteúdo	6 [FeTiO <sub>3</sub> ]	2 [TiO <sub>2</sub> ]	{001}{101}		
Clivagem	—	{110}	5,5-6	6	5,5
Dureza	5-6	6-6,5	3,90	3,5	4,0
Densidade	4,79 (pura)	4,25 (calc.)			
Geminação	{0001}	{101}		{100}	
Cor	Negra	Castanho	Amarelo Verde Castanho lilaz	Castanho Amarelo, cinza	Amarelo a Casta- nho
Brilho	Met. a sub- met.	Adamantino	Adamantino a opalino	Adamantino	Adamantino
Traço	Negro	Castanho claro a branco	Incolor a amarelado	Branco	Incolor a cinza

enriquecidos supergenicamente contém, via de regra, centésimos a décimos por cento de titânio e fósforo. É possível que durante o metamorfismo catazonal a que a Série Minas foi submetida fora dos limites do Q.F., tenham ocorrido condições para transformação dos produtos oxidados em ilmenita e apatita. Nesse particular é importante mencionar que uma elevada proporção do minério de ferro contém magnetita, ao contrário do minério típico do Q.F., que é essencialmente hematítico.

O rutilo é comum em diferenciados tardios, ocorrendo em pegmatitos gabiños e ácidos. Analogamente, nas variedades básicas de pegmatitos alcalinos o rutilo é encontrado.

Os minerais petrográficos de titânio (ilmenita, rutilo e titanita) são estáveis em condições meteóricas. Contudo, quando atacados, dão origem a um produto de decomposição denominado leucóxênio, que é uma mistura de óxidos e hidróxidos de titânio.

O titânio contido nos minerais petrográficos ferromagnesianos (piroxênios, anfíbolios, micas) é normalmente dissolvido durante a meteorização, mas hidroliza-se facilmente, originando anatásio, rutilo, ilmenita, brookita, etc., nos sedimentos derivados (bauxitas, lateritas), nos quais o teor em  $TiO_2$  pode atingir valores elevados.

### 3. — GEOLOGIA DOS DEPÓSITOS

(2, 5, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23)

Nesta parte do trabalho serão descritos alguns depósitos de minerais de titânio. Visando simplificar a apreciação da geologia dos depósitos, oferecemos à consideração crítica um esboço tipológico dos depósitos, ou dito de modo mais tradicional, em esboço de classificação geológica.

Os depósitos de minerais de titânio de maior expressão econômica associam-se a certas sequências rochosas específicas. No esboço ora apresentado, certos depósitos de pequena expressão econômica foram incluídos, apenas com objetivo didático. É claro que alguns deles poderão se transformar no futuro em depósitos comercialmente exploráveis.

#### Classificação dos Depósitos de Titânio.

- I. Depósitos associados a sedimentos aluviais, em ambiente costeiro.
  - 1) com ilmenita dominante sobre rutilo;
  - 2) com rutilo dominante sobre ilmenita.
- II. Depósitos associados a sedimentos eluvio-aluviais, em ambiente continental.
 

Rutilo Dominante.
- III. Depósitos associados a sedimentos originados por concentração residual e enriquecimento supergênico.
  - 1) Em mantos de bauxita e/ou lateritas ferruginosas.
  - 2) Em mantos de bauxita granular sobre complexos máficos c/carbonatito.

- IV. Depósitos associados a rochas ultramáficas piroclásticas.
- V. Depósitos filonianos associados a rochas metassedimentares.
- VI. Depósitos associados a pegmatitos nefelínicos.
- VII. Depósitos associados a complexos silicocarbonatíticos.
  - 1) Em diferenciados máficos (piroxenólitos e mecaperidotitos).
  - 2) Em filões.
- VIII. Depósitos associados a sequências charnockíticas (em anortositos e noritos).

A apreciação do esquema exposto acima mostra que sob um ponto de vista comercial, apenas depósitos do tipo I e VIII têm sido objeto de mineração. Depósitos do tipo II têm sido trabalhados, especialmente no Brasil, em regime de garimpagem.

Até 1942, a ilmenita e o rutilo eram produzidos maioritariamente a partir de depósitos do tipo I (depósitos de areia). A partir desse ano alguns depósitos do tipo VIII, de grande tonelagem, foram descobertos e desenvolvidos; atualmente, mais ilmenita é produzida a partir de depósitos do tipo VIII, que do tipo I. A maior parte da produção do rutilo ainda provém de depósitos de areia.

Em virtude da enorme tonelagem de material titanífero descoberto em complexos silicocarbonatíticos, de Minas Gerais e Goiás, impõe que consideremos como sendo de grande importância os depósitos do tipo III 2, ou seja, depósitos em mantos de laterita granular sobre tais complexos.

Alguns dos principais tipos de depósitos de minerais de titânio serão examinados a seguir; preliminarmente, uma breve revisão sobre os depósitos dos tipos I, III 2 e VIII será apresentada.

#### A. Depósitos do tipo I

Areias presentes em dunas, praias e sedimentos de corrente são caracteristicamente enriquecidas em minerais pesados, resistentes à meteorização química e física. Alguns desses minerais incluem a magnetita, a hematita, a ilmenita, o rutilo, a monazita, o zircão e a granada.

A ilmenita e o rutilo são comuns em muitas praias de várias partes do mundo, assim como em dunas costeiras. Na Austrália existem areias de praia nas quais o mineral dominante, sob um ponto de vista econômico é a ilmenita; em outras, é o rutilo. Praias atlânticas, da Flórida ao Espírito Santo, contêm ilmenita.

No Brasil, de estados nordestinos até o estado do Rio existem várias espécies de depósitos costeiros com areias ilmeníticas, em ambientes como a) barreiras elevadas; b) praias elevadas, c) dunas e d) placers de idade quaternária.

Os depósitos de maior importância econômica associam-se a areias de praia. Contêm como principais substâncias recuperadas a ilmenita, o rutilo e leucoxênio.

