UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

GEOQUÍMICA DOS LATERITOS AURÍFEROS DO MORRO DA MINA - CASSIPORÉ (AMAPÁ)

Tese Apresentada por

JOSÉ AUGUSTO VIEIRA COSTA

como requisito parcial à obtenção do grau em

MESTRE EM CIÊNCIAS

Na área de

GEOQUÍMICA E PETROLOGIA

Conferido pelo Curso de Pós-Graduação em

Geociências da

Universidade Federal do Pará

Aprovado: 23.01.92

Comitê de Tese

MARCONDES LIMA DA COSTA(ORIENTADOR)

SONIA MARIA BARROS DE OLIVEIRA

BHASKARA RAO ADUSUMIELI

A Gertrudes, Maria Bela e Kênia Vieira

AGRADECIMENTOS

Registro meus sinceros agradecimentos as seguintes instituições e pessoas:

Ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPp), pela concessão de bolsa de estudo e ao PADCT/FINEP pelos auxílios financeiros.

Ao Centro de Geociências - UFPa., por toda a infra-estrutura disponível.

A Mineração Taboca S.A., na pessoa do Geol. Régia Horta por todo o apoio oferecido nas etapas de campo, bem como pela liberação de lâminas delgadas, relatórios de consultoria, resultados de análises etc., sem os quais a elaboração deste trabalho seria comprometida.

Ao Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa pela orientação deste trabalho e toda a sua prestimosa contribuição científica ao longo da minha formação como profissional de Geologia.

A banca examinadora constituída pelos Drs. Sônia Maria Barros de Oliveira e Bhaskara Rao Adusumulli, pela disponibilidade de seu precioso tempo e sugestões apresentadas.

Ao Prof. Joel B. Macambira pela ajuda com as secções polidas.

Ao Prof. Dr. João Batista S. Costa pela revisão do texto e sugestões referentes a mineralização primária.

Ao Geol. Carlos H. Bastos pelo auxílio quanto a utilização de programas estatísticos.

Ao Geol. Bruno Riffel da CBMM, e a própria CBMM pela presteza e discussão das análises com microscopia eletrônica.

Ao Prof. Dr. Herbert Pöllmann do Mineralogisches Institut,

Universidade de Erlangen - Nuremberg (Alemanha) pelas análises de varredura com microscópio eletrônico.

Ao Geol. Carlos Alberto Faria pela liberação de tempo nas etapas finais deste trabalho e pela revisão do abstract.

Ao Geol. Valmir S. da Silva e família pelo apoio e amizade solidificada ao longo dos anos.

Ao amigo e Geol. Lucival R. Fonseca pelo incentivo na vida profissional e na elaboração deste trabalho.

Aos Professores e Técnicos do Centro de Geociências que contribuiram de alguma forma na realização desta tese.

Ao Químico Oswaldo Sá da DOCEGOo e a própria DOCEGEO pela execução de análises químicas em seus laboratórios.

A Gilmar Santos pelas ilustrações e a Bibliotecária Rosana G. Pereira do Centro de Geociências pela atenção que nos dispensou por ocasião da realização desta tese.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....i
AGRADECIMENTOS.....ii
SUMÁRIO.....iv
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....viii
RESUMO.....1
ABSTRACT.....3
1. INTRODUÇÃO.....5
1.1 Apresentação.....5
1.2 Localização e Acesso.....5
1.3 Fisiografia.....7
1.4 Aspectos Sócio-Econômicos.....8
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....10
2.1 Generalidades.....10
2.2 Trabalhos de Campo.....10
2.2.1 Mapeamento.....10
2.2.2 Amostragem de Solo.....10
2.2.3 Amostragem do Perfil.....10
2.2.4 Coleta de Rocha Primária.....11
2.2.5 Petrografia.....11
2.2.6 Medida de pH e Eh.....11
2.3 Ensaios de Laboratório.....11
2.3.1 Preparação de Rocha e Solos para Análises.....12
2.3.2 Separação Granulométrica.....12
2.3.3 Minerais Pesados.....12
2.4 Análises Mineralógicas.....12

2.5 Análises Químicas.....13
2.5.1 Análises de Elementos Maiores, Menores, Traços e ETR.13
2.5.2 Análise para Ouro.....13
2.6 Método Estatístico.....13
2.7 Cálculo Estequiométrico.....14
3 GEOLOGIA DO MORRO DA MINA E ARREDORES.....15
3.1 Generalidade Regional.....15
3.2 Geologia da Área.....16
3.2.1 Substrato.....16
3.2.1.1 Aspectos Gerais.....16
3.2.1.2 Supergrupo Vila Nova.....17
3.2.1.3 Diques Básicos.....20
3.2.2 Estrutural.....22
3.2.3 Metamorfismo.....22
3.2.4 Mineralização Aurífera Primária.....24
3.2.5 Geologia de Superfície.....27
3.2.5.1 O Perfil Laterítico.....27
3.2.5.2 Aspectos Petrográficos dos Lateritos.....32
4. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....38
5. MINERALOGIA.....40
5.1 Introdução.....40
5.2 Distribuição dos Minerais.....40
5.3 Mineralogia dos Horizontes.....43
5.3.1 Horizonte Argiloso.....43
5.3.2 Horizonte Aluminoso.....46
5.3.3 Horizonte Ferruginoso 48
5.3.4 Horizonte de Solo.....50

5.4 Mineralogia das Frações Granulométricas.....50
6. GEOQUÍMICA.....53
6.1 Introdução.....53
6.2 Geoquímica dos Elementos Maiores, Menores e Traços.....53
6.2.1 Silício.....53
6.2.2 Ferro.....55
6.2.3 Alumínio.....55
6.2.4 Titânio.....55
6.2.5 Cálcio, Magnésio, Sódio, Potássio e Bário.....58
6.2.6 Fósforo.....58
6.2.7 Manganês.....58
6.2.8 Chumbo.....59
6.2.9 Cromo e Níquel.....59
6.2.10 Molibdênio.....59
6.2.11 Gálio.....62
6.2.12 Vanádio.....62
6.2.13 Zircônio e Nióbio.....63
6.3 Razão dos Teores Horizonte/Rocha-mãe.....63
6.4 Matriz de Correlação.....64
6.5 Geoquímica dos Elementos Terras Raras.....64
7. COMPORTAMENTO DO OURO NO PERFIL LATERÍTICO DO MORRO DA MINA.72
7.1 Introdução.....72
7.2 Distribuição dos Teores de Ouro no Perfil Laterítico.....72
7.2.1 Solo.....72
7.2.2 Horizonte Ferruginoso.....72
7.2.3 Horizonte Aluminoso.....74
7.2.4 Horizonte Argiloso.....74

7.3 Distribuição nas Frações Granulométricas.....78

7.4 Granulometria e Morfologia.....82

7.5 Geoquímica das Partículas.....86

7.6 Evidências de Mobilização no Perfil Laterítico.....90

7.7 Mecanismos de Transporte e Reprecipitação.....90

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....94

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....98

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

01. Mapa de localização do Alvo Morro da Mina (Cassiporé - AP).

02. A) Distribuição esquemática do Supergrupo Vila Nova. Região do Amapá e Norte do Pará. Modificado de Bezerra e Montalvão (1985). B) Mapa geológico do Morro da Mina e arredores. Modificado de Mineração Taboca S.A.

03. Cristais de opacos alojados nas zonas de contato das palhetas de biotita.

04. Esboço para o transporte tectônico de massas do conjunto A. Elaborado conforme dados de Costa (1988).

5. Concentração de cristais de pirita ao longo das bandas de cisalhamento que seccionam o gnaisse tonalítico (Secção polida).

06. Região Centro - Norte do Estado do Amapá. Distribuição dos platôs lateríticos. Modificado de Lima et al. (1974).

07. Bloco diagrama para a região do Cassiporé mostrando a estruturação laterítica.

08. Horizonte ferruginoso: concreção exibindo aspecto cavernoso.

09. Foliação milonítica preservada por pseudomorfos segundo biotita envolvendo grânulos de quartzo e lentes de gibbsita microcristalina pseudomórfica segundo plagioclásio. Horizonte aluminoso.

10. Grânulos de quartzo reliquiar com fraturas preenchidas por gibbsita microcristalina.

11. A) Agregados de cristais de granada na matriz gibbsítica microcristalina. B) Detalhe da figura anterior. Cristal de granada preservada por um invólucro de goethita

microcristalina. Horizonte aluminoso.

12. Mineralogia qualitativa do perfil de alteração da área Morro da Mina, Cassiporé-AP. AC = Acessório
13. Evolução da distribuição mineralógica ao longo do perfil laterítico.
14. Principais minerais identificados nos perfis por difração de raios-X.
15. Concentrado de Batéia. Horizonte argiloso saprolítico. Cristais de zircão e monazita.
16. Horizonte aluminoso. Nódulo de gibbsita porcelanada. Amostra PNS-02 (Perfil Norte - Sul, 6m de prof.).
17. Distribuição dos elementos maiores que caracterizamo perfil laterítico.
18. Curva de distribuição para Ga, Ti, Zr e Fe no perfil laterítico.
19. Curva de distribuição para P, Cr, Pb e Fe no perfil laterítico.
20. Curva de distribuição para V, Mo, Mn ao longo do perfil laterítico.
21. Distribuição dos teores dos ETR normalizados aos condritos. Rocha-mãe e horizontes do perfil laterítico.
22. Distribuição dos teores de ouro no solo (geoquímica de amostra total) sobre a área mineralizada do Morro da Mina. Aba sul do platô laterítico. Resultados em ppm.
23. Padrão da curva de distribuição do ouro ao longo dos diferentes horizontes do perfil laterítico.
24. Diversos perfis mostrando o padrão da curva de distribuição do ouro nos horizontes do perfil laterítico.

25. Distribuição dos teores de ouro desde o substrato até o horizonte de solo. Parte dos resultados foram cedidos pela Mineração Taboca S.A.

26. Concentração de ouro em solos para as diferentes frações e amostra total. A fração <63 μm tende a refletir as mesmas concentrações obtidas para rocha in natura (amostra total).

27. Histograma de distribuição de ouro nas frações granulométricas e amostra total de solos.

28. Distribuição de ouro nas diferentes frações granulométricas e amostra total (A.T.).

29. Delgada plaqueta de ouro pertencente ao horizonte de solo.

30. Pepita pertencente ao horizonte ferruginoso. Forma granular alongada exibindo uma cavidade interna, sugestiva de contra-molde de mineral pretérito.

31. A) Fotomicrografia sob microscópio eletrônico. Partícula de ouro de formato "arredondado" pertencente ao horizonte aluminoso. B) Detalhe da textura microesponjosa da partícula pertencente ao horizonte aluminoso.

32. A) Fotomicrografia sob microscópio eletrônico. Partícula de ouro com aspecto facetado (remanescente de feição cristalina). Base do horizonte argiloso saprolítico. B) Detalhe da superfície da partícula mostrando agregados de subgrãos de ouro.

TABELAS

01. Percentual de material retido nas frações granulométricas de acordo com cada horizonte.

02. Distribuição dos minerais pesados em cada horizonte.

03. Distribuição mineralógica nas frações granulométricas.

04. Composição química para os diferentes horizontes do perfil laterítico. % em peso.

05. Concentração dos elementos traços nos diferentes horizontes do perfil laterítico. Resultados em ppm.

06. Razão da concentração média dos componentes para cada horizonte em relação à rocha-mãe.

07. Elementos traços que se correlacionam nos diferentes horizontes do perfil laterítico.

08. Concentração dos ETR para os horizontes do perfil laterítico e substrato.

09. Razão dos teores médios dos ETR para os diferentes horizontes do perfil de alteração em relação à rocha-mãe.

10. Concentração de ouro em solo para frações granulométricas e amostra total. Resultados em ppm.

11. Concentração de ouro nas frações granulométricas para os diferentes horizontes do perfil. Resultados em ppm.

12. Composição química das partículas de ouro para os horizontes do perfil laterítico. Percentual em peso.

Pureza= Aux1000/Au+Ag

RESUMO

Este trabalho compreende o estudo geoquímico do perfil laterítico aurífero do Morro da Mina, Cassiporé, Estado do Amapá, com ênfase ao comportamento mineralógico e geoquímico do ouro da rocha-mãe e por todo o perfil de alteração.

A ocorrência das mineralizações auríferas primárias estão condicionadas às zonas de cisalhamento regional que seccionam um gnaisse tonalítico, onde a milonitização proporcionou a formação de trapas estruturais contendo mineralizações de sulfetos e ouro associadas.

Os processos de lateritização desde o Terciário Inferior, produziram um perfil laterítico com 50m de espessura constituido pelos horizontes argiloso, aluminoso, ferruginoso e de solo. A mineralogia é representada por caulinita, Al-goethita, goethita, hematita, gibbsita e quartzo, que variam em termos percentuais em cada horizonte.

A geoquímica demonstrou que os componentes que foram lixiviados foram SiO_2, FeO, MnO, P_2O_5, S e Cl, e os mais intensamente lixiviados foram CaO, MgO, Na_2O, BaO e K_2O. Entretanto Al_2O_3, Fe_2O_3 e TiO_2 se acumularam para os horizontes superiores do perfil de alteração. O Mo apresentou teores relativamente altos (300 ppm) sugerindo uma provável correlação primária e laterítica deste metal com o ouro. Além do Mo, os elementos Ga, V e Pb mostraram uma tendência de concentração nos horizontes de solo e horizonte ferruginoso concrecionário.

Ensaios granulométricos mostram predominio da fração grosseira ()500 μm) nos horizontes ferruginoso e aluminoso e da

fração fina (<63 μm) nos horizontes de solo e argiloso. O Au ocorre em pequenas pepitas granulares de tamanhos milimétricos na fração grosseira, e na fração < 63μm em delgadas palhetas em tamanhos micrométricos. De um modo geral nesta fração, os teores de ouro tendem a refletir as mesmas concentrações para amostra total (rocha in natura), enquanto que com um aumento na granulometria ocorre uma ampla variação de teores, onde localmente ocorrem teores muito anômalos sugerindo o efeito de pepita.

O padrão da curva de distribuição dos teores de Au mostra um comportamento distinto ao longo do perfil laterítico. Apresenta uma convexidade para a crosta ferro-aluminosa, com um máximo no horizonte ferruginoso concrecionário de granulação fina, com tendência a refletir as concentrações encontradas no "bed - rock". A curva exibe uma concavidade característica em direção ao horizonte argiloso, indicativa de depleção de teores de ouro neste horizonte. Teores anômalos que eventualmente ocorrem nesta porção são indicativas de ouro enclausurado nas estruturas silicosas inerentes às zonas de cisalhamento que estão parcialmente preservadas da porção intermediária para a base do horizonte argiloso.

A morfologia e a geoquímica das partículas de ouro são indicativas de que o ouro primário foi dissolvido, mobilizado e reprecipitado nos horizontes superiores do perfil formando concentrações de pepitas associadas aos nódulos ferro-aluminosos neoformados pelos processos lateríticos.

ABSTRACT

The mineralogy and geochemistry of the lateritic gold deposit of Morro da Mina, at Cassiporé river (Amapá State, Brazil) is the principal aim of this master thesis.

Primary gold mineralization of Morro da Mina is related to regional shear zones that cross tonalitic gneisses where milonitization process favored the formation of structural traps with sulfide and gold bearing mineralization.

Regional lateritization processes took place since Early Tertiary giving rise to a 50 m thick laterite profile with the following horizons from base to top: clayey, aluminous, ferruginous and soil. The mineralogy is mainly represented by kaolinite, Al-goethite, goethite, hematite, gibbsite and quartz, ranging in percentual terms from one horizon to another.

Geochemical studies, showed that CaO, MgO, Na_2O, BaO and K_2O were intensively leached from the profile besides SiO_2, FeO, MnO, P_2O_5, S and Cl in a less extent. On the other hand, Al_2O_3, Fe_2O_3, and TiO_2 are enriched toward the upper horizons of the profile. Molybdenium shows relatively high contents (up to 320 ppm) suggesting a probable correlation of this element with gold either in the primary as in lateritic environment. Ga, V and Pb are concentrated in the soil and in the ferruginous concentionary horizon.

Granulometric assays revealed that the coarse fraction (> 500 μm) dominate in the ferruginous and aluminous horizons, while the fine fraction (< 63 μm) concentrate in the soil and clayey

horizons. Gold occur as milimetric nuggets in the coarse fraction and flake shape in the fine fraction. In a general sense, gold contents in this fraction tend to reflect the same concentration of the whole sample. Toward the coarse fractions one observes a wide range of gold contents with isolated anomalous values probably due to nugget effects.

The pattern of the gold distribution curve exhibits diferent behaviour throught the laterite profile. It presents a convexity in the iron-aluminous crust with a maximum in the fine grain ferruginous concretionary horizon, with a tendency to reflect gold bedrock contents. The curve exhibits a characteristic concavity in the clay horizon reflecting clear gold depletion. Rare anomalous values observed in this horizon are due to enclosured gold bearing siliceous structures related to shear zones partly preserved in the lower part of the clayey horizon.

The morphological and chemical studies of gold grains indicate that primary gold was dissolved, mobilized and reprecipitated in the upper parts of the profile giving rise to supergene mineralization related to lateritic nodules and concretions composed by iron-aluminous oxi-hydroxides.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Este trabalho foi desenvolvido tendo como finalidades principais contribuir para o entendimento do comportamento do ouro na evolução de um perfil laterítico sob influência de clima tropical chuvoso e densa cobertura vegetal, bem como sugerir horizonte (s) para a avaliação de anomalia geoquímica de ouro, como também guia de prospecção para o reconhecimento de áreas potencialmente auríferas sob este tipo de ambiência, particularmente no que tange a região norte do Estado do Amapá.

Os objetivos foram alcançados através da caracterização do padrão da curva de distribuição do ouro ao longo do perfil laterítico, análise e obtenção da distribuição do ouro em diferentes frações granulométricas, bem como verificação da mobilidade geoquímica de elementos maiores, menores e traços e suas possiveis correlações com o ouro.

1.2 Localização e Acesso

A área em estudo localiza-se na porção central do Estado do Amapá, nos domínios do município de Calçoene (Fig. 01). O acesso a região por via terrestre pode ser feito durante o período de estiagem, partindo-se de Macapá pela estrada não pavimentada (BR-156) até a Vila de Lourenço, a partir deste ponto segue-se por uma vicinal numa extensão de 44 Km, até o acampamento do Morro da Mina às margens do rio Cassiporé. A extensão do trajeto Macapá - Cassiporé é em torno de 540 Km . Utilizando-se de via aérea o acesso pode ser feito através de frete de avião bimotor em Macapá, com tempo de vôo de 1:10h. O acesso pelo rio é

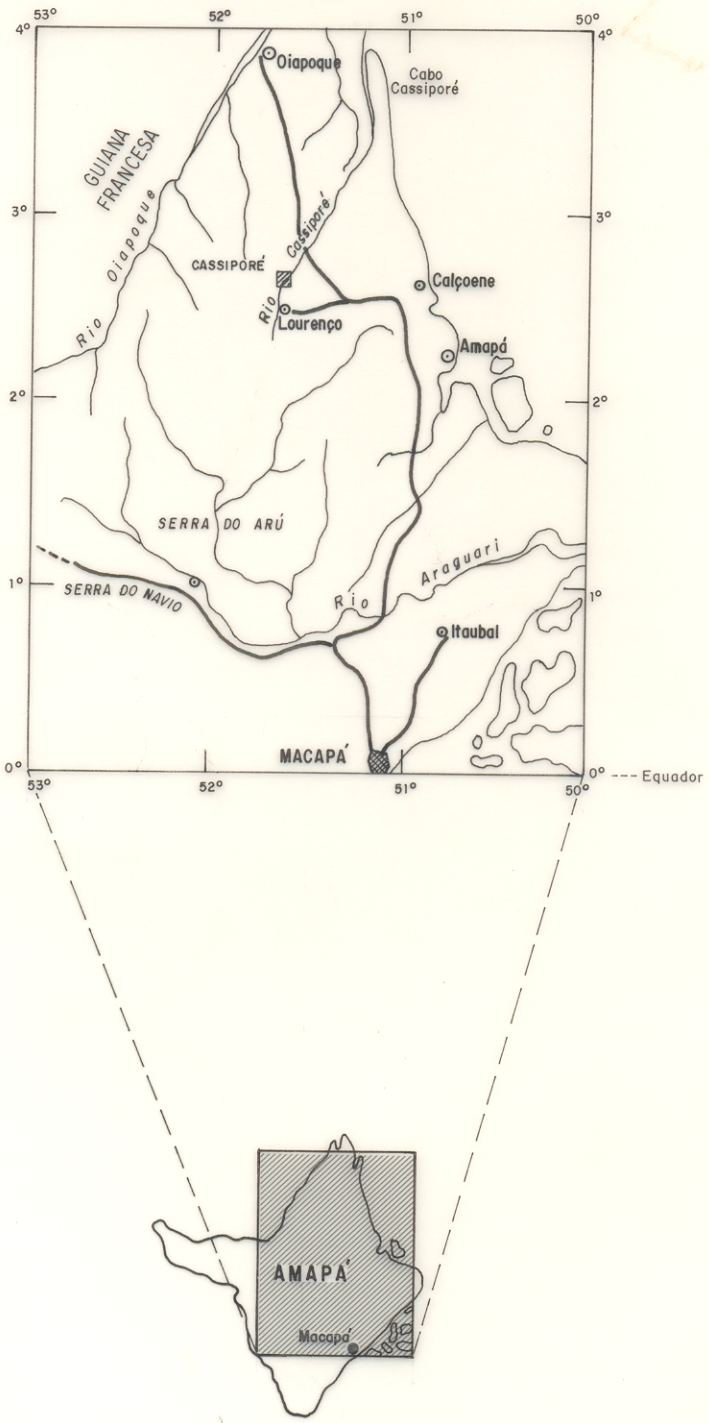


Fig.01 - Mapa de localização do alvo Morro da Mina (Cassiporé-AP)

dificultado pelas corredeiras, assoreamentos e grandes quantidades de restos vegetais carreado pelo leito ativo do rio Cassiporé, principalmente próximo as áreas de garimpo.

1.3 Fisiografia

A área pode ser considerada como constituíndo parte dos domínios da serra da Lombarda pertencente ao conjunto dos Planaltos Residuais do Amapá (Lima et al., 1974), caracterizada por uma dissecação intensa que originou um conjunto de cristas, picos e topos aplainados, entre os quais estão os platôs lateríticos que constituem os testemunhos do Pediplano Pliocênico.

O relevo é acidentado, com encostas íngremes e topos relativamente planos, sustentados por uma crosta laterítica ferro-aluminosa desenvolvida sobre rochas gnáissicas. Esta crosta apresenta-se parcialmente desmantelada formando linhas de pedras nas encostas das elevações, e estão encobertas por um latossolo amarelo de textura argilosa (com mais de 60% de argila) de acordo com a classificação de Vieira & Santos (1987).

A região é drenada pelo rio Cassiporé, disposto preferencialmente no sentido SW - NE, e desemboca no Oceano Atlântico. Por se encontrar na zona equatorial o clima da área é do tipo Tropical Chuvoso com pequeno periodo seco (Ami), segundo a classificação de Köppen (Vieira & Santos, 1987). A pluviosidade alcança 3.500 mm anuais, e a temperatura média anual é de 26.5°C.

O manto de alteração atinge cerca de 50 metros de espessura, onde exposições de rochas frescas são verificadas somente no

leito das drenagens. A cobertura vegetal é caracterizada por árvores de médio à grande porte resultando em uma floresta densa típica da Hiléia Amazônica.

1.4 Aspectos Sócio - Econômicos

A descoberta de ouro na região de Calçoene - Cassiporé, remonta ao fim do século passado (Lima et al., 1974), através de exploração ao longo dos rios Calçoene, Cassiporé e Cunani. A partir da descoberta destas mineralizações a região foi ocupada pelos crioulos guianenses, os quais passaram a explorar o alto Cassiporé. Atualmente são encontrados inúmeros vestígios de antigos vilarejos, escavações em veios auríferos e a própria toponímia da região que atestam a ocupação por populações de cultura francesa do antigo Contestado Franco-Brasileiro (Salomão, 1987).

Por volta de 1930 a descoberta de novos pláceres aluvionares no rio Cassiporé, com altos teores resultou em nova corrida dos crioulos, com participação de um crescente número de brasileiros. Nesta época inicia-se também a lavra do "ouro de montanha" (depósitos em solos e/ou saprólitos). O esgotamento rápido dos depósitos com altos teores, reservas restritas aliadas às dificuldades naturais de exploração aurífera resultou em nova etapa de declínio, com abandono das lavras. A garimpagem sobreviveu em alguns locais de forma pouco expressiva, até nova corrida no final da década de setenta, impulsionada pela cotação elevada do ouro (Lestra & Nardi, 1982).

O programa de pesquisa implantado pela Mineração Taboca S.A., ao final de 1982 resultou em melhores condições de vida para

aquela região, com abertura de novas estradas, recuperação da antiga ligação rodoviária com a vila de Lourenço, construção de pistas de pouso, etc. Em julho de 1983 a área foi invadida por garimpeiros comprometendo o projeto de exploração de expressivas reservas aluvionares, já então pesquisadas e em desenvolvimento para lavra (Salomão 1987).

A ocupação desordenada pelos garimpeiros resultou em problemas de ordens sociais (crimes frequentes nas "currutelas") e ambientais (assoreamento de drenagens, desmatamentos, etc.) com consequente focos de malária.

Atualmente a Mineração Taboca S.A., desativou seu acampamento, ficando a região sob domínio dos garimpeiros que estão extraíndo ouro principalmente do perfil de alteração. É considerável a participação de maquinário típico de exploração mecanizada de apoio ao garimpo, com auxílio de veículos leves e pesados como retro-escavadeira, trator de esteira, bomba de sucção e equipamento hidro-jet. O ouro é lavrado por desmonte do platô laterítico e bombeado para as caixas de madeira ou concentrador centrífugo e recuperado diariamente por amalgamação. As aluviões também estão sendo retrabalhadas por desmonte hidráulico. A produção mensal oscila em torno de 7 à 10 Kg. O número atual de garimpeiros gira em torno de 180 homens constituíndo o grupo do Vicente e do "Louro".

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Generalidades

A execução do presente trabalho consistiu de cinco (5) fases principais: (1) Levantamento bibliográfico; (2) Trabalhos de campo; (3) Trabalhos laboratoriais, (4) Discussão e interpretação dos dados obtidos e (5) Elaboração da Monografia.

2.2 Trabalhos de Campo

2.2.1 Mapeamento

Foi realizado mapeamento em escala de detalhe, compreendendo a descrição de solo, individualização dos horizontes do perfil laterítico com ênfase aos aspectos estruturais/texturais, medidas de atitudes de foliação milonítica preservada na base do horizonte argiloso, além de outras observações inerentes ao mapeamento geológico de uma área.

2.2.2 Amostragem de Solo

Compreendeu a abertura de uma malha na área considerada como mais indicativa de mineralização do platô do Morro da Mina, com área de 21.250 m^2, e coleta sistemática de solo em intervalo de 25 X 50 metros totalizando 31 amostras, com massa de 02 Kg para cada amostra, a uma profundidade em torno de 40 cm da superfície, dentro do horizonte de solo.

2.2.3 Amostragem do Perfil

Primeiramente foi feita a descrição do material ao longo dos pesfis, frizando a natureza dos diferentes horizontes. Em seguida desencadeou-se a coleta de amostras ao longo dos horizontes através da abertura de canaletas, tanto nos poços

como nas trincheiras, cortes de estrada e frentes de desmonte feitas pelos garimpeiros (barrancos). As dimensões das canaletas eram de 20 cm de largura por 10 cm de profundidade ao longo de cada horizonte. O material coletado (em torno de 2Kg) foi homogeneizado e dele retirado 500g de material destinado a separação granulométrica em um total de 15 amostras. De cada horizonte também foi retirado uma alíquota de 10 litros de material para obtenção de um concentrado de batéia, totalizando 15 amostras de minerais pesados.

2.2.4 Coleta de Rocha Primária

As amostras de rocha fresca foram obtidas dos testemunhos de sondagem cedidos gentilmente pela Mineração Taboca S.A. no total de 30 amostras.

2.2.5 Petrografia

O material laterítico (concreções ferruginosas, nódulos gibbsíticos, rocha alterada), como também amostras de testemunhos de sondagem (rocha fresca) foram encaminhadas ao laboratório petrográfico para confecção de 30 lâminas delgadas e 45 secções polidas confeccionadas no laboratório da UFPA, e 10 secções polidas no laboratório da Docegeo-Belém.

2.2.6 Medida de pH e Eh

Foram feitas 11 medidas de pH e Eh em amostras representativas do perfil de alteração até a rocha-mãe. O procedimento consistiu na homogeneização de 5 gramas de amostra pulverizada em 20 ml de água destilada e leitura com o potenciômetro marca WTW.

