

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM


Avenida Pasteur, 404. Rio de Janeiro

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

PROJETO CUMURUXATIBA

RELATÓRIO FINAL

	SUREMI SEDOE
CPRM 196	
Relatório n.º	219-5
N.º de Volumes:	5 v. 1

CONVÊNIO CNEN - CPRM

VOLUME I

Salvador, junho/1972.



LEOPOLDO AMARAL BARRETO  
ANTÔNIO C. FERRAZ PINTO



## ÍNDICE

SUMÁRIO .....	I
INTRODUÇÃO .....	1
Localização e Extensão da Área .....	1
Metodologia Empregada .....	1
Acessibilidade e Comunicações .....	4
Atividades Econômicas e Condições de Vida .....	5
Agradecimentos .....	6
FISIOGRAFIA .....	7
Clima e Vegetação .....	7
Relevo .....	8
Drenagem .....	10
GEOLOGIA REGIONAL .....	11
GRUPO BARREIRAS .....	13
Conceito de Barreiras .....	13
Grupo Barreiras em Cumuruxatiba .....	15
Ambiente Depositional e Evolução Paleo-Geográfica .....	17
DEPÓSITOS RECENTES .....	19
CINTILOMETRIA .....	21
GEOLOGIA DO DEPÓSITO .....	24
Configuração da Jazida .....	24



Mineralogia do Depósito .....	25
Considerações Genéticas .....	28
GEOLOGIA ECONÔMICA .....	33
GENERALIDADES .....	33
Utilização e Consumo dos Minerais Pesados .....	33
Mercado Brasileiro de Dióxido de Titânio, Ilmenita e Monazita .....	34
Minerais Pesados no Brasil .....	38
O JAZIMENTO DE CUMURUXATIBA .....	41
Histórico da Jazida .....	41
Reservas de Ilmenita, Monazita e Zircão .....	44
Mineração e Beneficiamento .....	47
Aproveitamento da Reserva e Vida do Jazimento .....	50
OUTRAS OCORRÊNCIAS DE MINERAIS NA ÁREA DO PROJETO .....	52
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	56
ILUSTRAÇÕES FOTOGRÁFICAS .....	59
BIBLIOGRAFIA .....	67
RELAÇÃO DE GRÁFICOS, QUADROS E TABELAS .....	70
RELAÇÃO DE ANEXOS .....	72

## SUMÁRIO

A importância econômica dos depósitos de minerais pesados tem fomentado a busca de novas jazidas e a avaliação precisa das reservas disponíveis.

O atual estado de depleção em que se encontram as reservas de monazita do jazimento de Cumuruxatiba, no município de Prado, estado da Bahia, determinou a paralização, em 1971, da Usina de Beneficiamento de minerais pesados, aí implantada pela Comissão Nacional de Energia Nuclear.

Muito embora, no momento, somente a monazita seja industrialmente tratada em S. Paulo, para fins de obtenção de sais de terras raras, tório e urânio, a ilmenita, estocada nas usinas da Comissão, deverá ser brevemente absorvida pela indústria brasileira de pigmentos.

A Titânio do Brasil S.A. (TIBRÁS), recentemente instalada no estado da Bahia, e em regime de produtividade parcial, está em vias de aproveitar 55.000 toneladas/ano de ilmenita. Todo o minério atualmente consumido, cerca de 27.000 toneladas/ano, é importado da Austrália ao preço de 32 dólares/Tonelada CIF.

A existência em Cumuruxatiba de um terminal marítimo de embarque, com capacidade de atracar navios de médio porte, praticamente solucionou um dos problemas básicos de escoamento da ilmenita para os mercados consumidores do país.

O Projeto Cumuruxatiba, idealizado com base nestes elementos, teve por finalidade precípua a avaliação das possibilidades econômicas das reservas atuais de minerais pesados, na faixa litorânea compreendida entre as cidades de Porto Seguro e Caravelas.

A área abrangida pelo Projeto, pertence a bacia sedimentar Bahia Sul-Espírito Santo, sob o domínio de sedimentos cretácios e terciários.

As unidades litológicas mais representativas da região são as rochas terciárias continentais do Grupo Barreiras (arenitos endurecidos e argilas variegadas) e depósitos de areias recentes.

Os conceitos geológicos estabelecem para a jazida de minerais pesados de Cumuruxatiba, um caráter genético estreitamente relacionado à história geológica e geomorfológica da região.

A exceção do setor de praias antigas, ao norte das espirais-"Humphreys", todos os demais depósitos estão distribuídos por extensos cordões de areias de praias atuais, confinados por íngremes falésias.

Dos estudos realizados, observou-se que constituem, sob o ponto de vista genético, um único e extenso jazimento, embora as concentrações de minerais pesados se apresentem em forma de lentes individualizadas no corpo de areias de praia.

É notório a extrema mobilidade dos depósitos devido a influência contínua dos agentes atuantes no ambiente praiial, que os transportam constantemente de um ponto para outro da praia, dentro de determinados limites.

A associação mineralógica de ilmenita, monazita, zircão e rutilo é sempre constante nas areias de praias dos depósitos.

Estudos de mapeamento fotogeológico e reconhecimento geológico mineral foram empreendidos por toda a área do Projeto, em escala 1:25.000, enquanto trabalhos de pesquisa detalhada foram acentuadamente desenvolvidos, nos arredores da Vila de Cumuruxatiba, em escalas que variam desde 1:10.000 até 1:1.000.



CPRM

Mediu-se, para o jazimento de Cumuruxatiba, o total de 179.700 toneladas de minerais pesados.

Face a natureza predominantemente ilmenítica das areias do jazimento, atentou-se para o aproveitamento da ilmenita como produto nobre e da monazita e zircão como sub-produtos, até o esgotamento total da reserva.



## INTRODUÇÃO

O Projeto Cumuruxatiba objetivou efetuar uma avaliação das reservas atuais de minerais pesados (monazita, ilmenita e zircão) da jazida de Cumuruxatiba, como também a prospecção de possíveis novos depósitos em áreas pioneiras próximas. Trabalhos visando definir a gênese dos depósitos, a partir de estudos da geologia regional e local, foram também efetuados.

### Localização e Extensão da Área

A área, onde foram executados trabalhos de pesquisa de detalhe está situada em torno da Vila de Cumuruxatiba, localizada 29 quilômetros ao norte da cidade de Prado (sede municipal), no litoral do extremo sul do Estado da Bahia, abrangendo uma faixa costeira de aproximadamente 2.000 hectares. (\*)

O mapeamento fotogeológico e reconhecimento recobriu uma faixa litorânea de aproximadamente 483 quilômetros quadrados (161 x 3 quilômetros), estendendo-se desde Porto Seguro, ao norte (latitude de 16°27'S), até Caravelas, ao sul (latitude 17°45'S). (\*)

### Metodologia Empregada

A sistemática de trabalho utilizada foi condicionada aos objetivos a serem alcançados.

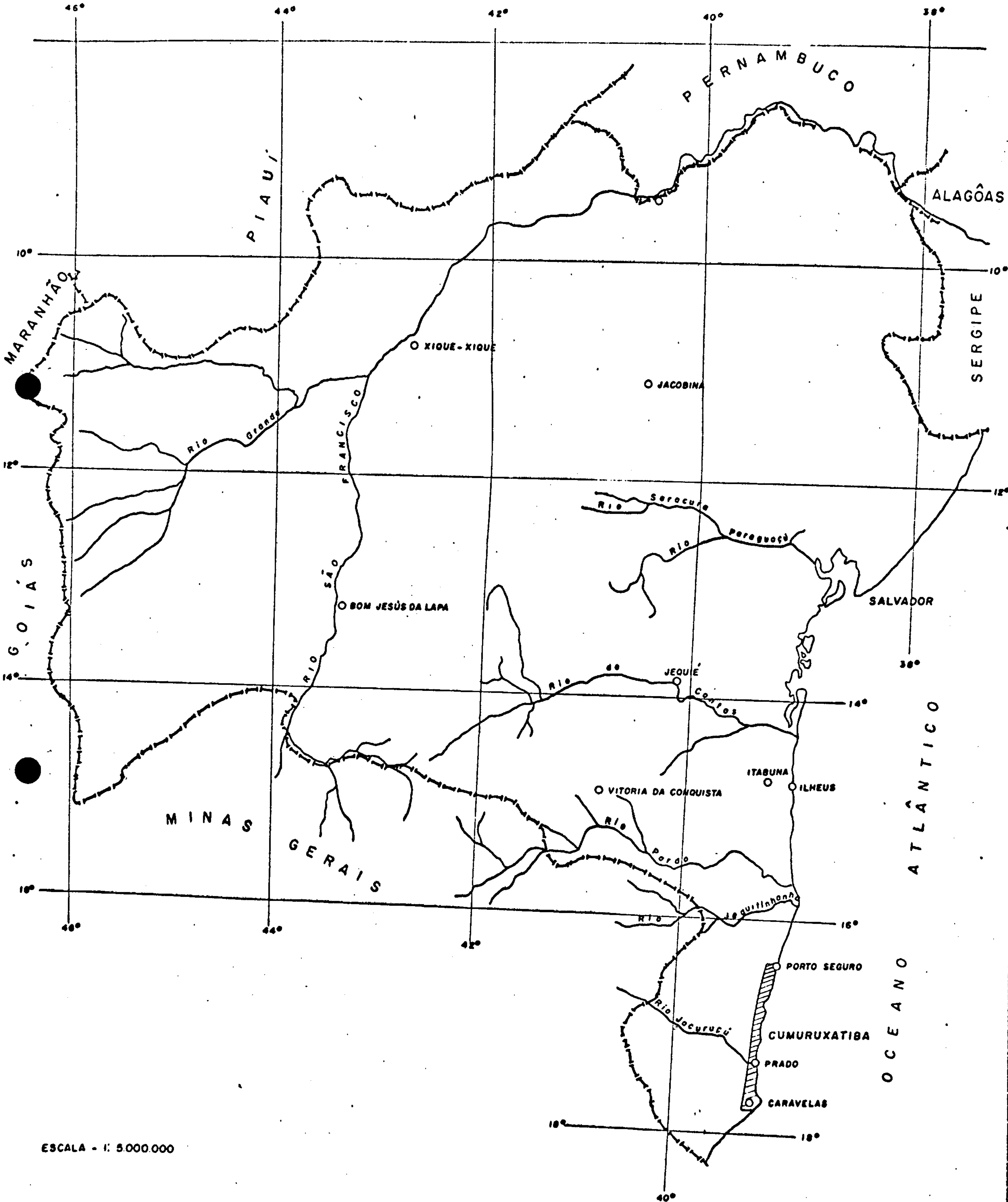
Para a avaliação das reservas de minerais pesados das praias atuais, ao sul das espirais "Humphreys", foram efetuados trabalhos de amostragem sistemática a trado, em malha de 50 x 15 metros, e levantamento radiométrico de detalhe obedecendo à mesma malha. Um

---

(\*) Vide Mapa de Localização da Área do Projeto - Fig. 2



Fig. 1 - MAPA DE SITUAÇÃO DA ÁREA DO PROJETO



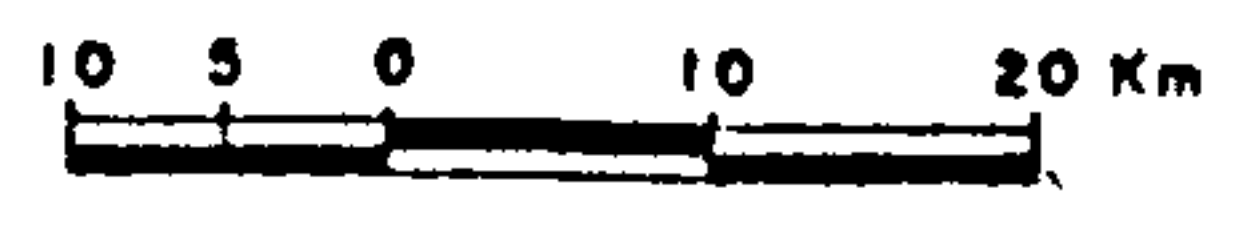
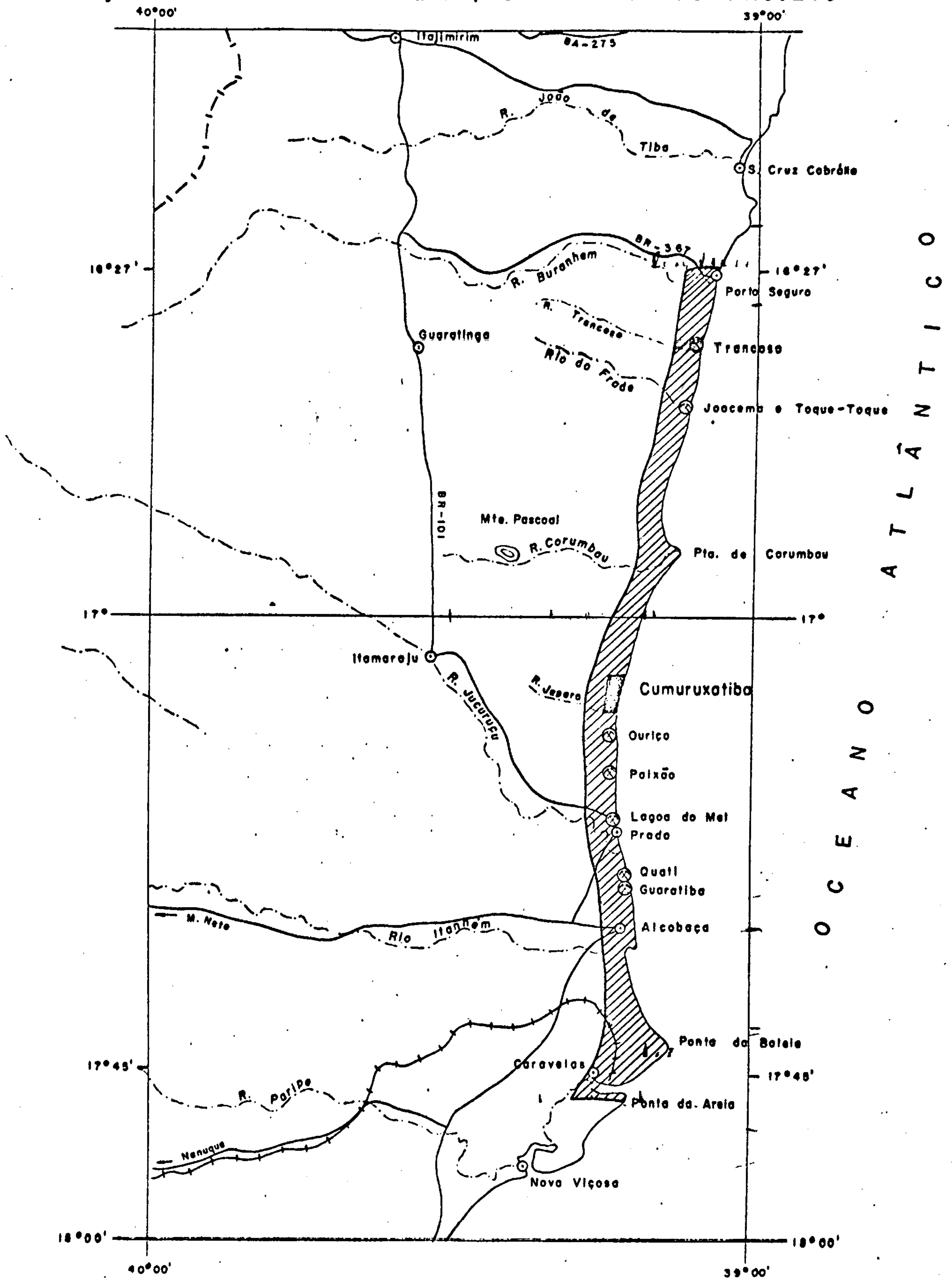
ESCALA - 1:5.000.000





COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

AGÊNCIA SALVADOR

Fig. 2 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO PROJETO



- ⊗ OCORRÊNCIA DE MINERAIS PESADOS
-  ÁREA DO PROJETO OBJETO DE MAPEAMENTO FOTO - GEOLÓGICO E RECONHECIMENTO.
-  ÁREA DE PESQUISA DETALHADA



COMPANHIA DE PESQUISA DE  
RECURSOS MINERAIS  
AGÊNCIA SALVADOR

PROJETO CUMURUXATIBA - 1972



CPRM

total de 288 furos foram executados, alcançando a profundidade média de 0,72 metros. Os pontos amostrados e estações de medidas radiométricas foram plotados em mapas topográficos planimétricos, em escala 1:1.000, levantados a prancheta e alidade. A faixa amostrada estende-se por cerca de 6.165 metros, desde as espirais "Humphreys" até o rio Japara Grande, ao sul. (\*)

A prospecção de depósitos nas áreas pioneiras, ao norte das espirais "Humphreys" (praias fósseis e praias atuais), consistiu de amostragem através de furos a trado, em malha de 100 x 50 metros, na faixa de praias antigas e, em linha, espaçados de 100 metros, nas praias atuais, alcançando estes furos uma profundidade média de 1,88 metros. Concomitantemente, efetuou-se o levantamento radiométrico de todo o setor, obedecendo a mesma malha dos furos a trado. Os pontos amostrados e estações de medidas radiométricas foram lançados em mapas planimétricos, na escala 1:2.000, levantados a prancheta e alidade. (\*\*)

Nos sedimentos do Grupo Barreiras, objetivando a coleta de subsídios para o esclarecimento da gênese dos depósitos, foram efetuados os seguintes trabalhos:

- Levantamento radiométrico de detalhe da faixa compreendida entre os riachos Areia Preta e do Peixe Pequeno, com uma área aproximada de 9,3 quilômetros quadrados (6,2 x 1,5 km), tendo sido executados 16,5 quilômetros de perfis com medidas contínuas de radioatividade. Para esta finalidade, foi utilizado um mapa base planimétrico, em escala 1:10.000, obtido por ampliação de aerofotos na escala 1:25.000.

---

(\*) Vide Mapa de Amostragem - Anexo VII

(\*\*) Vide Mapa de Amostragem - Anexo IV





CPRM

- amostragem aluvionar na rede de drenagem que corta a área acima mencionada, sendo coletadas 39 amostras para determinação de minerais pesados e análises geoquímicas. (\*)
- perfis litológicos detalhados nas falésias das praias, com coleta de 21 amostras nos 4 níveis estratigráficos, para análise mineralógica. Um total de 7 seções foram descritas ao longo de aproximadamente 3,6 quilômetros de falésia, em locais de escalada possível. (\*)

No mapeamento fotogeológico foram utilizadas fotografias aéreas verticais, em escala 1:25.000, da Lasa-Engenharia e Prospecções S.A. A área mapeada estende-se desde Porto Seguro, ao norte, até ao sul da cidade de Caravelas, abrangendo aproximadamente 483 quilômetros quadrados da faixa litorânea. Cinco ocorrências de minerais pesados foram visitadas, tendo sido coletadas 5 amostras para análises mineralógicas. Como base planimétrica foram utilizados mapas controlados da Petrobrás (quadrângulos 904-4, 905-1, 906-2, 906-3 e 953-2), na escala 1:50.000, ampliados para a escala 1:25.000. (\*\*)

As amostras coletadas no campo, num total de 455, foram analisadas no Laboratório de Análises Mineraias (LAMIN-CPRM). De 426 amostras foram determinados os teores de monazita, ilmenita e zircão. Em 7 amostras de ilmenita foram feitas determinações de  $TiO_2$ ,  $FeO$  e  $Fe_2O_3$ .

Dezenove amostras foram submetidas a análises geoquímicas para determinações de urânio e tório.

---

(\*) Vide Planta de Detalhe da Área de Pesquisa - Anexo II

(\*\*) Vide Mapa Fotogeológico da Faixa Costeira entre Porto Seguro e Caravelas - Anexo I

## Acessibilidade e Comunicações

A área do Projeto dista de Salvador, em linha reta, aproximadamente 488 quilômetros, e de Vitória (E.S.) 395 quilômetros. O acesso rodoviário mais seguro, no momento, partindo-se de Salvador, é a través da rodovia Salvador-Rio (BR-324 e BR-116) até Teófilo Otoni, num percurso de 890 quilômetros em rodovias com pavimentação-asfáltica. De Teófilo Otoni até Cumuruxatiba, via Nanuque (MG), o acesso é feito através estradas de terra de tráfego difícil durante os períodos chuvosos, totalizando 221 quilômetros.