As condições de formação de tais depósitos incluem condições climáticas tropicais, recentes ou passadas, com peneplanação de massas continentais. Uma característica comum dos mesmos é a alta semelhança entre a associação mineral presente, a diferença mais notável sendo a desigual percentagem dos minerais que constituem



as areias.

Outra característica da associação mineral das areias de praia é a fonte supridora, que sempre se constitui de rochas cristalinas.

Muitos autores têm esboçado os passos necessários à constituição dos depósitos de areias de praia (24); sua história geológica compreende: a) existência de um embasamento de rochas cristalinas, nas quais os minerais pesados aparecem normalmente como acessórios. Tal embasamento quando submetido a uma b) fase de peneplanação ou pediplanação, com formação de solos e lateritas, constitui-se em fonte de abastecimento; com soerguimento continental são destruídas as coberturas, transportadas diretamente ao mar. (Se o transporte não é direto formam-se depósitos continentais associados a sedimentos de corrente, mas de baixo teor, em geral). O nível de base dos cursos d'água varia, por vezes de modo abrupto, devido a falhamento que flanqueia muitas das costas continentais; isto provoca um incremento na taxa de desmonte e transporte do material. (No caso da costa Espiritossantense ocorreu a deposição dos sedimentos transportados pelos cursos d'água na Formação de Barreiras e posterior concentração na orla oceânica, devido ao soerguimento continental, com retomada da fase erosiva e concentração além da linha de falésias). O afogamento parcial da linha de costa faz com que os depósitos de areia em construção, a partir de deposição deltaica ou não, sejam retrabalhados pelas ondas do mar. As areias são espalhadas ao longo da linha de costa. O processo envolve construção de barreiras e de planícies e costeiras. Os minerais mais leves são levados pelas ondas c) Em uma fase posterior o recuo do mar faz com que depósitos previamente formados sejam afetados pela ação do vento ou das ondas. Uma nova concentração ocorre nesta oportunidade, com a retirada de minerais mais leves e formação de depósitos econômicos.

#### Depósitos brasileiros

As principais ocorrências brasileiras de ilmenita situam-se no estado do Espírito Santo. Neste estado as areias costeiras têm como principal mineral pesado a ilmenita; as próprias areias monazíticas contêm a ilmenita em abundância. O mineral ocorre em grãos subarredondados a subangulares, com tamanho variável entre 0,2mm a 1,2mm. As praias de areias pretas de Guarapari, famosas pelas suas propriedades terapêuticas, constituem depósitos onde a ilmenita é o principal constituinte pesado. Outros minerais pesados presentes incluem a monazita, o zircão e o rutilo. O quartzo é o mineral leve mais abundante.

A identificação das áreas costeiras onde existem os depósitos é simples, de vez que eles constituem faixas pretas nas praias, contrastantes com a monótona cor esbranquiçada das areias não mineralizadas.

Os principais depósitos economicamente exploráveis situam-se nos municípios de Primeira Cruz, Barreirinhas, Tutoia (Maranhão), Touros (R.G.do Norte), Porto Seguro a Mucuri (Bahia), Aracruz, Serra, Vitória, Espírito Santo, Guarapari, Anchieta, Itapemerim (Espírito Santo), Itabapoana, Campos (Rio de Janeiro).

A geologia dos depósitos de ilmenita ocorrentes na orla costeira acima mencionada (superior a 1000 Km de extensão) pode ser sintetizada do modo seguinte (25):

A ilmenita concentra-se em duas variedades de depósitos: em praias (atuais e pretéritas) e em restingas (paralelas às praias atuais ou de barragem de estuários). A espessura dos depósitos de praias é de 1 a 3m, enquanto os de restinga atingem 4m.

Durante o período cretácico ocorreu desmonte da cobertura de solos portadores de ilmenita, na região interior do país. Em nossa opinião a fonte abastecedora da maior parte da ilmenita (e de alguns outros minerais pesados) da orla costeira é a sequência charnoclítica que bordejia grande extensão da costa brasileira, em geral a distâncias não superiores a 150 Km da linha da praia. Esse desmonte foi originado por soerguimento continental ou rebaixamento do mar, o que provocou rejuvenescimento da drenagem. É possível que o processo de soerguimento continental ou rebaixamento do mar tenha sido controlado pela linha de falhas que bordejia o litoral e que permitiu a deposição de centenas de metros de sedimentos cretácicos e terciários. No litoral do Espírito Santo, em sondagens realizadas no porto de Tubarão, sedimentos semelhantes aos da Formação de Barreiras foram cortados, abaixo do nível do mar.

O material transportado pelos cursos d'água rejuvenescidos foi em parte depositado nas baixadas da costa e em parte carregado ao mar. A inspeção das camadas de arenitos argilosos da Formação Barreiras, em cortes da nova rodovia litorânea que interliga o Rio a Salvador, especialmente no Espírito Santo, demonstra que tais sedimentos portam em seus horizontes basais concentrações de minerais pesados. Neste estado é possível se examinar o contato entre a Formação Barreiras e o embasamento, que é bruscamente marcado por uma linha paralela à costa e que corresponde a uma linha de escarpa de falha. Esta linha dista, em geral de uma a duas dezenas de quilômetros da linha da costa.

Durante a deposição dos sedimentos da Formação Barreiras, condecciona-se uma linha de praia, movel para leste. A faixa da Formação Barreiras, a partir de Cabo Frio, alarga-se progressivamente para o norte, atingindo várias dezenas de quilômetros na altura de Salvador. Já entre Aracajú e Fortaleza, a faixa de Formação Barreiras é estreita; atualmente, a região interiorana correspondente a tal faixa é um planalto de pequeno relevo. É claro que tal fato contribuiu para a dispersão dos minerais pesados, carregados pelos cursos d'água.