2.3 Ensaios de Laboratório

2.3.1 Preparação de Rocha e Solos para Análises

Para análise de rocha "in natura" foi retirado 1Kg de material, o qual foi triturado, pulverizado e peneirado em malha de 170 mesh. Após quarteamento retirou-se uma alíquota de 50 gramas a qual foi enviada para o laboratório de análise química.

2.3.2 Separação Granulométrica

Consistiu de lavagem, secagem, peneiramento, quarteamento, trituração e pulverização das amostras coletadas.46 amostras foram separas nas frações >500 μm, 500-250 μm, 250-125 μm, 125-63 μm e <63 μm, conforme procedimento de Lecomte & Colin (1989), obtendo-se 230 novas amostras. A fração <63 μm foi obtida por desagregação em ultra-som e peneiramento à úmido. As demais frações foram separadas à seco por peneiramento em equipamento vibratório. As frações após estudos sob estereomicroscópio foram pulverizadas em malha de 170 mesh.

2.3.3 Minerais Pesados

Os concentrados de batéia, após a contagem de pintas, foram utilizados para a confecção de 15 lâminas de minerais pesados.

2.4 Análises Mineralógicas

As análises mineralógicas foram executadas principalmente por difratometria de raios-X e complementadas por descrição de secções polidas, lâmina delgada e lâmina de minerais pesados, todos estes procedimentos foram realizados no CG-UFPA. Foram obtidos difratogramas de amostras representativas de cada horizonte do perfil laterítico e rocha-mãe. Também Foram realizados estudos por microscopia eletrônica de varredura,

sistema EDS, em 03 secções polidas bem como de 06 partículas de ouro no laboratório do Mineralogisches Institut, Universidade de Erlangen-Nuremberg (Alemanha), como também na Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) em São Paulo-SP.

2.5 Análises Químicas

2.5.1 Análises de Elementos Maiores, Menores, Traços e Terras Raras

Foram realizadas análises químicas totais de elementos maiores, menores, bem como para elementos traços (Au, Cu, Ba Ga, Mo, Ni, Cr Nb, Pb, Sc, V, Y, Zr), e elementos terras raras em 13 amostras representativas de lateritos e rocha-mãe. Estas análises foram realizadas no laboratório da Geosol pelos métodos de fluorescência de raio-X, absorção atômica, espectrografia ótica de emissão e ICP. No laboratório da Docegeo também foram analisados Fe, Mn, Cu, Ni, Mo e Cr para 13 amostras de lateritos e rocha fresca por absorção atômica. Rb, Sr, Y, Zr, e Nb foram analisados por fluorescência de raio-X (pastilha prensada) no CG-UFPa.

2.5.2 Análise para Ouro

Foram analisadas para ouro 270 amostras de solos lateríticos e rocha "in natura" por absorção atômica com limite de detecção de 0.05 ppm no laboratório da Geosol-MG. No laboratório da Docegeo-Belém o ouro também foi analisado por absorção atômica com limite de detecção de 0.1 ppm para 10 amostras de rocha fresca.

2.6 Método Estatístico

Os resultados analíticos foram tratados estatisticamente,

através do programa Statigraphs, com obtenção dos diferentes parâmetros estatísticos para a distribuição do ouro e dos demais elementos químicos nas diversas amostras e frações granulométricas.

2.7 Cálculo Estequiométrico

Na tentativa de se obter o percentual dos minerais ao longo do perfil laterítico, adotou-se a metodologia do cálculo estequiométrico com base nas análises químicas totais e nos resultados de difração de raios-X.

3 GEOLOGIA DO MORRO DA MINA E ARREDORES

3.1 Generalidade Regional

O arcabouço geológico é constituído por duas grandes unidades, designadas de Complexo Guianense (Lima et al., 1974) e Supergrupo Vila Nova (Bezerra & Montalvão, 1985). O Complexo Guianense representa o embasamento arqueano com idades em torno de 2.650 Ma e 2.900 Ma (Montalvão & Tassinari, 1984). Este Complexo é constituído por gnaisses e migmatitos, além de granulitos, tonalitos e piroxenitos. O Supergrupo Vila Nova é considerado como uma sequência tipo "greenstone belt" de idade arqueana, atestada pela isocrônica Rb/Sr de referência em torno de 2.900 Ma (Bezerra & Montalvão, 1985). Esta unidade é constituída principalmente por gnaisses com intercalações de anfibolitos, xistos, meta-cherts e formação ferrífera. Extensos diques de básicas toleíticas encaixados nas rochas dos conjuntos litológicos descritos anteriormente, estão alinhados preferencialmente na direção NNW - SSE, integrando cristas regionais quilométricas (Veiga et al., 1985). Esta manifestação tectonomagmática datada de 250 - 180 Ma, é definida como Lineamento Cassiporé (Lima et al., 1974).

A estruturação regional compreende faixas de rochas supracrustais e granulíticas em meio à gnaisses diversos que se orientam preferencialmente na direção NW - SE, com mergulhos para NE . Extensas zonas de cisalhamento estão instaladas dominantemente nas regiões de contato entre as principais unidades litológicas, e deslocadas por zonas de cisalhamento discretas, estreitas e orientadas nas direções NE - SW, NNE -SSW e N - S (João B. Sena Costa 1990, comunicação oral).

3.2 Geologia da Área

3.2.1 Substrato

3.2.1.1 Aspectos Gerais

Na região do Alvo Morro da Mina, e adjacências, existem diversos trabalhos a nível de consultoria desenvolvidos para a Mineração Taboca S.A., como os de Ladeira (1985), Salomão (1987), Costa (1988), Gama Jr (1989) e Ferran (1990). Além de trabalho específico da própria empresa elaborado por Veiga et al. (1985).

Subjacentes aos perfis lateríticos, visíveis nos vales dos rios, ocorrem rochas supracrustais metamorfisadas em alto grau, parcialmente migmatizadas, de idade proterozóica inferior à arqueana sendo designada informalmente por Veiga et al. (1985) de Sequência Cassiporé. Esta sequência a que se referem os autores corresponde, em parte, ao Gnaisse Tumucumaque de Lima et al. (1974). Ladeira (1985) sugere a denominação de Supergrupo Cassiporé para o conjunto litológico da região e interpreta-o como um grande remanescente de um cinturão de rochas verdes, com bordas migmatizadas de idade arqueana. De acordo com Costa (1988), o Morro da Mina é parte integrante da zona de cisalhamento Lombarda, cuja evolução envolve o retrabalhamento de rochas da base da crosta e de unidades supracrustais.

Devido suas características evolutivas, composição mineralógica, estruturação regional, grau de metamorfismo, mineralização de ouro associada etc., atribui-se neste trabalho que a Sequência Cassiporé de Veiga et al. (1985), faça parte de um cinturão de cisalhamento que engloba os remanescentes (segmentos rompidos) de uma sequência tipo "greenstone belt"

constituindo uma fração do Supergrupo Vila Nova adotado por Bezerra & Montalvão (1985), (Fig.2A). Além disto ocorrem diques de diabásio equivalentes ao Diabásio Cassiporé de Lima et al. (1974).

3.2.1.2 Supergrupo Vila Nova

Esta unidade representa a geologia da área Morro da Mina. É formada por um conjunto litológico constituído por rochas gnáissicas tonalíticas (biotita - hornblenda gnaisse intercalada por delgadas faixas de diopsídio gnaisse, granada - biotita gnaisse, diopsídio - anfibólio gnaisse e anfibolitos). Em parte, estas rochas estão migmatizadas e deformadas por um processo de cisalhamento dúctil-rúptil que resultou em uma foliação milonítica NW - SE e outra NE - SW (Fig.2B).

Biotita - Hornblenda Gnaisse

O litotipo predominante é representado por um biotita - hornblenda gnaisse, que constitue a principal encaixante dos veios mineralizados. Apresenta granulação fina à média, coloração cinza-esverdeada, finamente bandada. Microscopicamente possue diferentes texturas que são decorrentes da intensidade da deformação variando desde termos pouco deformados à intensamente milonitizados. O protomilonito é constituído essencialmente por hornblenda e plagioclásio (An_{32}), e biotita como mineral varietal. Os minerais acessórios estão representados por quartzo, apatita, zircão e opacos. Epidoto, sericita, clorita e zeólitas ocorrem como produtos de transformação. Nas porções caracterizadas por alta taxa de concentração da deformação, esta rocha sofreu transformações texturais e mineralógicas significativas. Os minerais ficaram fortemente orientados

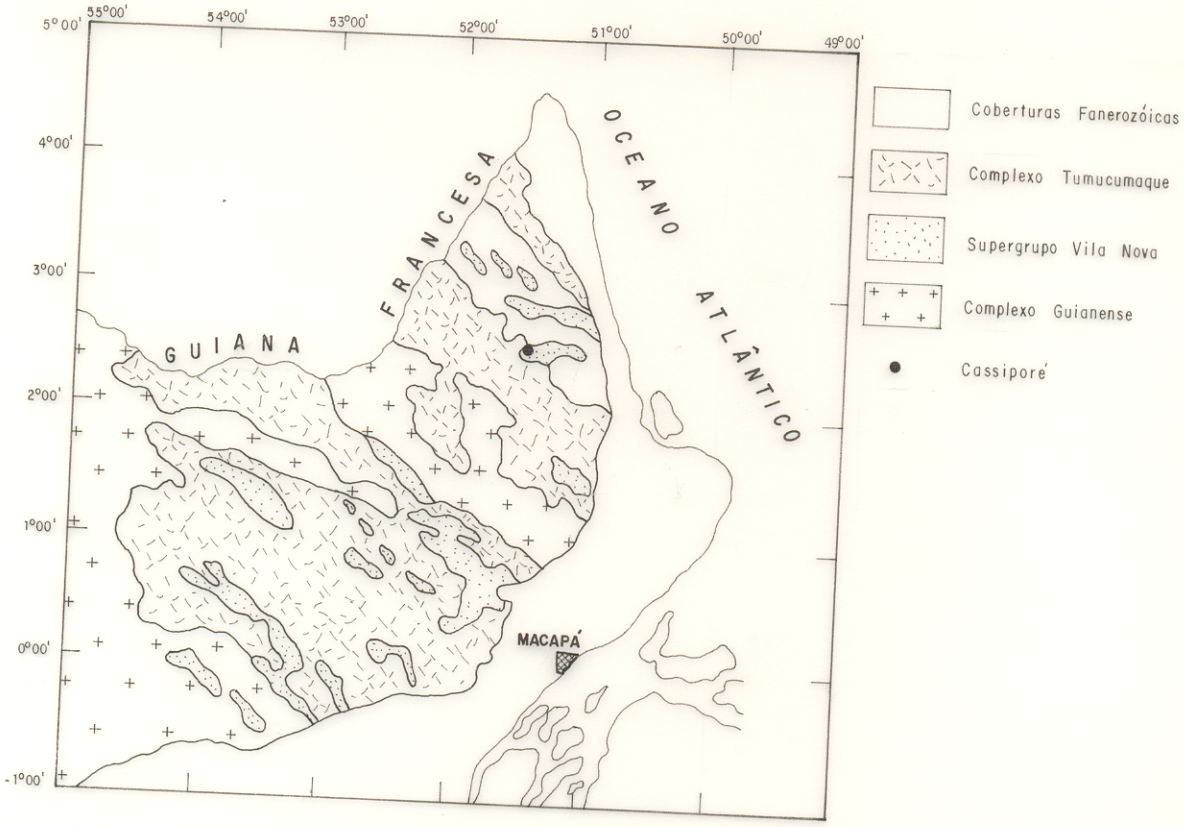
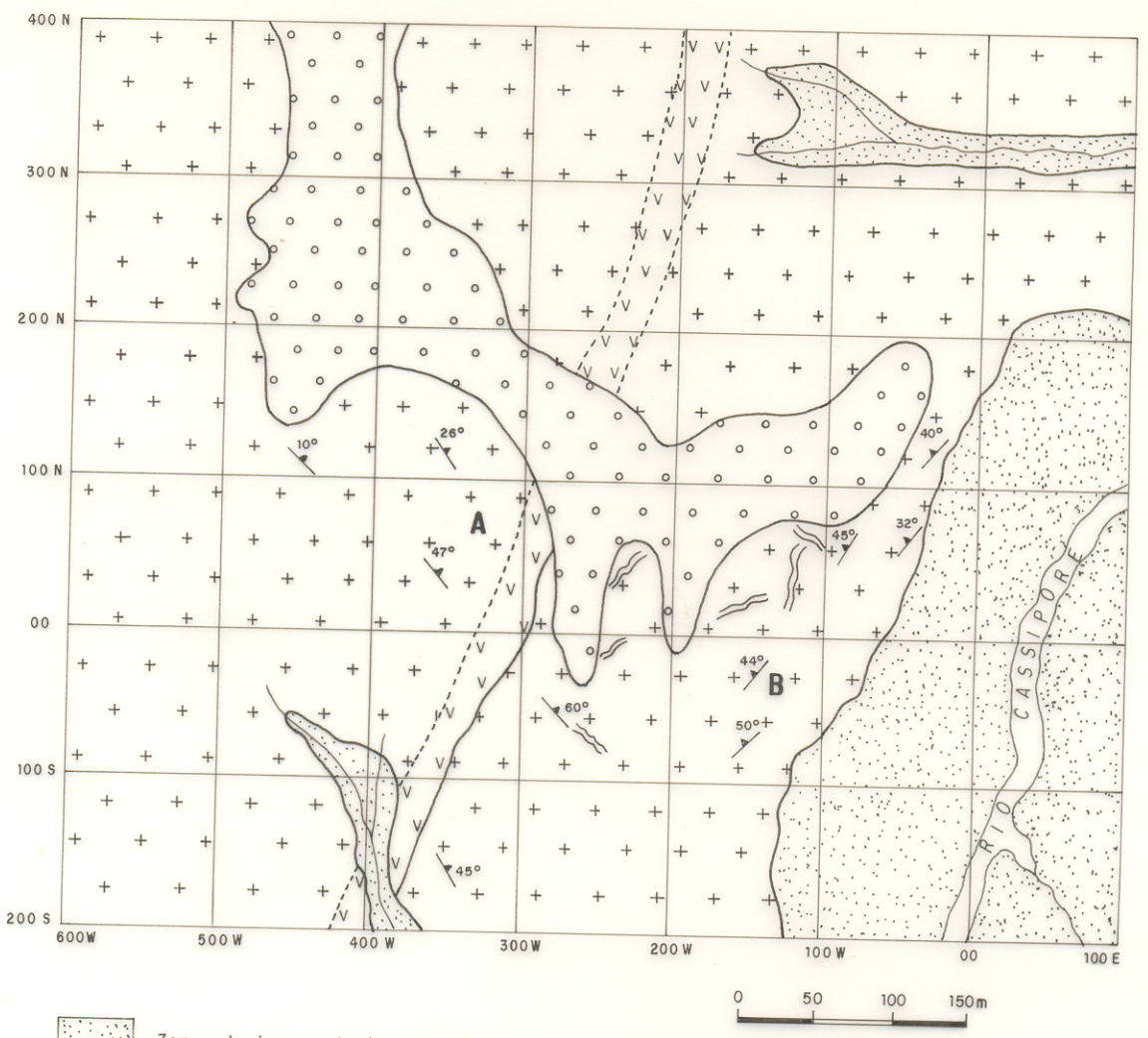


Fig. 2A - Distribuição esquemática do Supergrupo Vila Nova Região do Amapá e Norte do Pará, Modificado de Bezerra e Montalvão (1985).



Zona aluvionar e bacia de rejeito.

Platô com cobertura detrito-laterítica.

Dique de diabásio com cobertura laterita e aluvionar. (Diabásio Cassiporé)

Bt-Hb gnaisse milonítico com intercalação de anfibolito. Encaixante de veios quartzo-feldspáticos e venulações auríferas. (Supergrupo Vila Nova)
A- Estruturação regional (NW-SE) **B**- Lineamento Cassiporé (NE-SW).

Veios quartzo-feldspáticos pegmatóides.

60° Direção e mergulho da foliação

Contato geológico inferido

Contato geológico definido.

Fig. 2B - Mapa geológico do Morro da Mina e Arredores. Modificado de Mineração Taboca S.A.

(ultramilonito), onde a hornblenda passa a existir apenas como um mineral reliquiar, sua desestabilização nas zonas de cisalhamento levou a formação de tremolita-actinolita, que se apresenta em agregados de cristais fibrosos orientados ou constituem as bordas e extremidades dos cristais reliquiares da hornblenda. A biotita torna-se parcial à totalmente cloritizada, e ao longo de seus planos de clivagem estão alojados titanita, zeólitas, epidoto e opacos. Opacos também se alojam ao longo das zonas de contato das palhetas de biotita (Fig.03). Verifica-se também a desestabilização de um mineral não identificado que resulta numa associação constituída por um núcleo de carbonatos com bordas de opacos.

Outros litotipos como diopsídio - anfibólio gnaisse, granada - biotita gnaisse, diopsídio gnaisse e gnaisses de composição diorítica encontram-se associados ao litotipo principal, comparecendo sob a forma de níveis milimétricos à decimétricos intercalados em contato gradacional.

Mobilizados

Este conjunto de rochas gnássicas com frações de anfibolitos associados encontra-se seccionado por diferentes tipos de mobilizados (veios pegmatóides de composição granítica, veios de quartzo sacaroidal, veios de quartzo leitoso e venulações de quartzo incolor e leitoso). Estes mobilizados dispõem-se segundo orientação variada, que estão provavelmente relacionadas aos diversos sistemas de fraturas resultantes da interação das duas zonas de cisalhamento que cortam a região.

3.2.1.3 Diques Básicos

Os diques básicos permo-triássicos, alinhados NNW - SSE,

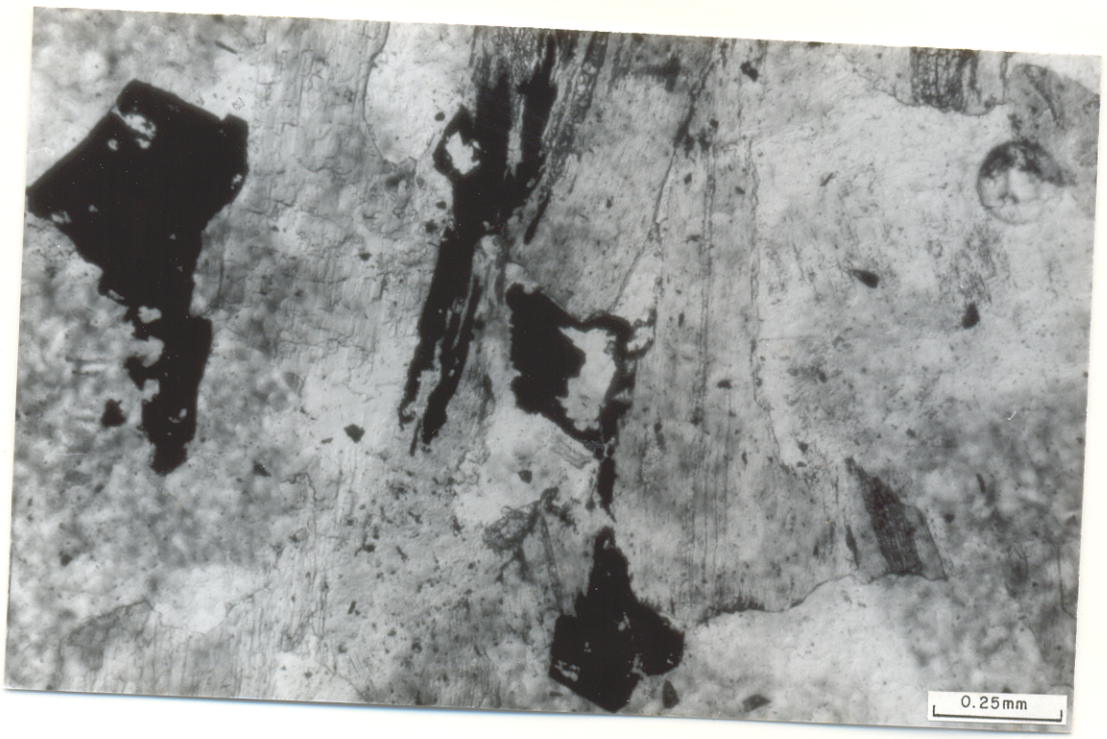


Fig. 03 - Cristais de opacos alojados nas zonas de contacto das palhetas de biotita.

encaixados nas rochas da região considerada, estão associados a reativação de descontinuidades de extensão regional. Exibem granulação e textura que sugerem uma colocação em níveis crustais relativamente rasos. Estes corpos básicos correspondem ao Diabásio Cassiporé descrito por Lima et al. (1974).

3.2.2 Estrutural

Na área do Morro da Mina, as rochas gnáissicas tonalíticas estão dispostas segundo a direção da foliação milonítica regional NW - SE, com mergulhos predominantes da faixa de 10°-45° para NE e uma lineação dada pela orientação preferencial de micas e pelo estiramento dos cristais de quartzo, orientados na direção N 20°. Perpendicularmente a esta estruturação regional e subparalela ao trende principal do rio Cassiporé, comparecem zonas de cisalhamento discretas NE - SW. Costa (1988) denomina estes conjuntos de estruturas A e B (Fig. 2B), e sugere que a estruturação do conjunto A que representa a milonitização regional, está associada a um transporte tectônico de massas rochosas de NE para SW, enquanto que o conjunto B, que constitui a zona de cisalhamento Cassiporé, pode representar rampas laterais transcorrentes (Fig. 04).

3.2.3 Metamorfismo

As observações petrográficas sobre os diferentes tipos composicionais de gnaisses encontrados na área considerada, mostraram que as paragêneses estão representadas pelas seguintes associações mineralógicas:

Biotita - Hornblenda Gnaisse: hornblenda + andesina + biotita. Nas frações milonitizadas as transformações mineralógicas observadas estão representadas pela paragênese tremolita +

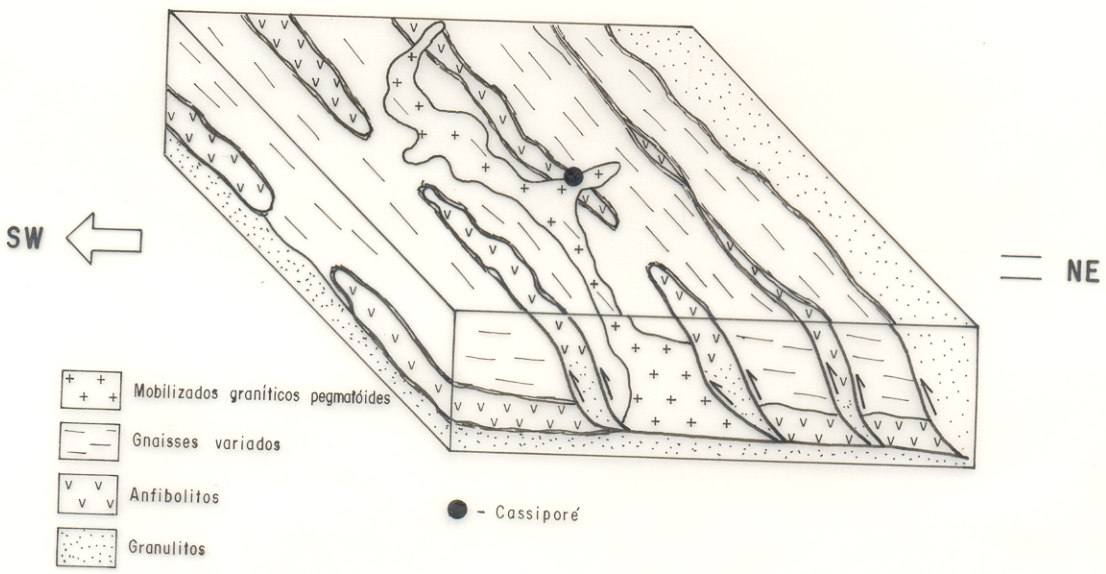


Fig. 04 - Esboço para o transporte tectônico de massas do conjunto A. Elaborado conforme dados de Costa (1988).

oligoclásio + biotita + clorita + epidoto.

Diopsísio - Anfibólio Gnaisse: andesina + diopsídio + hornblenda + biotita.

Granada - Biotita Gnaisse: oligoclásio + microclina + granada + biotita.

Diopsídio Gnaisse: labradorita + diopsídio + tremolita $\pm$ carbonatos.

Estas paragêneses segundo o modelo adotado por Yardley (1989), bem como os processos de migmatização que atuaram na região sugerem um caráter transicional ou intermediário das fácies anfibolito alto à granulito.

Os produtos de transformação mineralógica principalmente nas zonas de cisalhamento, estão representados pela transformação de diopsídio e hornblenda para tremolita, biotita para clorita, epidoto e zeólitas, plagioclásio para sericita e epidoto, minerais estes típicos de condições da fácies xisto verde conforme Winkler (1979) e Turner (1981), e indicam transformações retrometamórficas.

3.2.4 Mineralização Aurífera Primária

Existem hipóteses divergentes quanto a origem das mineralizações primárias de ouro associadas às sequências tipo "greenstone belt". Groves & Phillips (1987), Colvine et al. (1988), Kerrich (1989) entre outros trabalhos publicados, discutem amplamente estas hipóteses.

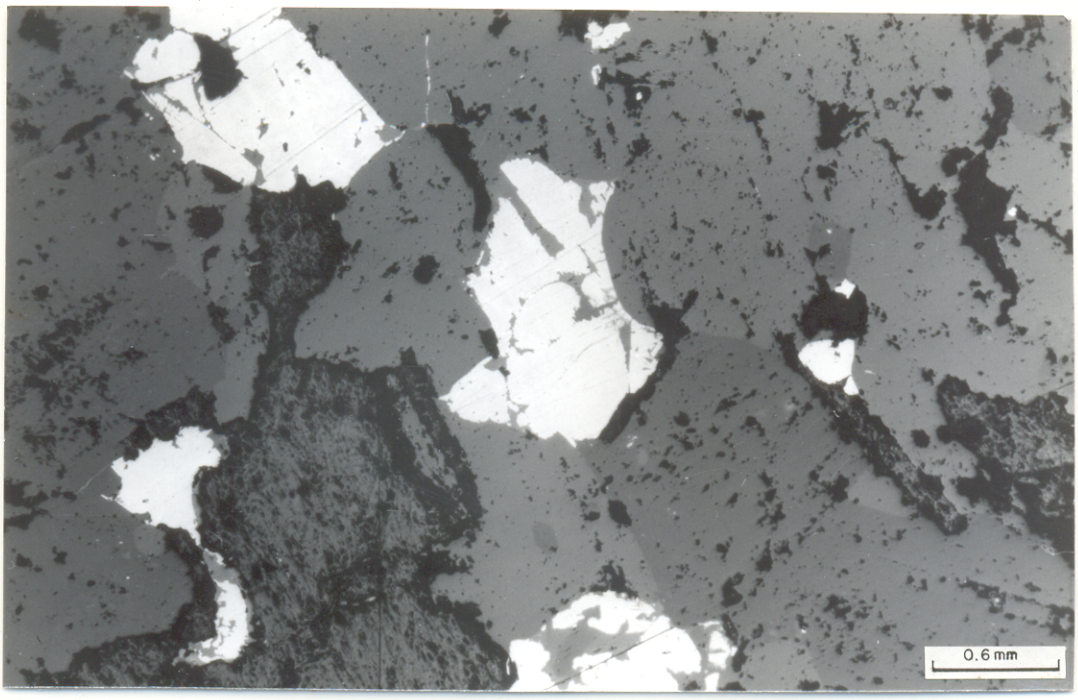
Em um contexto regional para a área de interesse, a mineralização aurífera primária está disposta segundo o trende regional NW - SE, intimamente associada à zonas de cisalhamento (Tartarugalzinho, Lourenço e Cassiporé), projetadas em sequência

tipo "greenstone belt".