Entretanto, a rodovia BR-101, já em estado adiantado de construção e trafegável durante os períodos menos chuvosos, atravessa to do o litoral sul do Estado, na direção norte-sul, a aproximadamente 40 quilômetros da costa. Quando a mesma estiver concluída, facilitará bastante o acesso à área, reduzindo o percurso até Salvador à cerca de 860 quilômetros.

As estradas intermunicipais são de tráfego precário, sobretudo durante os frequentes períodos chuvosos.

Cumuruxatiba é ligada à cidade de Prado por 36 quilômetros de es trada carroçável.

A região é servida de transporte aéreo regular, por aviões da Sa dia Transportes Aéreos, que fazem escala em Caravelas (diariamente) e Prado (2 dias por semana), ligando-as às cidades de Salvador ou Vitória/Rio.

O transporte marítimo, que no passado foi bastante intenso, principalmente através do Porto de Caravelas, hoje tem pequeno significado, sendo utilizadas apenas embarcações de pequeno porte.

Deve-se mencionar, entretanto, o terminal marítimo construído pe

la CNEN em Cumuruxatiba, que permite a atracação de navios de médio porte. Por este terminal deverão ser escoados os estoques de ilmenita aí existentes para a Tibrás, em Salvador.

#### Atividades Econômicas e Condições de Vida

O Extremo Sul do Estado da Bahia, embora constitua-se numa região rica em recursos naturais e relativamente próxima aos grandes centros consumidores do sul do País, apresenta-se como uma área de fraca densidade demográfica e de atividades econômicas muito abaixo do seu potencial, principalmente devido às dificuldades de acesso que perduram ainda hoje.

A vida sócio-econômica tem nas cidades de Prado, Alcobaça e Caravelas seus centros mais importantes, destacando-se Caravelas como a que oferece melhores condições de habitação e de intercâmbio comercial.

A indústria de extração e beneficiamento de madeiras é a atividade econômica mais importante da região. As florestas que recobrem grande parte de suas terras possuem importantes reservas de madeiras de lei, tais como, Jacarandá, cedro, jequitibá, vinhático, entre outras. O alto custo de transporte para os centros consumidores faz com que seja viável apenas a extração e o beneficiamento das espécies mais valiosas.

A cultura do cacau é praticada na faixa de solos mais ricos na parte oeste, porém tem ainda pouca expressão econômica em comparação com outras zonas do Estado.

Na faixa litorânea, de solos mais pobres e alagadiços, é cultivado apenas, de modo muito restrito, o "côco da Bahia".

A pecuária de gado de corte é disseminada em toda a região, adquirindo um caráter intensivo e mais lucrativo na faixa interiorana.

A plataforma continental no sul da Bahia é bastante piscosa, podendo a pesca, no futuro, assumir escala industrial.

Alguns grupos pesqueiros estão em vias de construir instalações frigoríficas em Caravelas e Prado, visando o armazenamento de pescado. No momento, a pesca é praticada apenas para subsistência e abastecimento das comunidades locais.

Menção especial deve ser dada às atividades da CNEN em Cumuruxatiba através da usina de concentração e separação de minerais pesados das areias monazíticas. Quando em pleno funcionamento, emprega cerca de 40 homens permanentemente, e um número variável de trabalhadores eventuais. Em torno desta usina gravita toda a vida econômica da Vila de Cumuruxatiba. Parte de sua produção (monazita e zircão) é transportada para S. Paulo e parte é estocada no pátio da usina (ilmenita).

#### Agradecimentos

Agradecemos à Comissão Nacional de Energia Nuclear, particularmente ao Gerente da Usina de Cumuruxatiba, Sr. Nailton Rossi Peixoto, bem como a sua equipe, pela valiosa colaboração prestada durante a efetivação dos trabalhos de campo do Projeto.



## FISIOGRAFIA

### Clima e Vegetação

O clima do litoral sul do Estado da Bahia é uma diversificação do clima equatorial (A) tropical (W), segundo a classificação de Koppen. Trata-se da variedade AW, caracterizada por dois máximos - pluviométricos anuais (Andrade, G.O. - 1968). A influência predominante é das chuvas de verão, tropicais. Entretanto, nos meses de outono-inverno (março-julho), faz-se sentir a influência das massas frias (polares), que causam intensa precipitação na região. Isto faz com que as chuvas sejam bem distribuídas anualmente, não havendo estação seca, atingindo a precipitação anual valores da ordem de 2150 a 2390 mm.

A abundância das chuvas e sua boa distribuição refletem-se na exuberância da vegetação das terras altas, que adquire um aspecto de "floresta amazônica". Esta floresta, que faz parte da denominada "mata atlântica", é quase tão rica e variada quanto à da amazônica, embora as árvores que a compõem não atinjam o mesmo porte, sendo porém de caules mais grossos e de copas mais frondosas (Romaria, D.A. 1968). As espécies mais frequentes são o cedro, a peroba, o jatobá, o jequitibá, o vinhático, o jacarandá, o rouxinho, o angelim, entre outras. Fetos arborescentes e samambaias são também frequentes.

Nas áreas baixas e alagadiças do litoral como nas margens dos rios de maior porte, próximo às suas desembocaduras, desenvolvem-se extensos manguezais (nas zonas influenciadas pelas marés) e uma vegetação típica dos litorais arenosos (nas partes mais altas), onde predominam árvores de pequeno porte, bromeliáceas, mir

táceas, cactáceas, solanáceas e leguminosas, formando um conjunto emaranhado e difícil de ser transposto. É interpretado por alguns autores com resultado dos esforços da floresta para chegar ao litoral (Romaria, D.A. 1968).

### Relevo

A região abrangida pelo Projeto faz parte da grande área ocupada pelas planícies e terras baixas costeiras do Brasil, com um relevo cuja cota máxima não ultrapassa 100 metros. Apenas o Monte Pascoal, "inselberg" do embasamento cristalino em meio aos sedimentos Terciários do Grupo Barreiras, ultrapassa esta cota.

Os sedimentos continentais do Grupo Barreiras formam extensos chapadões, "os tabuleiros", de superfície topográfica chata com leve inclinação para o mar. Desde o norte da área (Porto Seguro) até próximo à cidade de Prado, com pequenas interrupções na foz de alguns rios, os "tabuleiros" terminam bruscamente na linha de costa ou próximo dela, em paredões de abrasão, íngremes e contínuos, conhecidos por "barreiras". Formam extensos alinhamentos de falésias, esculpidas em material muito sujeito à abrasão. Na base dos alinhamentos das falésias são depositados os estreitos cordões de praia, com 15 a 20 metros de largura. Da cidade de Prado para o sul, até Caravelas, as escarpas do Barreiras afastam-se do litoral, tomando estas o caráter de falésias mortas. Na Barra do Prado (rio Jacuruçu) as mesmas estão a 2 quilômetros do litoral atual, distanciando-se progressivamente a partir daí até que, à altura de Caravelas, encontrarem-se a 20 quilômetros da costa.

Ab' Saber (1968), caracteriza o relevo dos "tabuleiros" do Grupo

Barreiras como sendo um tipo especial de planícies costeiras soerguidas, constituindo-se seus remanescentes em bons indicadores do quadro paleo-geográfico da fachada atlântica leste e nordeste no final do Terciário.

O soerguimento relativamente recente do litoral brasileiro é evidenciado por diversas observações geomorfológicas.

Carvalho (1966), autor do reconhecimento geológico de toda a faixa sedimentar do sul da Bahia e norte do Espírito Santo, observou na área os seguintes eventos, reforçando a hipótese de soerguimento:

- Em alguns locais os "tabuleiros" formam alinhamentos de "cuestas" com o "front" voltado para o interior e com suaves mergulhos para leste, em estrutura homoclinal;
- A existência de lagoas à frente destas "cuestas" mostrando um certo paralelismo entre si, resultantes do encaixamento de cursos d'água alinhados com as direções estruturais existentes. As lagoas apresentam-se normais aos cursos dos rios maiores. Estes, por deposição de terraços fluviais em suas planícies de inundação, barram os pequenos riachos, dando lugar às lagoas;
- Os cursos d'água sobre o Barreiras são superimpostos, sub-paralelos e normais à linha de costa, constituindo uma drenagem típica de estrutura homoclinal. Os vales dos cursos d'água menores são estreitos e profundamente entalhados, indicando que não houve tempo suficiente para escavarem seus vales.

As planícies costeiras quaternárias ocupam o espaço entre a linha de costa atual e as escarpas dos tabuleiros do Barreiras. De Porto Seguro até Prado, são bastante estreitas, alargando-se apenas na foz dos rios Frades, Coreiva e Corumbau. Da cidade de Pra



CPRM

do até Caravelas as mesmas apresentam-se consideravelmente largas, chegando a atingir aproximadamente 20 quilômetros de largura. São terrenos planos, alagadiços, formados por sedimentação recentes a partir dos principais rios que desaguam na região (Caravelas, Itanhaem, Jucuruçu, Corumbau, dos Frades e Caraiva).

### Drenagem

A rede de drenagem na região é muito densa, refletindo o alto índice pluviométrico vigorante.

Os principais rios que drenam a área são o Peruípe, o Caravelas, o Itanhaém, o Jucuruçu, o Japara, o Cai, o rio dos Frades e o Buranhém.

Sobre os "tabuleiros" do Grupo Barreiras os cursos d'água são consequentes, sub-paralelos e normais à linha de costa. Os rios principais estão encaixados profundamente nos sedimentos, apresentando vales estreitos e profundamente entalhados, indicando uma drenagem jovem ou rejuvenescida.

Nas planícies costeiras a drenagem é mal desenvolvida. Os rios apresentam um trajeto meandroso, com inúmeros canais secundários, às vezes anastomosados, dando lugar a formação de extensas zonas alagadiças. O exemplo mais representativo deste desenvolvimento é a foz do rio Caravelas.



## GEOLOGIA REGIONAL

Estudos recentes (Asmus et al - 1971) desenvolvidos pela Petrobrás a partir de dados geofísicos e de perfurações exploratórias, tanto no continente como na plataforma continental, mostram que a região abrangida pelo Projeto Cumuruxatiba faz parte de uma grande bacia sedimentar cretácico-terciária, a Bacia Bahia Sul - Espírito Santo.

Esta bacia ocupa uma área de 60 mil quilômetros quadrados, dos quais a maior parte (5/6) encontra-se submersa. A parte continental estende-se desde o Arco de Vitória (19°45' S) até o Alto de Cumuruxatiba (17°07' S), em uma faixa alongada com aproximadamente 20 quilômetros de largura, a partir do litoral. A porção submersa tem grosseiramente os mesmos limites da faixa continental, mostrando-se, porém bastante larga na plataforma continental, atingindo em alguns pontos 240 quilômetros.

A coluna sedimentar tem uma espessura máxima estimada de 8-9 mil metros, englobando rochas depositadas em ambiente fluvio-lacustrino a marinho, com idades variando desde o Cretáceo inferior (Wealdeano) até ao Terciário superior (pós-Mioceno). Basaltos e diabásios ocorrem intercalados na sequência, principalmente em sua parte média.

O poço 1-BAS-2A, perfurado pela Petrobrás na plataforma continental a aproximadamente 65 quilômetros do litoral, no paralelo de Alcobaça, penetrou 3.500 metros de sedimentos terciários, sem atingir o Cretáceo. Em Caravelas, no sul da área do Projeto, o poço 2CST-1-BA encontrou o embasamento cristalino a 2.388 metros de profundidade, após penetrar sedimentos pleistocênicos, terciários e cretáceos. Em Cumuruxatiba foi perfurado o poço 2CXST-1 -

BA, onde foram penetrados apenas sedimentos terciários (continental e marinho), sendo encontrado o embasamento a 211 metros. (\*)

Os dados colhidos nesta última perfuração, aliados a dados de geofísica marinha efetuada pela Petrobrás, permitiram concluir - que a área de Cumuruxatiba está na porção marginal noroeste da Bacia.

Pouco mais ao norte, os sedimentos da margem continental são relacionados à Bacia do Jequitinhonha, cujos sedimentos devem ser interdigitados com os da Bacia Bahia Sul - Espírito Santo na plataforma continental, não havendo limites rígidos entre as duas bacias.

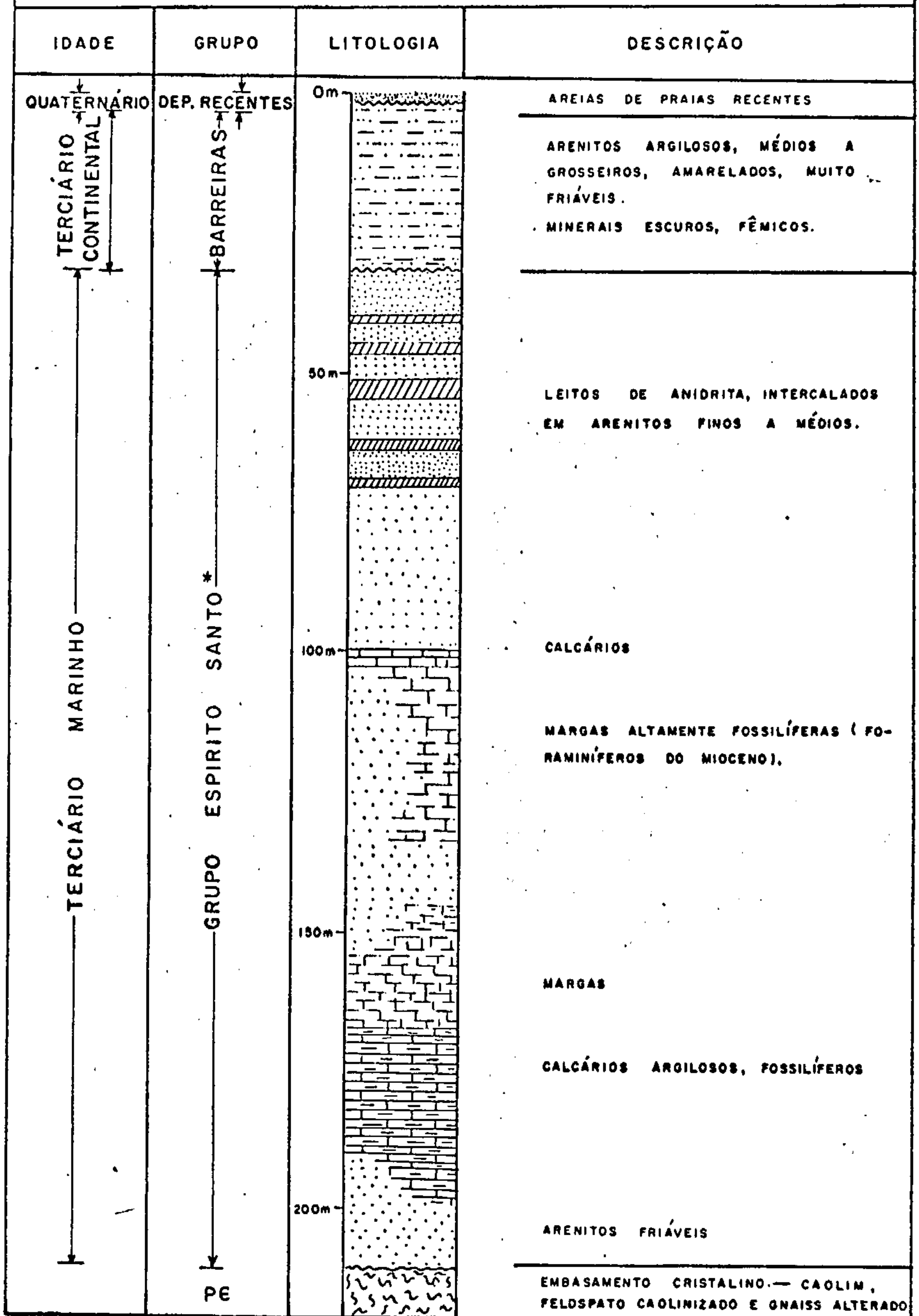
Em superfície, afloram na região apenas sedimentos terciários - continentais do Grupo Barreiras e areias recentes. Rochas do embasamento ocorrem fora da área de trabalho, cerca de 30 quilômetros para o interior.

---

(\*) Vide Perfil Estratigráfico do Poço 2CXST-1-BA (Petrobrás)

- Fig. 3

Fig.3- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DO POÇO  
2 - C x st - I - BA (PETROBRÁS)





## GRUPO BARREIRAS

### Conceito de "Barreiras"

Como "Formação" ou "Série" Barreiras foram designados, até recentemente, os sedimentos clásticos continentais, afossilíferos, pouco consolidados, que ocorrem extensamente em estreita faixa costeira desde o norte do estado do Rio de Janeiro até o Pará, penetrando no vale amazônico.

A primeira referência bibliográfica data do descobrimento do Brasil, através da carta de Pero Vaz Caminha, onde o mesmo descreve as "barreiras" do litoral sul da Bahia.

A maioria dos estudiosos da Geologia do Brasil no século passado e início deste (Hartt, Derby, Maury, Sopper, Branner, etc), referiram-se a estes sedimentos em estudos locais, sem uma apreciação global.

Pedro Moura (1940), aplicou primeiramente o termo "Série Barreiras", no Recôncavo Baiano. Ben Barnes (1949), usou a designação "Formação Barreiras" para as mesmas rochas no Recôncavo.

Bigarella e Andrade (1964), apresentaram pela primeira vez uma definição mais sistemática, através de observações nas excelentes exposições existentes nos arredores de Recife. Estes autores, usando métodos geomorfológicos, aliados aos métodos da estratigrafia clássica, conseguiram subdividir a sequência Barreiras em duas formações, separadas por uma discordância erosiva: uma unidade inferior denominada Formação Guararapes, e a unidade superior, Formação Riacho Morno. As duas reunidas constituíram o "Grupo Barreiras".

Campos e Silva et al. (1971), usando os mesmos métodos de Bigarella e Andrade, levando, porém, as observações a outros estados - nordestinos, chegaram a novas conclusões sobre a estratigrafia - do Grupo Barreiras, dividindo-o em três formações: Formação Serra dos Martins, inferior, Formação Guararapes, unidade média e Formação Macaiba, unidade superior.

A Formação Serra dos Martins tem sua seção típica na Serra do mesmo nome, no Rio Grande do Norte, sendo constituída de uma sequência arenosa até arenitos silicificados, em geral de coloração clara, com algumas intercalações argilosas. A espessura média é da ordem de 30 metros.

A Formação Guararapes englobou as Formações Guararapes e Riacho Morno, de Bigarella e Andrade, sendo esta última considerada apenas uma capa de intemperismo profundo da primeira. É constituída pela sequência variada bastante conhecida em afloramentos, com sedimentos argilosos, sílticos e arenitos argilosos, mostrando - frequentemente pequenas discordâncias locais marcadas por leitos de seixos. Possui no topo uma capa de intemperismo que destruiu a estratificação original por infiltrações de óxidos de ferro, que se apresentam em manchas ou colunas verticais, por vezes cimentando os arenitos. A formação tem uma espessura máxima de 40 metros.

A Formação Macaiba é constituída por areias brancas e areias argilosas de coloração clara. Capeia discordantemente a Formação Guararapes, ocupando geralmente o topo dos tabuleiros. Sua exposição mais típica está na região de Natal-Macaiba, no Rio Grande do Norte. A espessura máxima é da ordem de 20 metros.

A idade do Grupo Barreiras é considerada por estes autores como variando do Oligoceno Superior (Formação Serra dos Martins) ao

Pleistoceno Inferior (Formação Macaiba).

Em Belém do Pará, camadas equivalentes à Formação Guararapes repousam sobre a Formação Pirabas, do Mioceno Inferior. Em Cumuruxatiba, o Barreiras está sobre rochas do Terciário marinho ( Mioceno), discordantemente. (\*)

Sua idade, portanto, pode ser considerada como do Plioceno.

#### Grupo Barreiras em Cumuruxatiba

Na região abrangida pelo Projeto, os sedimentos do Grupo Barreiras formam extensos alinhamentos de falésias abruptas apresentando excelentes exposições, sobretudo nos trechos em que as mesmas são trabalhadas diretamente pela ação das vagas na maré alta.

Através da observação detalhada da litologia em sete seções executadas nas falésias, foi possível estabelecer um perfil típico para a parte aflorante dos sedimentos Barreiras na área. (\*\*)

Quatro níveis litológicos puderam ser individualizados. Os mesmos estendem-se horizontalmente por toda a área estudada, aparentemente não perturbados tectonicamente. Localmente, microdobramentos não diastróficos interrompem o monótono acamamento. Individualmente, os níveis são homogêneos, maciços, não apresentando indícios de estratificação. Bandeamentos irregulares, de cores variegadas, podem ser atribuídos à ação das águas percolantes.