A Formação Barreiras, entre o sul da Bahia e o norte do Rio de Janeiro situa-se sobre um nível entre 20 e 60 m acima do nível do mar. O soerguimento da costa provocou a destruição parcial da formação e afogamento da drenagem existente. A simples inspeção do mapa topográfico do estado do Espírito Santo demonstra tal fato. Os cursos d'água passaram a escavar a própria formação Barreiras, durante o soerguimento da costa. É interessante observar que esses cursos são mais ou menos retilíneos, profundamente escavados e destituídos de tributários menores. Formou-se então uma linha de falésias ou barreiras, em cujo sopé se depositavam os detritos

trazidos pelos cursos d'água. Nesses depósitos restavam a ilmenita, enquanto materiais mais leves eram carregados para o mar.

Os terraços formados constituem as jazidas de praias antigas, que se caracterizam também pelo ataque das ondas do mar durante as fases de maré. Com o recuo progressivo do mar, o material desmontado pelas ondas era levado para a constituição de restingas de areia, que bloqueavam os estuários. O trabalho do mar removeu boa parte dos minerais leves das restingas, deixando novos depósitos de areias mineralizadas.

A emergência recente da costa brasileira, inferior a uma dezena de metros, alçou os depósitos de praia e de restingas desnudando-os da água que os recobria.

A concentração das areias para a recuperação da ilmenita é feita por meio de mesas e espirais Humphrey. A separação da ilmenita, da monazita e zircão é feita em campo de alta intensidade magnética.

As areias contém desde 5 a 90% de ilmenita, variando de ponto a ponto o teor. Níveis ricos contém um máximo de 5% de quartzo, o restante sendo ilmenita, monazita e zircão. De nível a nível pode variar a qualidade da ilmenita. Análises de concentrados de ilmenita da Bahia e Espírito Santo contém entre 51 e 58% de óxido e titânio, o que indica a presença de produtos secundários, oxidados, de titânio, no material.

#### B. Depósitos do tipo III 2

Lateritas granulares, contendo uma extensa gama de minerais, alguns primários, outros secundários, tais como magnetita, ilmenita, rutilo, zircão, anatásio, apatita, pirocloro, barita, quartzo, leucóxênio, perofskita, monazita, goyazita, gorceixita, goethita, etc., são presentes como mantos residuais sobre complexos silicocarbonatíticos em Minas Gerais e Goiás, principalmente.

Dada a complexidade da mineralização oxidada, é sempre difícil a concentração econômica de alguns dos minerais de interesse, a saber: pirocloro, apatita e anatásio. Aparentemente, o problema já foi resolvido no tocante ao pirocloro e à apatita, encontrando-se em investigação a concentração do anatásio.

Os depósitos são de três espécies principais: pirocloro, apatita e apatita-anatásio, existindo transições entre os mesmos. Os concentrados obtidos visam ter uma fase homogênea, com apenas um dos minerais.

Os principais complexos portadores de tais mineralizações são os de Tapira, Barreiro, Salitre e Catalão, este último em Goiás.

A descrição do depósito de minerais de titânio de Tapira é suficiente para a caracterização tipológica desta classe de jazida (26).

A maior parte do complexo é recoberto por um potente manto residual de produtos de meteorização. Esses produtos são lateríticos, de cor tijolo, granulados, com matriz argilosa considerável. Sua espessura média é de 60 metros, a máxima atingindo 150 metros. O manto tem sua base horizontalizada a um nível próximo de 1.200 metros.

O manto tem em sua parte inferior uma zona de transição (10 metros em geral) entre rocha decomposta e rocha fresca. A parte média é formada por material granular, friável e é capeada por material mais rico em argilas e em óxidos de ferro.

Os seguintes minerais foram identificados no manto: apatita, anatásio, perofskita, rutilo, limenita, goethita, magnetita, hematita, limonita, barita, piritita, goyazita, gorceixita, monazita, vermiculita, silicatos decompostos, argilo-minerais, quartzo, pirocloro, calcedônia, zircão, titanita, óxidos de manganês, calzirtita, etc.

O titânio é maiormente contido pelo anatásio e, secundariamente pela ilmenita, perofskita, rutilo. Uma elevada proporção desses minerais encontra-se leucoxenizada.

Estudos de detalhe efetuados pelas firmas que detêm interesses minerais em Tapira permitirão se conhecer a exata proporção entre os minerais de titânio; é certo porém que uma das características do depósito é a extrema variabilidade nesta proporção.

A perofskita é predominantemente encontrada apenas em rocha fresca a semidecomposta disseminada nas mesmas; seus grãos têm entre 0,1 a 6 mm de diâmetro, são euédricos ou anédricos. O mineral é transparente a semiopaco, exhibe hábito pseudocúbico, cor castanha. Decompõe-se originando anatásio, rutilo e leucoxênio. Mostra-se recortada por magnetita e ilmenita. Atinge até 10% em volume da rocha, que é principalmente piroxenólito e micaperidotito.

A perofskita ocorre também em veios portadores de magnetita e ilmenita. Pseudomorfos de cristais de perofskita de veio atingem até 50 cm de diâmetro. O material encontrado nos cristais é anatásio e leucoxênio, maiormente.

Estimamos que a perofskita presente no manto atingem percentagem em peso de até 5%. São raros grãos frescos do mineral.

A ilmenita (sempre associada à magnetita) é o mineral mais comum em todos os tipos petrográficos detectados em Tapira. São raros os grãos de magnetita, que ao microscópio, não revelem a presença de lemelas de ex-solução de ilmenita. Não se determinou a presença de grãos individuais de ilmenita no manto. Os grãos de magnetita-ilmenita têm em média 0,4 mm de diâmetro. Estima-se que a proporção volumétrica de ilmenita, nos grãos de magnetita, atinja 30%.

Entre 30 a 60 por cento dos materiais do manto são constituídos por magnetita-ilmenita.

Anatásio leucoxenizado ocorre em qualquer amostra de material laterítico. Isso significa que a maior parte do titânio do manto encontra-se fixado ao mineral. Estimamos em 60% a proporção de  $TiO_2$ , sob forma de anatásio, presente em Tapira.