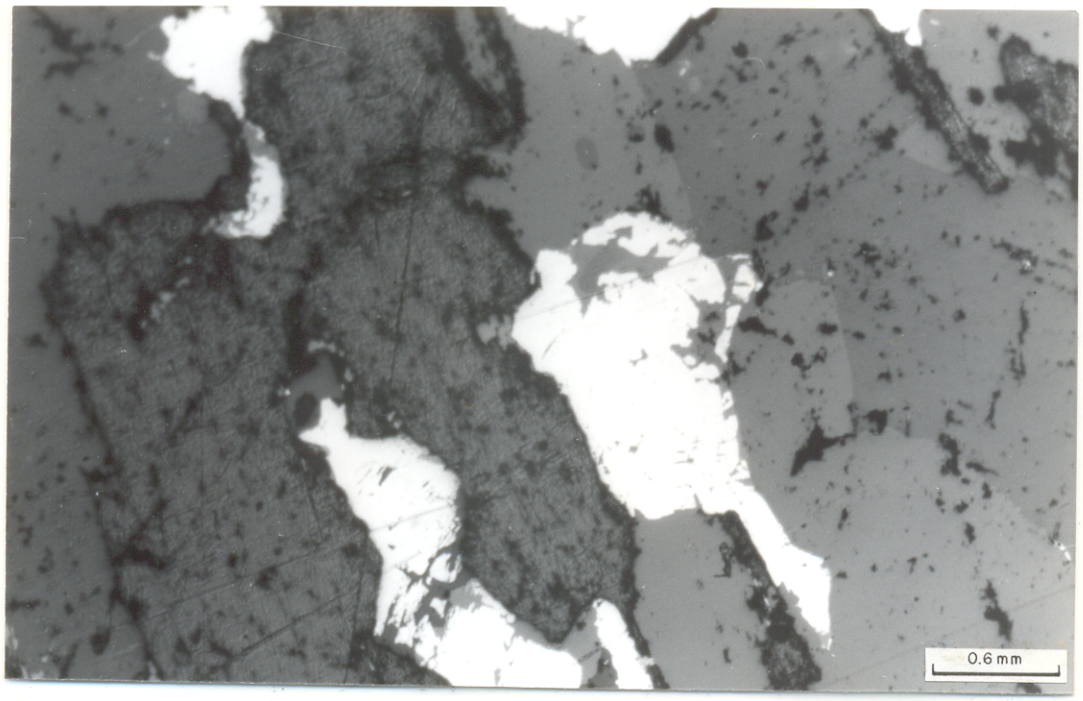
O forte controle estrutural, exerce importante papel na localização dos depósitos auríferos primários (zonas de cisalhamento e estruturas tipo "stock-works" associadas).

Na área Morro da Mina, as mineralizações auríferas primárias estão associadas aos gnaisses diversos, anfibolitos, mobilizados graníticos, veios e venulações de quartzo. Nos gnaisses e anfibolitos, sugere-se que a sua ocorrência esteja condicionada a um forte controle estrutural, a exemplo das porções que exibem um maior grau de deformação decorrente do processo de milonitização, onde se formaram trapas estruturais a nível da estrutura dos minerais como biotita e anfibólio, favorecendo a concentração de sulfetos (predominantes), arsenietos e sulfoarsenietos. Localmente a pirita chega a formar concentrações expressivas sob a forma de faixas alongadas (Fig. 05). Minerais pouco frequentes como cobaltita e löllingita também estão presentes na paragênese sulfetada, e provavelmente constituem associação mineralógica primária com o ouro.

O incremento da taxa deformacional cisalhante, coincidente com as zonas de maior percolação de fluidos mineralizados, também resultou na remobilização do ouro das rochas pretéritas, o que permitiu sua maior concentração nas frações quartzosas (veios e venulações de quartzo que em algumas porções apresentam um padrão tipo "stock-works"), bem como sua mobilização associada aos mobilizados graníticos que frequentemente contêm disseminações manganesíferas, que associadas as frações receptoras silicosas seriam armadilhas estruturais físico-químicas para o ouro nestas porções.



A



B

Fig. 05 - CONCENTRAÇÃO DE CRISTAIS DE PIRITA AO LONGO DAS BANDAS DE CISALHAMENTO QUE SECCIONAM O GNAISSE TONALÍTICO (SEÇÃO POLIDA).

3.2.5 Geologia de Superfície

O platô laterítico da região do Alto Cassiporé, faz parte de todo um conjunto de lateritos distribuidos regionalmente no Amapá de acordo com Lima et al. (1974). (Fig. 06).

A superfície da área em apreço é composta basicamente por lateritos, sob domínio de condições tropicais, onde as diversas litologias com ou sem mineralizações auríferas associadas, estiveram sujeitas a processos de lateritização com consequente formação de um espesso manto de alteração com 50 metros de espessura mineralizados à ouro. Os perfis lateríticos são constituidos da base para o topo pelos horizontes argiloso, aluminoso, ferruginoso e horizonte de solo (Fig. 07). Costa (1987) atribui a idade Eoceno-Oligoceno para a formação destes lateritos, com retomada em épocas subsequentes.

3.2.5.1 O Perfil Laterítico

Horizonte Argiloso

Este horizonte é o mais expressivo, com espessuras da ordem de 40 à 45 metros. Para o topo mostra-se com tonalidades variadas, predominando o amarelo, sendo dominantemente de aspecto areno-argiloso não estruturado e contendo esparsos nódulos gibbsíticos. Para a porção intermediária em direção à base do perfil torna-se gradativamente mais argiloso, mosqueado e micáceo, guardando a estruturação da rocha-mãe (foliação), onde mobilizados graníticos contendo concentrações manganesíferas, veios quartzo-feldspáticos e venulações de quartzo, encontram-se parcialmente preservados nesta porção do perfil laterítico, representante de um nível saprolítico. Localmente, na base deste horizonte observa-se a presença de

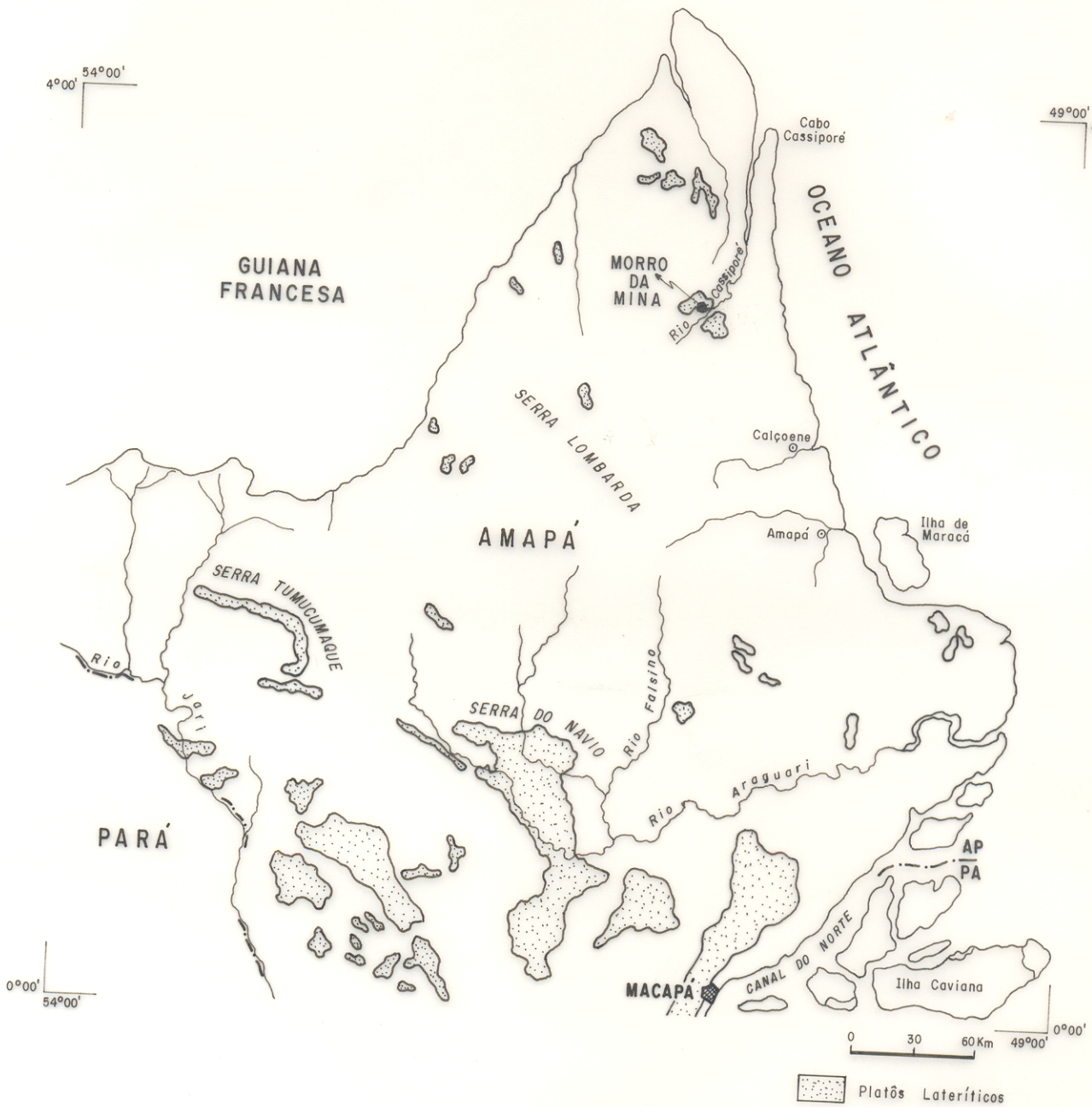
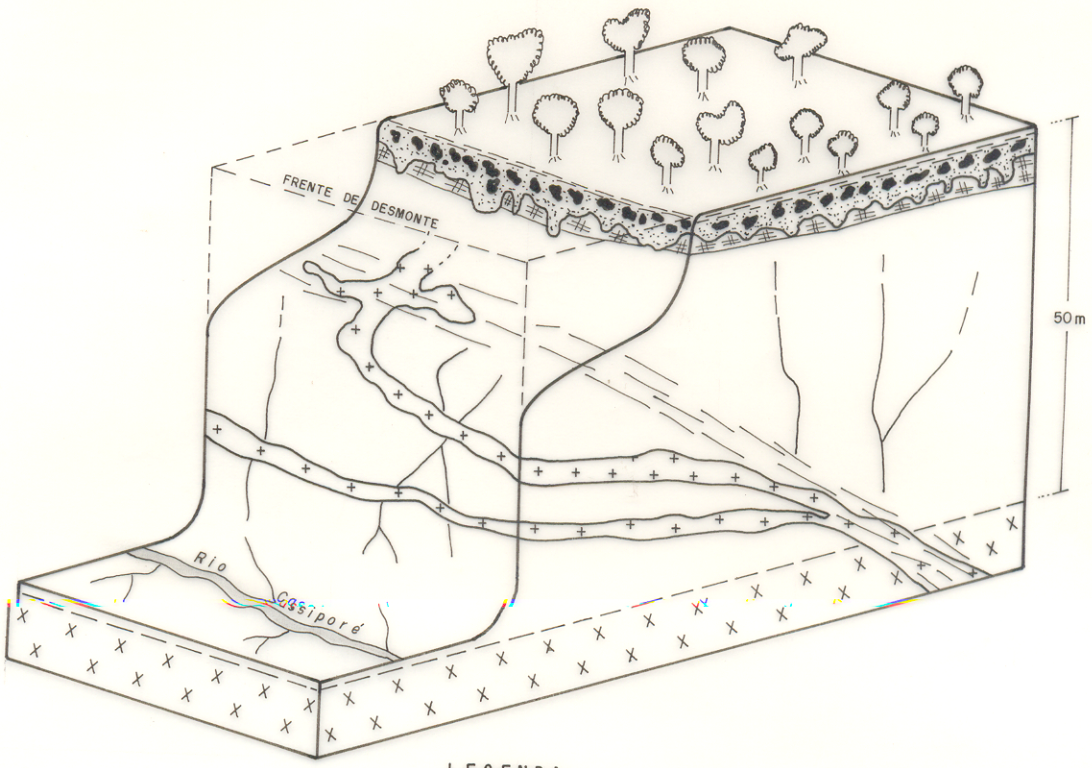


Fig. 06 - Região Centro-Norte do Estado do Amapá. Distribuição dos platôs lateríticos. Modificado de Lima et al. (1974).



LEGENDA

- Horizonte de solo
- Horizonte concrecionário Ferruginoso
- Horizonte Aluminoso
- Horizonte Argiloso Saprolítico
- Veios Pegmatóides de composição Granítica e Venulações de quartzo.
- Gnaisse tonalítico

Fig. 07 - Bloco diagrama para a região do Cassiporé, mostrando a estruturação laterítica.

fragmentos e blocos de gnaisse intensamente alterados. Também pontualmente nesta porção observou-se a existência de agregados de cristais reliquiares de monazita.

Horizonte Aluminoso

Sua espessura mais frequente é em torno de 0.5 metros, no entanto em algumas porções chega a atingir 1.6 metros. Dominantemente é constituído por nódulos de gibbsita porcelanada de tamanho milimétrico à centimétrico envoltos em uma matriz areno-argilosa friável e ferruginosa. Incorpora esparsas concreções ferruginosas para o topo. Por vezes os nódulos de gibbsita englobam agregados de cristais de granada denotando uma textura reliquiar.

Horizonte Ferruginoso Concrecionário

Mostra uma espessura que varia em torno de 5 metros, exibindo estrutura colunar para o topo, sendo dominantemente concrecionário, apresentando geralmente granulodecrescência para sua respectiva base. As concreções são amplamente variáveis quanto a sua granulometria, onde o diamêtro maior destas varia desde frações milimétricas à 15 cm, sendo envolvidas por uma matriz friável arenosa pigmentada por óxi-hidróxidos de Fe. Internamente as concreções exibem aspecto cavernoso (Fig.08), mostrando amplas cavidades preenchidas parcialmente por material argiloso e/ou contendo fragmentos de quartzo com película de hematita. Para a base deste horizonte ocorrem esparsos nódulos gibbsíticos.

Horizonte de Solo

Apresenta uma espessura em torno de 1,2 metros. Para o seu topo é composto por uma delgada camada escura, rica em matéria

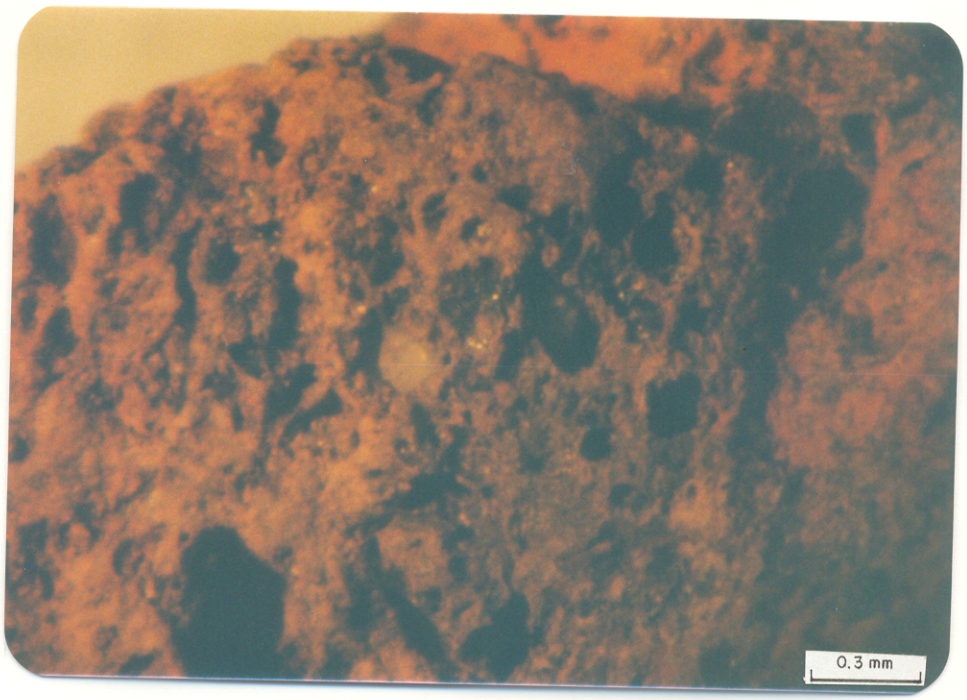


Fig. 08 - Horizonte ferruginoso . Concreção exibindo aspecto cavernoso.

orgânica com espessura variando de 20 a 30 cm. No geral trata-se de um material amarelado de granulometria areno-argilosa contendo fragmentos de quartzo, concreções ferruginosas, nódulos gibbsíticos e mais raramente goethita pseudomórfica segundo granada.

3.2.5.2 Aspectos Petrográficos dos Lateritos

Horizonte Argiloso

Para a base deste horizonte as litologias estão parcialmente preservadas, mostrando estruturas de bandamento e foliação milonítica refletindo as estruturas/texturas da rocha primária. O aleitamento composicional (bandamento) é definido por uma alternância de plasmas ferruginoso (vermelho) e ferro-aluminoso (marrom amarelado). Localmente estes plasmas incorporam delgadas lentes formadas por agregados de gibbsita microcristalina . A foliação milonítica é preservada por um padrão anastomosado de uma associação de cristais de opacos esqueletais e óxi-hidróxidos de Fe pseudomórficos segundo biotita, contornando agregados de cristais de gibbsita microcristalina pseudomórfica segundo porfiroblastos de feldspatos (Fig.09). A matriz de gibbsita microcristalina contorna também xenoblastos de quartzo intensamente fraturados, onde estas fraturas estão preenchidas por um plasma ferro-aluminoso. Ocorrem por vezes pseudomorfos segundo granada, constituidos por uma película de goethita nas bordas trapeando um plasma aluminoso nas porções centrais.

Horizonte Aluminoso

Microscopicamente no horizonte aluminoso os tipos petrográficos predominantes apresentam estruturas primárias

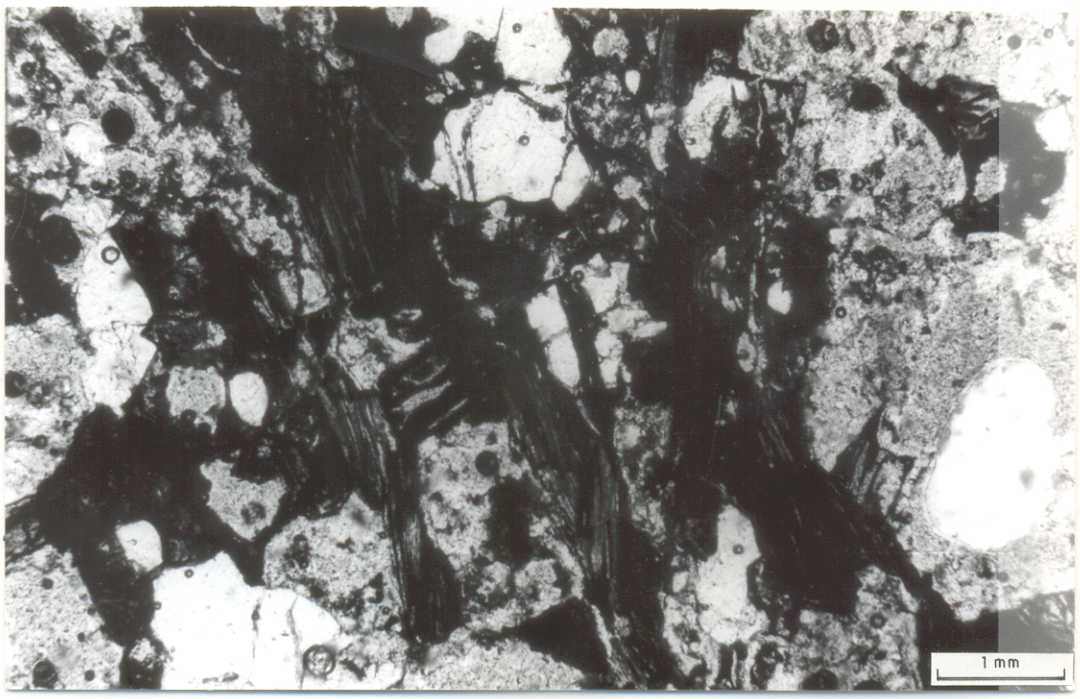


Fig. 09 - Foliação milonítica definida por pseudomorfos segundo biotita envolvendo grânulos de quartzo e lentes de gibbsita microcristalina pseudomórfica segundo plagioclásio. Horizonte aluminoso.

geralmente obliteradas por um plasma aluminoso criptocristalino, no entanto este plasma preserva parcialmente apenas a morfologia dos minerais primários. Localmente se verifica em parte a mineralogia primária e seus aspectos texturais. A feição mais comum é a existência de uma matriz aluminosa criptocristalina, onde estão dispersos cristais de quartzo fragmentados, exibindo fraturas totalmente preenchidas por gibbsita microcristalina (Fig.10). Dispersos na matriz também ocorrem cavidades nas quais observa-se que em suas paredes desenvolvem-se cristais alongados de gibbsita dispostos perpendicularmente à estas paredes. Localmente a gibbsita mostra-se em agregados de cristais maclados com diâmetro maior das maclas atingindo até 1.25 mm. Com menor frequência ocorre contribuição de plasma ferro-aluminoso que invade a matriz gibbsítica e percola fraturas nos cristais de quartzo. Algumas secções mostram cristais de granada dispersos na matriz gibbsítica, sendo protegidas por um invólucro de goethita (Fig. 11). Mais localmente observou-se um tipo petrográfico que preserva a textura ígnea reliquiar do tipo intergranular da rocha primária, definida pela formação de gibbsita pseudomórfica segundo as ripas de plagioclásio dispersas aleatoriamente na rocha, onde nos interstícios comparecem massas de gibbsita intergranular. Preenchendo os interstícios também ocorrem cristais de opacos subdiomórficos.

Horizonte Ferruginoso Concrecionário

Os tipos petrográficos deste horizonte estão representados por concreções dominantemente ferruginosas que variam de tamanhos milimétricos à centimétricos com até 15 cm de diâmetro.

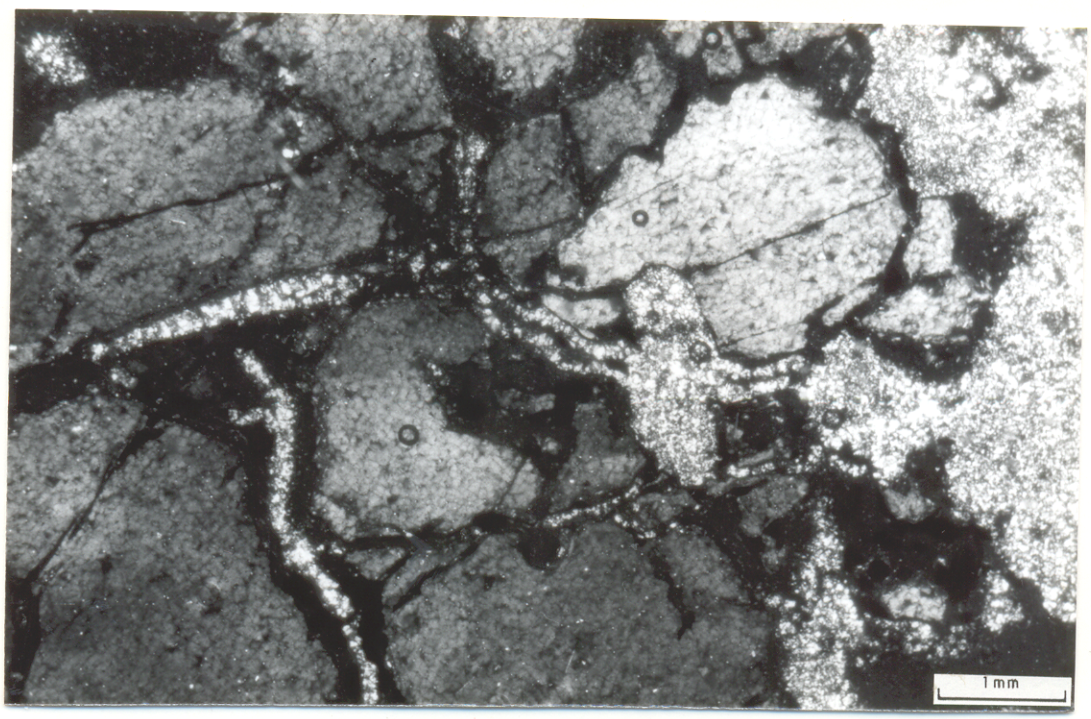
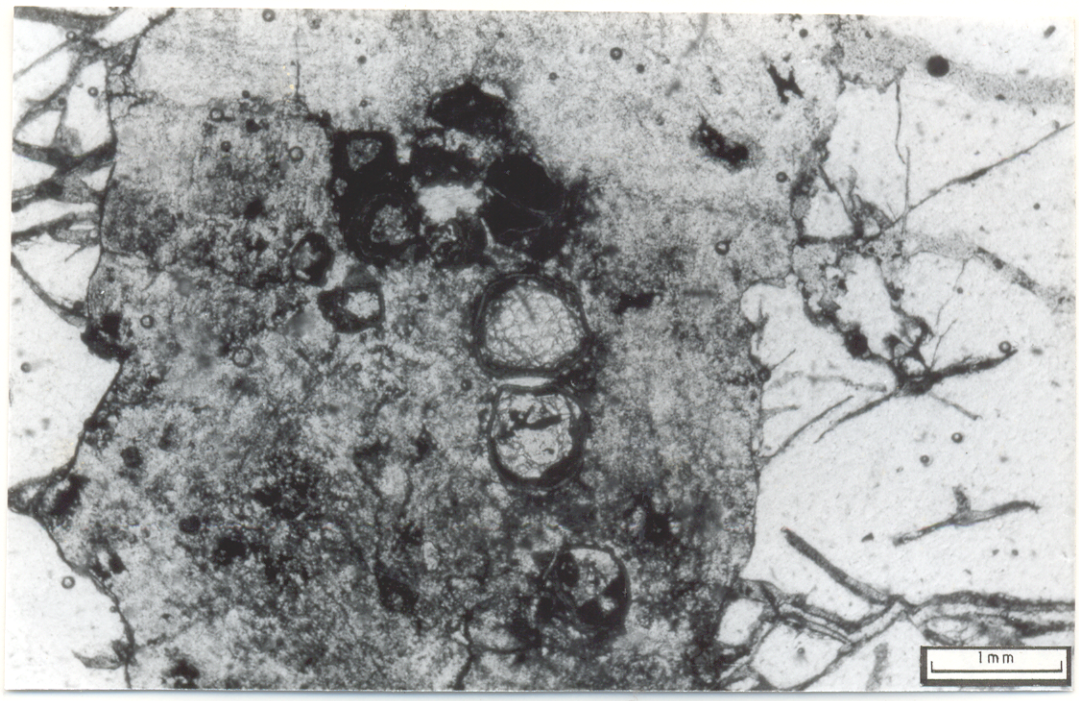
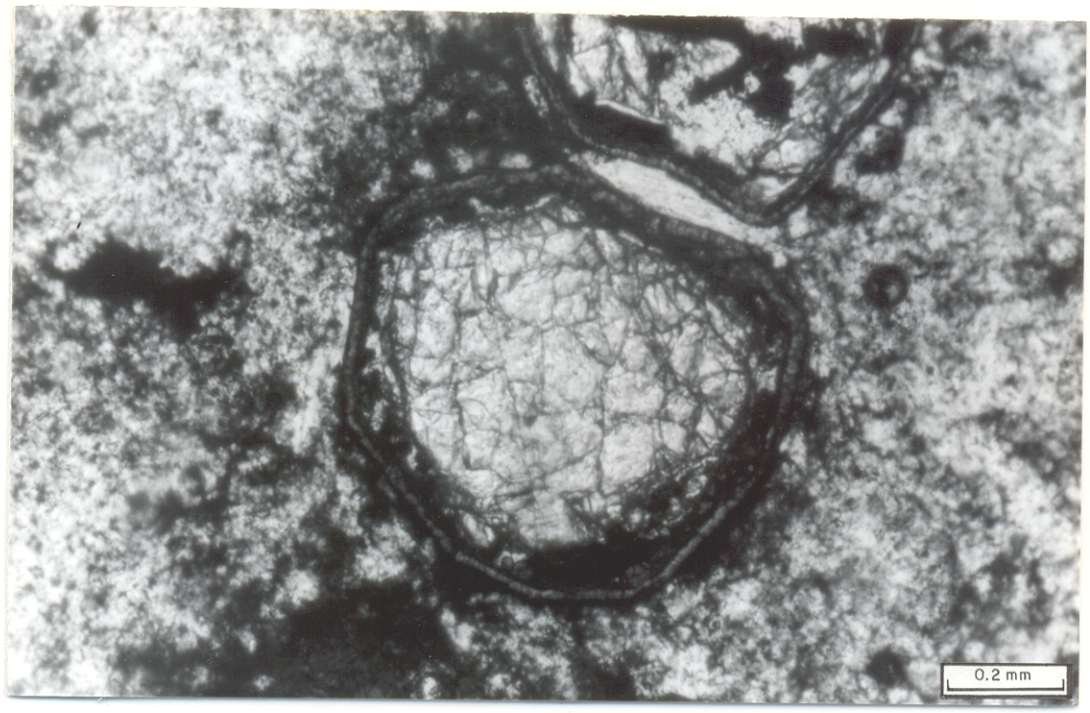


Fig. 10 - Grânulos de quartzo reliquiar contendo microfraturas preenchidas por gibbsita microcristalina.



A



B

Fig. 11 - **A**) Agregados de cristais de granada na matriz gibbsítica microcristalina.
B) Cristal de granada protegida por invólucro de goethita microcristalina.
Horizonte aluminoso.

Exibem uma textura nodular e cavernosa, onde os nódulos ferruginosos apresentam em suas bordas uma alternância de plasma ferruginoso e outro ferro-aluminoso, predominando o último. Internamente estes nódulos podem conter fragmentos de quartzo, ou cavidades que são preenchidos por material ferruginoso. As cavidades estão amplamente espalhadas na matriz plasmática ferruginosa que cimenta os nódulos. Localmente ocorrem agregados fibro-radiais de goethita microcristalina preenchendo cavidades, bem como goethita pseudomórfica segundo granada. Mais raramente ocorre gibbsita microcristalina disposta nos espaços porosos.