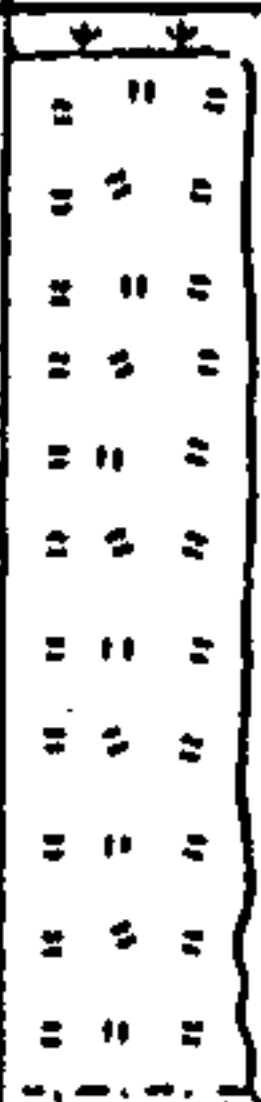



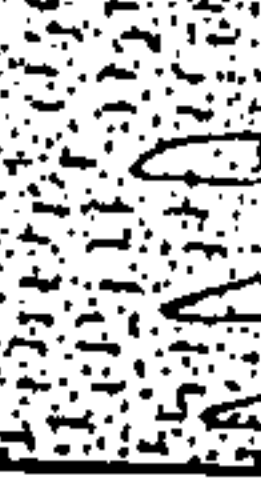
Em todas as seções geológicas descritas, procedeu-se uma amostragem sistemática nos níveis litológicos individualizados, com o

---

(\*) Vide Perfil Estratigráfico do Poço 2CXST-1-BA (Petrobrás)  
- Fig. 3

(\*\*) Vide Perfil Estratigráfico na Área - Fig. 4

Fig. 4 - PERFIL ESTRATIGRÁFICO NA ÁREA

IDADE	GRUPO	LITOLOGIA	DESCRIÇÃO
TERCIÁRIO SUPERIOR	BARREIRAS		<p>SOLO ARGILOSO, COLORAÇÃO CASTANHA ALARANJADA</p> <p>ESPESSURA = 5,0m.</p>
			<p>ARGILA ARENOSA, MARROM AVERMELHADA, COM NÓDULOS DE MAIOR CONCENTRAÇÃO DE GRÃOS DE QUARTZO, DE GRANULAÇÃO MÉDIA A GROSSEIRA. (NÍVEL D)</p> <p>ESPESSURA = 3,0m.</p>
			<p>ARENITO ARGILOSO, MARROM ACASTANHADO, GRANULAÇÃO MÉDIA, NODULOS CAULÍNICOS, CONCREÇÕES FERRUGINOSAS (NÍVEL C).</p> <p>ESPESSURA = 6,0 m.</p>
			<p>ARGILA DE COLORAÇÃO CREME A LILÁS, GRÃOS DE QUARTZO FINOS A GROSSEIROS DISPERSOS — LEITO CREME ACINZENTADO, TOTALMETE ARGILOSO, MANCHAS DE IMPREGNAÇÕES FERRUGINOSAS, NO TÔPO DO NÍVEL. (NÍVEL B)</p> <p>ESPESSURA = 4,0m</p>
			<p>ARENITO ARGILOSO, CASTANHO AVERMELHADO, FINO A GROSSEIRO, MAL SELECIONADO, GRÃOS DE QUARTZO ANGULARES A SUBARREDONDADOS, MACIÇO, CIMENTADO. (NÍVEL A)</p> <p>ESPESSURA = 2,4 m</p>



intuito de investigar a procedência dos atuais depósitos de mine  
rais pesados. (Ver ítem Considerações Genéticas, pag. 24)

Da base para o topo da seção descrita, os níveis litológicos es  
tão assim caracterizados:

Nível A - Nível inferior, constituído de um arenito endurecido -  
de granulação predominantemente grosseira. Os grãos de  
quartzos são sub-arredondados, cimentados por uma ma  
triz fina, argilo-ferruginosa, castanho-avermelhada ,  
que empresta à rocha um caráter consistente. Subordina  
damente, concentrações argilosas em manchas irregula  
res de coloração avermelhada, completam a litologia do  
pacote. Sua espessura é de 2,40 metros.

Nível B - Predominantemente argiloso, com pequena percentagem de  
fração arenosa. Sua coloração varia de creme claro a  
lilás. No topo deste nível destaca-se um leito de colo  
ração creme acinzentada com 1,0 metro de espessura, -  
constituído essencialmente de argila, com eventuais im  
pregnações ferruginosas. A espessura total do horizon  
te é de 4,0 metros.

Nível C - Nível de composição areno-argilosa. A fração arenosa é  
constituída de grãos de quartzos predominantemente mé  
dios e de grãos grosseiros esparsos. A coloração é mar  
rom acastanhada. Apresenta pequenas concentrações irre  
gulares de material caulínico-ferruginoso intercaladas  
aos grãos de quartzos, que dão uma maior consistência à  
rocha. A espessura total é de 6,0 metros.

Nível D - Horizonte superior, com 3,0 metros de espessura. É cons



CPRM

tituído predominantemente de argila de coloração marrom avermelhada, que empresta a cor ao pacote. A fração arenosa, subordinada, é de granulação média a grossa, sendo os grãos de quartzo sub-angulosos. Localmente ocorrem maiores concentrações arenosas, que chegam a constituir 30% do total da rocha. O topo deste nível passa gradualmente para um solo de composição argilosa e coloração castanho-alaranjada, alcançando em média 5 metros de espessura.

A espessura total destes níveis é de 24 metros (espessura média). Em sub-superfície, os sedimentos Barreiras tem uma espessura de 30 metros, como mostrado no perfil do poço 2CXST-1-BA. Estes, somados aos 24 metros aflorantes, fornecem um total de 54 metros para a espessura do Grupo Barreiras na área.

As características litológicas dos sedimentos na área (sequência variegada) e sua posição estratigráfica (discordante sobre o Mioceno marinho), permitem correlacioná-los como equivalentes à Formação Guararapes de Campos e Silva (op.cit.). O equivalente à Formação Serra dos Martins não ocorre na área. Depósitos delgados de areias limpas, inconsolidadas, que capeiam os "Tabuleiros" do Barreiras na região, poderiam ser correlacionáveis à Formação Macaibas.

#### Ambiente Depositional e Evolução Paleo-Geográfica

Os aspectos texturais e mineralógicos dos sedimentos do Grupo Barreiras sugerem condições climáticas rigorosas (pesados aguaceiros concentrados em curtos períodos) na área fonte (Bigarella



CPRM

e Andrade, 1964). O ambiente de deposição foi continental, em regime fluvial de planície de inundação, sujeitas eventualmente a corridas de lama e areia em lençol. Durante a deposição ocorreram importantes oscilações climáticas, variando de clima tropical chuvoso a semi-árido.

Os sedimentos foram depositados sobre uma superfície de erosão do Ciclo Sul Americano (Braun, 1971) que dissecou intensamente as rochas cretácicas, terciárias e pré-cambrianas, limitrofes ao litoral pré-Barreiras. A superfície topográfica resultante deste período de erosão foi preenchida pelos sedimentos antes que houvesse se dado um aplainamento total, daí resultando a grande variação na espessura do Barreiras, que é máxima nos antigos vales fossilizados.

Ab'Saber (1968) considera que as camadas do Grupo Barreiras foram depositadas em antigas planícies costeiras, atualmente soerguidas, que se estendiam continuamente por todo o litoral leste e nordeste. Seus remanescentes atuais pertenceriam às áreas marginais interiores da bacia original, áreas estas de domínio franco de depósitos continentais. A margem oriental da bacia, onde deveriam ser encontrados depósitos fluvio-marinhos, teria sido quase totalmente erodida.

King (1956), para explicar as formas de "afogamento" verificadas no baixo curso de muitos rios do leste e nordeste brasileiro, sugeriu que teria ocorrido no Quaternário um basculamento do bloco litorâneo, em direção ao mar, de tal forma que a costa foi soerguida enquanto que o mar foi deprimido. Este basculamento teria se dado segundo um eixo paralelo ao litoral e a poucos quilômetros deste: conforme o eixo esteja para o interior ou para fora, em relação ao litoral, as características locais da costa seriam do tipo soerguido ou submerso.



## DEPÓSITOS RECENTES

São constituídos pelos cordões arenosos de praias, atuais e antigas, e pelos aluviões areno-argilosos nos terraços fluviais.

Na área de Cumuruxatiba, os cordões arenosos das praias atuais apresentam uma largura média em torno de 20 metros, com uma espessura que varia de 15 centímetros a 2,0 metros. Estão diretamente sobrepostos aos sedimentos argilosos do Barreiras. São areias em geral finas, quartzosas, apresentando em alguns locais alta concentração de minerais pesados, bem classificadas, com laminação paralela e suave mergulho para o mar, localmente mostrando estratificação cruzada. A laminação é bem evidenciada nos locais de maior concentração de minerais pesados, apresentando espessuras que variam desde alguns milímetros a 20 centímetros.

Cordões litorâneos de praias antigas estão melhor desenvolvidos na foz dos rios principais que desaguam na região, sendo bem evidenciados nas fotografias aéreas. A área de Caravelas é onde os mesmos estão melhor representados. Estes cordões são às vezes paralelos, às vezes divergentes, agrupando-se em faixas mais ou menos discordantes. A linha que separa um feixe de outro demarca o limite máximo alcançado pela transgressão marinha. Os cordões arenosos construídos durante a fase regressiva, são dispostos paralelamente à antiga linha de costa recuada. A alternância de recuos e avanços da linha de costa é relacionada à variações no suprimento de sedimentos transportados pelos rios para as planícies litorâneas. Durante os períodos de maior fluxo de sedimentos, a linha de praia recua, e durante os períodos de menor suprimento o mar destrói parte dos cordões construídos na fase regressiva. O conjunto é regressivo, ou por avanço da planície cos



CPRM

teira em direção ao mar, estando esta em pleno processo de construção, ou por emersão da faixa costeira, ou ainda por uma interação dos dois fatores.

Depósitos aluviais areno-argilosos desenvolvem-se no baixo curso dos rios principais, às vezes associados a depósitos lagunares e de mangues.

## CINTILOMETRIA

A monazita (fostato de terras raras e tório) ocorre associada a outros minerais pesados, quer em maiores proporções e concentrada nas areias de praia, quer reduzidamente e dispersa nos sedimentos do Grupo Barreiras.

Dada a suscetibilidade radiométrica do mineral, foram desenvolvidos estudos cintilométricos por toda a área de pesquisa detalhada, em escalas que variam desde 1:10.000 até 1:1.000.

Com a finalidade de se conhecer o comportamento radiológico dos sedimentos Barreiras, visando uma possível correlação com seus teores em monazita, procedeu-se um levantamento radiométrico, em caráter de reconhecimento, na escala de 1:10.000, por uma área de aproximadamente 9,3 quilômetros quadrados.

Os resultados obtidos permitiram a elaboração de um mapa cintilométrico do Grupo Barreiras. (\*)

Radiometria de detalhe foi empreendida nos setores das praias antigas e atuais, tendo sido confeccionados, respectivamente, mapas cintilométricos nas escalas de 1:2.000 e 1:1.000. (\*\*)

O caráter extremamente oscilatório dos valores radiométricos obtidos no Barreiras (80-600 cps), refletido no traçado das linhas isoradioativas do mapa cintilométrico, estaria provavelmente relacionado ao padrão irregular de dispersão da monazita nos sedimentos estudados.

Os locais de maior concentração em monazita estão representados,

---

(\*) Vide Mapa Cintilométrico do Grupo Barreiras - Anexo III

(\*\*) Vide Mapa Cintilométrico - Anexos V e VIII

em mapa, por um adensamento de linhas de contorno irregular, orientadas preferencialmente segundo uma direção que acompanha, a grosso modo, a linha de costa.

As medidas cintilométricas detectadas decrescem em direção ao interior da área investigada, atingindo valores de 60-80 cps, tomados sempre numa cobertura arenosa esbranquiçada colocada nos tabuleiros do Grupo Barreiras. Nos locais onde o pacote arenoso se adelgaça, aflora irregularmente um solo argilo-arenoso, de coloração alaranjada, em que foram assinalados valores que oscilaram entre 100 e 200 cps (média de 150 cps). Os máximos radiométricos registrados (400-600 cps) estão sempre associados a níveis argilo-arenosos do Barreiras que se expõem ao longo da linha de falésia.

Estudos radiométricos de detalhe desenvolvidos em sete perfis litológicos nas falésias de praia, revelaram valores máximos de até 1.700 cps para o nível basal ("NÍVEL A") em uma das seções estudadas (\*). Os valores decrescem em direção ao topo do perfil, tendo sido ainda registradas medidas de 800 cps e 500 cps, para os pacotes sobrepostos e 250 cps para o solo de cobertura.

Com base nestas informações, as quais se aliam os resultados das análises mineralógicas processadas em amostras destes sedimentos, ficou confirmado um maior enriquecimento em monazita, sobretudo no nível inferior dos sedimentos do Grupo Barreiras que afloram na área.

Nos trechos de praias antigas, os valores radiométricos registrados (min. 50 cps e máx. 900 cps) para estas areias, a princípio, revelaram reduzidas possibilidades de conterem monazita, o que

---

(\*) Vide Perfil Estratigráfico - Radiometria Fig. 5

Fig. 5 - PERFIL ESTRATIGRÁFICO - GRUPO BARREIRAS -		RADIOMETRIA - VALORES RADIOMÉTRICOS -			
LITOLOGIA	DESCRIÇÃO	500 cps	1000 cps	1500 cps	2000 cps
	SOLO ARGILOSO, COLORAÇÃO CASTANHA ALARANJADA.  ESPESSURA = 5,0 m				
	"NÍVEL D" - ARGILA ARENOSA, MARROM AVERMELHADA.  ESPESSURA = 3,0 m				
	"NÍVEL C" - ARENITO ARGILOSO MARROM ACASTANHADO.  ESPESSURA = 6,0 m				
	"NÍVEL B" - ARGILA DE COLORAÇÃO CREME A LILÁS.  ESPESSURA = 4,0 m				
	"NÍVEL A" - ARENITO ARGILOSO CASTANHO AVERMELHADO.  ESPESSURA = 2,4 m				



foi posteriormente comprovado pelos resultados das análises mine  
ralógicas.

Para as praias atuais, as medidas cintilométricas detectadas (min. 90 cps e máx. 6.000 cps) somadas aos teores determinados pelos estudos mineralógicos, permitiram delinear em mapa as zonas de maior concentração de minerais pesados.



## GEOLOGIA DO DEPÓSITO

### Configuração da jazida

As concentrações de minerais pesados de Cumuruxatiba estão distribuídas em um trecho de praias atuais com 6.200 metros de comprimento e 20 metros de largura média, estendendo-se desde o local onde estão instaladas as espirais "Humphreys" até a foz do rio Japara Grande.

Do ponto de vista genético constituem um único e extenso jazimento, formado por lentes estreitas e alongadas de maior concentração que gradam no sentido longitudinal para zonas menos enriquecidas, com as quais se alternam.

A faixa mineralizada acompanha paralelamente a base das falésias do Barreiras, que atuam como anteparo ao depósito, no lado do continente. No lado do oceano, a linha que demarca o limite do depósito está alguns centímetros acima do nível do mar na maré baixa.

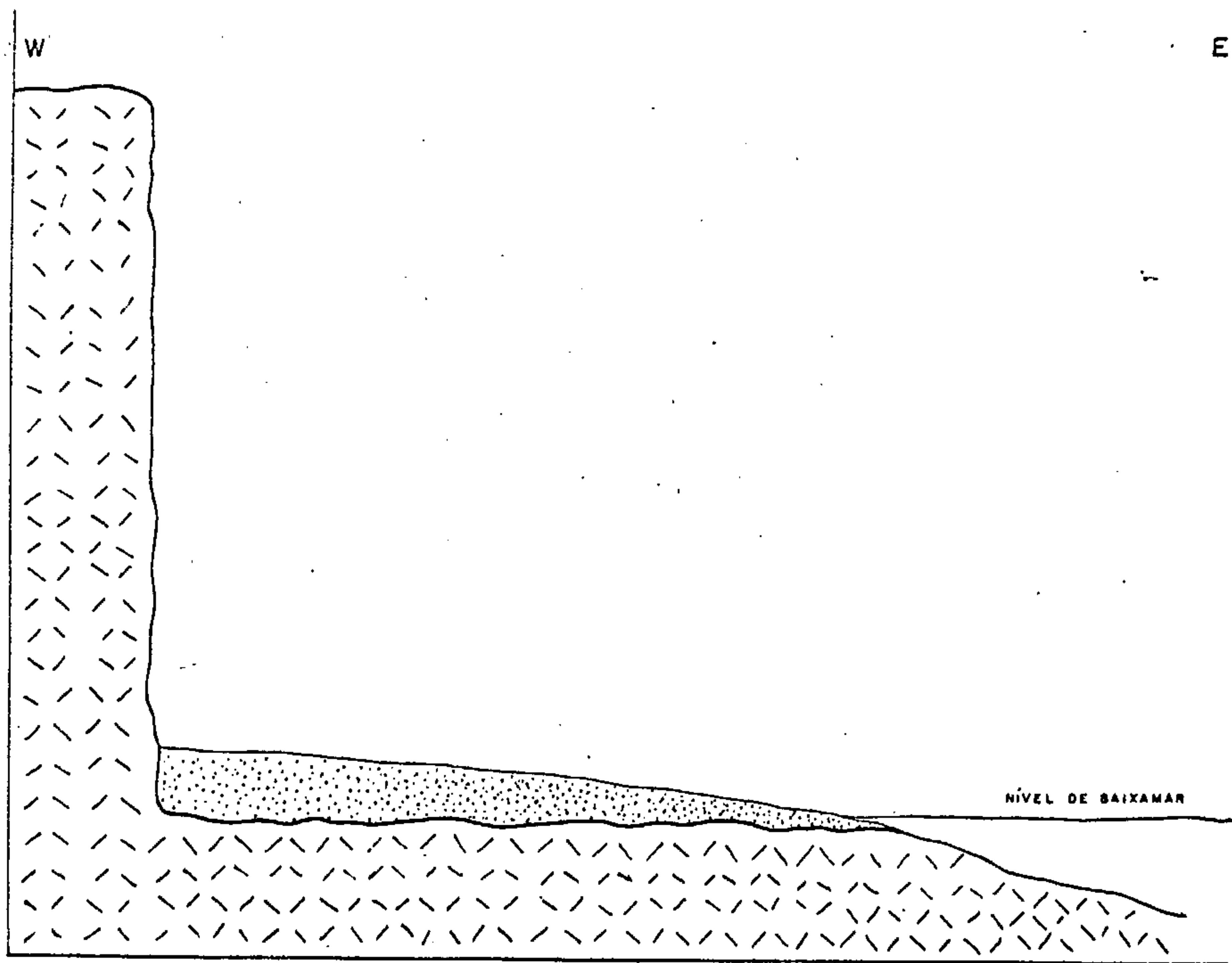
O corpo de areias de praia, onde se distribuem as concentrações, está colocado sobre a plataforma de abrasão escavada pela ação das ondas nas rochas do Grupo Barreiras. Tem a forma aproximada de uma cunha, com a parte mais larga voltada para a falésia, e, contato com a mesma (\*). Nesta parte o depósito atinge suas maiores espessuras, entre 1,70 a 2,0 metros. Em direção ao mar, o mesmo adelgaça-se progressivamente até atingir suas espessuras -

---

(\* ) Vide Seção Esquemática do Trecho de Praias Atuais - Fig. 6



Fig. 6 - SEÇÃO ESQUEMÁTICA DO TRECHO DE PRAIAS ATUAIS



Escala aproximada - 1:200



SEDIMENTOS DO GRUPO BARREIRAS



CORPO ARENOSO EM CUNHA



LINHA DE FALÉSIA



TERRAÇO DE ABRASÃO



CPRM

COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS

PROJETO CUMURUXATIBA - 1972

mínimas (0-20 centímetros) nos limites da praia.