O material tem cor esverdeada a esbranquiçada. Geralmente, os grãos individuais soldam-se uns aos outros, o cimento sendo limonítico. O tamanho médio dos grãos é de 3-5 mm, sua forma é octaédrica; é opaco a translúcido, com estrutura colofânica. Os grãos individuais contêm inclusões de óxidos de ferro e fosfatos (goyazita e gorceixita), assim como películas recobridoras das mesmas substâncias.

O rutilo é um mineral raro e exibe-se em manchas, em cristais de perovskita.

A área de ocorrência dos minerais de titânio, no manto, tem cerca de 4 por 3 Km. A parte superior do manto é argilosa, porta até 10% de  $TiO_2$  e tem espessura máxima de 30 metros. Segue-se uma faixa ferruginosa, com até 30% de  $TiO_2$ ; sua espessura varia entre 20 e 40 metros. A faixa inferior, transicionando para rocha fresca, tem em média 5% de  $TiO_2$  e a própria rocha fresca, 3% de  $TiO_2$ .

A distribuição dos minerais de titânio (em Planta), em termos de  $TiO_2$ , se faz a partir de várias áreas arredondadas, de teor mais elevado. Em perfil a forma dos corpos químicos assemelha-se a uma barrica, muito achatada.

O DNPM executou em Tapira cerca de 6.800 m de furos de sonda, vertical, além de outros trabalhos de pesquisa mineral. Tais trabalhos permitiram uma primeira avaliação do potencial mineral da área. Em termos de óxido de titânio ( $TiO_2$ ) não especificado em que tipo de material o óxido ocorre, atinge-se uma reserva global superior a 100 milhões de toneladas de material, com teor próximo de 21%  $TiO_2$ . A diluição do teor permite obter uma reserva de cerca de 500 milhões de toneladas de material, com teor próximo de 16%  $TiO_2$ .

As reservas mencionadas englobam o titânio contido no manto decomposto.

Recentemente, professores da Escola de Engenharia da UFMG produziram em escala de laboratório concentrados de óxido de titânio, por flotação. Após ataque por ácido clorídrico diluído e calcinação, o material titulou mais de 93%  $TiO_2$  (informação do Prof. Noé Chaves). O minério utilizado foi de Tapira e continha teor inicial de 16%  $TiO_2$ .

Esse trabalho mostra a possibilidade de se obter um produto comercial a partir das substâncias ocorrentes nos mantos de decomposição dos complexos.

### C. Depósitos do tipo VIII

Os depósitos de ilmenita (maiormente), em rocha, associam-se a rochas anortosíticas e gabróides. Os principais depósitos são de ilmenita-magnetita, ilmenita-hematita e ilmenita-rutilo. A primeira associação exibe intercrescimentos separáveis de modo fácil. A associação ilmenita-hematita é normalmente tão íntima que o concentrado obtido contém os dois minerais. A terceira associação ocorre em complexos que exibem ora os dois minerais juntos, ora separados.

Não existem depósitos do tipo VIII conhecidos no Brasil. Encaramos a possibilidade de sua descoberta com enorme esperança.

Por razões didáticas oferecemos algumas observações sobre um grupo de jazidas alienígenas desse tipo.

Nos arredores dos lagos Sanford e Henderson, Nova York (Estados Unidos) ocorrem grandes massas de anortosito precambiano, que compõe parte da sequência rochosa das Montanhas Adirondack. O anortosito é muito puro, porfirítico, composto de labradorita. Os corpos de ilmenita magnetita situam-se nas faixas de graduação entre anortosito e gabro, são grosseiramente tabulares, mergulham fortemente e têm até 600 m de extensão, com muitas dezenas de metros de espessura. O miné-

rio pode ser maciço, com grãos próximos de 5 mm, ou se disseminar com a encaixante, tendo grau mais fino. Sulfetos, carbonatos, apatita e turmalina ocorrem de pequena quantidade no minério.

O minério lavrado na área tem 60–70% de magnetita e 40–30% de ilmenita. Contém 20%  $TiO_2$ . A magnetita contém lamelas exsolvidas de ilmenita. O concentrado de magnetita porta 10% de  $TiO_2$  em média.

Na região de Sokndal, próxima do Fjord Jossing, na Noruega são conhecidas e lavradas jazidas de ilmenita-noritos e ilmenita-anortositos ocorrendo corpos puros de ilmenita-magnetita.

Um dos corpos, o de Storgangen, ocorrem ao longo de uma fratura no anortosito e tem 1.200 m de extensão, por 50 metros de largura. O minério tem cerca de 40% de ilmenita, o restante sendo hipertênio, labradorita, magnetita, biotita, calcopirita, pirita e espinela. Os grãos de ilmenita podem conter lamelas de hematita. A magnetita não exhibe intercrescimentos. O depósito tem 300 milhões de toneladas de minério.

#### 4. O MODELO INDUSTRIAL DO TITÂNIO(1, 1, 27)

Ao contrário de muitas das indústrias minerais (por exemplo, a do ferro), a indústria do titânio é integrada, isto é, às organizações operadoras atuam desde a fase da lavra até a fase de produção de semiacabados, incluindo-se a sua comercialização.

Apenas uma organização associada (que inclui a Titanium Metals Corporation of América, a National Lead Company e a Allegheny Ludlum Steel Corporation é totalmente integrada, incluindo em sua linha de produção o titânio metálico.

Os principais países produtores de ilmenita são os Estados Unidos (6 minerações), Canadá (1 mineração), Noruega (1 mineração), Austrália (5 minerações) e a URSS (várias minerações); no tocante ao rutilo, a Austrália tem 12 minerações, Serra Leoa, 1 mineração e a URSS, várias minerações.