4 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Foram realizadas análises granulométricas para os diferentes horizontes lateríticos com o objetivo de verificar quais as frações predominantes em cada horizonte. Os resultados destes ensaios estão na Tab. 01.

As frações selecionadas (>500 μm, 500-250 μm, 250-125 μm, 125-63 μm e <63 μm) são aquelas propostas por Lecomte & Colin (1989) para os lateritos auríferos de Dondo Mobi, Gabon.

De um modo geral as frações que predominam nos horizontes é a fração grosseira (> 500 μm) e a mais fina (< 63 μm) que são predominantes em um, ou outro horizonte conforme as características destes. As frações intermediárias apresentaram valores de percentual retido muito baixo em relação as outras duas frações citadas anteriormente.

O horizonte de solo e o argiloso saprolítico apresentaram características semelhantes quanto ao percentual do material retido nas frações. Para estes horizontes a granulometria predominante corresponde a fração <63 μm, que ultrapassa os 53% da amostra. Esse comportamento reflete a presença de caulinita que é o constituínte mineralógico predominante para estes horizontes, além de Al-goethita nos solos.

Os horizontes ferruginoso e aluminoso mostraram comportamento semelhante entre si no que se refere ao percentual de material retido na fração >500 μm. Esta fração predomina nos referidos horizontes representando valores percentuais da ordem de 56%, refletindo principalmente a estruturação nodular destes horizontes. A fração <63 μm constitue apenas 30% da amostra destes horizontes, enquanto que as frações intermediárias apresentaram valores relativamente baixos em relação as frações

dominantes.

Tabela 01.Percentual de material retido nas frações granulométricas de acordo com cada horizonte.

Frações (µm)	Horizonte Solo	Ferruginoso	Aluminoso	Saprólito
>500	19	65	56	24
500-250	6	3	6	12
250-125	4	2	4	7
125-63	2	1	2	4
<63	69	29	32	53
Total	100	100	100	100

5 MINERALOGIA

5.1 Introdução

A caraterização mineralógica foi realizada basicamente através da análise de difratogramas de raio-X, descrições de lâminas delgadas, lâminas de minerais pesados, secções polidas e análises por microscopia eletrônica de varredura. Estes procedimentos mostraram que os principais minerais do perfil laterítico são caulinita, goethita, goethita aluminosa, gibbsita e quartzo distribuidos em termos quantitativos de acordo com a especificidade de cada horizonte. Menores quantidades de hematita, magnetita, maghemita ilmenita, anatásio bem como minerais resistatos como turmalina e zircão foram também identificados nestes horizontes. Granada e monazita ocorrem como acessórios na base do horizonte argiloso saprolítico. A neoformação de gibbsita, caulinita e goethita com alto grau de cristalinidade é indicada pelos picos bem delineados nos difratogramas de raio-X correspondentes a estes minerais. A figura 12 mostra a mineralogia relativa do perfil de alteração.

5.2 Distribuição dos Minerais

A evolução mineralógica quantitativa ao longo do perfil laterítico está representada na figura 13. Os minerais primários (hornblenda, plagioclásio, biotita, magnetita e sulfetos), à exceção do quartzo ocorrem apenas na rocha do substrato. O quartzo está distribuido ao longo de todo o perfil, mas diminue gradativamente em termos percentuais para os níveis superiores. Apesar das condições lateríticas, que são propícias para a lixiviação da sílica, o quartzo apresenta percentuais

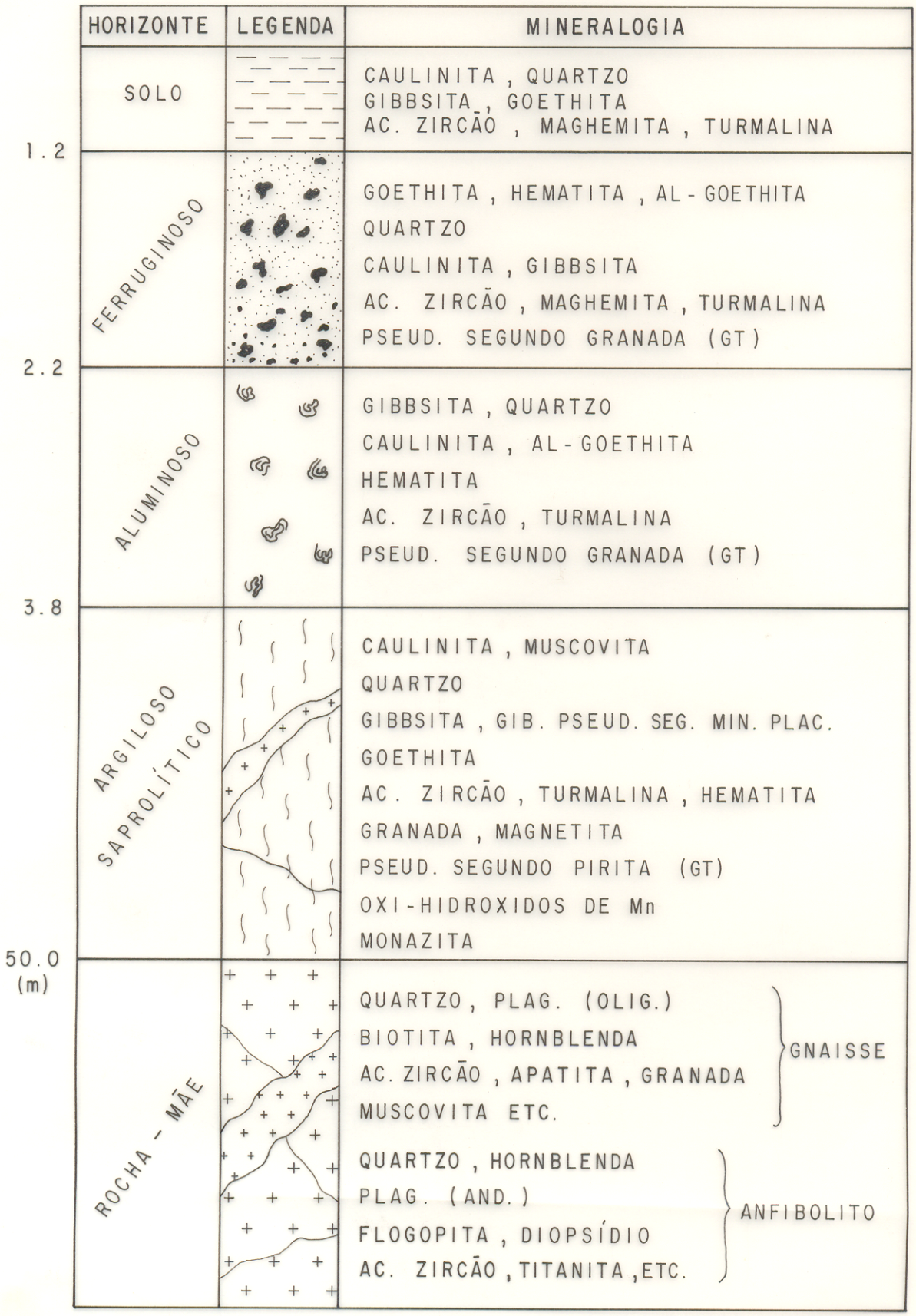


Fig. 12 - Mineralogia qualitativa do perfil de alteração da área Morro da Mina, Cassiporé - AP. AC = Acessório

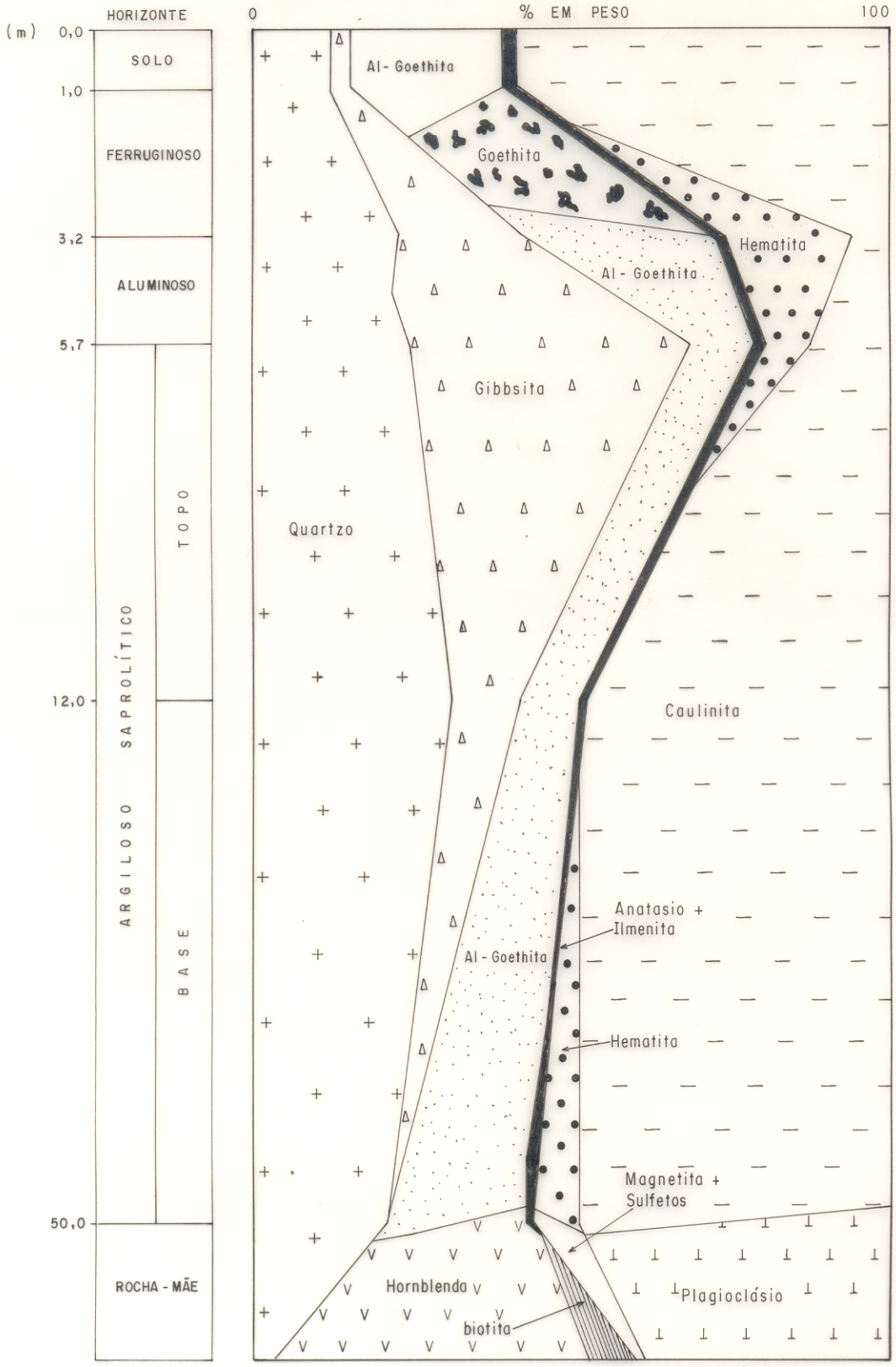


Fig. 13 - Evolução da distribuição mineralógica ao longo do perfil laterítico.

relativamente elevados no perfil laterítico, refletindo a existência de quartzo grosseiro proveniente da rocha-mãe, bem como quartzo pertencente aos mobilizados quartzo-feldspáticos pegmatóides.

A caulinita que é resultante principalmente da alteração do plagioclásio ocorre amplamente distribuida ao longo do perfil laterítico, principalmente para a base do horizonte argiloso, diminuindo gradativamente para os horizontes superiores. No horizonte de solo volta a ser o mineral predominante constituindo cerca de 60% deste horizonte.

Gibbsita ocorre desde a base do perfil (na forma de delgados níveis) até o horizonte de solo. Entretanto sua maior distribuição está vinculada ao horizonte aluminoso, onde alcança cerca de 44%.

Goethita aluminosa está distribuida ao longo do perfil de alteração à exceção do horizonte ferruginoso. Neste horizonte o Alumínio tende a se dissociar da goethita que torna-se essencialmente ferrífera.

Hematita distribui-se preferencialmente na base do horizonte argiloso (7%) e nos horizontes aluminoso e principalmente ferruginoso com valores médios da ordem de 20%. Anatásio e ilmenita estão invariavelmente distribuidos por todo o perfil laterítico.

5.3 Mineralogia dos Horizontes

5.3.1 Horizonte Argiloso

A caulinita é o mineral predominante, em menor proporção ocorrem quartzo, gibbsita, goethita aluminosa e hematita. Estes minerais tem seus picos bem delineados nos difratogramas de

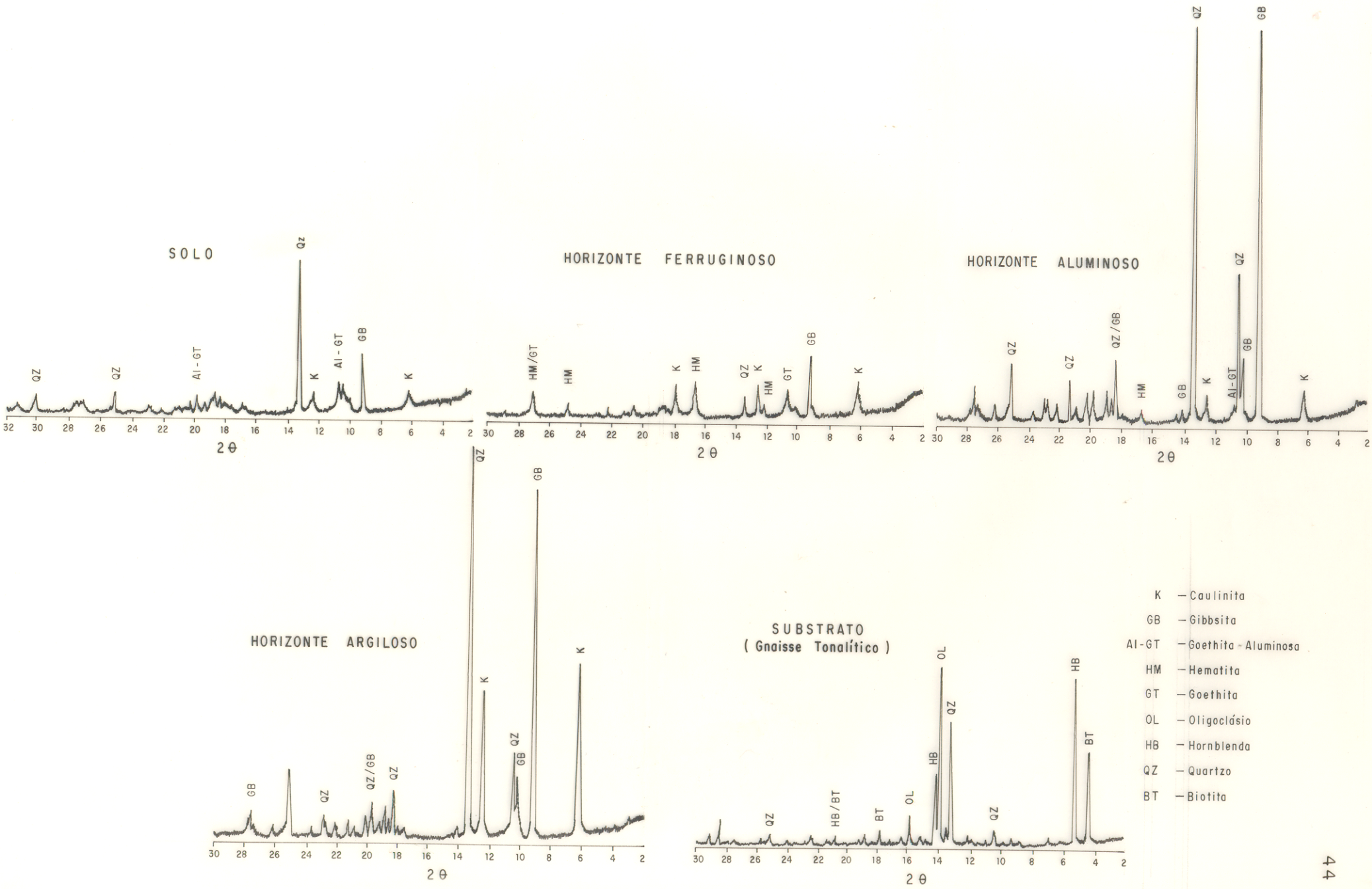


Fig. 14 - Principais minerais identificados nos perfis por difração de raios - X

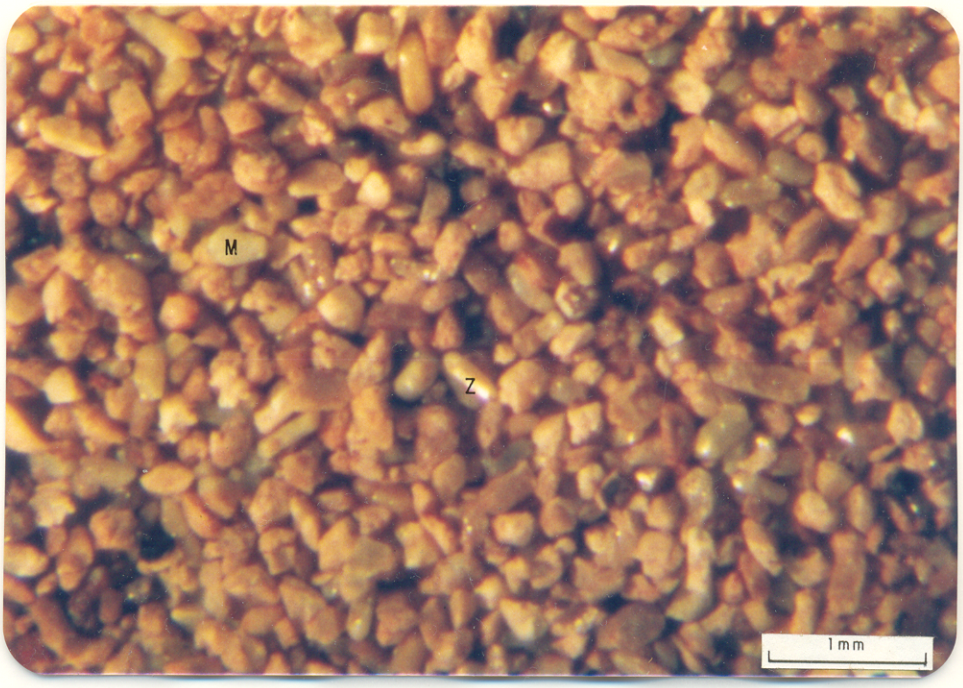


Fig. 15 - Concentrado de batéia. Horizonte argiloso saprolítico. Cristais de zircão e monazita. Z = zircão , M = monazita

raio-X. Caulinita e gibbsita apresentam alto grau de cristalinidade (Fig.14). No topo deste horizonte observou-se a existência de nódulos de gibbsita envolvendo aglomerados de cristais de granada com até 3.1 mm de diâmetro. Para a base do horizonte e em porções individualizadas ocorrem concentrações de cristais de monazita, agregados de óxi-hidróxidos de Mn e abundantes fragmentos de moscovita e sericita reliquiares associados aos minerais de alteração.

Neste horizonte os minerais pesados obtidos através de concentrados de batéia estão representados dominantemente (65%) por opacos (ilmenita, maghemita, hematita, e goethita pseudomórfica segundo pirita) O zircão representa cerca de 30% do concentrado (Tab.02), apresentando-se dominantemente em cristais prismáticos, alongados e bipiramidais, com tamanhos médios de 0.4mm, exibindo tonalidades variadas.Com menor frequência encontra-se monazita (Fig.15), turmalina e granada em formas euédricas de tonalidade avermelhada.

5.3.2 Horizonte Aluminoso

A mineralogia do horizonte aluminoso, está representada por gibbsita, quartzo, caulinita, hematita e Al-goethita. Constata-se um alto grau de cristalinidade para a gibbsita (Fig.14).

Este horizonte apresenta geralmente uma estruturação nodular, com nódulos abundantes de gibbsita de aspecto poroso ou maciço. Por vezes estes nódulos apresentam contra-moldes de cristais cúbicos e englobam fragmentos de quartzo exibindo figuras de dissolução, envolvem ainda cristais de granada preservados por uma franja de goethita. Localmente neste

Tabela 02. Distribuição dos minerais pesados em cada horizonte

Horizonte	Mineral (% em peso)					
	Zircão	Turmalina	Monazita	Rutilo	Granada	Opacos
Solo	95	t		t		5
Ferruginoso	20	t		t		80
Aluminoso	32	t			t	68
Argiloso	20	3	15		2	60

t = traço

horizonte a gibbsita mostra uma estruturação laminada sugerindo a foliação da rocha-mãe preservada.

A gibbsita é o mineral predominante, que varia de cripto à macrocristalina assumindo tonalidades creme avermelhada, rosada e aspecto porcelanado (Fig.16), este último frequentemente observado neste horizonte. Em menor quantidade ocorrem caulinita sob a forma de matriz agregando os nódulos de gibbsita, quartzo corroído, hematita por vezes de hábito botroidal, pseudomorfos de granada, esparsos nódulos de goethita, fragmentos de minerais micáceos e zircão.

Neste horizonte óxi-hidróxidos de Fe representam 68% do concentrado de batéia, enquanto que o zircão compõe o restante. Turmalina e granada constituem traços.

5.3.3 Horizonte Ferruginoso

As concreções ferruginosas deste horizonte consistem predominantemente de óxi-hidróxidos de Fe (Fig.14) de diferentes graus de cristalinidade, em geral com estruturas coloformes zonadas, e constituídas por goethita interacamada por lepidocrocita (inferida), sendo que a lepidocrocita facilmente se transforma em maghemita por desidratação conforme descrito por Ramdohr (1980). A goethita por vezes se cristaliza preservando a forma dos cristais de granada, apresentando-se em diminutos cristais fibro-radiais. Goethita aluminosa em geral ocorre cimentando os nódulos ferruginosos, que por sua vez incorporam gibbsita e goethita microcristalina, como também fragmentos de quartzo corroídos. Caulinita e quartzo pigmentados por óxi-hidróxidos de Fe compõem a matriz deste horizonte. Os minerais pesados estão representados dominantemente por



Fig. 16 - Horizonte aluminoso. Nódulo de gibbsita porcelanada.
Amostra PNS-02 (Perfil Norte-Sul , 6m de prof.)

maghemita, ilmenita e hematita com menores quantidades de zircão com tamanhos de até 0.4 mm, mostrando cores variadas e inclusões diversas. Turmalina de cor verde oliva e rutilo constituem traços.

5.3.4 Horizonte de Solo

A caulinita constitue cerca de 60% deste horizonte, enquanto que a goethita aluminosa, quartzo e gibbsita compõem a mineralogia restante. Maghemita ocorre como mineral subordinado sob a forma de delgadas palhetas apresentando forte caráter magnético. Dentre os minerais pesados obtidos através de concentrado de batéia, é notável a quantidade de zircão (95% da análise modal). Análise por estereomicroscópio revelaram que estes cristais são predominantemente euédricos, prismáticos, longos, com até 0.40mm, mostrando-se em tonalidade amarela, rosada, avermelhada e incolores. Prismas curtos geralmente avermelhados são menos frequentes. Alguns cristais contêm inclusões aciculares opacas e incolores. Como minerais traços ocorrem fragmentos de turmalina bem como rutilo em cristais subédricos de cor tipicamente vermelha.

5.4 Mineralogia das Frações Granulométricas

A descrição mineralógica demonstrou que as frações granulométricas apresentam uma mineralogia algo diferenciada, indicando uma seletividade para alguns minerais como caulinita, zircão e granada (Tab.03). Genericamente, quartzo, gibbsita, goethita e hematita estão distribuidos em todas as frações, a granada ocorre apenas na fração 125-63 μm, enquanto que caulinita e zircão estão presentes essencialmente na fração menor que 63 μm. Vale ressaltar que o zircão ocorre em cristais

Tabela 03. Distribuição mineralógica nas frações granulométricas

Minerais	Fraçao (um) >500	500-250	250-125	125-63	<63
Caulinita					———
Gibbsita	———	———	———		
Goethita	———	———	———		
Quartzo	———	———	———	———	
Hematita	———	———	———	———	
Zircao					———
Granada				———	

prismáticos alongados com tamanhos de até 0.4 mm, no entanto este mineral passa na malha <63 μm, devido ao fato de que sua secção transversal é menor que esta malha.

Considerando-se os horizontes individualmente, observa-se que a distribuição em termos percentuais dos óxi-hidróxidos de Fe e Al e argilo-minerais varia em função da especificidade de cada horizonte. A avaliação do percentual de constituintes ao qual os metais nobres estejam associados nos permite avaliar em que horizonte podemos fazer reconhecimentos prospectivos em função dos metais associados à estes constituintes.Os minerais lateríticos identificados no perfil (caulinita, goethita, Al-goethita, hematita, gibbsita etc.), evidenciam que a região do Alto Cassiporé é análoga à outras regiões da Amazônia que estiveram sujeitas a condições de lateritização, conforme atestam os trabalhos de Kotschoubey & Truckenbrodt (1981), Kotschoubey (1984), Costa (1991), Costa et al. (1991) entre outros.

6 GEOQUIMICA

6.1 Introdução

As análises químicas de rocha total e de frações (Tabs. 04 e 05), revelam uma clara sequência de evolução laterítica a partir da rocha-mãe em relação aos horizontes do perfil laterítico. As concentrações decrescentes neste sentido estão caracteristicamente representadas por SiO_2, FeO, CaO. MgO, Na_2O, K_2O, BaO, MnO, P_2O_5, S, CO_2 e Cl. Dentre estes os mais intensamente lixiviados no perfil laterítico são: CaO, MgO, Na_2O, BaO e K_2O. Por outro lado Al_2O_3, Fe_2O_3 e TiO_2 apresentam-se enriquecidos na parte superior do perfil laterítico, refletindo a mineralogia típica de ambiência laterítica (goethita, hematita, gibbsita $\pm$ anatásio).

Com relação a rocha-mãe, os valores relativamente altos para SiO_2 , Al_2O_3 , CaO, Na_2O, K_2O e BaO corroboraram com a classificação descritiva da rocha primária, a qual é predominantemente representada por um gnaisse tonalítico com delgadas intercalações de kinzigitos e anfibolitos.

A complexidade do comportamento obtido para alguns elementos traços, em parte, é um reflexo da heterogeneidade químico-composicional da rocha primária (gnaisse bandado intercalado por faixas de composição variada).

6.2 Geoquímica dos Elementos Maiores, Menores e Traços

6.2.1 Silício

Apresenta uma forte tendência em ser lixiviado para os horizontes superiores do perfil laterítico, onde a partir da

Tabela.04.Composição química para os diferentes horizontes do perfil laterítico. % em peso.

Horizonte	Componentes SiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	CaO	MgO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	BaO	MnO
Solo	35.8	24.3	20.9	0.98	<0.05	<0.10	0.02	0.02	1.8	0.08	<0.005	0.02
	34.8	23.9	21.3	1.40	<0.05	<0.10	0.03	0.02	1.9	0.09	<0.005	0.03
	26.5	19.5	38.9	1.40	<0.05	<0.10	0.01	0.03	1.2	0.10	<0.005	0.02
Ferruginoso	28.5	21.7	34.3	0.56	<0.05	<0.10	0.02	0.01	1.6	0.13	<0.005	0.04
	18.6	19.3	47.2	0.56	<0.05	<0.10	0.05	0.03	1.3	0.13	<0.005	0.01
Aluminoso	50.5	27.3	6.7	0.40	<0.05	<0.10	0.02	0.06	0.6	0.08	<0.005	0.01
	40.2	28.0	15.2	0.42	<0.05	<0.10	0.04	0.04	1.2	0.09	<0.005	0.02
Sap. topo	48.6	27.9	6.1	0.72	<0.05	<0.10	0.02	0.05	0.5	0.07	<0.005	0.02
base	44.0	18.6	23.3	0.58	<0.05	<0.10	0.05	0.07	2.0	0.36	<0.005	0.01
Mobilizado	61.1	25.3	2.0	0.28	<0.05	<0.10	0.02	0.11	0.1	<0.05	<0.005	<0.01
Gnaisse	61.4	15.2	5.2	2.00	6.30	2.60	3.70	1.20	0.6	0.13	0.084	0.16
Tonalitico	60.5	15.6	1.8	5.60	6.00	2.70	3.60	1.60	0.7	0.12	0.095	0.16
	57.6	14.0	2.7	7.00	6.20	4.20	3.70	1.30	0.7	0.16	0.047	0.24

Horizonte	Cr2O3	NiO	S	F	H2O+	CO2	Soma total	O = F	Soma Final	H2O-
Solo	0.03	<0.01	0.056	0.028	15.62	0.30	99.95	0.01	99.94	1.70
	0.03	<0.01	0.056	0.047	15.82	0.40	99.82	0.02	99.80	2.24
	0.06	<0.01	0.066	0.057	11.50	0.50	99.84	0.02	99.82	1.04
Ferruginoso	0.03	<0.01	0.087	0.060	12.71	0.20	99.95	0.03	99.92	0.90
	0.08	<0.01	0.100	0.052	12.20	0.20	99.81	0.02	99.79	1.10
Aluminoso	0.01	<0.01	0.038	0.045	14.10	0.10	99.95	0.02	99.93	0.24
	0.02	<0.01	0.064	0.046	14.40	0.20	99.94	0.02	99.92	0.71
Sap. Topo	0.01	<0.01	0.036	0.031	15.70	0.10	99.84	0.01	99.83	0.26
Base	0.03	<0.01	0.089	0.037	10.70	0.10	99.93	0.02	99.91	1.09
Mobilizado	<0.01	<0.01	0.020	0.037	10.84	0.10	99.92	0.02	99.90	0.35
Gnaisse	0.02	<0.01	0.170	0.067	0.74	0.56	100.10	0.03	100.07	0.09
Tonalitico	0.02	0.01	0.051	0.084	0.90	0.50	100.00	0.04	99.96	0.14
	0.03	0.01	0.120	0.094	1.45	0.48	100.02	0.04	99.98	0.07

Tabela.05. Concentração dos elementos traços nos diferentes horizontes do perfil laterítico. Resultados em ppm.