As zonas de maior concentração são constituídas por empilhamentos de níveis milimétricos a centimétricos de coloração escura, essencialmente ilmeníticos, alternados com níveis empobrecidos de cor clara, e composição predominantemente quartzosa. Nas zonas de baixa concentração de minerais pesados os mesmos estão disseminados irregularmente na massa de areia, constituída em sua maior parte de grãos de quartzo.

Uma característica particular do jazimento é sua extrema mobilidade, devido à influência contínua sobre o mesmo dos agentes atuantes no ambiente praial. A ação conjunta das ondas, marés e correntes litorâneas paralelas à costa, faz com que massas de areias contendo concentrações de pesados sejam transportadas de um ponto para outro da praia, dentro de determinados limites, aumentando a reserva em um local e diminuindo-a em outro. Estes deslocamentos têm lugar, principalmente, durante as tempestades de ventos.

Diante de tal fato, uma configuração exata da geometria do depósito é impraticável. Para uma determinação válida da reserva global de minérios torna-se necessário que a mesma seja efetuada em uma faixa ampla da praia, onde embora a posição e os teores das concentrações variem no tempo, a reserva total possa ser considerada aproximadamente constante. Isto ocorre no trecho compreendido entre as espirais "Humphreys" e a foz do Japara Grande. Ao norte e ao sul destes limites as ocorrências de minerais pesados são insignificantes.

Mineralogia do Depósito

A composição mineral da maioria dos depósitos de minerais pesados espalhados pelo mundo é notavelmente similar, diferindo apenas nas percentagens de cada mineral presente. Todos os minerais provém originalmente de gnaisses, granitos e pegmatitos.

Os jazimentos do tipo "placer de praia" contêm, frequentemente, entre os constituintes, ilmenita, leucóxênio, rutilo, granada, turmalina e epidoto, além de outros. O epidoto e granada são abundantes em alguns conjuntos e ausentes em muitos.

Nos concentrados de minerais pesados, a granulometria do mineral está usualmente na razão inversa de sua gravidade específica. Turmalina, granada, e silimanita são mais grosseiras que a ilmenita; o zircão é fino, e a monazita é muito fina. A média do tamanho dos grãos varia com o depósito e é uma indicação das condições de deposição. A maior parte dos depósitos de riachos é constituída de grãos mais grosseiros que os depósitos marinhos, e estes variam numa larga faixa.

Os minerais pesados são fisicamente duros e quimicamente resistentes ao intemperismo.

A mineralogia das areias de Cumuruxatiba não foi plenamente revelada, porquanto as análises mineralógicas processadas em amostras destes sedimentos, visaram precipuamente a avaliação econômica do jazimento em seus conteúdos de ilmenita, monazita e zircão.

Os depósitos de praias atuais revelaram significativos teores em minerais pesados (teor médio de 22,42%). A eles associam-se predominantemente o quartzo e, em reduzida proporção, minerais de argila. Entre os constituintes determinados da fração pesada predo -

minam, em ordem decrescente, a ilmenita (teor médio de 21,09%), monazita (teor médio de 0,79%) e zircão (teor médio de 0,64%). Foram ainda determinadas medidas quantitativas de minerais com suscetibilidade magnética de ilmenita, além de teores de outros minerais não determinados qualitativamente.

O setor de Japara Mirim foi o que se mostrou mais enriquecido em concentrações de minerais pesados determinados (teor médio de 25,10%), contendo, em média, 23,59% de ilmenita, 0,24% de monazita e 0,31% de zircão, além de outros.

As areias de praias antigas, mineralogicamente similares às das praias atuais, apresentaram teores insignificantes em minerais pesados (teor médio de 1,84%).

Com base nestas informações mineralógicas procedeu-se a confecção de mapas de traçados de curvas de isoteor dos setores de praias antigas (cartas de concentração de minerais pesados) e praias atuais (cartas monominerais de ilmenita e monazita). (\*)

Dentre os componentes químicos da ilmenita contida nas areias, foram revelados, por análises químicas, teores de  $TiO_2$ ,  $FeO$  e  $Fe_2O_3$ . (\*\*)

Embora as concentrações de areias ilmeníticas estejam muito próximas entre si, os teores de óxido de titânio ( $TiO_2$ ) da ilmenita variam entre 45% e 60%, em escala de setor estudado (\*\*). Isto provavelmente estaria relacionado ao fato da ilmenita dos atuais depósitos ter sido originada de rochas cristalinas titaníferas separadas por dezenas de quilômetros (Gillson, 1961).

---

(\*) Vide Mapas de Isoteor - Anexos VI, IX e X

(\*\*) Vide Quadro I - Análises Químicas de Ilmenita

QUADRO 1 - ANÁLISES QUÍMICAS - ILMENITA

( Em % )

AMOSTRA \ SUBSTANCIA	TiO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO
1231 - AF - A - 1 (1)	60,0	33,5	2,4
1231 - AF - A - 3 (1)	60,0	33,8	2,1
1231 - AF - A - 7 (1)	60,0	33,2	2,4
1231 - AF - A - 17 (1)	55,0	34,6	1,9
1231 - AF - A - 29 (2)	50,0	35,4	2,4
1231 - AF - A - 38 (2)	40,0	38,2	2,5
1231 - AF - A - 54 (2)	45,0	37,5	2,9
(1) SETOR DA BICA (2) SETOR DE DOIS IRMÃOS			
Análises processados pelo LAPET - CPRM 1972			



## Considerações Genéticas

A jazida de minerais pesados de Cumuruxatiba é do tipo "placer de praia" (Gillson, 1961) cuja gênese está estreitamente relacionada à história geológica e geomorfológica da região.

Emery e Noakes (1969) no trabalho "Economic Placer Deposits of the Continental Shelf", mostram que os seguintes estágios são necessários para formação e concentrações econômicas de minerais pesados em praias atuais e pretéritas:

- 1 - Área fonte primária dos minerais pesados no continente (rochas ígneas e metamórficas) sujeita a intemperismo profundo, capaz de remover "in situ" (intemperismo químico) a maior parte dos minerais não úteis, tais como feldspato, piroxênio, anfibólio, granada e magnetita.
- 2 - Continuação dos processos de redução destes minerais instáveis durante o transporte para o mar por meio dos cursos d'água e/ou intemperização em rochas hospedeiras intermediárias. Esta possível primeira concentração em rochas hospedeiras intermediárias (tais como camadas sedimentares das planícies costeiras) faz com que os minerais pesados fiquem sujeitos a eventual exumação e novo transporte, em uma renovação dos processos. Sem a remoção química e mecânica dos minerais não desejados, principalmente aqueles com densidades próximas às dos pesados, a separação industrial seria provavelmente anti-econômica.
- 3 - Concentração final dos minerais pesados úteis (ilmenita, monazita, rutilo e zircão) nas praias atuais ou antigas. Para a





CPRM

formação de um depósito econômico destes minerais é necessário um ambiente de alta energia e de larga extensão, sendo o mais favorável o ambiente praias. O contínuo movimento oscilatório das vagas fornece energia suficiente para a eliminação parcial do quartzo. Os minerais pesados tendem a permanecer nas partes superiores das praias, enquanto que o quartzo é mais facilmente arrastado para o mar no movimento de retorno das ondas ("backwash), que possui menor competência.

No caso da jazida de Cumuruxatiba a fonte primária dos minerais são as rochas ígneas e metamórficas do Complexo Cristalino que, na região, ocorrem de 30 a 40 quilômetros do litoral atual.

O longo período erosivo do Ciclo Geomórfico Sul Americano, que teve início no Cretáceo Superior e foi ativo até o Terciário Superior, foi responsável pelo mais perfeito e extenso aplainamento já verificado no Brasil, nivelando indistintamente rochas das mais variadas idades e naturezas, reduzindo a paisagem a uma extensa planície (Braun, 1971). Os solos aí desenvolvidos permaneceram por longo tempo sujeitos a uma profunda lixiviação e laterização, propiciando a redução dos minerais instáveis pelo intemperismo químico, concentrando os mais estáveis e resistentes.

Antes de findar o aplainamento Sul Americano, teve início no final do Terciário o soerguimento do continente, enquanto a faixa litorânea permanecia estável. O limite entre os dois blocos é demarcado por uma série de falhas escalonadas próximas ao litoral e aproximadamente paralelas ao mesmo. Este levantamento epirogênico provocou um rejuvenescimento da drenagem no bloco soerguido, tendo como consequência a erosão acelerada dos solos antigos. Os materiais constituintes dos mesmos, entre eles os mine -

rais pesados, foram rapidamente transportados para as planícies-costeiras próximas, onde se acumularam, passando a constituir as camadas sedimentares do Grupo Barreiras.

Segundo Gillson (1961), apenas os sedimentos basais do Barreiras são ricos em pesados, em virtude dos mesmos terem sido formados pelos materiais provenientes das camadas superiores dos antigos solos, com maiores concentrações de minerais.

Os resultados das análises mineralógicas indicaram para os sedimentos estudados do Grupo Barreiras, o teor médio de 2,92% de minerais pesados. Os teores máximos registrados (16,06% e 10,06%) correspondem às amostras coletadas no nível inferior dos sedimentos aflorantes na área, e usualmente trabalhados pela ação das marés. Entre os constituintes determinados da fração pesada, predomina a ilmenita com o teor médio de 26,24%.

Com base em tais informações e assentado sobre conceitos geológicos estabelecidos por Gillson e diversos outros autores, é lícito admitir como sendo proveniente desses sedimentos, colocados no pacote médio (?) do Grupo Barreiras, os atuais depósitos de minerais pesados da região.

Análises mineralógicas processadas em sedimentos aluvionares dos pequenos rios que drenam o Barreiras, mostraram o teor médio de 0,72% de minerais pesados.

A pequena capacidade de transporte destas correntes e os cursos meandrosos das mesmas, limitam sobremaneira a quantidade de material pesado transportado para o mar, de modo a rejuvenescer, significativamente, os atuais depósitos minerais da região.

Somente estudos geológicos minuciosos a partir dos grandes rios que desaguam na região (Jequitinhonha e Prado), poderão determi-



CPRM

nar o grau de contribuição da rede hidrográfica no processo de formação destes depósitos.

Análises geoquímicas e por espectrometria gama mostraram teores insignificantes inferiores a 0,2 ppm de U e 0,02% de Th, ambos constituintes da monazita com elementos acessórios.

As antigas planícies costeiras onde foram depositados os sedimentos Barreiras, prolongavam-se para leste, bastante além da atual linha de costa (ver ítem relevo, pag. 9), sendo que, atualmente em muitos pontos do litoral são encontradas camadas do Barreiras abaixo do nível do mar, como ocorre em Cumuruxatiba. O mar, logo após a sedimentação marinha Miocênica, sofreu regressão, recuando para oriente muito além da atual linha de costa.

No início do Quaternário deu-se o levantamento e arqueamento da superfície de sedimentação Barreiras, ao mesmo tempo em que se processava a transgressão marinha que "afogou" a drenagem costeira. As características geomorfológicas atualmente evidenciadas nos sedimentos, indicam ser este levantamento relativamente recente (ver ítem relevo, pag. 9). King (1956), para explicar estes eventos, sugeriu ter ocorrido um basculamento do bloco costeiro em direção ao mar segundo um eixo paralelo ao litoral e próximo a este, de tal maneira que, conforme o eixo estivesse para o interior ou para fora, as características locais da costa seriam do tipo submerso ou soerguido.

Com o alçamento dos sedimentos Barreiras, portadores de minerais pesados disseminados, teve início a erosão marinha sobre os mesmos, esculpindo suas conspícuas falésias litorâneas. O recuo da escarpa marinha forneceu um terraço de abrasão, usualmente trabalhado pelas ondas. Sobre este terraço é que está colocado o "plac<sup>er</sup>" litorâneo de Cumuruxatiba. O maior peso específico dos mine

rais pesados em relação aos minerais de argila e quartzo, principais constituintes do Barreiras, faz com que os mesmos fiquem concentrados próximo à falésia, enquanto que os minerais menos densos são arrastados para o mar no movimento regressivo das vagas.

Todas as concentrações litorâneas de minerais pesados existentes nas praias do sul da Bahia e no Espírito Santo, segundo Gillson- (1961), têm origem semelhante a esta descrita para a jazida de Cumuruxatiba.

## GEOLOGIA ECONÔMICA

### GENERALIDADES

#### Utilização e Consumo dos Minerais Pesados

Essencialmente, a monazita é um fosfato de cério, podendo conter pequenas percentagens de itrio, lantânio, tório e urânio, entre outros. Os teores em óxido de tório na monazita variam, via de regra, desde 5% a 6% para as areias mineralizadas brasileiras. (A-breu, S.F. 1962). No caso das areias de Cumuruxatiba, este teor oscila em torno de 5,7% (T.H. Lee. 1913).

A obtenção a partir da monazita, de sais de terras raras, óxido de tório e alguma recuperação de urânio em diminuta proporção, decorre de um processo de ataque químico a que a mesma é submetida.

A aplicabilidade do tório na tecnologia dos reatores nucleares ainda se encontra em fase experimental no Brasil. Representa, porém, uma das maiores esperanças de produção de energia a preços baixos (Panorama do Setor Mineral Brasileiro, 1966). A maior utilização do tório, atualmente, é no fabrico de ligas com magnésio, usadas na aviação moderna.

O zircônio, por sua vez, é um metal refratário com elevada resistência à tração e alta dureza. É encontrado sob a forma de silicato, mineral zircão ( $Zr SiO_4$ ), em pequenas proporções nas areias que contêm minerais pesados.

Aplica-se, unido a outros metais na obtenção de ligas metálicas, e ainda como abrasivo. Recentemente, vem sendo produzido principal-



mente para o uso da engenharia nuclear.

O rutilo ocorre associado a ilmenita, monazita e zircão contendo, não raro, inclusões do primeiro. Tem seu emprego principal na produção de titânio metálico, sendo ainda utilizado na fabricação de produtos químicos e na indústria de cerâmica.

A ilmenita é um mineral correspondente a fórmula  $FeO TiO_2$ , contendo, frequentemente, também  $Fe_2O_3$ .

Constitui-se em matéria prima para a produção dos dois tipos principais de dióxido de titânio ( $TiO_2$ ), o "rutilo" e o anatase, amplamente usados como pigmento branco em vários setores industriais. Também são usados como fonte de  $TiO_2$  as escórias titaníferas provenientes da redução de minérios de ferro titanizados (ilmenita - hematita).

O crescente emprego dos pigmentos "rutilo" e anatase em substituição ao pigmento "litopone comum", deve-se ao grande poder de cobertura e de tingibilidade dos primeiros.

Embora o maior consumidor de dióxido de titânio seja a indústria de tintas, outros campos industriais de aplicação deste pigmento são: metalurgia, papel, borracha, cerâmica, cosméticos, etc..

Na atualidade, o domínio da metalurgia do titânio abre amplas perspectivas de sua aplicação na indústria aeronáutica moderna.

Mercado Brasileiro de Dióxido de Titânio, Ilmenita e Monazita

Dióxido de Titânio e Ilmenita

As importações brasileiras de dióxido de titânio vêm mantendo po

sição de importância ao longo dos últimos dezoito anos.

Dados estatísticos disponíveis acusam, para o decênio 1953/1962, um total importado de 14.152 toneladas de dióxido de titânio. Em 1963, o volume de importação de titânio, principalmente sob a forma de dióxido, foi da ordem de 7.200 toneladas, correspondendo a US\$ 3,6 milhões. Em 1965, a importação atingiu 6.600 toneladas de  $TiO_2$ , no valor de US\$ 3,1 milhões.

A necessidade atual do mercado brasileiro é de aproximadamente 22.000 toneladas/ano (\*) de dióxido, tomando como base o consumo registrado no ano de 1971, que foi de 19.000 toneladas, e admitindo, como correto, o acréscimo anual da ordem de 15%.

A produção brasileira de titânio sempre mostrou-se insuficiente no atendimento de nossa demanda interna. Registrou-se, para o período compreendido entre 1953 e 1963, um total de 14.352 toneladas produzido pela Cia. Química Industrial.

---

(\*) Fonte: TIBRÁS

QUADRO II - DEMONSTRATIVO DO CONSUMO APARENTE NACIONAL  
DE DIÓXIDO DE TITÂNIO ( 1953 - 1962 )

ANOS	EM TONELADAS		
	Produção	Importação	Consumo Aparente
1953 ...	987	711	1.698
1954 ...	1.318	2.897	4.005
1955 ...	1.315	1.759	3.074
1956 ...	1.359	2.668	3.927
1957 ...	1.054	2.473	3.527
1958 ...	1.524	2.544	4.068
1959 ...	1.815	2.771	4.586
1960 ...	1.650	3.538	5.188
1961 ...	1.510	4.346	5.856
1962 ...	1.820	5.457	7.277

FONTES: DNDE - Departamento Econômico e SEEF, do Ministério da  
Fazenda.

No ano de 1971, a Titânio do Brasil S/A, Tibrás, recentemente -  
instalada no município de Camaçari, estado da Bahia, foi a res  
ponsável pela quase totalidade da produção brasileira de dióxi-  
do de titânio, contribuindo com 11.000 toneladas.

Em tempo breve, esta produção deverá atingir o equivalente a  
22.000 toneladas/ano, que corresponde a capacidade total de  
suas instalações industriais.

A ilmenita utilizada pela Tibrás provém, na sua totalidade, da  
Austrália, ao preço de 32 dólares/toneladas Fob., tendo sido im

portadas, em 1971, 27.500 toneladas de minério correspondendo a US\$ 880,00 mil. Mantida a atual política de importação, a Tibrás dispensará quando em pleno funcionamento, um total de US\$ 1,76 milhões, equivalentes a 55.000 toneladas de ilmenita, importadas supostamente ao preço atual.

No passado, a fraca capacidade de absorção do minério pela indústria brasileira impediu que a produção da C.N.E.N. fosse normalmente consumida, disto resultando a acumulação de estoques. Com efeito já possuía a Comissão, em 1970, no pátio da Usina de Cumuruxatiba, aproximadamente, 85.185 toneladas de ilmenita.

A possibilidade de comercialização da produção total de ilmenita da C.N.E.N., aparece como o único meio de se efetuar as operações de obtenção e industrialização da monazita a custos reduzidos.

Recentemente, foi firmado um acordo comercial entre a Tibrás e a C.N.E.N., para o fornecimento à primeira dos estoques de ilmenita existentes nas Usinas da Comissão.

Um dos problemas básicos de fornecimento da ilmenita estocada nas usinas aos mercados consumidores, estaria ligado às condições de transporte marítimo, melhor dizendo de porto de embarque.

Este entrave foi praticamente transposto com a construção em Cumuruxatiba de um terminal marítimo de embarque, com capacidade de atracar navios de médio porte. Torna-se deste modo possível a utilização do transporte marítimo como via de escoamento da produção de ilmenita estocada e da que venha a ser produzida até o esgotamento total da reserva.

Monazita

Com o advento do monopólio pelo Governo Federal sobre os minerais radioativos, a produção brasileira de monazita ficou sob responsabilidade restrita à Comissão Nacional de Energia Nuclear.

Os dados de produção de monazita das Usinas da C.N.E.N., desde o primeiro ano de funcionamento, constituem-se em informações sob controle da mesma.

Sabe-se apenas que, em 1970, a Usina de Cumuruxatiba produziu 246,78 toneladas de monazita: (\*)

Tanto a monazita como os outros minerais pesados obtidos pela C.N.E.N., à exceção da ilmenita, são transportados para suas unidades industriais, em São Paulo, por transporte rodoviário. A precariedade do trecho Cumuruxatiba - Nanuque (MG), não permite o estabelecimento de uma linha regular de transporte.

#### Minerais Pesados no Brasil

Tem-se conhecimento que os depósitos brasileiros de minerais pesados são numerosos, mas individualmente pequenos na sua grande maioria.

Em Goiás, nas regiões de Goianira - Trindade e Goiania Bonfinópolis, foram assinaladas ocorrências de ferro-titanados, quer formando delgados leitos no piroxenito, quer na forma de areia-preta aluvionar. Dificilmente é encontrada ilmenita pura, ocorrendo, frequentemente, titano - hematita, ferro - ilmenita ou

---

(\*) Fonte: Usina de Cumuruxatiba



magnetita titanífera. Estes depósitos não apresentam interesse econômico no campo da técnica atual.

No Brasil, somente os depósitos do tipo "placer" podem ser considerados como fontes de minerais pesados.