Vinte e dois países (incluindo o Brasil são os maiores consumidores de pigmento de óxido de titânio; as unidades industriais existentes nesses países produzem de poucos milhares de toneladas até 125.000 toneladas por ano.

Os percentuais de consumo mundial de pigmento e titânio metálico pode se apreciados a partir do quadro seguinte:

	Pigmento	Metal
<i>Estados Unidos</i>	35%	50% (1 <sup>o</sup> )
<i>União Soviética</i>	25%	(2 <sup>o</sup> )
<i>Inglaterra</i>	8%	(4 <sup>o</sup> )
<i>Alemanha (R.F.)</i>	7%	
<i>Japão</i>	6%	(3 <sup>o</sup> )
<i>França</i>	4%	

O controle das reservas mundiais de ilmenita, nos Estados Unidos e Noruega, é feito pela National Lead Co., que detêm 50% das mesmas. Cerca de 90% das reservas australianas pertencem à Consolidated Goldfields of South Africa Ltd. Os restantes 10% são controlados em sua grande parte pela Conzinc Rio Tinto e pela National Lead Co. As reservas de rutilo de Serra Leoa pertencem à PPG Industries, Inc. (80%) e a British Titan Products Company, Ltd. (20%).

A produção mundial de ilmenita mostra o seguinte panorama, no tocante às companhias:

#### *Companhias*

National Lead Co.	
E.I. do Pont de Nemour & Co., Inc	35%
British Titan Products Company, Ltd.	
La porte Titanium Ltda.	20%
Companhias de Governos Comunistas	25%
American Cynamid Co.	
Glidden-Durkec Division of SCM Corp.	
The New Jersey Zinc Co.	
Ferbenfabriken Bayer A.G.	20%
Montecatini Edson S.P.a.	
Ishiharo Sangyo Kaisha, Ltda.	
Outras	

Do total da produção dos 22 principais países que operam com titânio, 85% deles é realizado nos próprios países, por firmas particulares ou pelos governos locais. Os 15% restantes estão distribuídos assim: a National Lead Controla 7,5%, trabalhando na Alemanha (R.F.), no Canadá e na Noruega. Os restantes 7,5% são operados pela Pont, BTP e La Porte.

## 5. TERMINOLOGIA DAS MATÉRIAS PRIMAS E DE PRODUTOS DE TITÂNIO

a) **Ilmenita.** Os concentrados têm entre 56% a 60% de  $TiO_2$ . Quando se pretende produzir pigmento com a ilmenita, os concentrados não podem ter mais que 0,2% de  $Cr_2O_3$  e 0,5% de  $V_2O_5$ . **Observação:** Nos Estados Unidos e do Pont trabalha com misturas de ilmenita, rutilo e leucoxênio, que titulam entre 60% e 80% de  $TiO_2$ .

b) **Escória de Titânio.** Esse material é produzido a partir da fusão, em forno elétrico, de uma mistura de ilmenita (em geral) e carbono. A escória vendida pela Quebec Iron and Titanium Corp. tem 70%  $TiO_2$ .

c) **Tetracloroeto de titânio.** Líquido incolor, volátil, usado na fabricação do metal e pigmentos. É produzido pela cloretação da matéria prima a uma temperatura de 850-900°C, em presença de coque de petróleo. É operado em ambientes inertes, para evitar contaminação com ar ou água com os quais o tetracloroeto reage violentamente. A principal matéria-prima é o rutilo, empregando-se também a ilmenita e a escória.

d) **Esonja de titânio.** Produto metálico obtido pela redução do tetracloroeto, com magnésio (processo KROLL).

e) **Pigmento.** É produzido por 2 métodos. No **processo cloreto**, o  $TiCl_4$  é oxidado com oxigênio ou ar e o bióxido resultante, de grão fino, é calcinado a 500/600°C, para remoção do cloro e ácido clorídrico residuais. Adiciona-se  $AlCl_3$  ao tetracloroeto para assegurar que todo o titânio se oxide sob forma de bióxido de titânio cristalino, de estrutura igual à do rutilo. Após a calcinação, o material é moído.

No *processo sulfato* utiliza-se ilmenita (ou escória), que é diluída por ácido sulfúrico em presença de aparas de ferro. O ferro é atacado pela solução, transformando-se em ferro ferroso, que com o resfriamento precipita-se como sulfato de ferro hidratado (*copperas*). O titânio restante na solução é precipitado por hidrólise, filtrado e calcinado a 900-1000°C, após o que, é moído.

No processo cloreto apenas bióxido com estrutura igual à do rutilo é produzido, enquanto no processo sulfato, forma-se material com estrutura de anatásio e rutilo.

Um balanço nas quantidades de matérias-primas necessárias nos dois processos mostra que as dependências são o próprio processo, o teor do minério e a fonte. Em relação ao processo tem-se, para cada tonelada de bióxido produzido:

	<i>Processo sulfato</i>	<i>Processo Cloreto</i>
Ilmenita (ou escória)	1,45 – 2,36	—
Rutilo	—	0,99 ton
Ácido sulfúrico (60° Baumé)	2,72 – 3,63	—
Cloro	—	0,90 – 0,18
Ferro	0,09 – 0,18	—
Coque	—	0,90 – 0,18
Oxigênio	—	0,33 – 0,45
Cloreto de alumínio	—	0,027

f) **Metal.** O titânio metálico é tenaz, leve (densidade = 4,5) refratário (p.f. = 1800°C). Sua cor é semelhante à da prata. Por ser leve, mecanicamente resistente e exibir fraca corrosão, é importante industrialmente.

O principal método de preparação é o processo KROLL, que envolve redução



do tetracloreto de titânio em um ambiente inerte, usando-se magnésio. Na obtenção de 1(um) quilo de esponja metálica são necessários 2,3 quilos de rutilo ou anatásio (ou outro material de teor equivalente) 5 quilos de cloro, 1,3 quilos de magnésio, 51,5 litros de gás inerte e 0,3 quilos de coque. Na preparação de 1(um) quilo de esponja dispense-se entre 12 a 30 quilowatt/hora de energia.