Horizonte	Elementos									
	Cl-	Pb	Cu	Ga	Mo	Nb	Sc	V	Y	Zr
Solo	26	37	32	86	142	68	60	440	<10	240
	38	47	19	50	72	38	42	275	<10	260
	25	65	37	88	300	28	78	1010	<10	120
Ferruginoso	<20	56	24	57	100	<20	44	480	<10	170
	<20	93	31	68	39	57	56	920	<10	130
Aluminoso	28	37	10	40	36	<20	16	118	<10	110
	27	47	38	60	180	<20	37	255	10	120
Sap. Topo	<20	47	11	61	62	<20	17	124	15	140
Base	<20	47	54	58	320	66	58	430	<10	200
Mobilizado	<20	28	8	38	28	<20	6	92	11	54
Gnaisse	20	28	22	19	96	<20	21	186	17	66
Tonalitico	54	28	12	26	13	<20	26	158	19	130
	60	28	55	40	41	<20	45	310	16	73

rocha-mãe com média de 59.8 %, de SiO_2 evolui para 24.5% no horizonte ferruginoso (Fig.17). Entretanto a sílica persiste com valor relativamente alto até o horizonte aluminoso (teor médio de 45.3%), pois que se encontra como quartzo primário de granulação grossa amplamente distribuido nas rochas gnáissicas, e nos veios de quartzo (estrutura tipo stock-works) que estão parcialmente preservados no horizonte argiloso saprolítico.

6.2.2 Ferro

O teor de Fe_2O_3 mostra um enriquecimento absoluto, principalmente no horizonte ferruginoso (Fig.17), onde alcança valor médio de 40.1%, evidenciando a neoformação de grande quantidade de goethita, hematita e maghemita durante a evolução do perfil laterítico, como mostram os estudos de Tardy & Nahon (1985), Milnes et al. (1987) entre outros.

6.2.3 Alumínio

O percentual de Al_2O_3 evolue de 14.9% (valor médio) na rocha-mãe para 23.3% no horizonte argiloso saprolítico e alcança 27.7% no horizonte de aluminoso. esse enriquecimento relativo está relacionado principalmente a formação de caulinita no horizonte argiloso e cristalização de gibbsita a partir da caulinita para o horizonte aluminoso, refletindo os processos minerais de formação de perfis lateríticos.

6.2.4 Titânio

O TiO_2 apresenta uma tendência geral em concentrar-se ao longo do perfil laterítico, progredindo de 0.64% na rocha-mãe para 1.9% no horizonte de solo (Fig.18). Estes Valores são

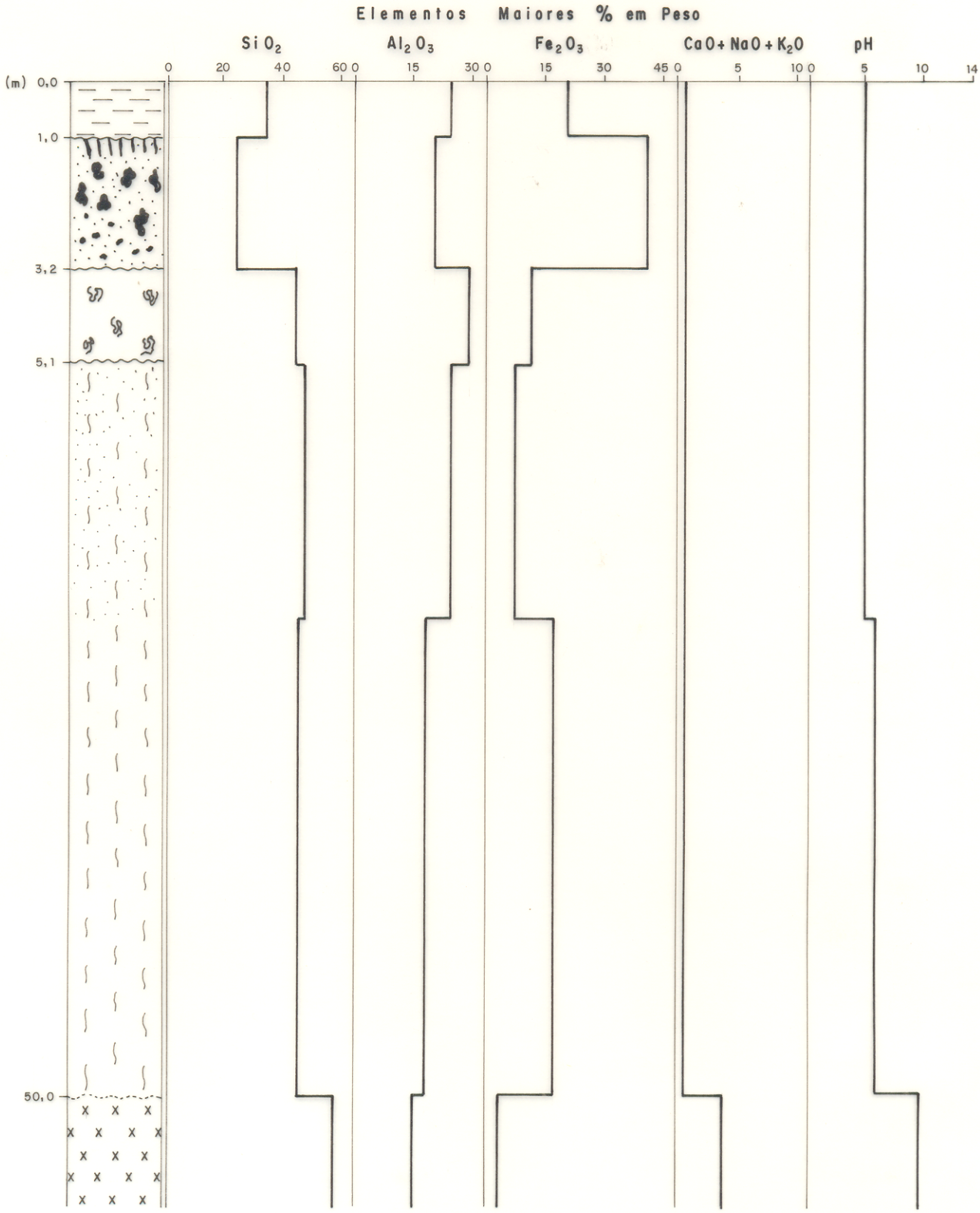


Fig. 17 - Distribuição de elementos maiores que caracterizam o perfil laterítico.

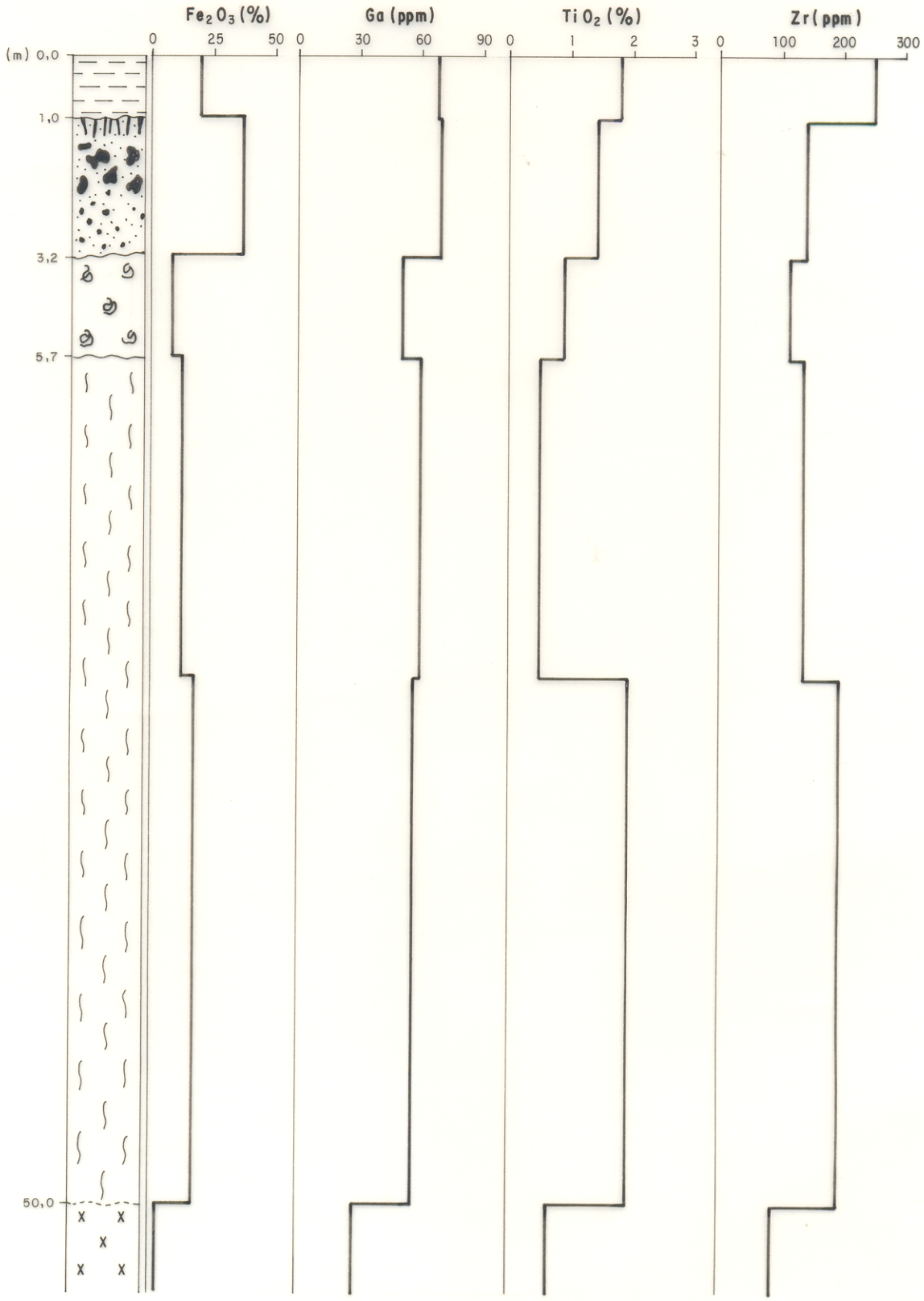


Fig. 18 - Curva de distribuição para elementos traços e ferro no perfil laterítico.

atribuidos a neoformação de anatásio durante a lateritização, ou ainda a presença de ilmenita como resistato principalmente no horizonte de solo e na base do horizonte argiloso saprolítico.

6.2.5 Cálcio, Magnésio, Sódio, Potássio e Bário

Os óxidos destes elementos foram englobados em um único grupo, devido apresentarem as mesmas características no perfil. Na rocha-mãe os referidos óxidos apresentam teores relativamente elevados, evidenciando a sua presença principalmente nos minerais formadores de rocha, onde Ca representa o plagioclásio (Ca), enquanto Mg, Na, K e Ba representam os minerais micáceos e anfibólios das rochas gnáissicas. A partir da base do horizonte saprolítico, estes minerais são quase totalmente destruidos, liberando os alcalinos e alcalinos terrosos que, por ausência de estrutura neoformada apropriada para sua fixação foram lixiviados ao longo do perfil laterítico (Fig.17), a exemplo de BaO e MgO, que regridem de 0.095% e 3,20% na rocha-mãe para menor que 0.005% e 0.04% no perfil laterítico respectivamente.

6.2.6 Fósforo

De um modo geral exibe uma tendência a lixiviação ao longo do perfil (Fig.19), com teores inferiores a 0.16% de P_2O_5. Na base do horizonte argiloso saprolítico apresenta uma amostra com 0.36% de P_2O_5 devido provavelmente a ocorrência localizada de aglomerados de monazita como mineral reliquiar.

6.2.7 Manganês

Na rocha primária apresenta valor médio de 0.19% de MnO enquanto que ao longo do perfil laterítico os valores médios

caem para 0.02% indicando que este elemento apresenta um comportamento móvel, consequentemente sendo lixiviado do perfil de alteração, com uma leve tendência de concentrar-se no horizontes ferruginoso e de solo (Fig. 20).

6.2.8 Chumbo

Exibe uma tendência em concentrar-se ao longo do perfil, mais precisamente junto aos óxi-hidróxidos de Fe (horizonte ferruginoso), onde alcança 93 ppm, enquanto que na rocha-mãe apresenta valores da ordem de 28 ppm. (Fig. 19).

6.2.9 Cromo e Níquel

Os baixos valores de cromo e níquel ao longo de perfil, evidenciam que a rocha primária não apresenta nenhuma contribuição ultramáfica. O Cr mostra uma tendência de enriquecimento relativo somente no horizonte ferruginoso (Fig.19), provavelmente associado aos óxi-hidróxidos de Fe. O Ni encontra-se em concentrações geralmente abaixo do limite de detecção do método (Ni < 100 ppm).

6.2.10 Molibdênio

Os resultados analíticos para Mo, mostram uma forte tendência de enriquecimento no perfil laterítico, principalmente no horizonte ferruginoso (Fig.20). Uma amostra do horizonte argiloso apresentou valor máximo de 320 ppm (Tab.05). Este comportamento é similar ao do Fe^{3+}, V e Cr. Como este metal apresenta uma média crustal de 1.2 ppm (Wedepohl, 1970), e ainda uma média de 0.5 ppm para granitóides gnáissicos, e devido ao fato de que para a rocha-mãe analisada varia de 13 a 96 ppm,

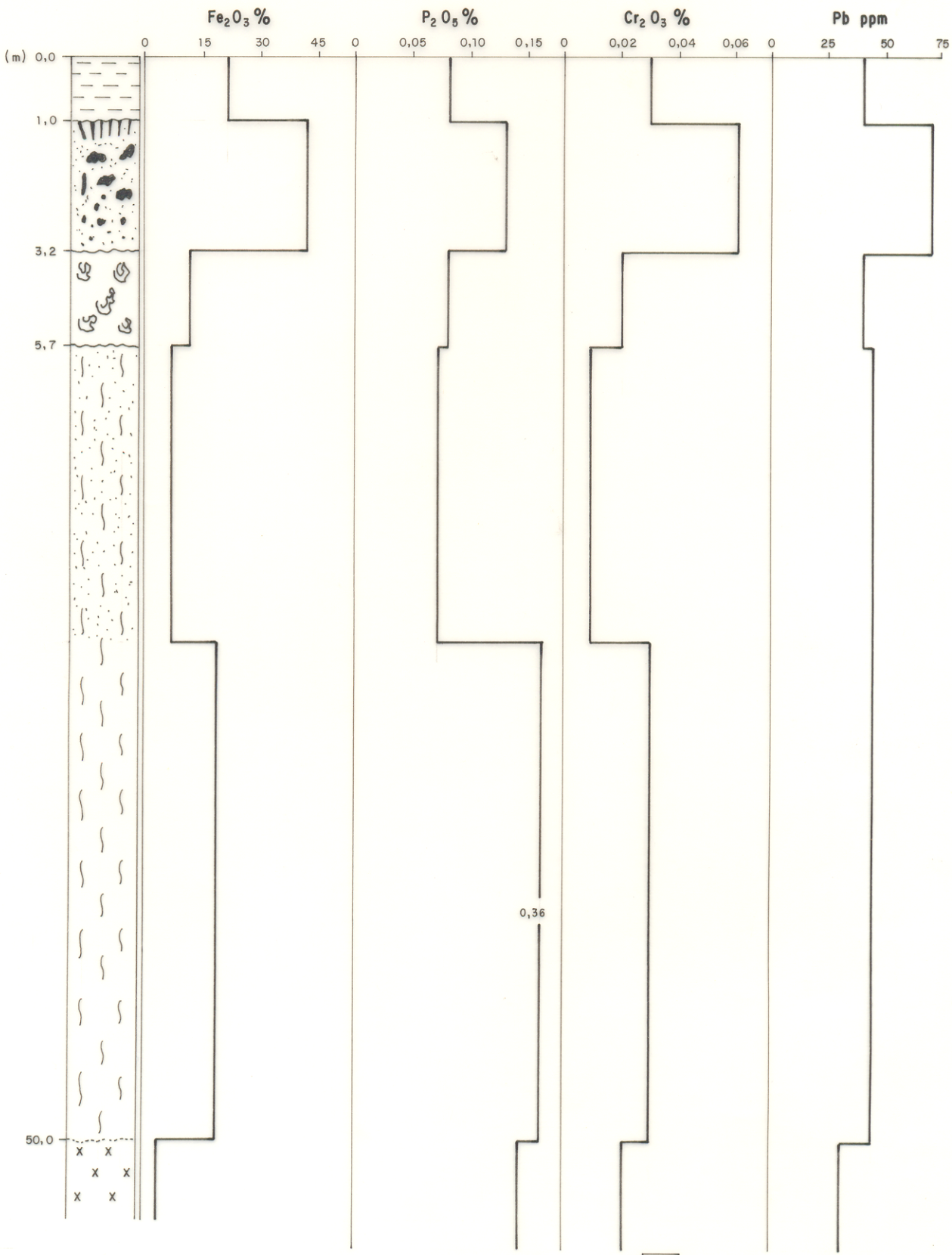


Fig.19 - Padrão de curva de distribuição para elementos traços e ferro.

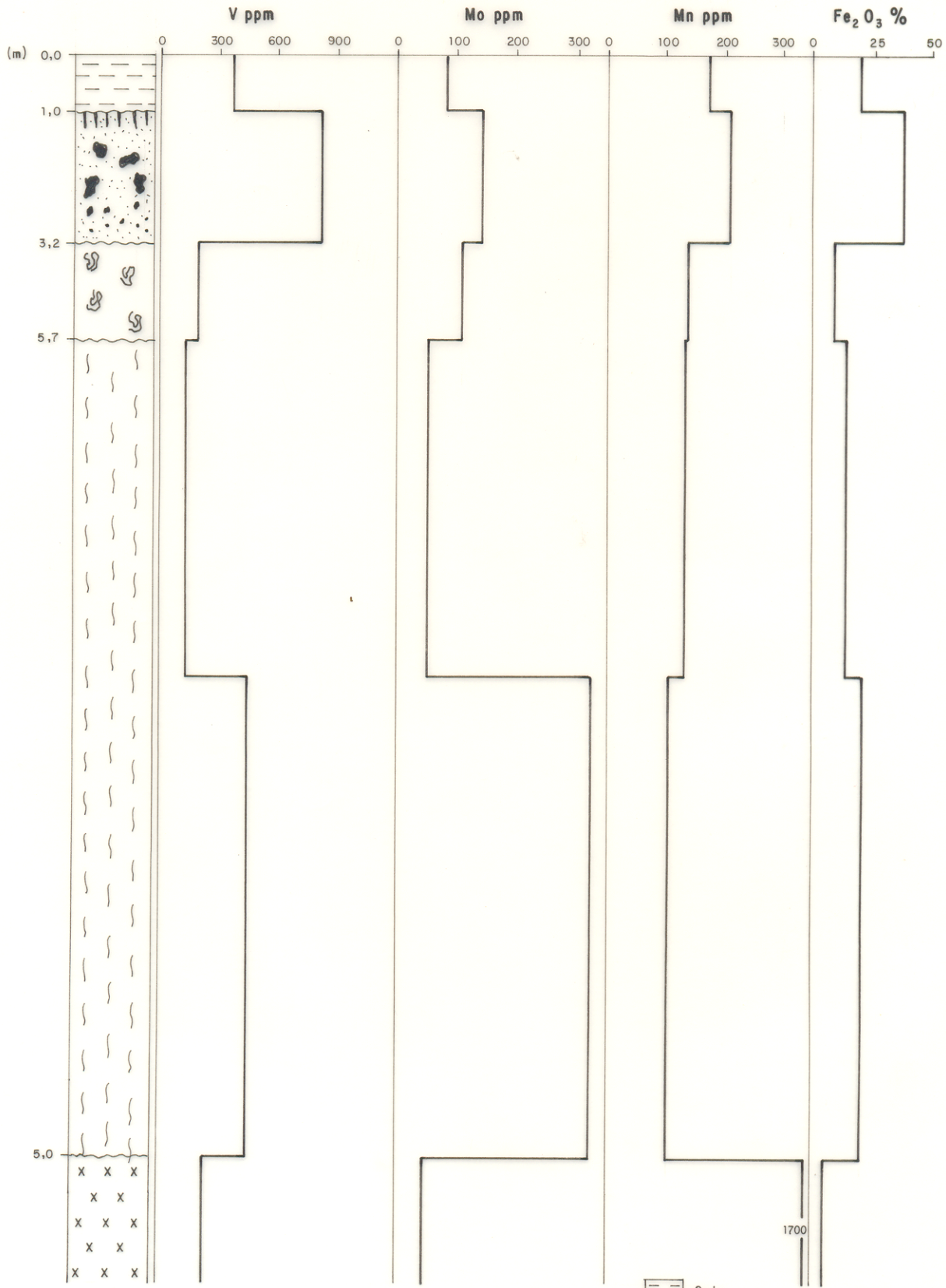


Fig. 20 - Distribuição de metais base ao longo do perfil laterítico.

evoluindo para 62 à 320 ppm no horizonte argiloso saprolítico, de 36 à 300 ppm nos horizontes aluminoso, ferruginoso e no solo, isto sugere que este comportamento esteja relacionado a mineralização de ouro na rocha primária e nos lateritos. Os altos valores obtidos para o horizonte aluminoso e ferruginoso sugerem uma possível associação de Mo aos óxi-hidróxidos de Fe, enquanto que a sua presença na base do saprólito pode estar vinculada a presença de molibdenita (inferida) enclausurada em quartzo de veios e de mobilizados graníticos que estão parcialmente preservados neste horizonte do perfil de alteração. Outro fato importante diz respeito a sua média nos solos que é de 2.0 ppm conforme Wedepohl (1970), enquanto que o valor médio obtido para este horizonte, no Morro da Mina, atingiu 107 ppm, sugerindo que este elemento se encontra de fato em teores anômalos e associado a matéria orgânica/óxi-hidróxidos de Fe.

6.2.11 Gálio

O Gálio exibe uma leve tendência de enriquecimento no perfil (Fig.18), principalmente para o horizonte de solo e ferruginoso (média 70 ppm), enquanto que na rocha-mãe os teores são da ordem de 28 ppm, em um padrão normal para lateritos derivados de rochas alumino-silicatadas, com teores ligeiramente acima da média.

6.2.12 Vanádio

Mostra uma forte correlação com o Fe_2O_3, apresentando-se enriquecido principalmente no horizonte ferruginoso, evoluindo de 218 ppm na rocha-mãe para 803 ppm no referido horizonte,

sugerindo que este elemento encontra-se associado aos óxi-hidróxidos de Fe, dentro do espectro normal de lateritos.

6.2.13 Zircônio e Nióbio

Estes elementos apresentam comportamento similares entre si e análogo ao do TiO_2 ao longo do perfil. O Zr mostra um enriquecimento relativo para o topo do perfil (horizonte de solo) (Fig.18). O estudo mineralógico da fração menor que 63 μm, revelou quantidade significativa de zircão para as amostras de solo, indicando que a presença de Zr é devido a ocorrência de zircão como mineral resistato, o que é corroborado em outros perfis conforme dados de Schellmann (1986). O Nb embora com amostra geralmente exibindo teores inferiores a 20 ppm, apresenta uma correlação direta com o Zr, sugerindo que aquele metal esteja na estrutura do zircão reliquiar.

6.3 Razão dos Teores Horizonte/Rocha-mãe

A razão dos teores médios de cada horizonte em relação a respectiva concentração média no substrato (rocha-mãe) foi determinada com a finalidade de se obter o fator de "concentração" relativo (FC) que permite visualisar, o grau de depleção/enriquecimento de um referido elemento em relação a rocha-mãe.

Os elementos que apresentaram FC $<$ 0,04 foram Ca, Mg, Na e K, refletem o maior grau de depleção ao longo do perfil laterítico. Silício, Fe^{2+}, P, Mn, F e S mostraram FC $>$ 0,04 e exibindo uma mobilidade menor relativa. Alumínio, Ti, Cr, Pb, Ga, Nb, Sc e Zr apresentaram FC na faixa de 1 - 3, enquanto que Fe^{3+}, Mo e V

mostraram o maior grau de enriquecimento no perfil (FC) 3) (Tab. 06).

6.4 Matriz de Correlação

Visando facilitar uma análise de correlação dos elementos traços para cada horizonte do perfil e rocha-mãe, utilizou-se o programa estatístico "Statigraphs", através da metodologia de matriz de correlação.

A tabela 07 apresenta os principais pares de elementos que se correlacionam no perfil de alteração. As correlações mais significativas ocorrem no horizonte ferruginoso, onde os elementos se correlacionam positivamente com o Fe^{3+}, confirmando as conclusões obtidas para as curvas de distribuição e as tabelas de concentrações.

6.5 Geoquímica dos Elementos Terras Raras

De acordo com os resultados analíticos mostrados na tabela 08, os elementos terras raras (ETR), na rocha-mãe, bem como nos horizontes do perfil laterítico apresentam valores abaixo da média crustal conforme comparação com os dados de Kronberg et al. (1982).

Considerando-se o perfil de alteração, a partir da base do horizonte argiloso saprolítico, invariavelmente os teores médios que diminuem para o horizonte argiloso, aumentam característicamente em direção aos demais horizontes superiores. Com maior destaque para ETRL (La, Ce e Nd) e ETRP (Dy, Ho, Er e Lu). Estes fatos podem ser melhor visualizados através dos fatores de concentração (FC) da tabela 09. Lantânio

Tabela.06.Razão da concentração média dos componentes para cada horizonte em relação a rocha-mãe.

Horizonte	SiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	CaO	MgO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	BaO	MnO	CrO3	NiO	SO4	F	CO2
Solo	0.6	1.6	6.6	0.3	0.01	0.03	0.03	0.01	2.8	0.6	0.07	0.1	1.5	1.0	0.5	0.5	0.8
Ferruginoso	0.4	1.4	12.5	0.2	0.01	0.03	0.01	0.02	2.2	0.9	0.07	0.2	3.0	1.0	0.7	0.7	0.6
Aluminoso	0.8	1.9	3.4	0.1	0.01	0.03	0.01	0.04	1.4	0.6	0.07	0.1	1.0	1.0	0.5	0.6	0.4
Saprólito	0.8	1.6	4.6	0.1	0.01	0.03	0.01	0.04	1.9	1.4	0.07	0.1	1.0	1.0	0.6	0.4	0.2
Rocha	1.0	1.0	1.0	1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.0	1.0	1.00	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Horizonte	Cl	Pb	Cu	Ga	Mo	Nb	Sc	V	Y	Zr
Solo	0.7	1.5	0.86	2.4	2.1	2.7	1.7	1.6	0.06	2.8
Ferruginoso	2.6	1.0	2.5	2.5	4.0	1.8	1.9	3.7	0.06	1.6
Aluminoso	0.6	1.5	0.8	1.8	2.2	1.0	0.9	0.9	0.06	1.3
Saprólito	0.5	1.7	1.1	2.1	3.8	2.2	1.2	1.3	0.06	1.9
Rocha	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.00	1.0

Tabela 07 Elementos Traços que se correlacionam nos diferentes horizontes do perfil laterítico.