Na região nordeste, principalmente no Ceará, muito embora nenhum trabalho de avaliação de reserva tenha sido realizado, são promissoras as ocorrências de depósitos aluvionares nas áreas de Curó, Canindé, Pentecostes e Independente.

Na costa Sergipana, em região da foz do rio S. Francisco, ocorrem por uma área de aproximadamente 1,500 km<sup>2</sup>, extensos depósitos de minerais pesados em terraços e placeres de praia. Investigações realizadas nas areias de praias atuais, revelaram teores baixos de minerais pesados (2,2%), contendo 1% a 1,5% de monazita.

Na área citada, somente os depósitos primários, encobertos em grande parte por areias eólicas quaternárias, podem ser julgados potencialmente favoráveis à mineração. Consistem de horizontes de até 8,0 metros de espessura, portadores de minerais pesados. Análises mineralógicas indicaram teores elevados em ilmenita (40%), rutilo (5%), zircão (1,4%) e monazita (1,4%). Estimou-se em cerca de 2 milhões (\*) de toneladas de minerais pesados a ordem de grandeza destes depósitos.

A faixa costeira que se estende pelos estados da Bahia, em seu extremo sul, Espírito Santo e Rio de Janeiro, apresenta-se como

---

(\*) Fonte: "O D.N.P.M. e os Recursos Minerais de Sergipe" (Conferência pronunciada recentemente pelo Diretor do DNPM Dr. Ivan Barreto.

detentora dos mais importantes depósitos de minerais pesados, - sem contudo constituírem reservas minerais de grande porte.

Depósitos costeiros são assinalados em vários locais do litoral do Espírito Santo, constituindo reservas de ilmenita e monazita, alguns deles em exploração. Dentre os mais importantes, citam-se as jazidas da Praia do Diogo, Meaipe, Mãe-Bá, Carapebens, Ponta do Cajo e Guarapari.

Na costa fluminense, trabalhos empreendidos em 1967, pela CNEN, indicaram para a região de Buena as seguintes reservas, em toneladas:

ilmenita - 20.164; zircão - 14.899 e monazita - 4.508.

Ainda no Estado do Rio de Janeiro, são conhecidos outros depósitos minerais, contendo predominantemente ilmenita e monazita em suas areias. São eles: Guaxindiba, Salinas, Manguinhos, Samambaiá, Largo, Itabapoana, Cutinga, entre outros.

O quadro que se segue, datado de 1961, registra as reservas indicadas das diferentes jazidas de ilmenita no Brasil, parecendo, contudo, encerrar valores exagerados.

QUADRO III - JAZIDAS BRASILEIRAS DE ILMENITA, SOB CONTROLE DO DNPM

LOCALIZAÇÃO	CONCESSIO- NÁRIA RIO	RESERVAS INDICADAS (t)	Produção (t)			
			1957	1958	1959	1960
ALCOBAÇA - BA .....	CNEN (SULBA)	-	-	-	-	-
PRADO-CUMURUXATIBA	CNEN (M. MUCI)	400.000	-	-	-	(1)
INDEPENDÊNCIA - CE.	VALE DO ASSÚ	97.020	-	-	-	-
ANCHIETA - ES.	COMIRA	150.000	-	-	-	-
ARACRUZ - ES.	CNEN (SULBA)	-	-	-	-	-
ESPÍRITO SANTO	MIBRA	-	-	-	-	-
GUARAPARI - ES.	MIBRA	19.950	-	-	-	580
GUARAPARI - ES. II	MIBRA	23.353	-	-	-	576
ICONHA (I) - ES.	VIS. T. ARAÚJO	55.000	-	-	-	626
ICONHA (II) - ES.	VIS. T. ARAÚJO	-	-	-	-	-
SERRA (I) - ES.	CNEN (SULBA)	-	-	-	-	-
SERRA (II) - ES.	CNEN (SULBA)	6.400	-	-	-	-
SERRA (III) - ES.	CNEN (SULBA)	-	-	-	-	-
SERRA (IV) - ES.	CNEN (SULBA)	11.500	-	-	-	-
VITÓRIA - ES.	CNEN (SULBA)	-	13.641	-	-	-
PARANAGUÁ - PR.	J.V. DA COSTA	-	-	-	5.680	-
S.J. DA BARRA - RJ.	MIN. ITABAPOANA	229.000	-	-	-	-
BRUSQUE - SC.	SUL BRASILEIRA	-	-	-	-	85
CARAGUATATUBA - SP.	CIL	-	-	-	912	-
CARAGUATATUBA - SP.	FER. LORENZI	23.000	-	-	-	70

FONTE: - "Engenharia, Mineração e Metalurgia" - Cadastro das Usinas do Brasil -  
Eng. Olivero Leonardos - junho de 1961, pág. 319.



CPRM

## O JAZIMENTO DE CUMURUXATIBA

### Histórico da jazida

Em 1886 foram patenteadas na Europa as camisas incandescentes para iluminação à gaz, que tiveram rápida aceitação popular. Na sua fabricação foram usados sais de terras raras, inclusive o tório. Passou então a haver mercado para a monazita, fosfato de metais de terras raras, essencialmente  $PO_4$  (Ce, La, Y Th).

Data também daquele ano o início da exploração das areias monaziíticas das praias de Cumuruxatiba por parte do engenheiro John Gordon, de nacionalidade inglesa, que delas tivera conhecimento poucos anos antes. No período de 1886 a 1890 calcula-se que, aproximadamente, 15.000 toneladas de concentrados de monazita tenham sido exportadas clandestinamente para a Europa, a título de lastro para os navios.

De 1891 a 1896 poucos são os dados relativos à exportação, tendo ocorrido, possivelmente, embargo por parte do Governo da Bahia, como consequência das insistentes denúncias da imprensa contra as exportações indiscriminadas. Apenas sabe-se que, em 1895, deu entrada no porto de Hamburgo, na Alemanha, 3.000 toneladas de monazita brasileira.

Em 1896, John Gordon obteve do Governo do Estado da Bahia e da Câmara Municipal de Prado concessão para extrair monazita nos terrenos devolutos do Estado e nos terrenos de marinha. Como era da União a jurisdição sobre estes últimos, foi considerada irregular sua lavra. Em 1898, Gordon consegue do Governo Federal o afloramento de uma faixa de 4.185 metros de comprimento por 33



metros de largura em Cumuruxatiba, onde se encontravam os mais ricos depósitos.

No ano de 1900, a lei nº 741 estabeleceu definitivamente a autoridade do Governo Federal para conceder direitos de lavra das areias monazíticas nos terrenos de marinha. A partir desta data, tem início exportação de monazita das praias do Espírito Santo, descobertas em 1898. Os dados estatísticos existentes (quadro a baixo), passam a refletir desde 1886 a exportação global do Brasil, não existindo dados referentes apenas às exportações da Ba hia.

QUADRO IV - EXPORTAÇÃO BRASILEIRA DE AREIAS MONAZÍTICAS

PERÍODO	TONELAGEM
1886 - 1890	15.000 (?)
1895 - 1904	113.279
1905 - 1914	40.593
1915 - 1922	3.822,43

No início do século atual, Gordon instala os primeiros separado res eletromagnéticos, continuando a exportar concentrados até 1913. Em 1916, o mesmo desiste da concessão da lavra dos depósitos de monazita de Cumuruxatiba, possivelmente por encontrarem-se estes já bastante depletados.

A partir de 1913, apenas a Société Minière et Industrielle Franco-Brésilienne consegue exportar monazita, produzida em suas usi

nas no Espírito Santo: a procura e os preços da monazita haviam caído muito no mercado mundial, principalmente devido ao uso crescente da eletricidade na iluminação pública. Em 1923, começa a deixar de haver produção e exportação de monazita brasileira, após a entrada no mercado da monazita de Travencore - (Índia), de qualidade superior a brasileira. Só em 1936 foi retomada a produção e, em 1937, as exportações, por parte da Societé Minière et Industrielle, operando no Espírito Santo.

Em 6 de abril de 1944, o Decreto de Lavra nº 15.287 autorizou - Ivo Felisberto de Souza a lavrar monazita e associados nos depósitos de Cumuruxatiba. Em julho de 1945, os direitos de lavra foram transferidos para Joaquim Vicente de Castro, que por sua vez os transferiu para Mitchel Muci, em novembro de 1948. Com o advento do monopólio pela CNEN sobre os minerais radioativos, a mesma adquiriu o controle das jazidas de Cumuruxatiba, a partir de outubro de 1961.

Não são conhecidos dados de produção do período entre 1944 e 1961. Com a transferência dos direitos de lavra para a CNEN, os trabalhos de lavra entraram numa fase intensiva após ter sido reequipada a usina de separação eletro-magnética. No primeiro ano de operação (1962), a CNEN produziu 1.137 toneladas de ilmenita, e 102 toneladas de zirconita.

Em 1970, a Usina de Cumuruxatiba produziu 13.441 toneladas de ilmenita, 246,78 toneladas de monazita, 158,94 toneladas de zirconita, e 1,4 toneladas de rutilo. Os estoques de ilmenita existentes no pátio da Usina alcançavam no final de 1970, 85.185 toneladas.

O Decreto nº 60.056, de janeiro de 1971, declarou caduco o Decre

to nº 15.287 de 06.04.1944, que autorizou o Sr. Ivo Felisberto - de Souza a lavrar monazita na região de Cumuruxatiba.

Durante o ano de 1971, a Usina funcionou apenas esporadicamente, devido se encontrar em estudos, por parte da CNEN, a possibilidade de paralização da mesma, em virtude do quase esgotamento da reserva de monazita da jazida.

#### Reservas de Ilmenita, Monazita e Zircão

A área destinada aos estudos de avaliação do potencial econômico da jazida de Cumuruxatiba abrange um trecho de praias atuais, que se estende por cerca de 6,2 quilômetros desde as espirais "Humphreys" até o rio Japara Grande, ao sul.

Considerando as denominações já consagradas pelos antigos decretos de lavra, a faixa de praia mineralizada foi dividida em cinco setores - Bica, Dois Irmãos, Areia Preta, Japara Mirim e Japara Grande - merecedores de uma avaliação quantitativa das reservas de ilmenita, monazita e zircão.

A área de prospecção pioneira (praias antigas), localizada ao norte do trecho avaliado, mostrou-se imprópria a uma apreciação econômica significativa tais os irrelevantes teores de minerais pesados registrados.

O corpo de areias de praias atuais onde se distribuem as concentrações econômicas de minerais pesados, apresenta-se com a forma aproximada em cunha, constituído por empilhamentos de níveis centimétricos a milimétricos de coloração escura, essencialmente ilmeníticos, alternando com níveis empobrecidos de composição -

quartzosa.

Os trabalhos desenvolvidos consistiram de levantamento a prancheta e alidade, na escala 1:1.000, e amostragem sistemática a traço das areias de praias. Levou-se a efeito a coleta de amostras-totais de areias de cada furo, dadas as espessuras milimétricas-dos níveis enriquecidos em minerais pesados. Um total de 380 amostras de areia mineralizada foi submetido a análises mineralógicas.

O procedimento adotado na efetivação dos cálculos que conduziram a estimativa global da reserva do depósito assentou-se na forma caracterizada em cunha do corpo de areias de praia. (\*)

Consistiu preliminarmente esse procedimento na subdivisão de toda a faixa mineralizada em 125 trechos de praia, cada um dos quais convencionalmente chamado de "bloco", possuidor de uma área de influência determinada por cada linha de furos. Para este fim, foram utilizados mapas bases planimétricos elaborados na escala 1:1.000. (\*\*)

Consideradas as medidas referentes à largura da praia, espaçamento da malha e profundidade dos furos próximos à falésia, calculou-se o volume total de areia contido em cada bloco. (\*\*\*)

Os resultados das análises mineralógicas das amostras coletadas revelaram os teores de ilmenita, monazita e zircão, para cada furo. A partir destas informações mineralógicas e utilizando-se das profundidades obtidas em todos os furos, foram estimados, pa

---

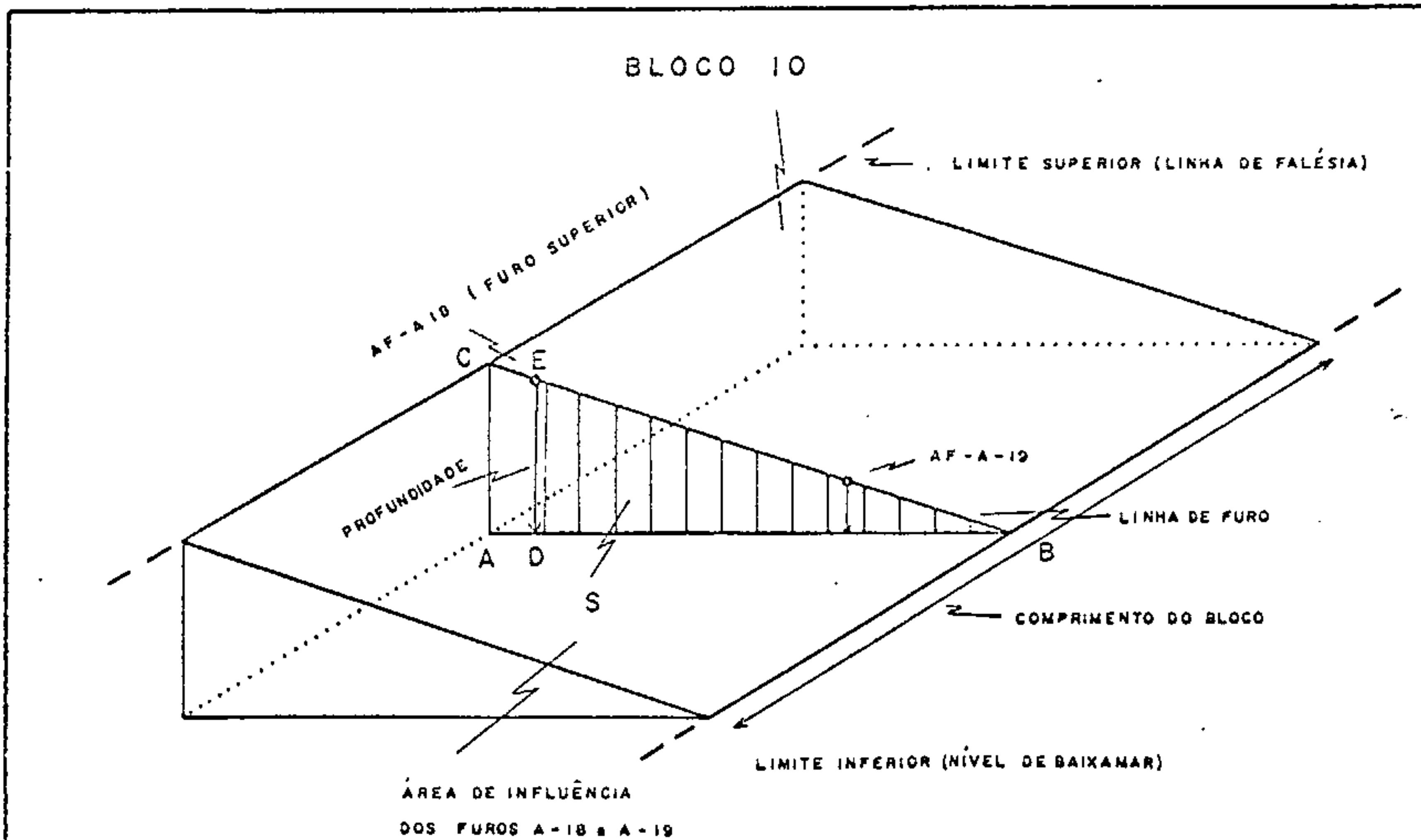
(\*) Vide Procedimento na Avaliação da Reserva Total - Fig. 7

(\*\*) Vide Mapa Indicativo dos Cálculos de Reserva - Anexo XI

(\*\*\*) Vide Tab. I - Cálculo de Volume (Vol. III)



Fig 7 - PROCEDIMENTO NA AVALIAÇÃO DA RESERVA TOTAL



CÁLCULOS PARA AVALIAÇÃO DA RESERVA DE CADA BLOCO:

— VOLUME DO BLOCO:  $V = S \times C$

S = área da seção triangular.

C = comprimento do bloco (intervalo da malha)

AB = largura do bloco

AC = espessura maior do bloco

Pf = profundidade do furo superior

BD = largura até furo superior

$$S = \frac{AB \times AC}{2}$$

$$AC = \frac{AB \times Pf}{BD}$$

$$S = \frac{AB^2}{BD} \times \frac{Pf}{2} = \frac{30^2}{28} \times \frac{0,95}{2} = 15,15 \text{ m}^2$$

$$V = 15,15 \times 50 = 757,50 \text{ m}^3$$

— TEOR MÉDIO DO BLOCO:  $T_m = \frac{f_{18} \times Pf_{18} + f_{19} \times Pf_{19}}{Pf_{18} + Pf_{19}}$

f = teores dos furos A-18 e A-19

Pf = profundidade dos furos A-18 e A-19

$$T_m = \frac{3,31 \times 0,95 + 0,50 \times 0,15}{1,10} = 2,92$$

— VOLUME DE MINÉRIO DO BLOCO:  $V_m = \frac{V \times T_m}{100} = \frac{757,50 \times 2,92}{100} = 22,12 \text{ m}^3$

— RESERVA DE MINÉRIO DO BLOCO:  $r = V_m \times d^{(*)} = 22,12 \times 4,79 = 105,95 \text{ TONS (ILMENITA)}$

(\*) d (gravidade específica) = 4,79 gr/cm<sup>3</sup>



ra cada bloco, os teores médios das substâncias minerais determinadas.

Tomou-se sempre das seguintes gravidades específicas: ilmenita-4,79 gr/cm<sup>3</sup>; monazita-5,0 gr/cm<sup>3</sup>; zircão-4,68 gr/cm<sup>3</sup>.

Com base nos elementos indicados procedeu-se aos cálculos das reservas de ilmenita, monazita e zircão, que indicaram, para cada setor, os seguintes totais, em toneladas: (\*)

SETOR DA BICA

Ilmenita ...	15.643,57
Monazita ...	480,00
Zircão .....	326,93

SETOR DE DOIS IRMÃOS

Ilmenita ...	9.730,72
Monazita ...	599,30
Zircão .....	319,35

SETOR DE AREIA PRETA

Ilmenita ...	44.935,82
Monazita ...	2.647,75
Zircão .....	1.884,83

SETOR DO JAPARA MIRIM

Ilmenita ...	87.184,78
Monazita ...	724,88
Zircão .....	1.010,69

---

(\*) Vide Tabs. II, III e IV - Cálculo de Reserva (Vol. III)



## SETOR DO JAPARA GRANDE

Ilmenita ...	23.990,21
Monazita ...	112,60
Zircão .....	125,95

### TOTAL DA RESERVA DO DEPÓSITO

Ilmenita ...	171.485,10
Monazita ...	4.564,53
Zircão .....	3.667,75

## Mineração e Beneficiamento

### Mineração

A C.N.E.N. está atualmente empregando métodos rudimentares de mineração. As areias são extraídas das praias por instrumentos manuais, geralmente pás, e colocadas em caminhões caçambas. Dos locais de lavra do depósito de Cumuruxatiba até as espirais "Humphreys" o transporte é feito através de seis quilômetros no máximo de estrada, e destas até a usina são percorridos mais três quilômetros.

Os trabalhos de extração são desenvolvidos sempre nos períodos de baixa-mar que duram por seis horas, aproximadamente, e acontecem duas vezes por dia. Efetivamente, somente dez horas diárias são disponíveis para o trabalho.

Os custos relativamente baixos de operação aliados as altas percentagens de minerais pesados nas areias, imprimem ao jazimento

em lavra um caráter essencialmente comercial.

Tendo em vista a extrema mobilidade dos depósitos, a lavra é conduzida sempre, quer em trechos de praia dos setores avaliados, - quer em outras ocorrências além dos limites da área de pesquisa detalhada, em locais que se mostrem mais enriquecidos em minerais pesados.