Os processos de transformação da esponja em peças metálicas são variados. Lingotes podem ser produzidos por fusão em arco voltaico, gastando-se 4 a 5 quilowatt/hora por quilo de lingote. São transformados em peças de uso comercial, de modo diversificado. Existem cerca de 30 produtos de especificação diferente.

Algumas das ligas de titânio são: Ti – 6Al – 4V, Ti – 8Al – 1Mo – 1V e Ti – 5Al – 2,5Sn. Existem ligas com Zr, Nb e Cr. As ligas são muito mais resistentes que as de alumínio, assemelhando-se sob o ponto de vista de dureza e tenacidade a ligas especiais de ferro. Em relação ao alumínio o titânio é mais inerte. Resiste melhor à corrosão por água do mar do que aços especiais.

Sob um ponto-de-vista comparativo, as desvantagens do titânio metálico são: a) custo elevado de fabricação, b) dificuldade de fabricação, c) excessiva reatividade em temperatura elevada (absorve facilmente oxigênio, nitrogênio e hidrogênio, tornando-se quebradiço após prolongada exposição ao ar, a 660°C).

## 6. USOS

O rutilo é mais utilizado na fabricação de pigmento, de metal e para cobertura de fios de solda. A ilmenita tem mais de 80% da sua aplicação destinada ao fabrico de pigmento.

O metal é aplicado principalmente na indústria aeroespacial, isto é, na fabricação de aviões militares e civis, balísticos, turbinas de jatos, veículos espaciais, etc. Apenas dois países consomem quase todo o titânio metálico produzido (E.E.U.U. e U.R.S.S.).

Os balísticos e veículos espaciais utilizam 10 por cento de todo o titânio metálico comercialmente produzido.

O pigmento é empregado para cobertura de tintas, conferindo às mesmas brancura, opacidade, brilho e proteção à corrosão. Tintas de brancura não permanente utilizam 0,132 a 0,396 quilos de  $TiO_2$ , por litro de tinta.

A indústria de papel de impressão consome cerca de 17% de todo o pigmento produzido.

A indústria de produtos plásticos a cada ano aumenta o consumo de pigmentos.

## 7. RESERVAS

As reservas estimadas de ilmenita e rutilo vêm expostas no quadro dado a seguir:

PAÍS	Ilmenita (t x 1000)	Equivalente Ti (t x 1000)	Rutilo (t x 1000)	Equivalente Ti (t x 1000)
Noruega	108.000	27.000	—	—
Canadá	90.000	22.500	450	225
Estados Unidos	90.000	22.500	450	250
URSS	90.000	22.500	270	135
Índia	54.000	13.500	90	45
Egito	36.000	9.000	—	—
Austrália	18.000	4.500	3.600	1.600
Serra Leoa	—	—	2.700	1.600
Outros *	21.150	5.287	—	—
	507.150	126.787	7.560	3.780

\* Inclui Finlândia, China, Malásia, Japão e Espanha.

A questão das reservas de ilmenita nas areias litorâneas do Brasil permanece aberta, em nossa opinião. Já mencionamos que a reserva oficialmente admitida é de aproximadamente 1,7 milhões de toneladas, (3) o que nos parece um dado extremamente conservador. Por outro lado, a pesquisa mineral que conduziu ao valor adotado foi muito pouco intensa.

Até que se realize um programa intensivo que objetive a determinação das reservas lavráveis de ilmenita nos quase mil quilômetros de litoral potencialmente mineralizados, admitiremos o dado de 1,7 milhões de toneladas como reserva mínima, provável.

As reservas de rutilo aceitas oficialmente são de 400.000 toneladas (3). O dado se refere ao rutilo de depósitos eluviais existentes no divisor de águas dos rios Jaguaribe e Acaran (28), abrangendo faixas dos municípios de Sobral, Independência, Uruburetama, Quixadá e outros. O mineral é certamente derivado do desmonte de xistos reguinais, que contém rutilo como porfiroblastos e em veios de quartzo (28). É provável que a reserva seja muito maior, mas não se fez pesquisa na região.

Do mesmo modo que a ilmenita, os depósitos brasileiros de rutilo necessitam ser submetidos a um intenso programa de pesquisa mineral que objetive sua quantificação.

Mencionamos estimativas das reservas de minerais de titânio em Tapira (26). Além desse distrito existem reservas importantes em Salitre e Catalão.

Não temos dúvida que as reservas nos três distritos atinjam cerca de 150 milhões de toneladas, com cerca de 20% de  $TiO_2$ . Apenas para efeito de raciocínio; se admitirmos que 50% das reservas se apresente sob forma de anatásio, teremos u-

ma reserva final de 75 milhões de toneladas com 20%  $\text{TiO}_2$  ou 15 milhões de toneladas de anatásio. Se apenas 40% do material for recuperável, a reserva será de 7 milhões de toneladas de anatásio, valor comparável à reserva mundial de rutilo.

Somente com uma intensa e extensa investigação tecnológica, será possível obter um produto comercial a partir dos depósitos brasileiros de anatásio, produto esse que deverá ser compatível com as especificações técnicas, para poder concorrer com o produto alienígena.

Julgo que as reservas justificam tal investigação.

## 8. PREÇOS

As cotações internacionais publicadas em revistas técnicas indicam:

a) o preço da ilmenita tem se mantido estável, entre 10 e 35 dólares por tonelada. Um produto com 54% de  $\text{TiO}_2$  custa cerca de 23 dólares a tonelada (fob, portos no Atlântico).

b) o preço de rutilo tende a subir progressivamente, variando hoje entre 140 a 180 dólares a tonelada. Um produto com 96% de  $\text{TiO}_2$  custa 175 dólares a tonelada.

c) o preço da esponja varia em torno de 2,4 a 2,5 dólares o quilo. O lingote de titânio (dureza 115 Brinell) custa 2,64 dólares o quilo. *laminado 4,5 a 5*

d) a escória contendo 70%  $\text{TiO}_2$  é cotada a 50 dólares a tonelada.

e) o pigmento com estrutura de anatásio é vendida a 51 cents de dólar por quilo e aquele com estrutura de rutilo, a 57 cents de dólar.