Horizonte	Correlacão Positiva	Correlacão Negativa
Solo	Cr - Cu Cr - Mn Fe - Ni Fe - Cr Mo - Cu	
Ferruginoso	Fe - Cr Fe - Cu Fe - Mo Fe - Au	
Aluminoso		
Argiloso	Mo - Cr	
Substrato	Cr - Ni Fe - Mn	Au - Fe Au - Mn

Tabela.08. Concentração dos ETR para os horizontes do perfil laterítico e substrato

Horizonte	Elementos Terras Raras										
	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
Solo	9.12	16.58	6.42	1.04	0.20	0.63	0.71	0.14	0.40	0.62	0.10
	10.01	18.63	6.89	1.13	0.22	0.82	0.77	0.16	0.46	0.15	0.10
	9.62	17.33	6.69	1.43	0.26	0.99	0.99	0.21	0.63	0.73	0.12
Ferruginoso	5.17	13.70	3.57	0.62	0.15	0.47	0.49	0.10	0.29	0.49	0.09
	6.98	13.16	5.07	1.06	0.20	0.67	0.58	0.13	0.39	0.38	0.08
Aluminoso	9.40	19.38	7.00	1.47	0.17	0.83	0.72	0.14	0.37	0.38	0.06
	4.88	10.05	3.62	0.81	0.17	0.55	0.67	0.15	0.48	0.52	0.09
Sap. Topo	7.49	16.27	5.07	0.79	0.13	0.54	0.50	0.10	0.28	0.36	0.07
Base	2.77	9.21	2.15	0.43	0.13	0.43	0.33	0.06	0.17	0.25	0.05
Mobilizado	23.96	11.01	8.32	1.02	0.18	0.48	0.35	0.07	0.18	0.18	0.04
Gnaisse	13.47	30.93	13.91	2.58	0.80	2.04	1.74	0.35	0.98	0.94	0.15
Tonalitico	21.72	44.98	17.34	3.03	0.70	2.36	1.75	0.34	0.88	1.11	0.20
	11.75	38.99	15.41	2.95	0.73	2.29	1.83	0.40	1.27	1.08	0.16
Media Crustal*	34.60	66.40	40.00	7.00	2.00	6.00	-----	1.00	3.50	3.00	-----

* Kronberg et al. (1982)

e Lu são os elementos que apresentam o maior FC, Eu o menor, ou seja o maior grau de empobrecimento relativo no perfil laterítico.

De um modo geral os teores dos ETR no perfil de alteração estão empobrecidos em relação a rocha primária. O horizonte laterítico que apresentou maior grau de depleção foi o argiloso saprolítico particularmente na sua parte basal, sugerindo que nesta porção os ETR são mais intensamente mobilizados.

O padrão dos ETR normalizados aos condritos está representado na figura 21. A rocha-mãe apresenta como característica básica uma curva quase linear, deplecionada em direção aos ETRP. Apenas uma amostra exibiu anomalia negativa em Eu. O mobilizado granítico saprolitizado apresentou uma forte anomalia negativa em Ce, talvez uma característica primária do próprio mobilizado. O saprólito apresenta anomalia positica de Ce em decorrência de uma mobilidade menor do que os demais elementos terras raras provavelmente se fixando nos óxi-hidróxidos de Fe e Mn. Anomalias positiva de Ce nos produtos de alteração intempérica foram observadas por Braun et al. (1990), Duddy (1980), Oliveira & Silva (1990) e Marsh (1991), entre outros.

O topo do saprólito, bem como os horizontes aluminoso, ferruginoso e de solo apresentam significativa anomalia negativa em Eu. No horizonte ferruginoso ocorre uma anomalia positiva para Ce, sugerindo a provável associção com óxi-hidróxidos de Fe. Conclui-se que as curvas normalizadas mostram maior depleção nos elementos intermediários e menor nos de extremos (La, Ce e

Tabela.09. Razão dos teores médios dos ETR para os diferentes horizontes do perfil de alteração em relação a rocha-mãe.

Horizonte	Elementos Terras Raras										
	Leves						Pesados				
	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
Solo	0.61	0.46	0.43	0.38	0.28	0.32	0.42	0.42	0.41	0.37	0.59
Ferruginoso	0.46	0.38	0.33	0.36	0.27	0.32	0.39	0.42	0.42	0.51	0.53
Aluminoso	0.46	0.38	0.34	0.40	0.23	0.31	0.39	0.42	0.40	0.43	0.41
Sap. Topo	0.48	0.42	0.33	0.28	0.17	0.24	0.28	0.28	0.27	0.35	0.44
Base Mob. Gran	0.18	0.24	0.14	0.15	0.17	0.19	0.18	0.17	0.16	0.24	0.32
Saprolit.	1.53	0.29	0.54	0.36	0.25	0.22	0.20	0.19	0.17	0.17	0.22
Rocha-mãe	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

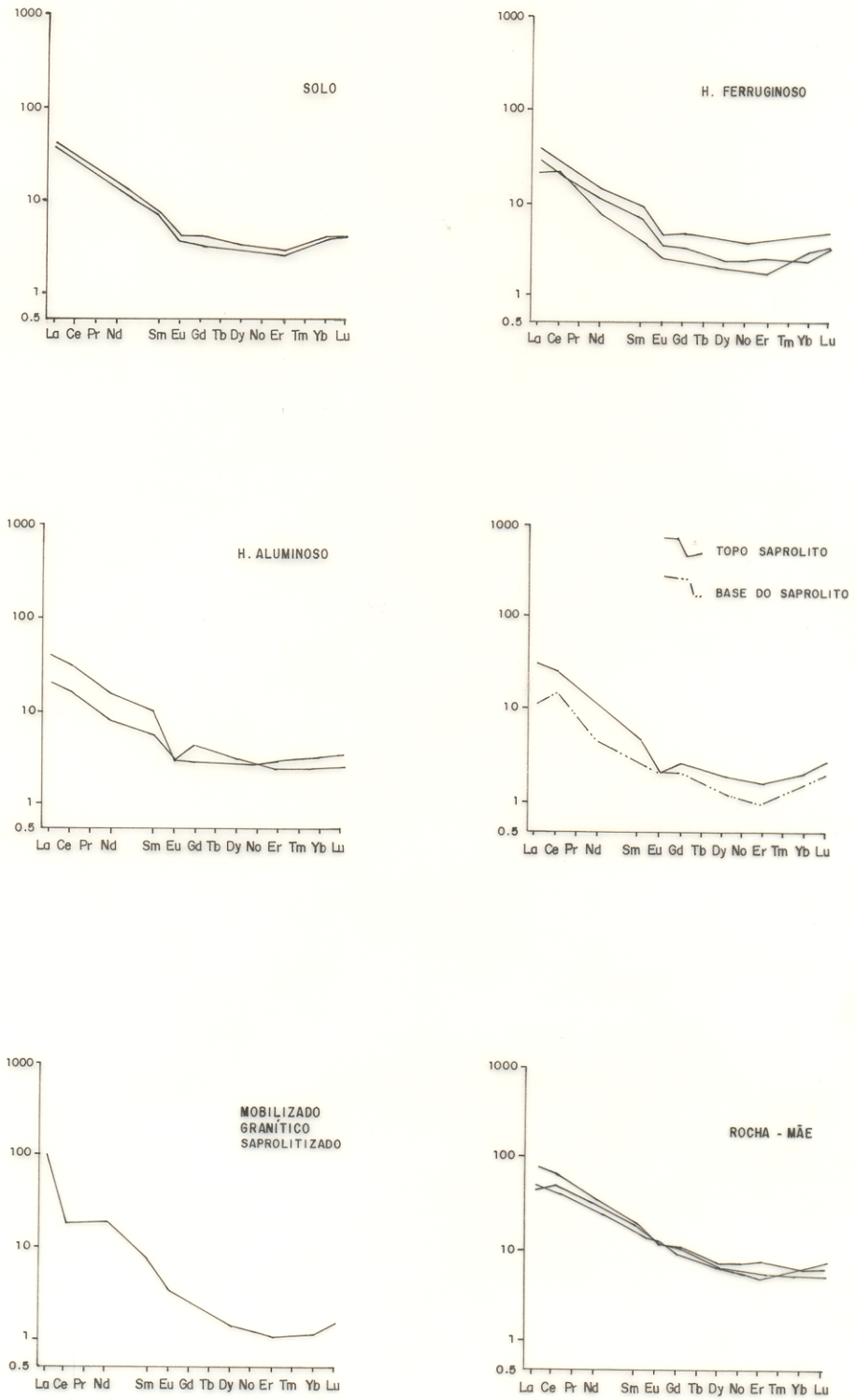


Fig. 21 - Distribuição de teores de ETR normalizados aos condritos, na Rocha-mãe e nos horizontes do perfil laterítico.

Lu).

As características apresentadas pelos componentes geoquímicos (padrão da curva de distribuição dos elementos maiores, menores, traços e ETR) refletem de maneira geral a atuação dos processos de lateritização ocorrentes na Amazônia durante o Cenozóico. Trabalhos como de Kronberg et al. (1979), Costa (1980), Oliveira e Schwab (1980), Oliveira et al. (1988), Horbe (1991) entre outros, obtiveram padrões de distribuição dos elementos análogos para diferentes ocorrências de lateritos na Amazônia.

7 COMPORTAMENTO DO OURO NO PERFIL LATERITICO DO MORRO DA MINA

7.1 Introdução

O crescente interesse mundial nos últimos anos pela ocorrência de ouro em lateritos é comprovado pelos inúmeros trabalhos publicados sobre este tema (Kaspar et al. 1972; Baker, 1978; Boyle, 1979; Evans, 1981; Bhaskara Rao et al., 1983; Bhaskara Rao, 1987 Mann, 1984; Santos, 1984; Smith & Keele, 1984; Webster & Mann, 1984; Wilson, 1984; Davy & El Ansary, 1986; Michel, 1987; Glasson et al., 1988; Butt, 1989; Davies et al., 1989; Freyssinet et al., 1989; Lecomte & Colin, 1989; Porto, 1991; Costa & Costa, 1991 entre outros).

7.2 Distribuição dos Teores de Ouro no Perfil Laterítico

7.2.1 Solo

Amostragem sistemática em malha de detalhe, mostrou que o ouro na área pesquisada (Morro da Mina) encontra-se distribuido amplamente no horizonte de solo (0,05 à 3,49 ppm). Entretanto não se obteve um halo bem definido da dispersão do ouro, devido principalmente ao fato de que a malha de detalhe foi locada diretamente sobre a mineralização onde os resultados geoquímicos apresentaram somente teores anômalos, não atingindo portanto o "background" da área em estudo (Fig. 22).

O ouro concentrado no solo localiza-se na sua porção mais superior, estando provavelmente associado em parte a camada rica em matéria orgânica. Este fato também foi observado por Kaspar et al. (1972), Baker (1978), Butt (1989) entre outros no horizonte de solo.

7.2.2 Horizonte Ferruginoso

Em geral o ouro tende a se concentrar nos horizontes superiores do perfil laterítico. O padrão da curva de

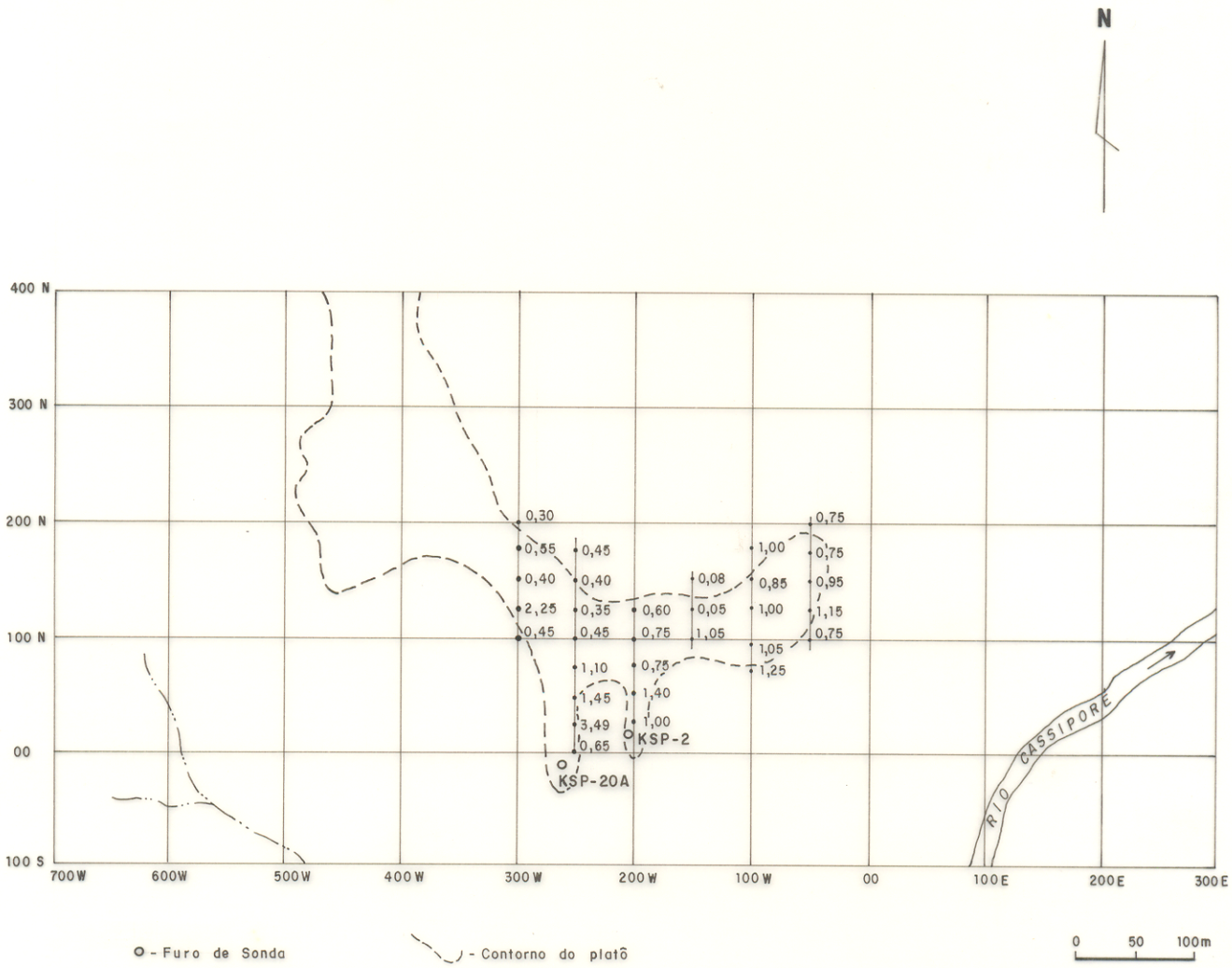


Fig. 22 - Distribuição dos teores de ouro no solo (ppm - amostra total) sobre a área mineralizada do Morro da Mina (Aba Sul do platô laterítico)

distribuição do ouro no perfil (Fig.23), mostra uma tendência de enriquecimento de ouro principalmente no horizonte ferruginoso concrecionário, onde os mais altos teores são encontrados no horizonte concrecionário ferruginoso de granulação fina (Fig.24). Enquanto que no horizonte concrecionário grosseiro ocorre teores inferiores ao fino, porém altos.

O ouro apresenta uma forte correlação positiva com o ferro (Tab.07), sugerindo sua associação aos óxi-hidróxidos de ferro.

7.2.3 Horizonte Aluminoso

Conforme mostra as curvas de distribuição, o ouro ainda exibe valores relativamente elevados para o horizonte aluminoso, no entanto existe uma tendência de atenuação dos teores em relação ao horizonte ferruginoso. O Au provavelmente está associado aos hidróxidos de Al, e/ou aos óxi-hidróxidos de Fe que estão distribuidos de maneira esparsa neste horizonte. De acordo com os resultados geoquímicos obtidos, o horizonte aluminoso também mostrou-se como um bom indicador na prospecção de anomalias auríferas.

7.2.4 Horizonte Argiloso

O padrão da curva de distribuição indica que ocorre uma forte diminuição dos teores de Au ouro no horizonte argiloso, principalmente na sua porção superior, enquanto que para a base eventualmente ocorrem valores elevados (Fig. 25).

Baixos teores para Au no horizonte argiloso conforme mostrado pelo padrão da curva, sugere uma tendência de dissolução do ouro neste horizonte. Os teores anômalos que eventualmente ocorrem na base do perfil laterítico, provavelmente estão relacionados ao

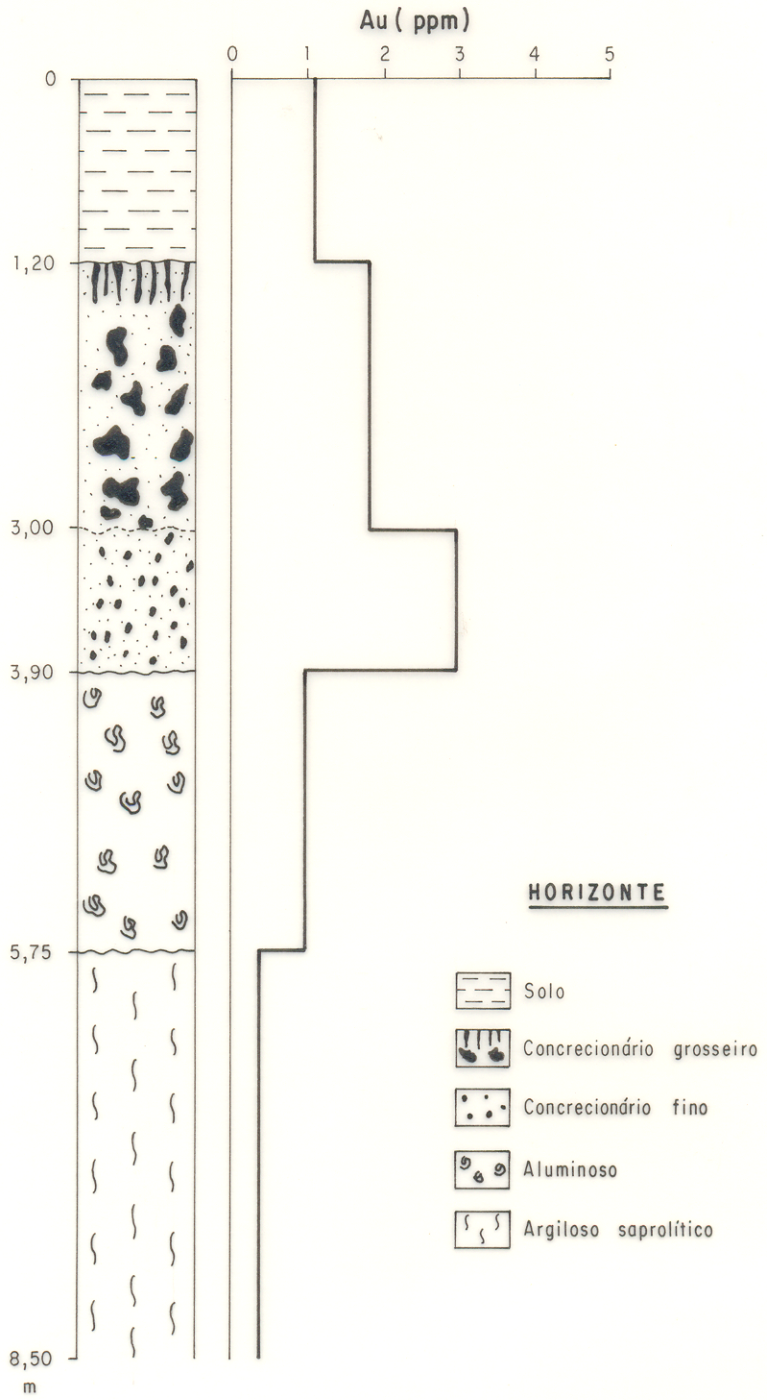


Fig. 23 - Padrão da curva de distribuição do ouro ao longo dos diferentes horizontes do perfil laterítico.

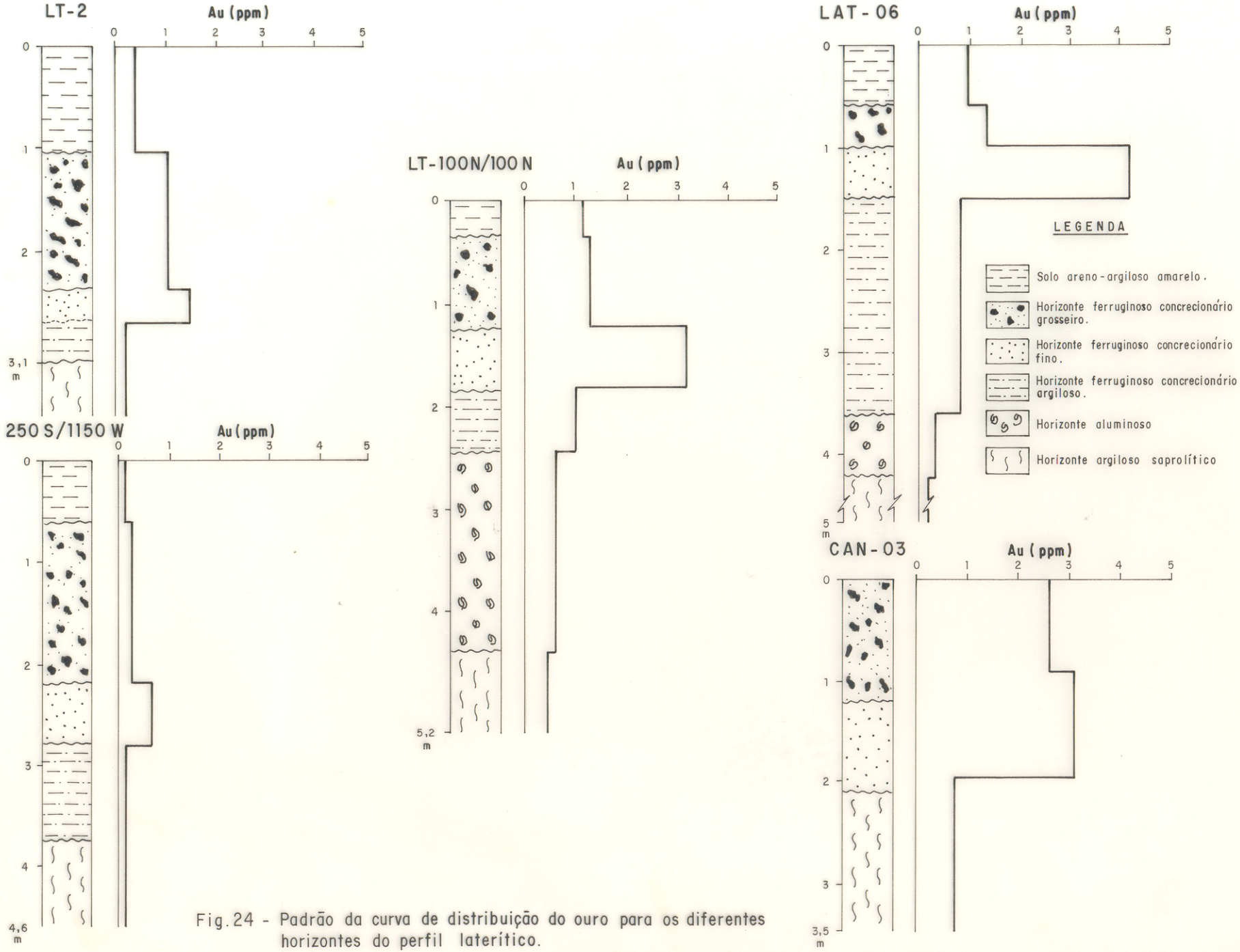


Fig. 24 - Padrão da curva de distribuição do ouro para os diferentes horizontes do perfil laterítico.

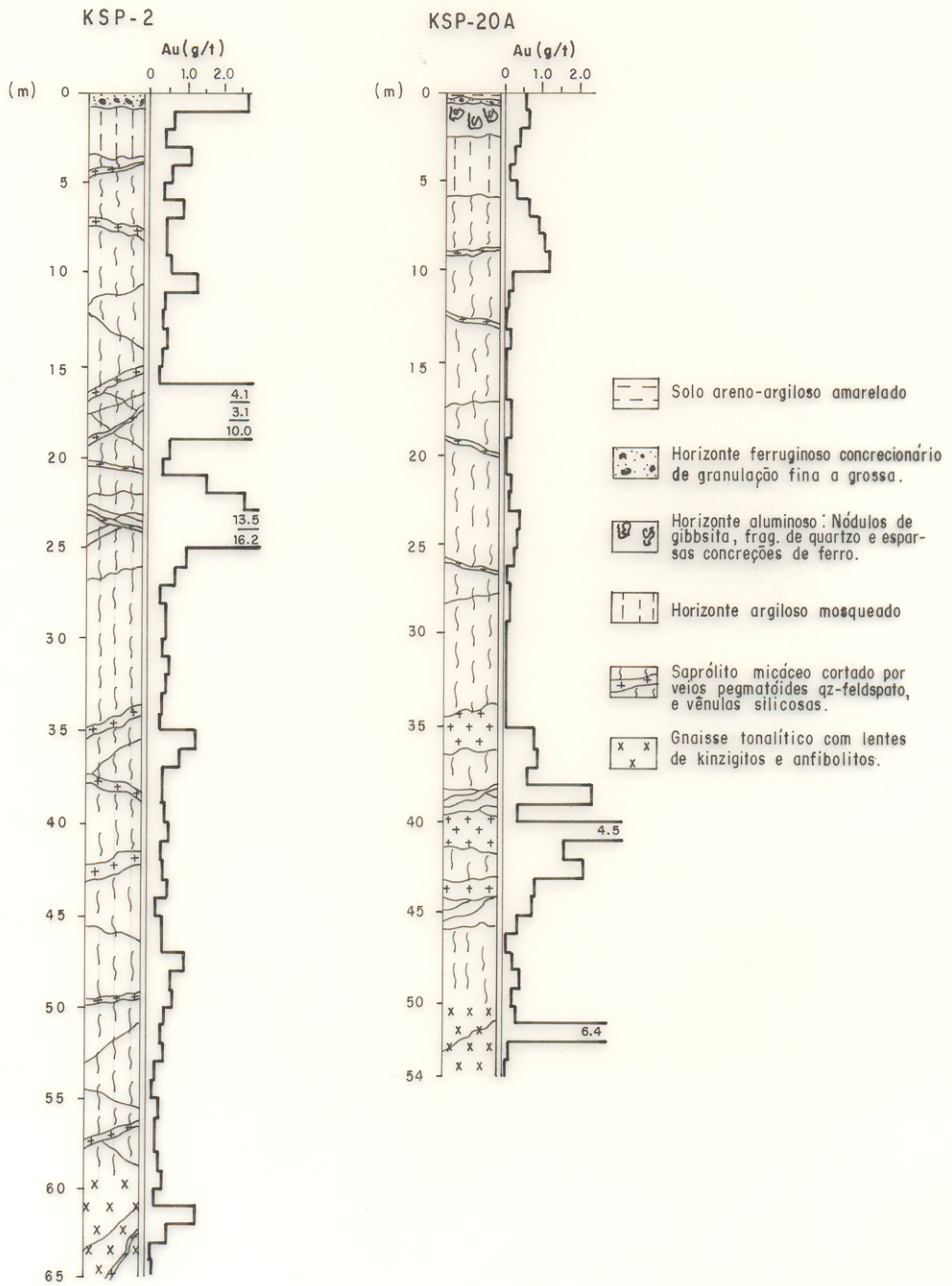


Fig. 25 - Distribuição dos teores de ouro desde o substrato até o horizonte de solo. Parte dos resultados foram cedidos pela Mineração Taboca S.A.

ouro primário enclausurado nos veios de quartzo condicionados às zonas de cisalhamento que estão parcialmente preservadas a partir do nível intermediário para a base do horizonte argiloso (Fig.25).

7.3 Distribuição nas Frações Granulométricas

Os resultados analíticos para ouro nas diferentes frações granulométricas, mostraram que para a malha de solo, a granulometria que apresentou menor dispersão dos seus teores em relação as outras granulometrias foi a fração 500-250 μm conforme a tabela 10. Apenas em duas amostras desta fração ocorreram valores anômalos atribuídos ao efeito pepita, os quais foram excluídos da análise estatística. Para esta mesma fração, nas amostras dos diferentes horizontes em perfis, esta uniformidade foi constatada apenas no horizonte argiloso saprolítico (Tab.11). A regularidade observada nesta fração (500 - 250 μm) para o horizonte de solo, está em função do seu constante percentual mineralógico que corresponde a cerca de 54% de fragmentos de quartzo, 30% de concreções ferruginosos e 16% de gibbsita nodular.

A fração mais fina (menor que 63 μm), que corresponde a 70% da amostra do horizonte de solo, atingiu valores medianos de 0.88 ppm, apresentou grande regularidade em relação a dispersão na própria fração e o menor desvio em relação ao resultado analítico obtido para rocha in natura (Amostra Total), conforme mostra a figura 26. Esta regularidade não é preservada para os demais horizontes, onde esta fração corresponde apenas cerca de 30% da amostra. Histogramas para a distribuição do ouro nas diferentes frações granulométricas no horizonte de solo, são

TABELA 10. CONCENTRAÇÕES DE OURO EM SOLO PARA FRAÇÕES GRANULOMETRICAS E AMOSTRA TOTAL. RESULTADOS EM PPM.