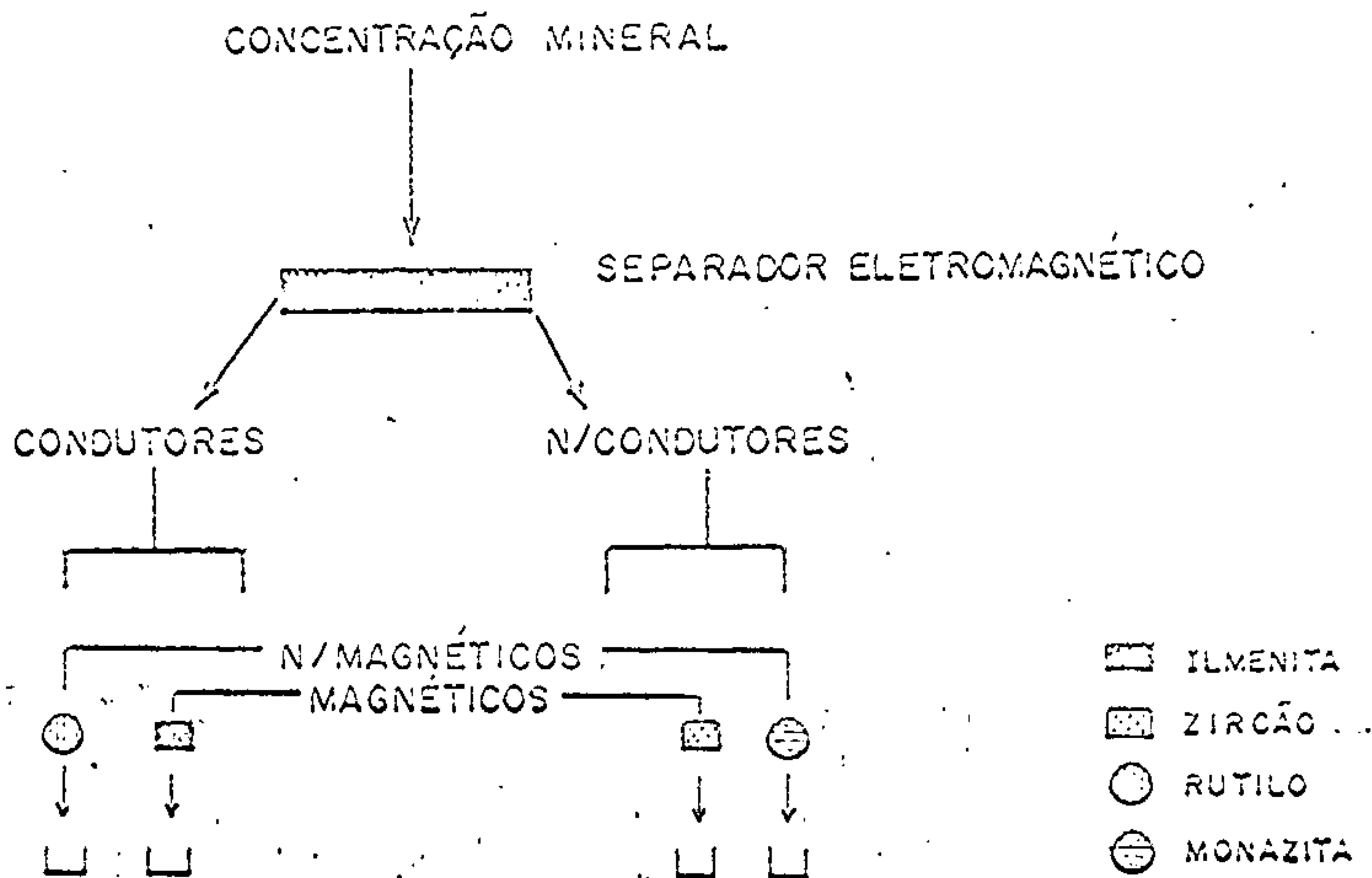
### Beneficiamento

As areias brutas extraídas dos depósitos minerais são submetidas a um processo de lavagem em espirais "Humphreys" que separa inicialmente a fração leve quartzosa da fração contendo minerais pesados. O concentrado então obtido é em seguida conduzido para a usina de Beneficiamento.

O emprego do processo eletromagnético na separação e concentração final dos minerais pesados está baseado nas propriedades de suscetibilidade elétrica e magnética dos mesmos.

A boa condutividade elétrica da ilmenita e rutilo aliada a suscetibilidade magnética do zircão e ilmenita permitem a obtenção individual, dos seguintes produtos finais: ilmenita, zircão, rutilo e monazita.

O esquema abaixo mostra sumariamente a obtenção dos citados mine-rais.



Os equipamentos da Usina (elevadores, fornos e separadores eletromagnéticos), embora tecnicamente não se coloquem numa linha de montagem moderna, são capazes de fornecer concentrados com taxas de pureza plenamente satisfatórias. Segundo informações colhidas junto a Usina o concentrado de ilmenita obtido apresenta um grau de pureza muito próximo de 99%.

A unidade de espirais "Humphreys", instalada nas proximidades do depósito de Cumuruxatiba, apresenta-se em condições de operar, em turnos de 12 horas/dia de trabalho, um total de 5.000 toneladas de minério bruto/mês.

A capacidade operacional da usina, em turnos de 24 horas/dia, e nas condições atuais de funcionamento, gira em torno de 1.200 toneladas/mês de areias lavada.

Adverte-se, entretanto, para o descompasso existente entre a capacidade produtiva da Usina, as reservas de minerais pesados existentes e as necessidades atuais e imediatamente futuras do nosso mercado consumidor de ilmenita.

Senão, vejam-se os fatos:

- a capacidade produtiva da usina, em 1970, não ultrapassou a 14.000 toneladas/ano de minerais pesados, entre os quais, a ilmenita é predominante, com cerca de 13.441 toneladas, equivalentes a 95% do total produzido;
- mantida esta capacidade atual, tornar-se-á necessário, aproximadamente, o longo prazo de 12 anos, para o esgotamento da reserva, relativamente pequena, de 179.700 toneladas de minério;
- o nosso mercado consumidor de ilmenita, em vias de absorver 55.000 toneladas de minério, deverá ultrapassar este total nos próximos anos, segundo uma taxa de incremento, supostamente - mantida, da ordem de 15% ano.

Com base nestas considerações é lícito opinar pela validade de empreender-se, através da C.N.E.N., estudos de viabilidade de ampliação da Usina de Cumuruxatiba.

#### Aproveitamento da Reserva e Vida do Jazimento

Dentre todos os bens minerais constituintes do jazimento de Cumuruxatiba, a ilmenita, representada por 172.000 toneladas de minério medido, impõem-se como aquele que se reveste de maior significado econômico.



Com efeito, o aproveitamento da reserva global de minerais pesados na região, somente assumirá um caráter comercial, apoiando-se na ilmenita como produto nobre, e na monazita e no zircão como sub-produtos.

A duração útil da jazida, evidentemente, dependerá menos propriamente da reserva medida de minério que dos métodos operacionais de lavra e beneficiamento a serem adotados.

Admitindo-se que a capacidade operacional dos equipamentos da usina não seja modificada, mantendo-se em torno de 14.000 toneladas/ano, as 180.000 toneladas de minério existentes deverão ser esgotadas no prazo de aproximadamente 12 anos.

## OUTRAS OCORRÊNCIAS DE MINERAIS PESADOS NA ÁREA DO PROJETO

Com o objetivo de avaliar as possibilidades econômicas das ocorrências mais promissoras de minerais pesados existentes na área do Projeto, foram verificados e amostrados, em caráter de reconhecimento, os seguintes trechos de praia: Ouriço, Paixão, Lagoa Pequena, Quati e Guaratiba.

Tais ocorrências estão distribuídas ao longo da faixa costeira compreendida entre Cumuruxatiba e Alcobaça. (\*)

Constituem-se em depósitos predominantemente monazitíferos que, na dependência dos períodos de maré, são eventualmente lavrados pela C.N.E.N.

As verificações empreendidas durante a campanha de campo coincidiram com o período de empobrecimento parcial destas areias mineralizadas, limitando sobremaneira o número de informações necessárias ao real dimensionamento das ocorrências visitadas.

Deve-se mencionar que no setor norte da área do Projeto, em trecho de praias compreendido entre Porto Seguro e Cumuruxatiba, a C.N.E.N. desenvolveu, em 1967, estudos de avaliação de reservas que indicaram para a ocorrência de Joacema os seguintes totais:

Ilmenita - 3.500 toneladas; Monazita - 650 toneladas e Zircônia - 1.600 toneladas.

### Ouriços

Localiza-se a aproximadamente 9 quilômetros ao sul de Cumuruxati

---

(\*) Vide Mapa de Localização das Ocorrências Verificadas na Área do Projeto - Fig. 8



ba numa enseada formada pela Ponta do Ouriço.

Neste trecho de praia, as concentrações de minerais pesados são reguladas pelos movimentos de fluxo e refluxo das marés.

Quando da verificação desta ocorrência, ficou constatado um adelgaçamento no pacote de areia de praia, aflorando em vários locais o substrato rochoso dos sedimentos Barreiras. Foram observadas apenas reminiscências das concentrações que, ocasionalmente, distribuem-se por uma faixa de 3 a 4 metros de largura, colocada na base da falésia por uma extensão de aproximadamente 600 metros.

Medidas radiométricas indicaram para este jazimento valores de 150 a 200 cps nas proximidades da linha de praia, enquanto nas concentrações locais de monazita tais valores oscilaram entre 2.000 e 2.500 cps.

Foram coletadas duas amostras de areia, sendo uma delas em local de maior concentração de minerais pesados.

Os resultados das análises mineralógicas revelaram, para os locais amostrados, os teores de 0,56% e 27,60% de minerais pesados.

#### Paixão

Situada nas proximidades da ocorrência do Ouriço, confina-se a uma pequena enseada limitada pela Ponta do Paixão.

Esta ocorrência juntamente com a do Ouriço, parecem estar relacionadas com a bordadura irregular da linha de falésia que ao formar enseadas entre pontais, cria condições para armazenamento de areias portadoras de minerais pesados.

Constitui-se em depósito de caráter temporário, estendendo-se

por uma faixa de praia com cerca de 4 a 5 metros de largura e 500 metros de comprimento.

Uma espessura de 50 centímetros foi estimada para o pacote arenoso em alguns locais, muito embora existam amplos trechos descobertos de areia pela ação das vagas.

A zona mineralizada apresenta uma radioatividade média de 350 cps.

Foi coletada uma amostra de areia para a qual determinou-se, por análise mineralógica, o teor de 11,59% de minerais pesados.

#### Lagoa Pequena

Situa-se em amplo trecho de praia a 1 quilômetro ao norte da cidade de Prado.

Segundo dados de produção, obtidos através da Usina de Cumuruxatiba, já foram extraídas desta ocorrência 40 toneladas de areia bruta contendo teores elevados em monazita.

A faixa de areia eventualmente mineralizada alarga-se por cerca de 15 metros, aproximadamente, chegando a atingir uma extensão de 1 quilômetro.

Em locais onde a maré deposita os minerais pesados, predominantemente a monazita, foi registrado o valor máximo de 1.200 cps. Observa-se, em direção ao mar, um decréscimo nas medidas cintilométricas até o valor de 60 cps.

Em caráter de reconhecimento, foi executado um furo a trado até a profundidade de 40 centímetros, e coletada uma amostra de a



reia, que revelou teor de 21,46% de minerais pesados.

#### Quati e Guaratiba

Localizam-se a 8 quilômetros aproximadamente ao norte da cidade de Alcobaça.

Constituem-se em amplos trechos de praia, com largura média de 10 metros e extensão de 1,8 quilômetros, contíguos a extensos cordões de praias antigas que avançam litoral adentro por cerca de 6,0 quilômetros, até encontrar os sedimentos do Grupo Barreiras.

As areias de praias contidas nestas duas ocorrências vizinhas, a apresentam-se superficialmente empobrecidas em minerais pesados, embora um furo de trado tenha revelado níveis enriquecidos em ilmenita a profundidade de 30 centímetros.

Os valores radiométricos registrados na ocorrência de Quati oscilaram entre 150 a 200 cps., enquanto para o setor de Guaratiba o valor médio detectado foi de 180 cps.

Uma amostra de areia coletada em Guaratiba revelou, por análise mineralógica, o teor de 22,58% de minerais pesados.

Em virtude das características acima descritas, somente estas duas últimas ocorrências podem ser julgadas como potencialmente promissoras e favoráveis a futuros trabalhos de investigação geológica detalhada.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Apresentam-se a seguir os principais aspectos básicos relacionados ao jazimento de Cumuruxatiba, no município de Prado, estado da Bahia.

Na região, as concentrações econômicas estão distribuídas por cordões arenosos de praias atuais, com cerca de 6,2 quilômetros de extensão, confinadas por conspícuas falésias do Grupo Barreiras de idade Terciária.

O corpo de areias de praias apresenta-se com a forma aproximada em cunha, constituído por empilhamentos de níveis centimétricos a milimétricos de coloração escura, essencialmente ilmeníticos, alternando com níveis empobrecidos de composição predominantemente quartzosa. A espessura máxima é da ordem de 2,0 metros.

Estudos mineralógicos efetuados em amostras destas areias revelaram teores elevados de minerais pesados - ilmenita (21,09%), monazita (0,79%) e zircão (0,64%). A eles associam-se predominantemente o quartzo e, em reduzida proporção, minerais de argila.

Análises químicas processadas em amostras de ilmenita vieram a testar a boa qualidade do minério para fins industriais (pigmentos). Foram determinados os seguintes teores médios:  $TiO_2$  - 52,80%,  $FeO$  - 2,37% e  $Fe_2O_3$  - 35,17%.

Muito embora os depósitos estejam representados por lentes alongadas de maior concentração de minerais pesados, individualizadas no corpo de areias de praia, constituem, sob o ponto de vista genético, um único e extenso jazimento, estreitamente relacionado à história geológica e geomorfológica da região.

As características litológicas (sequência variegada) dos sedimentos do Grupo Barreiras que ocorrem na área, bem como a posição - estratigráfica dos mesmos (discordantes sobre o Mioceno Marinho), permitem correlacioná-los como equivalentes à Formação Guarara - pes, colocada por Campos e Silva na porção média do pacote Barreiras. Em Cumuruxatiba, a espessura máxima dos sedimentos é da ordem de 54 metros.

Informações radiométricas obtidas através de estudos cintilométricos, revelaram valores máximos de até 1.7000 cps para o nível inferior dos sedimentos Barreiras aflorantes na região, e usualmente trabalhado pela ação das ondas.

Os resultados das análises mineralógicas de amostras coletadas nos distintos níveis estudados, (concentração média de 2,92%) , permitem apontar para os depósitos atuais de Cumuruxatiba uma gênese provavelmente relacionada a sedimentos médio e inferior - do Grupo Barreiras, originalmente mais enriquecidos em minerais pesados.

Mediu-se para o depósito de Cumuruxatiba os seguintes totais, em toneladas:

Ilmenita ...	171.485,10
Monazita ...	4.564,53
Zircão .....	3.667,75

Calculado nestas informações, atribui-se ao jazimento uma maior importância econômica com relação ao seu conteúdo em ilmenita. A monazita e zircão, em associação com a mesma, deverão ser aproveitados como sub-produtos.

Dentre todas as ocorrências de minerais pesados verificadas a



lém dos limites da área de pesquisa detalhada, somente aquelas de Quati e Guaratiba são julgadas como merecedoras de futuros trabalhos de investigação geológica pormenorizada.

Estimou-se em cerca de 12 anos a vida útil do jazimento, com base na capacidade atual da Usina, que gira em torno de 14.000 toneladas de minério/ano, bem como na reserva global existente, medida em 179.700 toneladas.

Face às necessidades imediatas do mercado brasileiro consumidor de ilmenita (55.000 toneladas/ano), ao aumento progressivo do mesmo (em torno de 15% do ano), e as condições de transporte marítimo vigentes em Cumuruxatiba, atenta-se para a validade de empreender-se estudos de viabilidade de ampliação da Usina de Cumuruxatiba.

As informações contidas neste documento, poderão servir de guia a futuros trabalhos de avaliação econômica de outras ocorrências promissoras que perlongam o litoral brasileiro.



ILUSTRAÇÕES FOTOGRÁFICAS





Foto 1 - Trecho da estrada Cumuruxatiba Prado penetrando na densa Mata Atlântica.

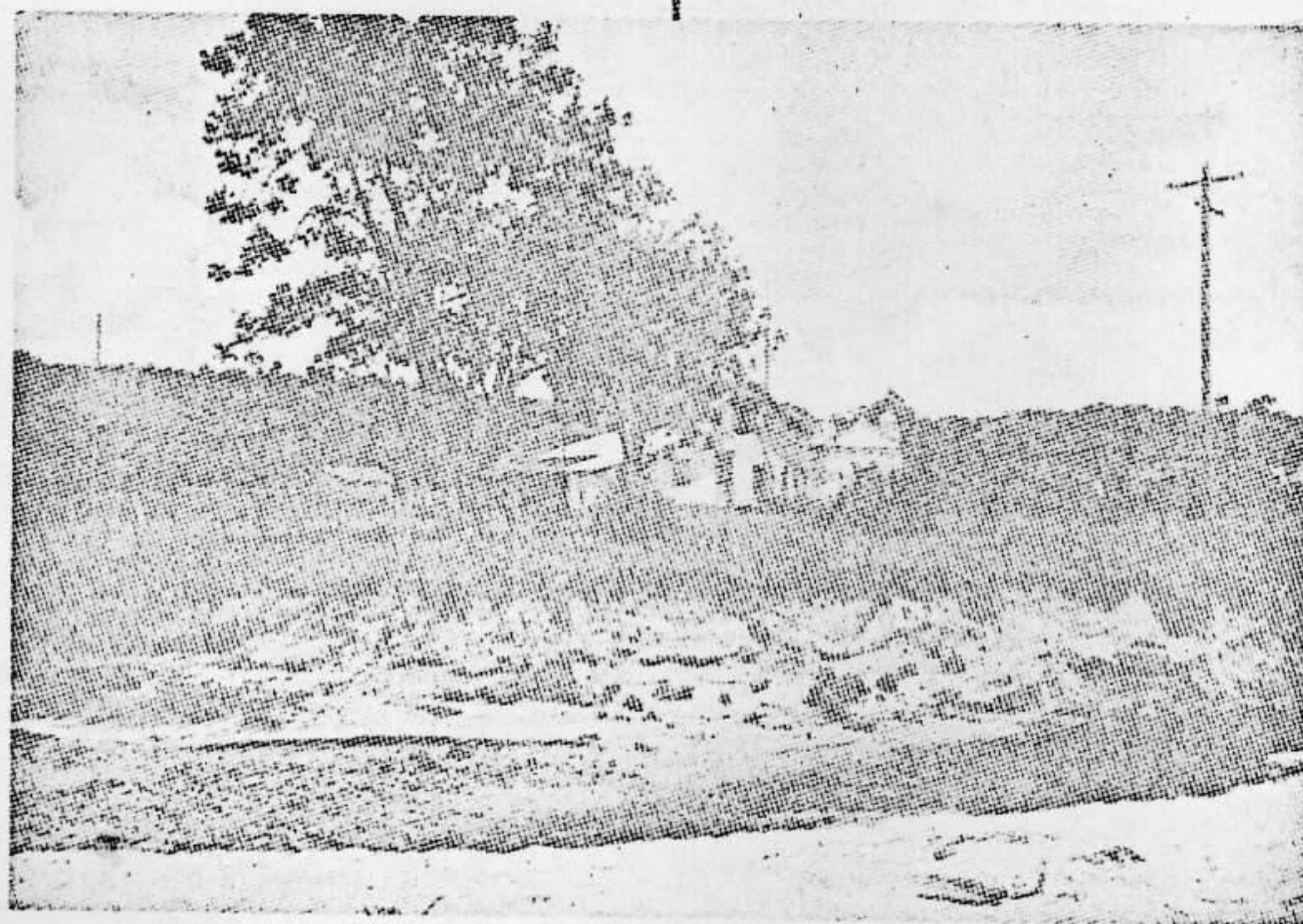


Foto 2 - Dependências do escritório da Comissão Nacional de Energia Nuclear - Vila de Cumuruxatiba.