## 9. PESQUISA MINERAL

Não existem regras fixas para a pesquisa dos depósitos minerais. Algumas observações de carácter geral podem contudo ser apresentadas no tocante aos depósitos de titânio. Examinemos um modelo para cada tipo de jazimento.

### a) Jazimentos do tipo VIII

Imaginemos o caso ideal em que grandes massas de anortositos sejam cartografadas em uma certa região. Passemos agora a um caso concreto: A massa de anortosito tem 145 quilômetros de extensão por 30 a 50 quilômetros de largura, em planta, isto é, o corpo é igual ao do Lago Allard, na província de Quebec, no Canadá (19).

Esse corpo foi pesquisado a partir de prospecções de superfície e subsuperfície. Um dos depósitos mineralizados, o do Lago Tio, tem forma tabular, com cerca de 1 quilômetro de diâmetro e 90 metros de espessura. Afloramentos de ilmenita foram detectados na superfície (em 1942) e a partir de 1944 foi iniciada a cartografia da área. O mapeamento foi seguido por amostragem detalhada segundo seções espaçadas de 400 metros, no sentido leste-oeste. Os afloramentos distribuem-se segundo formas alongadas ou ovaladas, em superfície, com azimutes variando ao redor do norte. Ao mesmo tempo, as seções de amostragem foram levantadas magne-

ma reserva final de 75 milhões de toneladas com 20%  $\text{TiO}_2$  ou 15 milhões de toneladas de anatásio. Se apenas 40% do material for recuperável, a reserva será de 7 milhões de toneladas de anatásio, valor comparável à reserva mundial de rutilo.

Somente com uma intensa e extensa investigação tecnológica, será possível obter um produto comercial a partir dos depósitos brasileiros de anatásio, produto esse que deverá ser compatível com as especificações técnicas, para poder concorrer com o produto alienígena.

Julgo que as reservas justificam tal investigação.

## 8. PREÇOS

As cotações internacionais publicadas em revistas técnicas indicam:

a) o preço da ilmenita tem se mantido estável, entre 10 e 35 dólares por tonelada. Um produto com 54% de  $\text{TiO}_2$  custa cerca de 23 dólares a tonelada (fob, portos no Atlântico).

b) o preço de rutilo tende a subir progressivamente, variando hoje entre 140 a 180 dólares a tonelada. Um produto com 96% de  $\text{TiO}_2$  custa 175 dólares a tonelada.

c) o preço da esponja varia em torno de 2,4 a 2,5 dólares o quilo. O lingote de titânio (dureza 115 Brinell) custa 2,64 dólares o quilo. *laminado 4,5 a 5*

d) a escória contendo 70%  $\text{TiO}_2$  é cotada a 50 dólares a tonelada.

e) o pigmento com estrutura de anatásio é vendida a 51 cents de dólar por quilo e aquele com estrutura de rutilo, a 57 cents de dólar.

## 9. PESQUISA MINERAL

Não existem regras fixas para a pesquisa dos depósitos minerais. Algumas observações de carácter geral podem contudo ser apresentadas no tocante aos depósitos de titânio. Examinemos um modelo para cada tipo de jazimento.

### a) Jazimentos do tipo VIII

Imaginemos o caso ideal em que grandes massas de anortositos sejam cartografadas em uma certa região. Passemos agora a um caso concreto: A massa de anortosito tem 145 quilômetros de extensão por 30 a 50 quilômetros de largura, em planta, isto é, o corpo é igual ao do Lago Allard, na província de Quebec, no Canadá (19).

Esse corpo foi pesquisado a partir de prospecções de superfície e subsuperfície. Um dos depósitos mineralizados, o do Lago Tio, tem forma tabular, com cerca de 1 quilômetro de diâmetro e 90 metros de espessura. Afloramentos de ilmenita foram detectados na superfície (em 1942) e a partir de 1944 foi iniciada a cartografia da área. O mapeamento foi seguido por amostragem detalhada segundo seções espaçadas de 400 metros, no sentido leste-oeste. Os afloramentos distribuem-se segundo formas alongadas ou ovaladas, em superfície, com azimutes variando ao redor do norte. Ao mesmo tempo, as seções de amostragem foram levantadas magne-

tometricamente, com estações a cada 60 metros. Os mapas geológicos e magnetométrico mostram uma excelente correlação entre os corpos e as anomalias (valores até 2000 gamas).

Uma malha de furos de sonda, rotativos, a diamante, foi lançada na área, com linhas equidistantes de 400 metros, com furos de profundidade média de 90 metros, executados a cada 60 metros. As partes mais ricas foram sondadas em seguida, em malha de 15 por 15 metros. A campanha de sondagens foi realizada em dois anos entre 1946 e 1947.

A reserva do depósito é de cerca de 125 milhões de toneladas de minério rico (32–35%  $TiO_2$ ).

O restante do corpo de anortosito foi investigado geofísicamente, entre 1948 e 1949. A pesquisa visou selecionar áreas anômalas. Foram executados 7000 quilômetros de perfis, com magnetômetro aerotransportado, a uma altura de 150 metros.

Verificou-se que as anomalias coincidiam com os corpos mineralizados já conhecidos, não se descobrindo outros depósitos.

#### b) Jazimentos do tipo III 2

A presença de anatásio nos mantos de material decomposto sobre os complexos silicocarbonáticos na Região do Alto Paraíba, em Minas Gerais e Goiás foi comprovada em 1965 e 1966, durante uma campanha empreendida pelo Departamento Nacional de Produção Mineral, que contratou uma firma particular para tal campanha.