Amostra	) 500	500 -250	250 - 125	125 - 63(um)	(63	R.T.
SO - 01	1.60	0.30	0.25	3.45	1.15	0.75
SO - 02	2.80	0.60	0.35	4.35	1.00	1.15
SO - 03	1.80	0.35	0.30	5.40	1.20	0.95
SO - 04	1.30	0.25	0.10	0.15	1.50	0.75
SO - 05	1.50	0.30	0.20	5.00	0.75	0.75
SO - 06	0.90	0.40	0.25	0.20	0.85	1.00
SO - 07	1.35	0.35	0.35	0.45	1.10	0.85
SO - 08	2.00	0.55	0.25	2.70	1.15	1.00
SO - 09	1.25	0.55	0.80	4.40	1.80	1.05
SO - 10	2.65	0.50	0.55	0.40	1.50	1.25
SO - 11	1.15	0.30	0.30	0.50	1.00	1.05
SO - 12	0.35	0.15	8.70	0.15	0.75	0.05
SO - 13	1.15	0.25	0.25	3.20	0.65	0.08
SO - 14	2.05	0.15	0.30	0.40	1.60	1.00
SO - 15	1.20	0.20	6.65	0.45	0.90	1.40
SO - 16	1.35	0.30	0.30	0.30	1.00	0.75
SO - 17	1.75	* 51.55	0.40	0.15	0.75	0.75
SO - 18	1.35	0.40	0.25	2.10	1.00	0.60
SO - 19	* 127.10	* 112.05	* 30.30	* 45.00	* 9.20	0.45
SO - 20	0.50	0.15	0.15	3.40	0.40	0.40
SO - 21	0.40	0.15	0.10	6.05	1.20	0.35
SO - 22	0.35	0.30	0.20	0.60	0.15	0.45
SO - 23	1.65	0.40	0.30	xxxx	0.65	1.10
SO - 24	0.90	0.50	0.25	0.20	0.60	1.45
SO - 25	2.00	1.10	5.10	4.25	3.05	3.49
SO - 26	0.85	0.15	0.10	1.60	0.80	0.65
SO - 27	0.90	0.15	* (0.05	0.05	0.30	0.30
SO - 28	0.25	0.10	0.10	* (0.05	0.60	0.55
SO - 29	0.70	0.15	0.15	5.30	0.65	0.40
SO - 30	0.45	0.25	0.15	1.00	0.60	2.25
SO - 31	0.80	0.15	0.15	0.10	0.60	0.45
Media	1.24	0.33	0.94	2.01	0.98	0.89
Mediana	1.23	0.30	0.25	0.80	0.88	0.75
Moda	0.90	0.15	0.25	0.15	0.60	0.75
M. Geom.	1.05	0.28	0.33	0.90	0.85	0.68
Variancia	0.44	0.04	4.38	4.17	0.30	0.43
D. Padrao	0.66	0.21	2.09	2.04	0.55	0.66
E. Padrao	0.12	0.04	0.39	0.39	0.01	0.12
Minimo	0.25	0.10	0.10	0.05	0.15	0.05
Maximo	2.80	1.10	8.70	6.05	3.05	3.49

* valores excluídos (efeito pepita) ou abaixo do limite de detecção
xxxx Insuficiente para analise.

TABELA 11.CONCENTRAÇÕES DE OURO NAS FRAÇÕES GRANULOMETRICAS PARA OS DIFE-
DIFERENTES HORIZONTES DO PERFIL. RESULTADOS EM PPM.

HORIZONTE	> 500	500 - 250	250 - 125	125 - 63	< 63	R.T.
SOLO	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.15
ARGILOSO	0.05	< 0.05	< 0.05	0.70	0.20	0.15
	0.15	0.30	0.30	0.05	0.15	0.15
CONCRECIONARIO	0.35	0.15	0.05	< 0.05	0.15	0.30
FERRUGINOSO	1.35	0.50	0.50	0.15	0.80	1.45
	0.15	0.30	0.30	0.05	0.15	2.80
	0.40	0.20	0.15	0.15	0.15	0.25
ALUMINOSO	0.40	0.70	0.90	0.80	0.85	0.90
	2.20	0.35	0.35	0.30	0.60	1.60
SAPROLITO	< 0.05	< 0.05	4.35	0.15	3.80	0.15
TOPO	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.10
	0.70	0.40	2.90	1.20	0.85	0.95
	0.10	< 0.05	0.10	0.10	0.60	0.30
BASE	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.05
	0.15	< 0.05	< 0.05	0.45	0.30	0.20

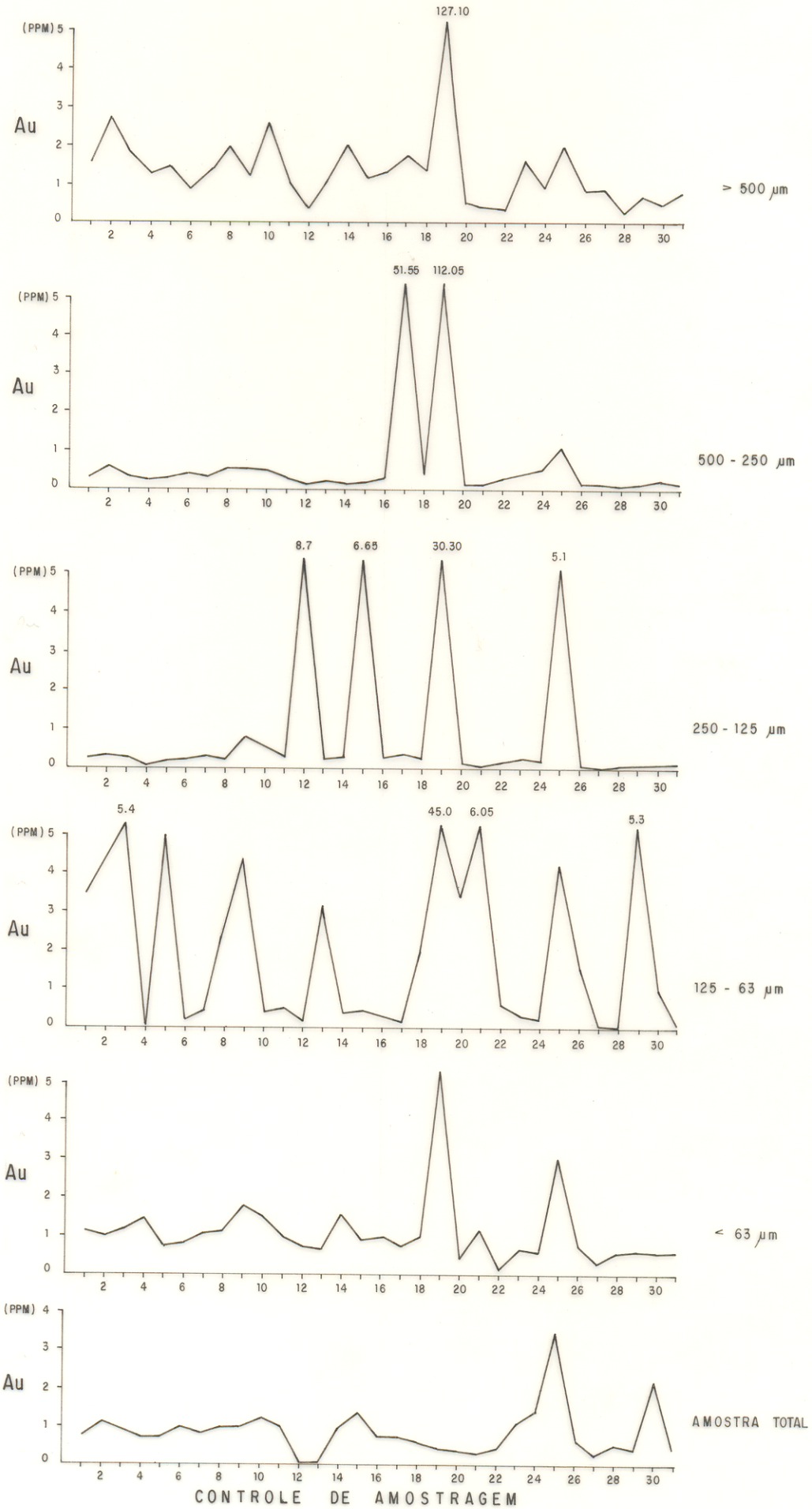


Fig. 26 - Concentração de ouro em solo para as diferentes frações e amostra total. A fração <63µm tende a refletir as mesmas concentrações obtidas para rocha "in natura" (amostra total).

mostrados na figura 27. O histograma obtido para a fração (63 μm é semelhante ao obtido para amostra total, refletindo novamente que para o horizonte de solo, a fração fina corresponde a quase totalidade da amostra total.

As frações maior que 500 μm, 250-125 μm e 125-63 μm indicamgrande dispersão nos seus resultados para todos os horizontes, com teores variando de menor que 0.05 ppm (limite de detecção) a valores esporádicos tais como 127 ppm (Fig.26). Estes valores muito anômalos são, provavelmente, provocados pelo efeito pepita. Este efeito parece ser atenuado em direção às frações mais finas, conforme sugere o resultado analítico obtido para uma amostra do horizonte de solo (Tab. 10).

A figura 28 mostra a curva de distribuição do ouro no perfil para as diferentes frações granulométricas. Genericamente observa-se que as curvas obtidas mostraram que, também nas frações granulométricas o Au tende a enriquecer na crosta ferro-aluminosa.Localmente observa-se nas frações 250-125 μm e 125-63 μm uma inversão parcial da curva de distribuição (Fig.28A), sugerindo tratar-se de ouro enclausurado nos fragmentos de quartzo pertencentes aos veios mineralizados que estão raramente preservados nos horizontes superiores ou ainda ao efeito pepita para a amostra analisada.

7.4 Granulometria e Morfologia

As partículas de ouro do horizonte de solo, estão abaixo da granulometria (63 μm. Estas partículas geralmente se apresentam como delgadas plaquetas alongadas ou achatadas com tamanhos em torno de 40 μm (Fig. 29).

Nos horizontes ferruginoso, concrecionário e aluminoso, as

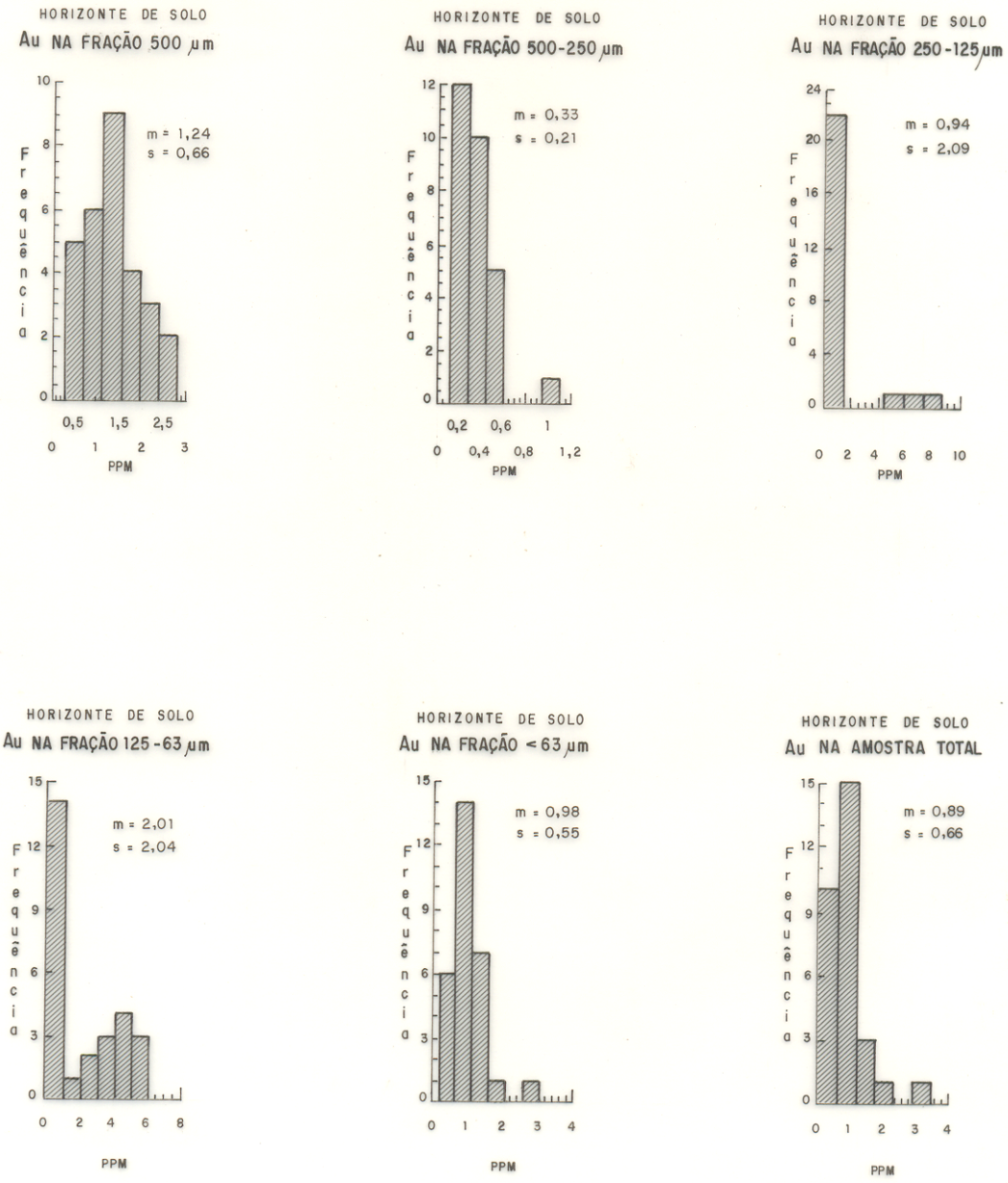


Fig. 27 - Histograma de distribuição de ouro nas diferentes frações granulométricas e amostra total de solos.

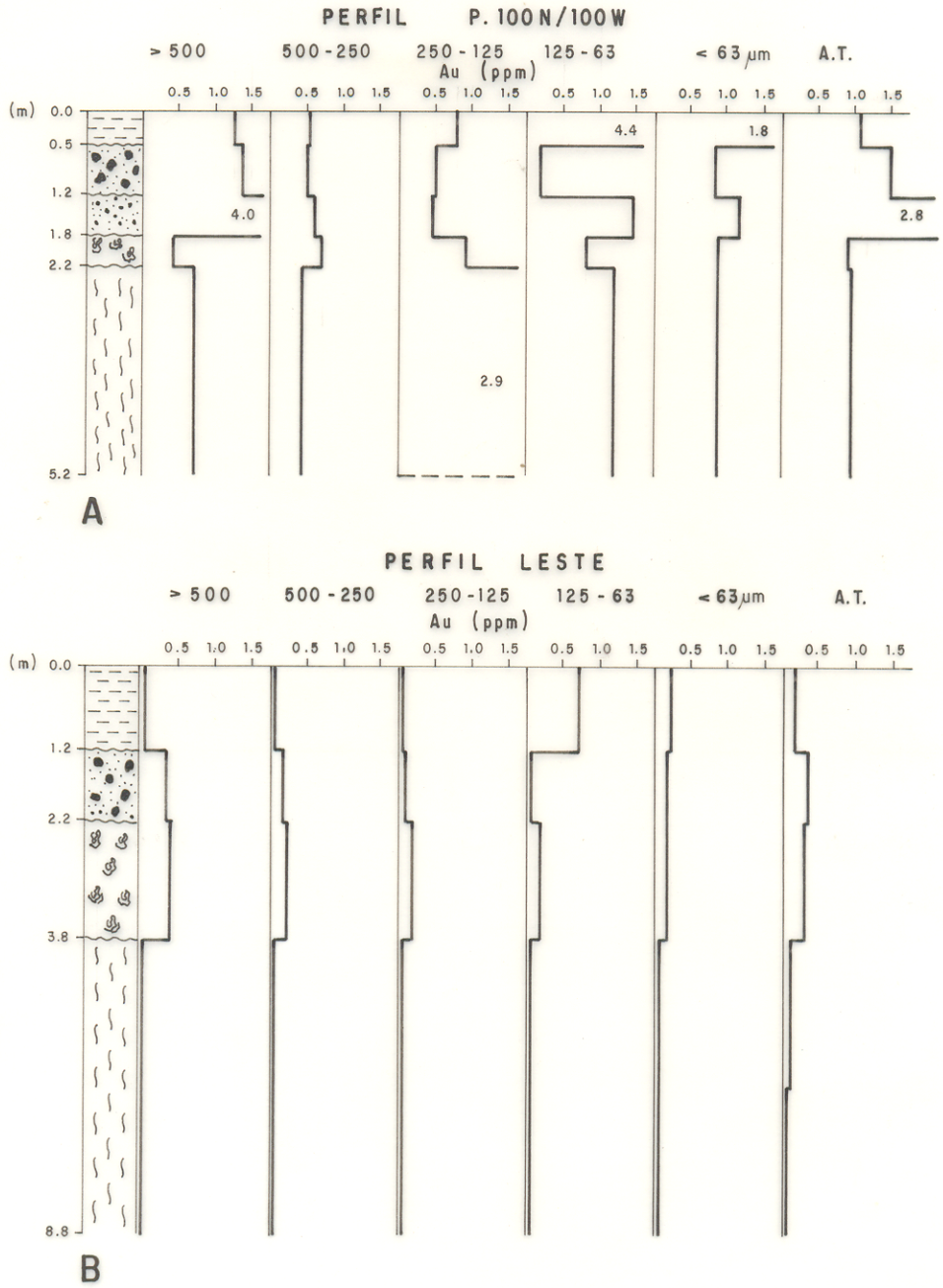
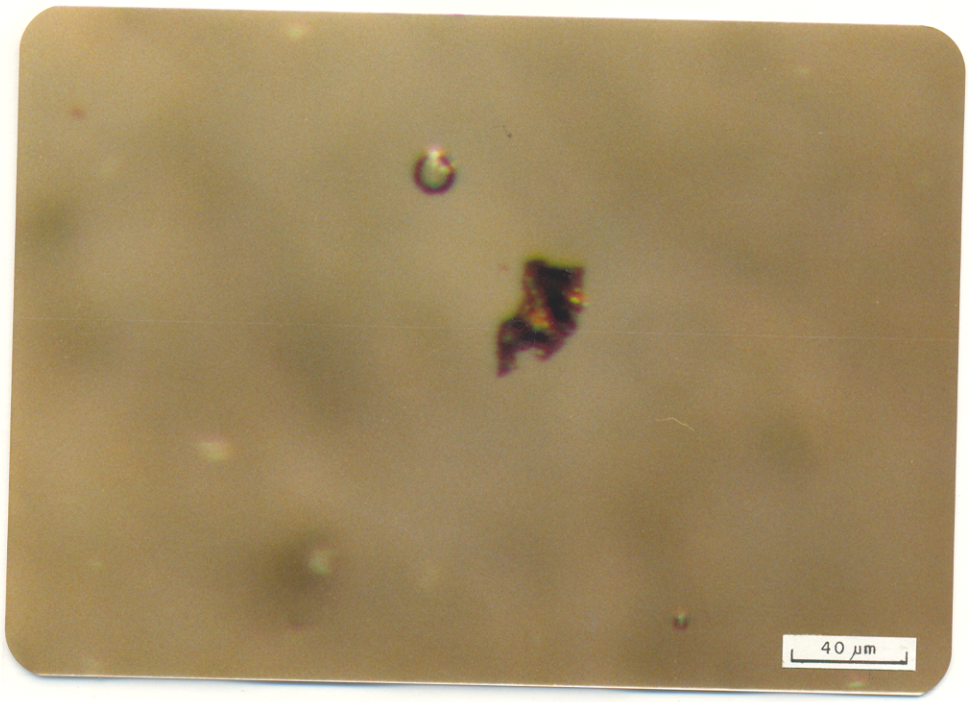
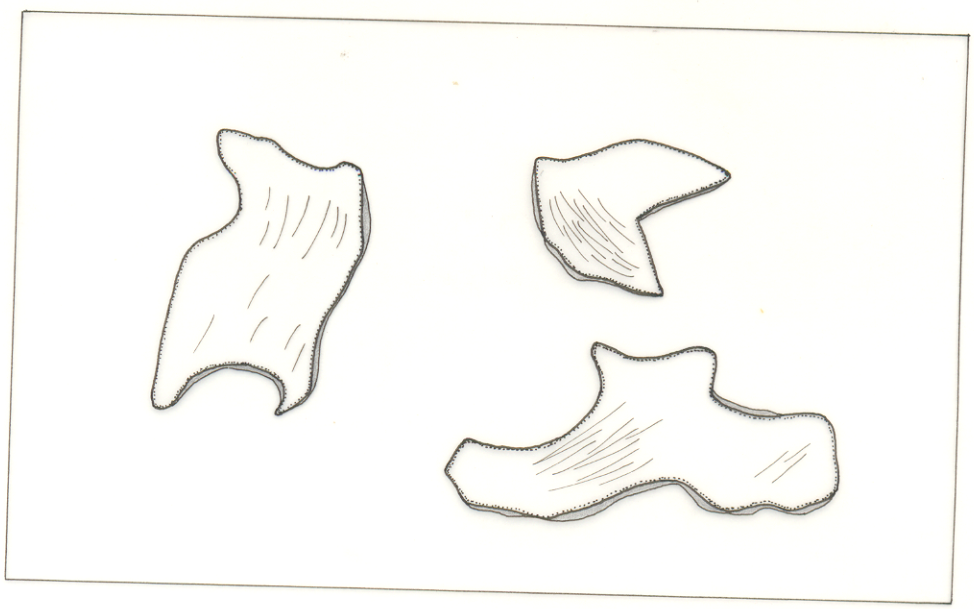


Fig. 28 - Distribuição do ouro nas diferentes frações granulométricas e amostra total (A.T.).



A



B

Fig. 29 - **A**) Delgada plaqueta de ouro pertencente ao horizonte de solo. **B**) Desenho esquemático para a morfologia das partículas de ouro que ocorrem no horizonte de solo

partículas de ouro encontram-se de forma granular relativamente grosseira, sem exibirem morfologia característica. Em geral são partículas com diferentes formas e tamanhos (Figs.30 e 31). Apresentam-se em pequenas pepitas parcialmente facetadas, ou formas arredondadas ou ainda xenomórficas de contornos irregulares com uma superfície de aspecto poroso. Mais raramente ocorrem em delgadas plaquetas.

Uma pequena partícula de ouro recuperada do horizonte argiloso saprolítico, encontra-se intercrescida com quartzo, sugerindo que o ouro recuperado a partir deste horizonte está associado aos veios de quartzo parcialmente preservados no referido horizonte. As partículas do horizonte argiloso dominantemente apresentam formato granular, faces planas, guardando em parte suas feições originais, de quando estavam presentes nos veios quartzosos. A granulometria tende a ser mais fina que em relação aos horizontes sotopostos, mostrando tamanhos em torno de 75 μm de diâmetro maior (Fig. 32).

7.5 Geoquímica das Partículas

A composição química das partículas de ouro encontradas nos horizontes do perfil laterítico, foi obtida por microscopia eletrônica de varredura/sistema de energia dispersiva . A tabela 12 mostra os elementos que estão associados ao ouro nativo nestes horizontes, bem como o grau de pureza das partículas de ouro. Nos horizontes de solo, ferruginoso e aluminoso estas partículas apresentam um alto grau de pureza e praticamente livre de outros elementos químicos, enquanto que no horizonte argiloso saprolítico os grãos possuem um grau de pureza menor, onde estão associados Ag, além de Pd, Pt, Zn e Ir.

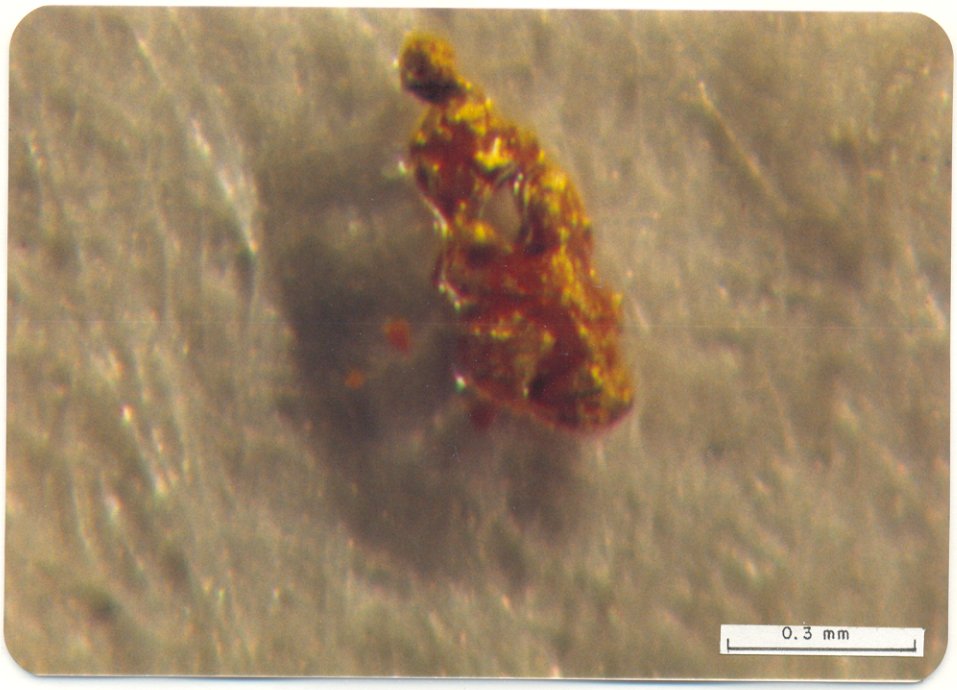
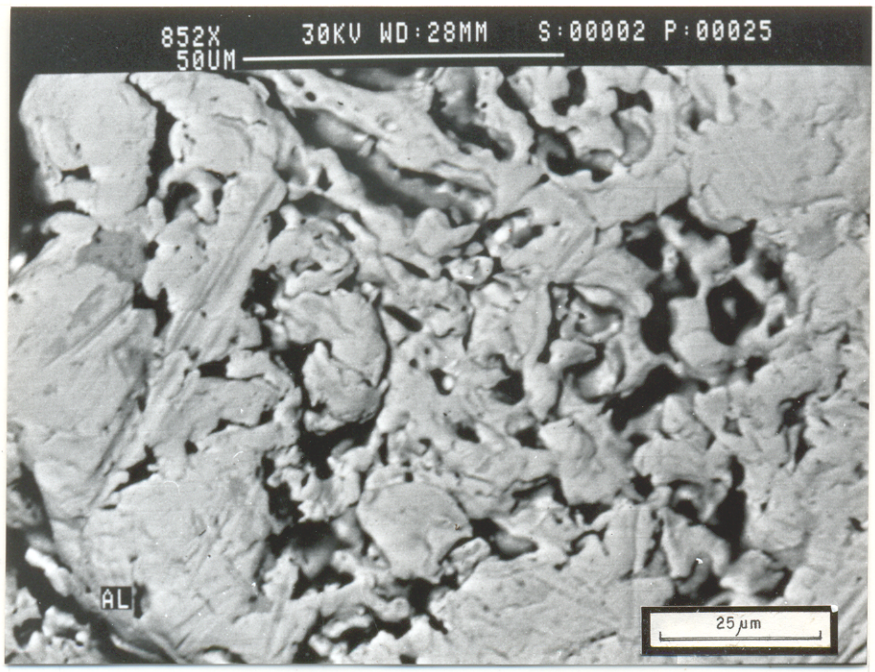


Fig. 30 - Pepita pertencente ao horizonte ferruginoso. Forma granular alongada exibindo uma cavidade interna, sugestiva de contra-molde de mineral pretérito.