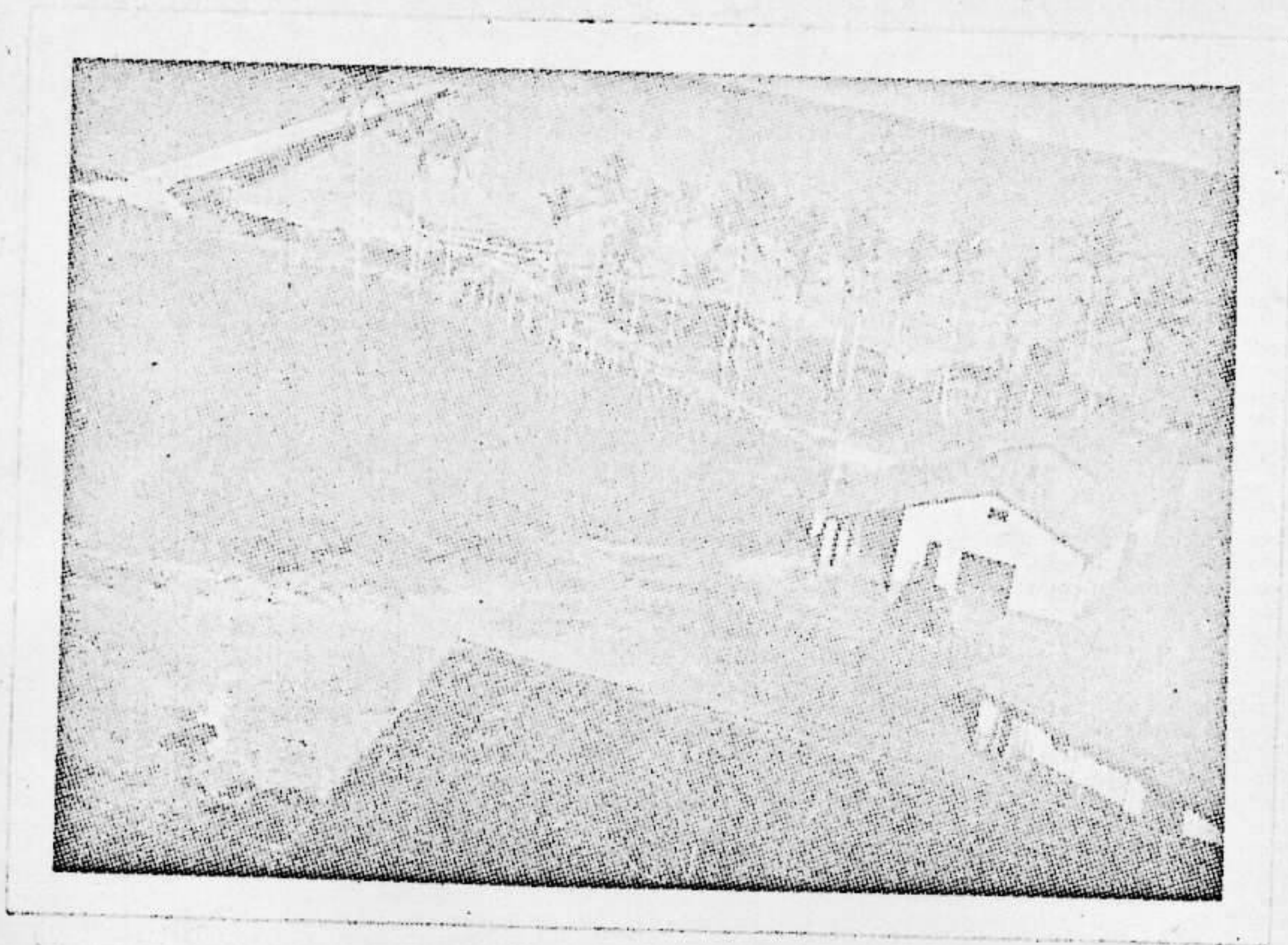


Foto 3 - Vista Parcial das Instalações da Usina de Beneficiamento e do Pátio de Estoque de ilmenita. Ao fundo, avista-se o terminal maríítimo de embarque.

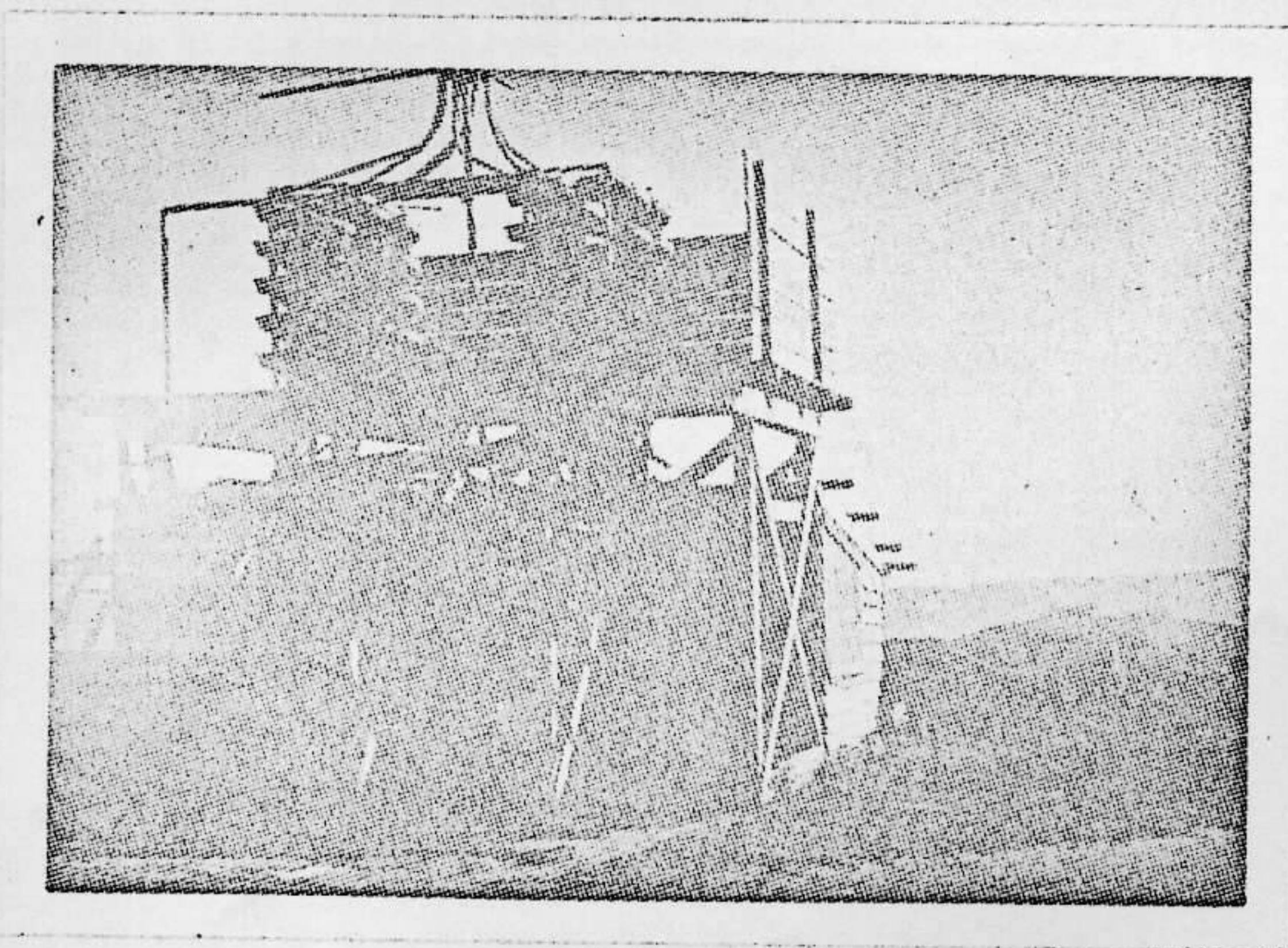


Foto 4 - Unidade de espirais "Humphreys" utilizada no processo de lava-gem das areias brutas.





Foto 5 - Vista parcial de perfil do ter  
minal marítimo de embarque -  
Vila de Cumuruxatiba.

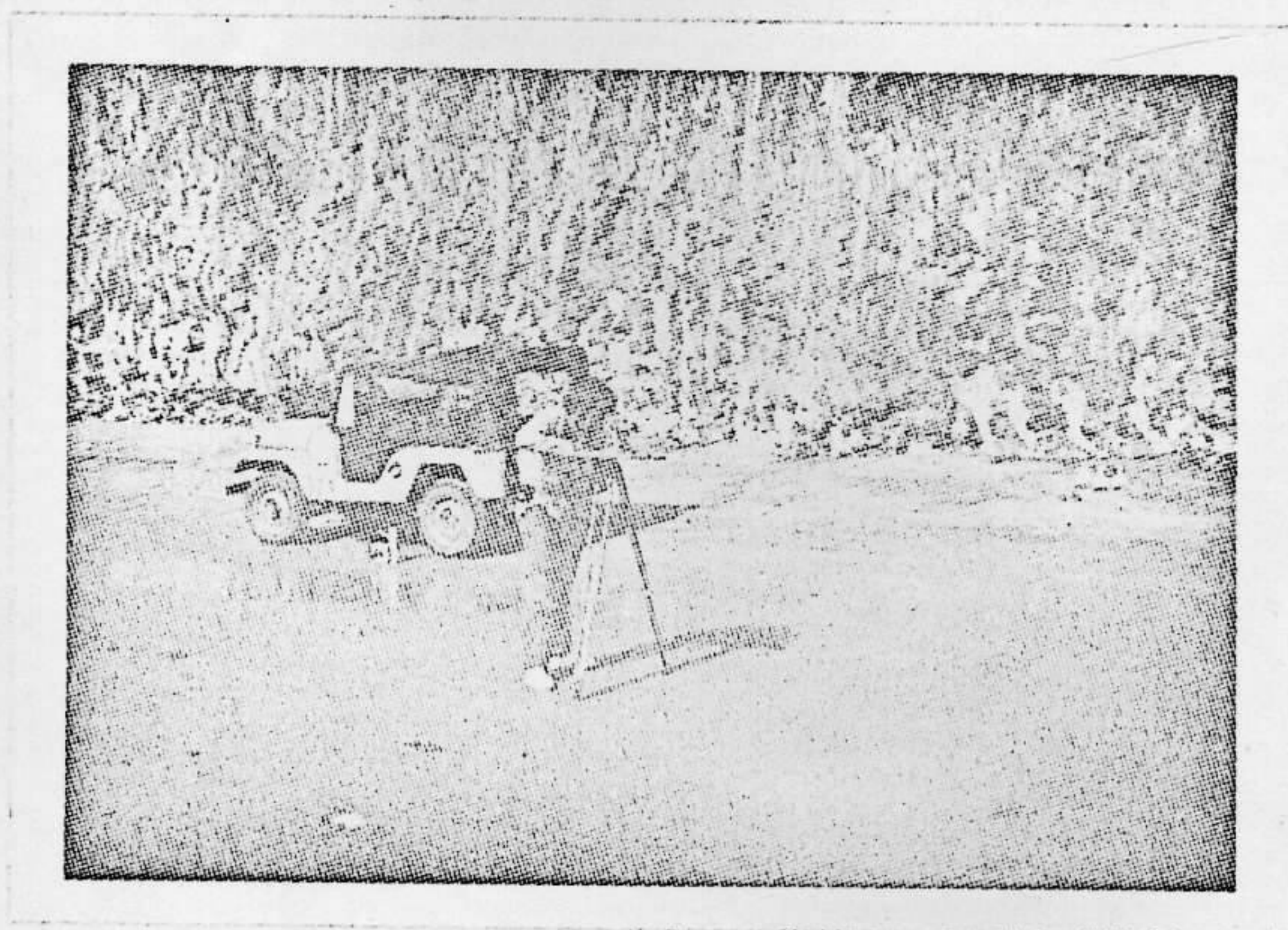
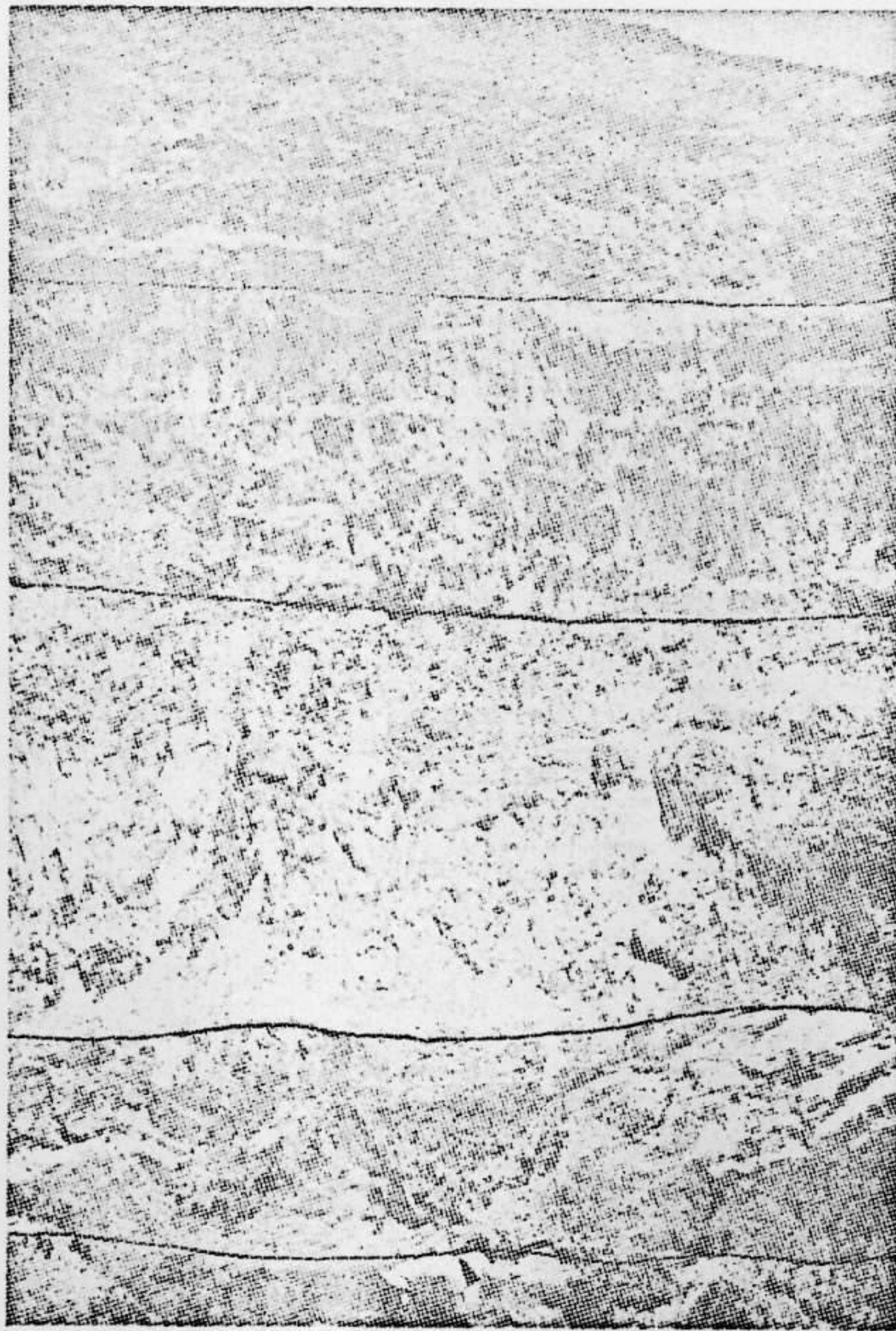


Foto 6 - Utilização da prancheta e aliu  
dade como instrumento de tra-  
balho no levantamento topográ  
fico das praias atuais.





• FEV. 72

Foto 7 - Perfil litológico completo da falésia do "Barreiras" próximo a Cumuruxatiba, mostrando quatro níveis nitidamente individualizados, encobertos por um manto de intemperismo.

Foto 8 - Trabalhos de amostragem dos níveis litológicos, nas falésias do Barreiras, em locais de escalada difícil.



• FEV. 72



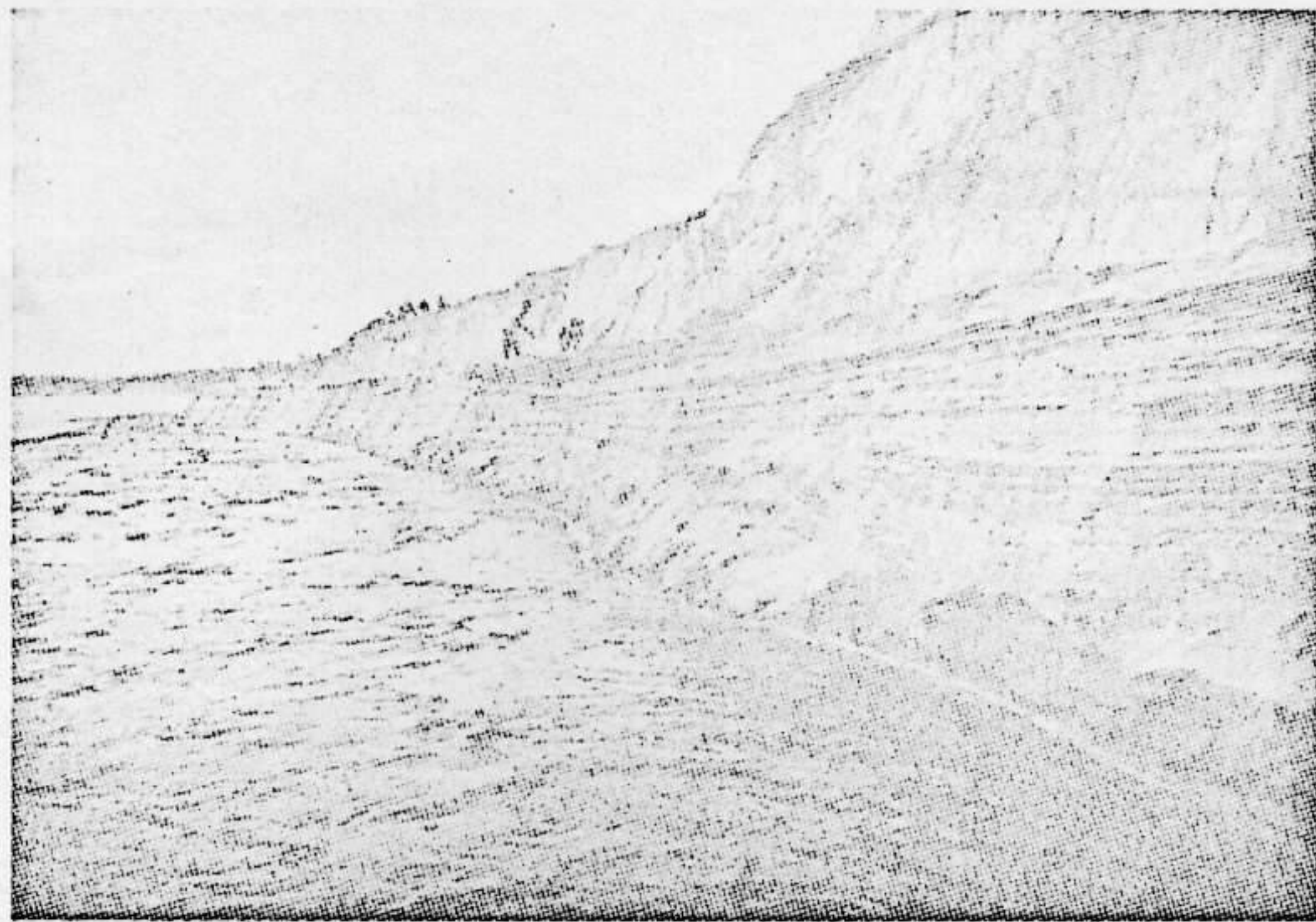


Foto 9 - Banco de areia na base da falésia isolado do conjunto da praia pela desembocadura do Rio Areia Preta.