Os complexos estudados foram os de Tapira, Barreiro, Salitre, Serra Negra e Catalão, conhecidos há muitos; até a época, nenhum deles dispunha de uma base geológica suficientemente boa para orientar uma pesquisa mineral.

Após a execução da cartografia geológica, (entre 1965–1967) segundo seções entre 25 e 50 metros, foi possível separar as unidades de interesse para a pesquisa. Ao mesmo tempo, o material coletado durante a investigação geológica foi estudado petrográfica, química e rontgenograficamente.

Selecionadas as áreas a prospectar, lançou-se uma malha de furos de sonda, (sondagem rotativa, a diamante) com linhas espaçadas de 400 metros. Em cada linha alternavam-se os furos de sonda, a cada 800 metros. Em certas áreas, as linhas foram furadas a cada 400 metros ou mesmo 200 metros. A campanha de sondagens desenvolveu-se entre 1966 a 1968, sendo parcialmente superposta à cartografia geológica.

Em Salitre e Catalão foram executados poços, e a sondagem foi reduzida ao mínimo

É interessante observar que apenas depois de 4 anos a partir do início dos trabalhos de pesquisa nos complexos é que os mesmos passaram a atrair o interesse de organizações de mineração. Uma dessas organizações detém atualmente boa parte dos direitos minerais, em Tapira, e Salitre, distritos que consideramos os de maior

is to take 50% of its theoretical output. However, this again must be adjusted in the final analysis depending upon conditions and method of transport. The calculation of wheel output capacity can be done in various ways depending upon the designer. Most wheels built today are of the cell-less type with an annular ring which holds a substantial quantity of excavated material. This ring may give the wheel an increase of up to as much as 50% over output. Depending on the manufacturer, his guarantee may exclude or partially include the material in the annular ring. When buying a machine you should ask the manufacturer to state the design method he is using. The cell type bucket wheel does not have the ring filling complication and true output is easier to calculate.

Often a poor operator can seriously affect production, particularly if he is inefficient in the reverse swing. The major cause of production outages can be attributed to digging and maneuvering delays of the wheel. It has to cut ramps, make box cuts, and if working with a belt conveyor system, will be out of production for conveyor or rail shifting. By careful planning, major moves are kept to a minimum in good mining lay-outs. The digging maneuvers are an inescapable feature of the BWE and result in the biggest production outages other than maintenance.

Some correction can be made for maneuvering losses by buying a machine with a boom-crowd mechanism. The crowd mechanism operates similar to that on a power shovel, allowing the boom and wheel to be extended and or retracted. This can increase efficiency by:

- (1) Minimizing excessive movement on unstable ground by making deep terrace cuts.
- (2) Easier mining of interbedded waste bands.

Probably the major reason for a crowd type machine would be for interbedded selected mining. Normally less skilled operators and reliance on swing speed control are required. While some advantages do result from a crowd mechanism in the proper circumstances, its disadvantages are in the greater maintenance cost and a higher capital investment. In today's market, very few machines are being produced with a crowd mechanism. This is because the crowd results in a greater machine weight, height and higher cost; and therefore, can seldom be economically justified.

Bucket design can be either of the closed-back or the open chain-back. The closed-back bucket is generally used for free flowing non-sticky material and the chain-back bucket for sticky, hard-to-discharge, soft or wet material. Combined with the chain-back in sticky material the bucket can be flared to give additional dumping ease.

It is not unusual to encounter cost of 2.5 to 4.0¢ U.S. per cubic meter for wheel excavated material. Some of the high strip ratios encountered in mid-western United States coal mining are only possible due to the use of bucket wheels. Throughout the mining industry wheels have established a name for low unit cost in earth moving and reclaiming operations. It is difficult to compare direct operating costs between operations. Each user generally reflects in his costs the elements re-

quired for his own purposes. But there are some accepted cost rules on excavators

- (1) Costs of the digging wheel itself represent 80-95% of the total excavator maintenance.
- (2) Repair parts for an excavator amount to about 6-8% of the total excavator cost per year.

The biggest single variation in cost is found in tooth wear. Likewise power costs will vary considerably from area to area.

Some representative BWE operating costs show a range of 2.0¢ U.S. to 10¢ U.S. per cubic meter. These costs do not include depreciation. The wide range of costs experienced can be attributed to the amount of auxiliary equipment required for each operation. This equipment might be tractors, a belt wagon, belt shifter, or a cable reel car. Most of the maintenance costs will occur for teeth, lips and liner plates. The other big item of expense on the excavator is the ladder belt. Outside of these items very little maintenance is required on a wheel since they do not experience the same impact and shock loads as power shovels. Most commonly direct operating costs fall in the range of 3 to 4¢ per cubic yard. Nearly all of these operations have wheels which are associated with auxiliary equipment. Generally speaking, capital cost on a wheel will amount to approximately \$2 U.S. per pound of excavator weight.

The most common transport system for a wheel is a shiftable belt conveyor system. However, wheel excavators work well using trucks or rail haulage if designed for these initially. The continuous output of the BWE and the advances made in recent years make it potentially machine for high production and at even lower costs than those presently achieved.

- (22) Ross, C.S. *Econ. Geology*, V. 42, pp. 194-198, 1947.
- (24) Derruan, M. *Précis de Geomorphologie*. Masson et Cie., Paris, 1958.
- (25) Gilson, J.L. *Min. Metal.*, Vol. XXXIII, n.º 197, 1961.
- (26) Grossi-Sad. J.H. & Torres, N. (Relatório inédito, apresentado por Geologia e Sondagens Ltda. ao Departamento Nacional da Produção Mineral, Setembro, 1971
- (27) International Directory of Mining and Mineral Processing Operations. *Eng. Min. Journal*, 1971.
- (28) Albuquerque, O.R. *Min Metal.*, Vol. VII, n.º 41, 1943.
- (29) Cassedane, J.P. *Min. Metal.*, Vol. XXXVII, n.º 342, 1973.