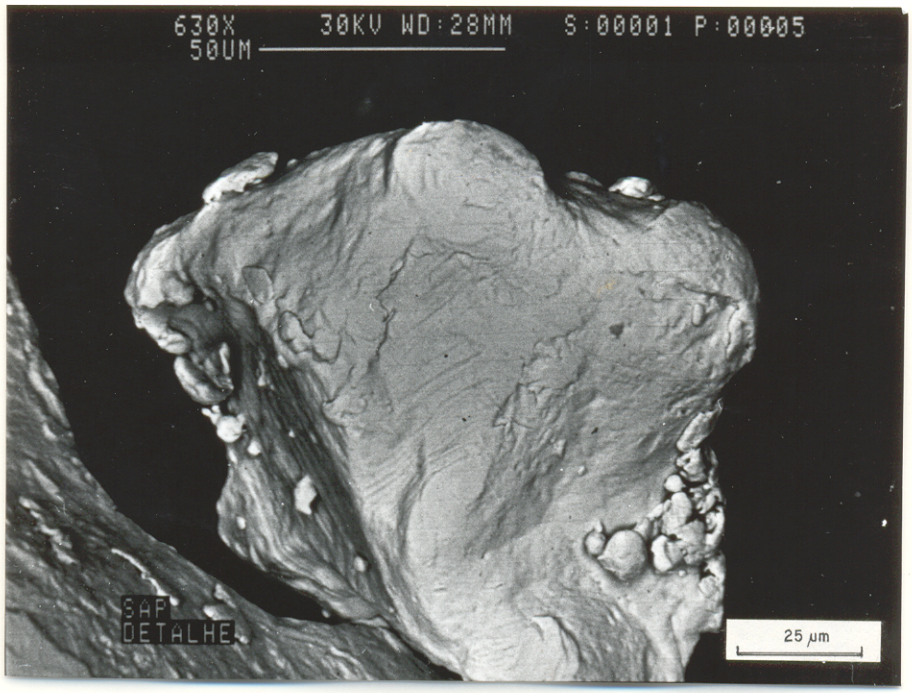


A

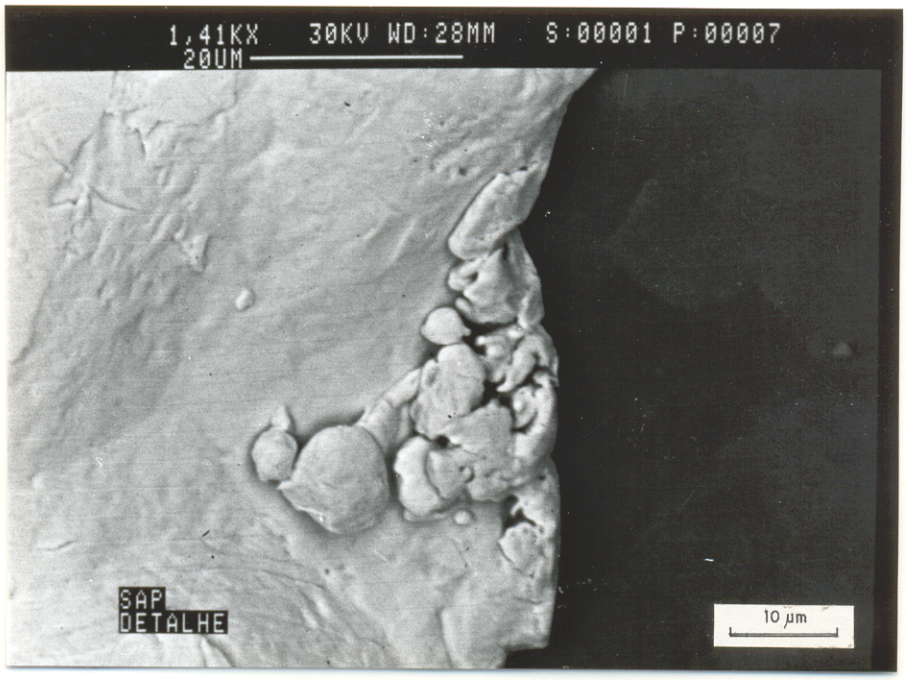


B

Fig. 31 - A) Fotomicrografia sob microscópio eletrônico. Partícula de ouro de formato "arredondado" pertencente ao horizonte aluminoso. B) Detalhe de textura microesponjosa da partícula acima.



A



B

Fig. 32 - **A**) Fotomicrografia sob microscópio eletrônico. Partícula de ouro com aspecto facetado (remanescente da feição cristalina). Base do horizonte argiloso saprolítico. **B**) Detalhe da superficie da partícula acima, mostrando agregados de subgrãos de ouro.

Tabela 12. Composição química das partículas de ouro para os horizontes do perfil laterítico. Percentual em peso. Pureza = Aux1000/Au+Ag

Horizonte	Au	Fe	Ag	Pd	Pt	Zn	Ir	Pureza
Solo	100							1000
Ferruginoso	98.14	1.86						1000
Aluminoso	100							1000
	100							1000
Argiloso	85.84		1.18	7.03	4.47	0.24	1.49	986
Saprolítico	92.11		1.20	5.47		0.66		987
	85.97		2.98	4.45				966

7.6 Evidências de Mobilização no Perfil Laterítico

Para a área em estudo o ouro primário existente na rocha do substrato está associado principalmente a pirita e calcopirita e em menor proporção a cobaltita e minerais do grupo da saflorita. Na crosta ferro-aluminosa ocorre como ouro nativo em pequenas pepitas exibindo alto grau de pureza, sugerindo processo de dissolução, mobilização e reprecipitação com formação de diminutas pepitas para os horizontes superiores do perfil laterítico.

Uma das evidências de mobilização do ouro é a formação de pepitas relativamente desenvolvidas (ouro granular) na crosta ferro-aluminosa, enquanto que para o substrato, o ouro ocorre em partículas submicroscópicas associadas aos sulfetos. A morfologia das partículas dos horizontes superiores tais como: formas "arredondadas" de aspecto poroso, delgadas plaquetas também sugerem processos de mobilização e formação de pepita no perfil laterítico para a área em estudo.

7.7 Provável Mecanismo de Transporte e Reprecipitação

Os possíveis mecanismos responsáveis pela migração do ouro durante a evolução do perfil de alteração, resultante da instalação de processos de lateritização sobre rochas que contenham mineralizações auríferas primárias são discutidos por autores como Mann (1984), Wilson (1984), Stoffregen (1986) Butt (1989), Freyssinet et al. (1989), Machesky et al. (1991) e outros.

A dispersão do ouro no perfil laterítico é provocada pela migração do ouro em solução, ou na forma coloidal (Butt, 1989), ou complexado por ácidos húmicos (Baker, 1978)

originados pela decomposição da matéria orgânica no horizonte de solo, devido as seguintes reações:

- dissolução em condições levemente ácidas à neutra.

$$Au^{o} + H^{+} + \text{ac. orgânico} + O_2 = Au[\text{humato}]^{3+} + H_2O \qquad (A)$$

- reprecipitação por oxi/redução

$$Au[\text{humato}]^{3+} + Fe^{2+} = \underset{\text{(ouro fino)}}{Au^{o}} + \text{ac. orgânico} + Fe^{3+} \qquad (B)$$

Os valores de pH (5,3) indicam que os materiais, principalmente nas porções superiores do perfil, exibem uma ambiência moderadamente ácida e com concentração relativamente alta de sulfatos (média 2315 ppm), refletindo a influência da paragênese de sulfetos, arsenietos e sulfo-arsenietos na rocha primária. A concentração de cloreto é relativamente baixa (25 ppm), indicando a ausência de consideráveis fontes primárias para este elemento, o qual é atribuído como um dos responsáveis pela mobilização do ouro na forma de cloreto áurico (Krauskopf, 1951; Cloke & Kelly, 1964; Lakin et al., 1974; Mann, 1984; Machesky et al., 1991; etc.), muito embora não seja necessária grande concentração de Cl^{-}, tendo em vista que a concentração de Au é da ordem de unidades de ppm.

De acordo com os dados obtidos, e devido a presença da paragênese sulfetada a qual seria responsável pelo suprimento de enxofre (S), sugere-se neste estudo que o mais provável mecanismo responsável pela mobilização do ouro, atuando como potencial ligante tenha sido a espécie de thiosulfato de ($S_2O_3^{2-}$), em concentração relativamente elevada, produzida pela oxidação dos sulfetos primários, associados ao ouro hipogênico.

Conforme Boyle (1979), Wilson (1984), Webster & Mann (1984) e outros, este complexo aniônico pode formar complexos solúveis com ouro e prata. De acordo com Plyusnin et al. (1981) os principais componentes, provavelmente formados através da oxidação da pirita, que são capazes de transportar o ouro no estado dissolvido são sulfatos, sulfitos e thiosulfatos Entretanto, dados experimentais (Plyusnin et al., 1981) demonstraram que os complexos de thiosulfatos são os que apresentaram maior atividade no transporte de ouro, sendo estes complexos razoavelmente estáveis na ausência de forte agente oxidante, e podendo transportar o ouro por considerável distância.

Os complexos de thiosulfato são instáveis em ambiente ácido. Consequentemente são transformados em sulfatos (reação E). O complexo de thiosulfato áurico é decomposto liberando o ouro na forma iônica. Este é precipitado pela reação de oxi-redução associado aos óxi-hidróxidos de Fe (Butt, 1989). (reação F).

Na presença de sulfetos como pirita, ocorrem as seguintes reações (Butt, 1989):

- oxidação da pirita em meio moderadamente ácido a alcalino

$$2FeS_2 + 3O_2 = 2Fe^{2+} + 2S_2O_3^{2-} \quad (C)$$

- dissolução do ouro primário

$$Au^{\circ} + 2S_2O_3^{2-} = Au(S_2O_3)_2^{3-} \quad (D)$$

- liberação do ouro a partir do complexo e sua reprecipitação em meio relativamente ácido, associado a óxi-hidróxidos de Fe.

$$2\,Au(S_2O_3)^{3-} + 2H^{+} = 2Au^{+} + 4S^{\circ} + SO_4^{2-} + H_2O \quad (E)$$

$$Au^{+} + Fe^{2+} + 2H_2O = Au^{\circ} + FeO(OH) + 3H^{+} \quad (F)$$

95

Outro provável complexo para a mobilização do ouro primário com consequente precipitação em ambiente oxidante pode ser o íon cloreto (Webster & Mann, 1984) por meio das seguintes reações:

- mobilização

$$2\ Au^{\circ} + 8\ Cl^{-} + 3/2O_2 + 6\ H^{+} = 2\ AuCl_4^{-} = 3\ H_2O$$

- reprecipitação

$$AuCl_4^{-} + 3\ Fe^{2+} + 6\ H_2O = Au^{\circ} + 4\ Cl^{-} + 3\ FeOOH + 9\ H^{+}$$

Existe certa concentração mecânica de ouro no horizonte de solo. Isto é ao devido retrabalhamento físico dos níveis superiores do perfil laterítico e resulta numa dispersão secundária mecânica de ouro com eventual formação de concentrações auríferas detríticas associada a linhas de pedra "stone lines", que por vezes ocorrem nas encostas das elevações do Morro da Mina.

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Ensaios Granulométricos

1. De um modo geral as frações granulométricas que predominam nos horizontes do perfil laterítico, é a fração grosseira (> 500 μm) e a mais fina (< 63 μm) que se alternam conforme as características de cada horizonte. As frações intermediárias apresentam frequência muito abaixa em relação as demais.

2. Como as frações extremas (> 500 μm e < 63 μm) são as que praticamente representam as amostras coletadas, e como a fração maior que 500 μm é uma fração que abrange uma granulometria muito variada (fragmentos e concreções milimétricas à centimétricas), sugere-se que para ensaios granulométricos em perfis lateríticos semelhantes, esta fração deva ser desmembrada em pelo menos mais 3 sub-frações dependendo da quantidade de material grosseiro existente no perfil de alteração. A fração mais fina (< 63 μm), que representa cerca de 30% da amostra (horizontes ferruginoso e aluminoso) e 70% nos horizontes de solo e argiloso saprolítico deve ser mantida para análises, porque além de ser representativa da amostra retirada destes dois últimos horizontes citados, nesta fração encontra-se associado o ouro de maior representatividade.

3. A distribuição do ouro nas frações granulométricas para o horizonte de solo, mostrou que a fração menor que 63 μm, foi a que mais se aproximou do resultado analítico para a rocha in natura (amostra total), sugerindo que é a fração mais representativa em amostragem de cunho regional e de fácil preparação no campo.

4. A fração menor que 63 μm tende a diminuir os teores

97

aleatórios (efeito pepita) para ouro, tornando-se o material propício a prospecção orientativa para a delimitação de áreas auríferas. Ressalta-se, entretanto, que a metodologia analítica deva atingir limites de detecção na faixa de ppb, devido ao fato, de que no efeito atenuante desta granulometria pode eventualmente resultar que ocorrências significativas não sejam detectados, caso a análise seja feita ao nível de ppm.

Geoquímica

1. O molibdênio apresentou teores anômalos (300 ppm) em relação a outros perfis lateríticos na região Amazônica. Valores relativamente altos também estão presentes na rocha do substrato (50 ppm), ou seja 40 vezes mais a média crustal. É possível desta forma, que o Mo seja para a região um farejador importante da mineralização aurífera primária. Como o Mo está onipresente em todas as amostras analisadas do perfil de alteração (média 151 ppm), sugere-se que seja feita uma amostragem detalhada referente a ocorrência deste metal na área Morro da Mina, com o objetivo de elucidar a relação de Mo com ouro, ou mesmo mineralização de Mo na área.

2. Por apresentarem o mesmo comportamento no perfil laterítico, Fe, V, e Cr bem como o Mo podem ser utilizados na identificação de áreas potencialmente auríferas em perfis lateríticos semelhantes.

3. O padrão de distribuição dos ETR, revela que estes elementos são móveis na base do perfil e parcialmente imóveis no topo, onde La, Ce e Lu são mais imóveis.

Comportamento do Ouro

1. As estruturas mineralizadas primárias das zonas de

cisalhamento, estão parcialmente preservadas no horizonte argiloso saprolítico. A partir do horizonte aluminoso são completamente destruídas, devido ao avançado estágio de alteração laterítica.

2. A curva de distribuição dos teores de Au, característicamente mostra uma convexidade para a crosta ferro-aluminosa, com um máximo no horizonte ferruginoso de granulacão fina, exibindo uma tendência a refletir a ordem de grandeza das concentrações encontradas na rocha do substrato. E apresenta uma concavidade característica em direção ao horizonte argiloso saprolítico, indicando uma forte tendência de mobilização do ouro neste horizonte. Este comportamento da curva (concavidade), é interrompida quando o ouro encontra-se enclausurado nas estruturas silicosas (zonas de cisalhamento) que estão parcialmente preservadas da porção intermediária para a base do perfil laterítico.

3. De acordo com o padrão da curva de distribuição do ouro no perfil de alteração, onde frequentemente as maiores concentrações são detectadas no horizonte ferruginoso concrecionário e particularmente na porção que contêm concreções de granulometria fina à média, sugere-se a necessidade de um "follow-up" para a região do Cassiporé. Na presença de platôs lateríticos auríferos, deve-se utilizar como meio de amostragem o horizonte ferruginoso, que está próximo a superfície, dando atenção para a fração fina. Como na área, o horizonte de solo tem uma espessura variando de 0,5 à 2,0 metros, a amostragem pode ser feita com auxílio de trados manuais.

4. A morfologia das partículas auríferas arredondadas, com

cavidades (que por vezes sugerem contra moldes de minerais pretéritos e/ou figuras de dissolução), ou formação de pepitas granulares na crosta ferro-aluminosa, além do seu elevado grau de pureza nos horizontes superiores, sugerem que os processos lateríticos foram atuantes e eficientes sobre a mineralização primária, promovendo a liberação do ouro hipogênico submicroscópico associado aos minerais primários (sulfetos, sulfoarsenietos, etc.). Este foi parcialmente precipitado no topo do perfil laterítico, proporcionando a formação e concentração de pequenas pepitas junto a concreções/nódulos ferro-aluminosos neoformados durante o periodo de lateritização.

5. Estudo de microscopia eletrônica para análise de um maior número de partículas de ouro, contribuiria para comprovar por exemplo a existência de córtex de ouro sobre pepitas primárias (Freyssinet et al., 1989), ouro dendrítico (Wilson, 1984), cristais idiomórficos de ouro com alto grau de pureza (Mann, 1984), goethita envolvendo pepitas que apresentassem textura de sobrecrescimento sugestivas de recristalização (Bhaskara Rao et al., 1983). Estas características seriam evidências incontestáveis da neoformação de ouro para os horizontes superiores do perfil laterítico do Morro da Mina-Cassiporé.

100

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAKER, W.E. 1978 . The role of humic acid in the transport of gold. Geochem. & Cosmochim. Acta, 42: 645-649.

BEZERRA, P.E. & MONTALVÃO, R.M.G. 1985 . As sequências Supracrustais do Arqueano e Proterozóico Inferior no Setor Norte do Craton Amazônico em Território Brasileiro. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2, Belém, 1985. Anais...Belém, SBG - Núcleo Norte. v.1, p.44-58.

BHASKARA RAO, A. 1987 . Guide Horizons for Mineralisation in Lateritic Crusts. Chem. Geol. 60: 293-298.

BHASKARA RAO, A.; BARROS, J.G.C.; ADUSUMILLI, M.S. 1983. Lateritic Gold Project. In: MELFI, A.J.& CARVALHO, A. eds. Lateritisation Processes. São Paulo, USP. p.159-176.

BOYLE, R.W. 1979 . The Geochemistry of Gold and its Deposits. Geol. Surv. Can. Bull., 280: 431-445.

BRAUN, J.J.; PAGEL, M.; MULLER, J.P.; BILONG, P.; MICHARD, A.; GUILLET, B. 1990 . Cerium anomalies in lateritic profiles. Geochem. & Cosmochim. Acta, 54(3): 781-796.

BUTT, C.R.M. 1989 . Geomorphology and Climatic History - Keys to Understanding Geochemical Dispersion in Deeply Weathered Terrains, Exemplified by Gold. In: Garland, G.D. ed. Exploration'87. Ontario, Geological Survey, Sp., v.3, p.323-334.

CLOKE, P.L. & KELLY, W.C. 1964 . Solubility of gold under inorganic supergene conditions. Econ. Geol., 59: 259-270.

COLVINE, A.C.; FYON, J.A.; HEATHER, K.B.; MARMONT, S.; SMITH, P.M.; TROOP, D.G. 1988 . Archean lode gold deposits in Ontario. Ontario Geological Survey Miscellaneous Paper, 139: 1-210.

COSTA, J.A.V. & COSTA, M.L. 1991 . O Padrão da Distribuição de Ouro no Perfil Laterítico do Morro da Mina. Região do Cassiporé, AP. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3, Belém, 1991, Anais... Belém, SBG - Núcleo Norte, p.421-434.

COSTA, J.B.S. 1988 . Relatório de Consultoria. Área Morro da Mina. Mineração Taboca S.A. (Inédito).

COSTA, M.L. 1980 . Mineralogia, Geoquímica e Gênese dos Fosfatos de Jandiá, Cansa Perna, Itacupim no Pará e Trauíra no Maranhão. Belém, 164p. (Tese de Mestrado NCGG/UFPa).

COSTA, M.L. 1987 . Relatório de Consultoria. Lateritos do Morro da Mina (Cassiporé), Mineração Taboca S.A.(Inédito).

COSTA, M.L. 1991 . Aspectos Geológicos dos Lateritos da Amazonia. Rev. Bras. Geoc. (no prelo).

COSTA, M.L.; FONSECA, L.R.; COSTA, J.A.V. 1991 . Pattern curves for gold contents distribution in lateritic profiles: Application for geochemical Exploration in tropical environments (Amazon region). In: INTERN. GEOCH. EXPLORATION SYMPOSIUM, 15, Reno, Nevada, 199. p.23-24.

DAVIES, T.C.; FRIEDRICH, G.; WIECHOWSKI, A. 1989 . Geochemistry and mineralogy of laterites in the Sula Montains greenstone belt, Lake Sonfon gold district, Sierra Leone. J. Geochem. Explor., 32: 75-98.

DAVY, R. & EL-ANSARY, M. 1986 . Geochemical Patterns in the Laterite Profile at the Boddington Gold Deposit, Western Australia. J. Geochem. Explor., 26: 119-144.

DUDDY, J.R. 1980 . Redistribution and frationation of rare earth and other elements in a weathering profile. Chem. Geol., 30: 363-381.

EVANS, D.L.C. 1981 . Lateritisation as a possible contributor to gold placers. Eng. Min. J., (Aug): 86-91.

FERRAN, A. 1990 . Relatório de Consultoria. Área Morro da Mina.Mineração Taboca S.A. 6p. (Inédito).

FREYSSINET, Ph.; LECOMTE, P.; EDIMO, A. 1989 . Dispersion of gold and base metal in the Mborguéné lateritic profile, East Cameroun. J. Geochem. Explor., 32: 99 - 116.

FREYSSINET, Ph.; ZEEGERS, H.; TARDY, Y. 1989 . Morphology and geochemistry of gold grains in lateritic profiles of southern Mali. J. Geochem. Explor., 32: 17-31.

GAMA Jr., T. 1989 . Análises Petrográficas Áreas Cassiporé e Lourenço. Relatório de Consultoria. Mineração Taboca S.A. 46p. (Inédito).

GLASSON, M.J.; LEHNE, R.W.; WELLMER, F.W. 1988 . Gold Exploration in the Callion Area, Eastern Goldfields, Western Australia. J. Geochem. Explor., 31: 31-19.

GROVES, D.I. & PHILLIPS, G.N. 1987 . The genesis and tectonic control on Archean gold deposits of the Western Australian Shield - A metamorphic replacement model. Ore Geology Reviews, 2: 287-322.

HORBE, A.M.C. 1991 . Evolução Mineralógica e Geoquímica do Perfil Laterítico Mineralizado a Sn, Zr, Nb, Y e ETR da Serra do Madeira-Pitinga (AM). Belém, 245p. (Tese de Mestrado CG/UFPa).

KASPAR, J.; HUDEC, I.; SCHILLER, P.; COOK. G.B.; KITZINGER, A.; WÖLFL, E. 1972 . A contribution to the migration of gold in the biosphere of the humid mild zone. Chem. Geol., 10:299-305

KERRICH, R. 1989 . Archean gold: Relation to granulite formation or felsic intrusion?. Geology, 17: 1011-1015.

KOTSCHOUBEY, B. 1984 . Bauxitas do Baixo Nhamundá, Região do Médio - Baixo Amazonas - Natureza e Gênese. In: CONG. BRAS. GEOL., Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, SBG. v.10, p.3926 - 3940.

KOTSCHOUBEY, B. & TRUCKENBRODT, W. 1981 . Evolução poligenética das bauxitas do distrito de Paragominas - Açailândia (Estados do Pará e Maranhão). Rev. Bras. Geoc., 11(3): 193-202.

KRAUSKOPF, K.B. 1951 . The solubility of gold. Econ. Geol., 46: 858-870.

KRONBERG, B.I.; FYFE, W.S.; McKINNON, B.J.; COUSTON, J.F.; STILIANIDI FILHO, B.; NASH, R.A. 1982 . Model for bauxite formation: Paragominas (Brazil). Chem. Geol., 34 (3/4): 311-20.

KRONBERG, B.J.; COUSTON, J.F.; STILIANIDI FILHO, B.; FYFE, W.S.; NASH, R.A.; SUGDEN, D. 1979 . Minor element geochemistry of the Paragominas bauxite, Brazil. Econ. Geol., 74: 1869-1875.

LADEIRA, E.A. 1985 . Relatório de Consultoria. Projeto Cassiporé, Amapá: Avaliação Geológica de suas Diretrizes Prospectivas. Mineração Taboca S.A. 23p. (Inédito).

LAKIN, H.W.; CURTIN, G.C.; HUBERT, A.E. 1974 . Geochemistry of gold in the weathering cycle. U.S. Geol. Survey Bull. 1330: 1-80.

LECOMTE, P. & COLIN, F. 1989 . Gold dispersion in a tropical rainforest weathering profile at Dondo Mobi, Gabon. J. Geochem. Explor., 34: 285-301.

LESTRA, A.D. & NARDI, J.I.S. 1982 . O ouro da Amazônia Oriental. O Mito e a Realidade . Belém, Ed.Grafisa, 395p.

LIMA, M.I.C.; MONTALVÃO, R.M.G.; ISSLER, R.S.; OLIVEIRA, A.S.; BASEI, M.A.S.; ARAÚJO, J.F.V.; SILVA, G.G. 1974 . Geologia da folha NA / NB. 22 Macapá. In: BRASIL / MME Projeto RADAM, Rio de Janeiro, DNPM. v.6, p.I/2 - I/120.

MACHESKY, M.L.; ANDRADE, W.O.; ROSE, A.W. 1991 . Adsorption of gold(III)-chloride and gold(I)-thiosulfate anions by goethite. Geochem. & Cosmochim. Acta, 55: 769-776.

MANN, A.W. 1984 . Mobility of gold and silver in lateritic weathering profiles - Some observations from Western Australia. Econ. Geol., 39: 38-49.

MARSH, J.S. 1991 . REE fractionation and Ce anomalies in weathered Karoo dolerite. Chem. Geol., 90(3/4): 189-194

MICHEL, D. 1987 . Concentration of gold in situ laterites from Mato Grosso. Mineral. Deposita, 22: 185-189.

MILNES, A.R.; BOURMAN, R.P.; FITZPATRICK, R.W. 1987 . Petrology and Mineralogy of Laterites in Southern and Eastern Australia and Southern Africa. Chem. Geol., 60: 237-250.

MONTALVÃO, R.M.G. & TASSINARI, C.C.G. 1984 . Geocronologia pré-cambriana do Território Federal do Amapá. In: SYMPOSIUM AMAZÔNICO, Manaus, 1984, Anais... Manaus, DNPM. p.53 - 58.

OLIVEIRA, C.M.; FONSECA, L.R.; OLIVEIRA, N.P. 1988 . A laterita titanífera de Maraconaí (PA). In: CONG. BRAS. GEOL., 35, Belém, 1988. Anais... Belém, SBG. v.4, p.271 - 285.

OLIVEIRA, N.P. & SCHWAB, R.G. 1980 . Itacupim: Um exemplo da influência do fósforo sobre o desenvolvimento de perfis lateríticos. In: CONG. BRAS. GEOL., 31, Camboriú, 1980. Anais... Camboriú, SBG. v.1, p. 184-196.

OLIVEIRA, S.M.B. & SILVA, M.L.M.C. 1990 . Comportamento das Terras Raras em bauxitas derivadas da lateritização das rochas básicas. In: CONG. BRAS. GEOL., 36, Natal, 1990. Anais... Natal, SBG. v.4, p.912-919.

PLYUSNIN, A.M.; POGRELNYAK, Yu.F.; MIRONOV, A.G.; ZHOMODIK, S.M. 1981 . The behavior of gold in the oxidation of gold-bearing sulfides. Geochem. Intern., 18(3): 116-123.

PORTO, C.G. 1991 . Grade distribution and morphology of gold grains in the Stone Line lateritic profile of the Posse deposit, Mara Rosa, Goias, Brazil. In: LADEIRA, E.A. ed. Brazil Gold'91. Belo Horizonte, 1991. pp. 721-729.

RAMDOHR, P. 1980 . The Ore Minerals and their Intergrowths. Oxford, Pergamon Press, 2v. (International Series in Earth Sciences, 35).

SALOMÃO, E.P. 1987 . Relatório de Consultoria. Área Cassiporé. Mineração Taboca S.A. 14p. (Inédito).

SANTOS, J.F. 1984 . O ouro elúvio-laterítico do depósito de Jatobá-MT. In: CONG. BRAS. GEOL., 33, Rio de Janeiro, 1984. Anais...Rio de Janeiro, SBG. v.4, p.4012-4023.

SCHELLMANN, W. 1986 . On the Geochemistry of Laterites. Chem. Erde, 45: 39-52.

SMITH, B.H. & KEELE, R.A. 1984 . Some observations on the geochemistry of gold mineralization in the weathered zone at Norseman, Western Australia. J. Geochem. Explor., 22: 01-20.

STOFFREGEN, R. 1986 . Observations on the behavior of gold during supergene oxidation at Summitville, Colorado, U.S.A., and implications for electrum stability in the weathering environment. Applied Geochem., 1: 549-558.

TARDY, Y. & NAHON, D. 1985 . Geochemistry of laterites stability of Al-Goethite, Al-Hematite, and Fe^{3+}-Kaolinite in Bauxites and Ferricretes: An approach to the mecanism of concretion formation. American Journal Science, 285: 865-903.

TURNER, F.J. 1981 . Metamorphic Petrology. Mineralogical, Field an Tectonic Aspects 2n. New York, McGraw-Hill, 524p.

VEIGA, A.T.C.; BRAIT FILHO, L.; OLIVEIRA, C.A.C. 1985 . Geologia da Província Aurífera do Cassiporé - Amapá. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2, Belém, 1985. Anais... Belém, SBG - Núcleo Norte. v.3, p.135-146.

VIEIRA, L.S. & SANTOS, P.C.T.C. 1987 . Amazônia: Seus Solos e Outros Recursos Naturais. São Paulo, Agronômica Ceres, 416p.

WEBSTER, J.G. & MANN, A.W. 1984 . The influence of climate, geomorphology and primary geology on the supergene migration of gold and silver. J. Geochem. Explor., 22: 21-42.

WEDEPOHL, K.H. ed. 1970 . Handbook of Geochemistry. New York, Springer Verlag. Sect. v. II-3.

WILSON, A.F. 1984 . Origin of quartz-free gold nuggets and supergene gold found in laterites and soils - a review and some new observations. Australian Journal Earths Sciences, 31: 303-316.

WINKLER, H.G.F. 1979 . Petrogenesis of Metamorphic Rocks. 5Th. New York, Springer-Verlag, 320p.

YARDLEY, B.W.D. 1989 . An Introduction to Metamorphic Petrology. London, Longman Scientific & Tecnical, 248p.