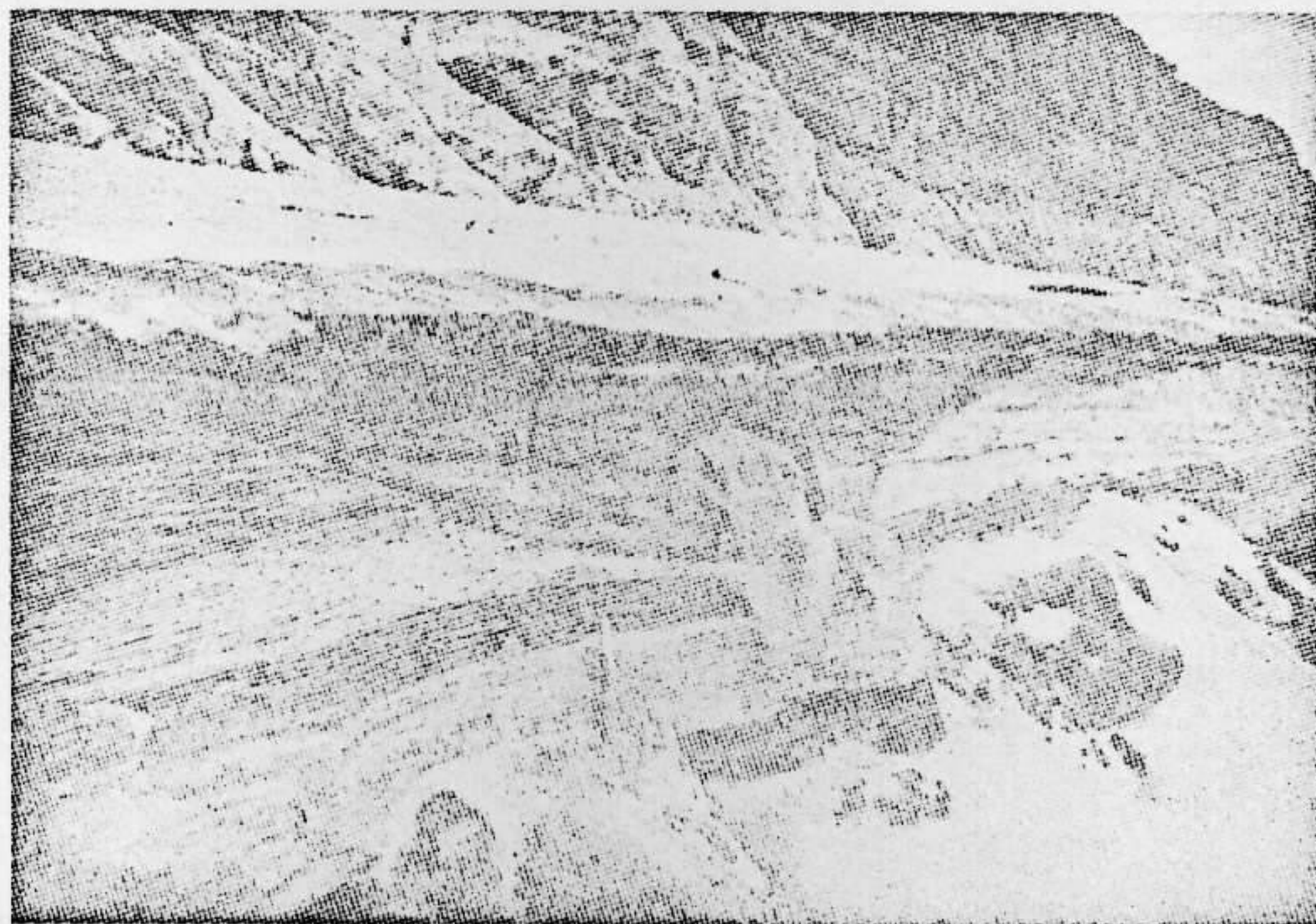


Foto 10 - Perfil do corpo de areias de praias atuais mostrando visível empilhamento de níveis negros enriquecidos em minerais pesados intercalados em bancos cremes de areia empobrecidos. A espessura total das areias, neste local atinge 1,20 metros.





Foto 11 - Trabalhos de prospecção pioneira a trado percor<sub>u</sub> sor nas areias de praias antigas. Vila de Cumuru<sub>u</sub> xatiba.

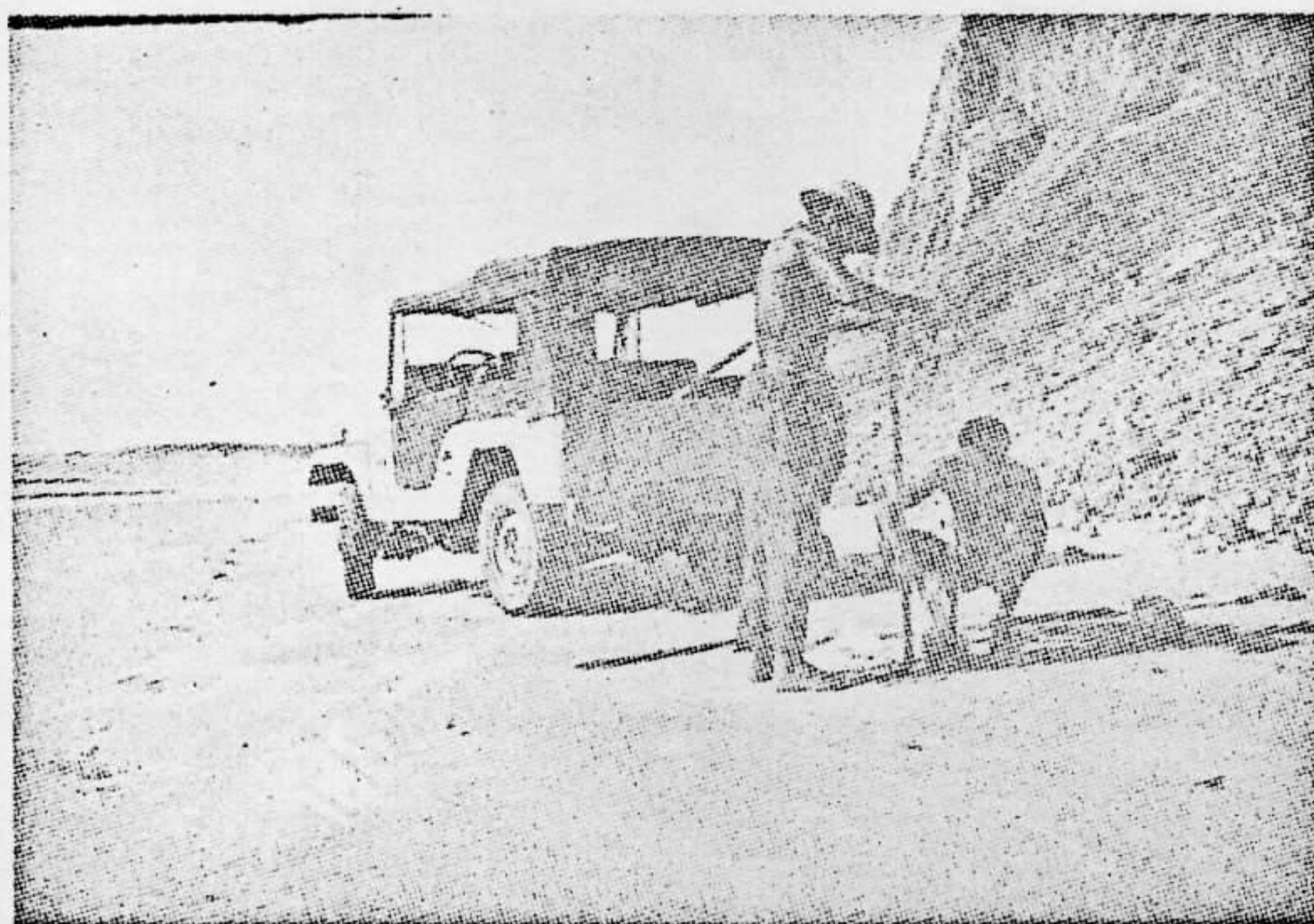
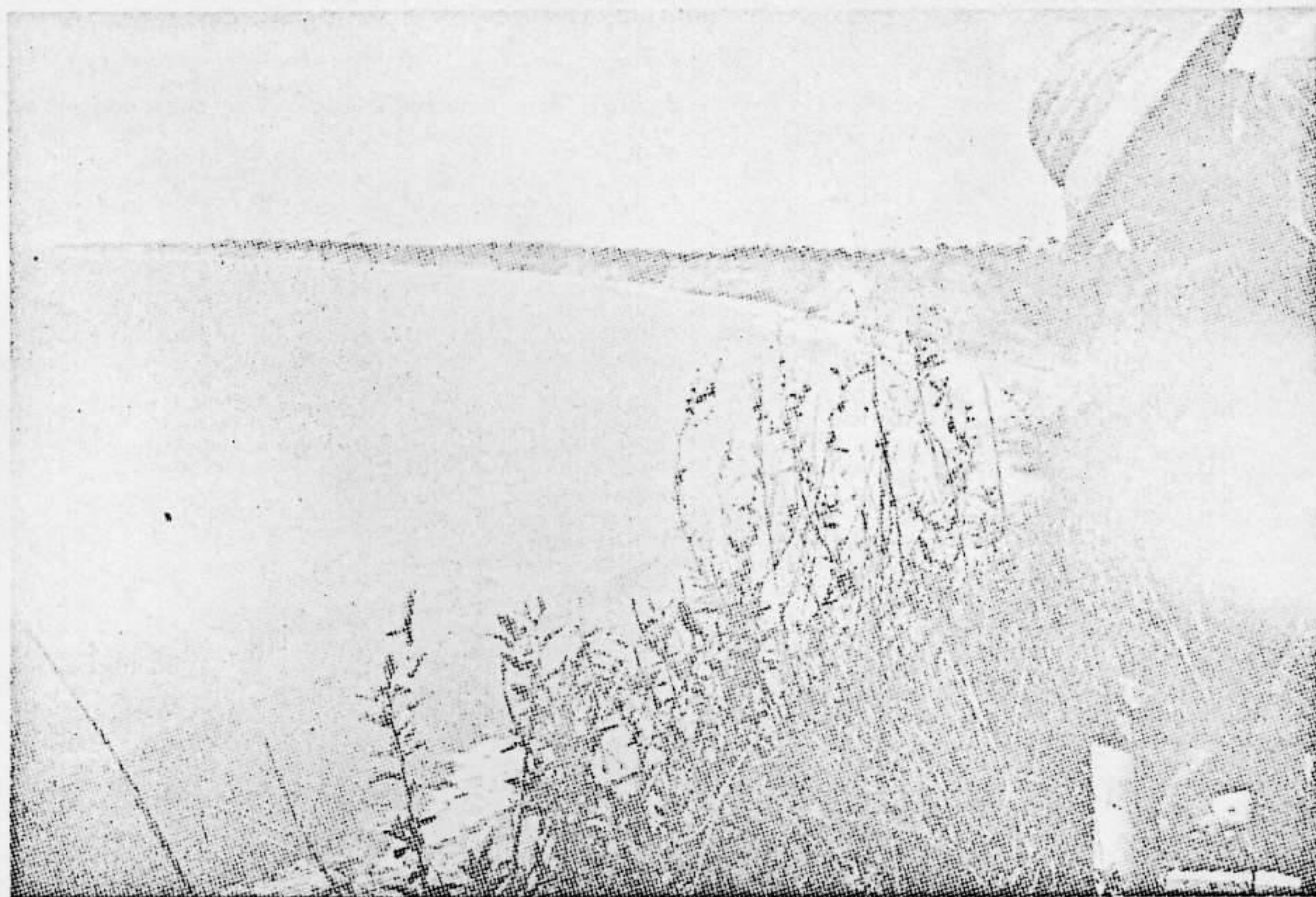


Foto 12 - Amostragem a trado rota- tivo nas areias de praias atuais dos depósitos mi- nerais.





CPRM



72

FEV

Foto 13 - Tomada de medidas cintilométricas na Formação Barreiras, em local próximo à escarpa da falésia. Ao fundo, vista panorâmica da bordadura da linha de falésias.



72

FEV

Foto 14 - Amostragem aluvionar de fração fi na peneirada no riacho Peixe Pequeno.





## BIBLIOGRAFIA

- ABREU, S.F. - Ilmenita. In Recursos Minerais do Brasil, Vol. 1, 2ª edição, IBGE - CNG, Publ. nº 20, p. 322-330, Rio de Janeiro, 1965.
- AB'SABER, A.N. - O relevo brasileiro e seus problemas, in Brasil, A Terra e o Homem, 2ª edição, Vol. 1, pp. 135-250, Companhia Editora Nacional, São Paulo 1968.
- ALMEIDA, F.F.M. de - Os fundamentos geológicos do Brasil, in - Brasil, A Terra e o Homem, 2ª edição, Vol. 1, pp. 55-133, Companhia Editora Nacional, São Paulo, 1968.
- ARGENTIÈRE, R. - Urânio e Tório no Brasil - São Paulo Edições - Lep Ltda., 1954.
- ASMUS, H.E., GOMES, J.B. PEREIRA, A.C.B. - Integração Geológica Regional da Bacia do Espírito Santo, Petrobrás, Dexpro. Setin/Sedex, Rel. Interno, sem nº, Rio de Janeiro 1971.
- AZEVEDO, H.C.A. de, SOUTO, P.G. - Recursos Minerais do Sul da Bahia. CEPLAC/CEPEC, Boletim Técnico nº 10, p. Itabuna, Bahia, 1971.
- BANCO NACIONAL DO DES. ECONÔMICO - Mercado Brasileiro de Dióxido de Titânio, Rio de Janeiro, 1964.
- BAROCH, C.T. - Thorium. Mineral Facts and Problems, 1965 ed., U. S. Department of the Interior, Bureau of Mines, Bull. 630, pp. 947-59, Washington, O.C., 1965.

- BEURLIN, K. - Introdução à Estratigrafia Geral e Comparada Recife, Edit. Expansão Gráfica, 1964, 440 p.
- BEURLIN, K. - A estrutura geológica do nordeste do Brasil. An. XXI Congr. Bras. Geol., p. 151-159, Soc. Bras. - Geol., Curitiba, 1967.
- BIGARELLA, J.J. & ANDRADE, G.O. de - Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras). Arg. Inst. Cienc. Terra, - Univ. Recife, 2:2-14, out. 1964.
- BRAUN, O.P.G. - Contribuição à Geomorfologia do Brasil Central Rev. Bras. Geografia, Ano 32, nº 3, Rio de Janeiro, 1977.
- BRITO NEVES, B.B. de - Contribuição ao Léxico Estratigráfico do Leste do Brasil - Sociedade Brasileira - de Geologia, IV Simpósio de Geologia do Nordeste, Recife 1968.
- CAMPOS E SILVA, A., MABESOONE, J.M., BEURLIN, K. - Estratigrafia do Grupo Barreiras nos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Revista da Associação dos Geólogos de Pernambuco, 1 (2): 1-13, set. 1971.
- CARVALHO, K.W.B. & GARRIDO, J.L.P. - Reconhecimento Geológico da Bacia Sedimentar Bahia Sul/Espírito Santo.- Relatório Petrobrás, Dexpro. nº 2.496, Bahia 1966.
- EILERTSEN, D.E. - Zirconium. Mineral Facts and Problems, 1965 ed., U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Mines, Bull. 630, pp.1105 - 11, Washington,

O.C., 1965.

- EMERY, K.O. AND NOAKES, L.C. - Economic Placer Deposits of the Continental Shelf - United Nation Econ. Comm. Asia Far East, Comm. Coord. Joint Prospect Miner. Resour. Asian Offshore Areas, Tech. - Bull., Vol. 1, p. 95-111, 1969.
- GILLSON, J.L. - Geologia dos Placeres Brasileiros de Ilmenita Rev. Eng. Min. e Metal., 33 (197): 231-34, Rio Maio 1961.
- GILLSON, J.L. - Sand Deposits of Titanium Minerals. Mining - Engineering, April 1959, pp. 421-429.
- GUIMARÃES, J.E.P. - Ilmenita. Rev. Geologia e Metalurgia, Centro Moraes Rego, Bol. nº 4, p. 107-23, São Paulo, 1946.
- KING, L.C. - A geomorfologia do Brasil Oriental. Rev. Bras. - Geogr., 18 (2): 147-265, C.N.G. abril-junho 1956.
- LEONARDOS, O.H. - Monazita no Estado da Bahia. Brasil, Serv. - Fom. Prod. Min., Av. 23, Rio de Janeiro 1937.
- MEDEIROS, R.A., SCHALLER, H., FRIEDMAN, G.M. - Facies Sedimentares. Petrobrás, CENPES, Seção Expl. Petróleo, Publ. 5, Rio de Janeiro, 1971.
- MELLO, A. & FONSECA, Z. - Contribuição ao Estudo Petrográfico Sedimentológico da Formação Barreiras de Pernambuco. Arquivos de Geologia, 3:55-71, Recife, 1962.
- STAMPER, J.W. - "Titanium" - Mineral Facts and Problems, 1965 edition, U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, Bull. 630, pp. 971-90 Washington, D.C., 1965.



RELAÇÃO DE GRÁFICOS, QUADROS E TABELAS

1. MAPA DE SITUAÇÃO DA ÁREA DO PROJETO  
( ESCALA - 1:5.000.000)
2. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO PROJETO  
( ESCALA - 1:1.000.000)
3. PERFIL ESTRATIGRÁFICO DO POÇO 2-CXST-1-BA ( PETROBRÁS)
4. PERFIL ESTRATIGRÁFICO NA ÁREA
5. PERFIL ESTRATIGRÁFICO - RADIOMETRIA
6. SEÇÃO ESQUEMÁTICA DO TRECHO DE PRAIAS ATUAIS  
(ESCALA APROX. - 1:200)
7. QUADRO I - ANÁLISES QUÍMICAS DE ILMENITA
8. QUADRO II - DEMONSTRATIVO DO CONSUMO APARENTE NACIONAL  
DE DIÓXIDO DE TITÂNIO ( 1953 - 1962)
9. QUADRO III - JAZIDAS BRASILEIRAS DE ILMENITA, SOB CONTRO  
LE DO D.N.P.M.
10. QUADRO IV - EXPORTAÇÃO BRASILEIRA DE AREIAS MONAZÍTICAS  
( 1886 - 1922)
11. PROCEDIMENTO NA AVALIAÇÃO DA RESERVA TOTAL
12. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS VERIFICADAS
13. TAB. I - CÁLCULO DE VOLUME (VOL. III)
14. TAB. II - CÁLCULO DE RESERVA DE ILMENITA (VOL. III)



CPRM

15. TAB. III - CÁLCULO DE RESERVA DE MONAZITA (VOL. III)

16. TAB. IV - CÁLCULO DE RESERVA DE ZIRCÃO (VOL. III)

RELAÇÃO DE ANEXOS

- ANEXO I - MAPA FOTOGEOLÓGICO DA FAIXA COSTEIRA ENTRE PORTO SEGURO - CARAVELAS  
TRECHOS: I, II, III, IV, V, VI e VII  
(ESCALA - 1:25.000)
- ANEXO II - PLANTA DE DETALHE DA ÁREA DE PESQUISA  
(ESCALA - 1:10.000)
- ANEXO III - MAPA CINTILOMÉTRICO DO GRUPO BARREIRAS  
(ESCALA - 1:10.000)
- ANEXO IV - MAPA DE AMOSTRAGEM  
SETOR DAS PRAIAS ANTIGAS ( I e II)  
(ESCALA - 1: 2.000)
- ANEXO V - MAPA CINTILOMÉTRICO  
SETOR DAS PRAIAS ANTIGAS ( I e II)  
(ESCALA - 1: 2.000)
- ANEXO VI - MAPA DE ISOTEOR (CONCENTRAÇÃO DE MINERAIS PESADOS)  
SETOR DAS PRAIAS ANTIGAS ( I e II)  
(ESCALA - 1: 2.000)
- ANEXO VII - MAPA DE AMOSTRAGEM  
SETOR DA BICA; DOIS IRMÃOS (I, II); AREIA PRETA (I, II); JAPARA MIRIM (I, II, III, IV); E JAPARA GRANDE (I, II)  
(ESCALA - 1: 1.000)

ANEXO VIII - MAPA CINTILOMÉTRICO.

SETOR DA BICA; DOIS IRMÃOS (I, II); AREIA PRETA (I, II); JAPARA MIRIM (I, II, III, IV); E JAPARA GRANDE (I, II)

(ESCALA - 1: 1.000)

ANEXO IX - MAPA DE ISOTEOR (CONCENTRAÇÃO DE ILMENITA)

SETOR DA BICA; DOIS IRMÃOS (I, II); AREIA PRETA (I, II); JAPARA MIRIM (I, II, III, IV); E JAPARA GRANDE (I, II)

(ESCALA - 1:1.000)

ANEXO X - MAPA DE ISOTEOR (CONCENTRAÇÃO DE MONAZITA)

SETOR DA BICA; DOIS IRMÃOS (I, II); AREIA PRETA (I, II); JAPARA MIRIM (I, II, III, IV); E JAPARA GRANDE (I, II)

(ESCALA - 1: 1.000)

ANEXO XI - MAPA INDICATIVO DOS CÁLCULOS DE RESERVA

SETOR DA BICA; DOIS IRMÃOS (I, II); AREIA PRETA (I, II); JAPARA MIRIM (I, II, III, IV); E JAPARA GRANDE (I, II)

(ESCALA - 1: 1.000)