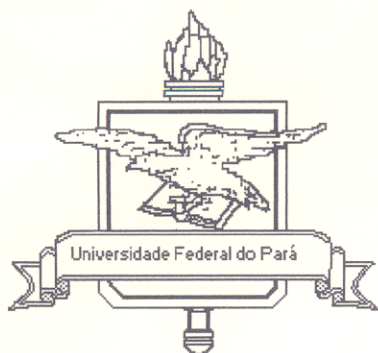




Universidade Federal do Pará
Centro de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**“GEOLOGIA, MINERALOGIA, GEOQUÍMICA DOS LATERITOS DE
MANAUS - AMAZONAS”**

TESE APRESENTADA POR

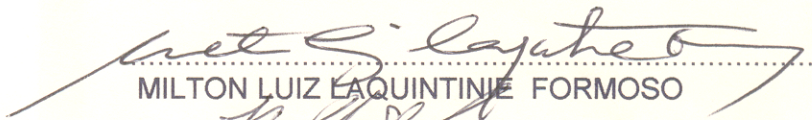
LUCINDO ANTUNES FERNANDES FILHO

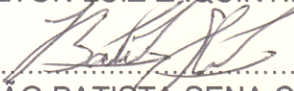
Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de **GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.**

Data de Aprovação : 28.10.1996

Comitê de Tese:


.....
MARCONDES LIMA DA COSTA (Orientador)


.....
MILTON LUIZ LAQUINTINIE FORMOSO


.....
JOÃO BATISTA SENA COSTA

BELÉM

Aos meus pais Lucindo e M^a. Helena

por eu chegar aqui.

A minha esposa, Neila,

pela paciência, compreensão e amor.

Ao meu primeiro filho, Lucindo Neto,

por trazer a energia para

o término desta tese.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de externar meus sinceros agradecimentos a várias pessoas e entidades que colaboraram decisivamente para a realização desta tese, sobretudo, ao prof. Dr. Marcondes Lima da Costa, primeiro por acreditar em mim no momento da troca de orientação e depois por todo o incentivo e dedicação na orientação desse trabalho. Da mesma forma, ao prof. Dr. João Batista Sena Costa pela dedicada e imprescindível co-orientação.

À Dr. Adriana Horbe e Msc. Elias Moraes pelas trocas de idéias durante a execução deste trabalho.

Ao Ms. Natalino Valente, chefe do laboratório de análises químicas, pelo auxílio na parte analítica.

Ao geólogo Sérgio Coelho pela confecção das figuras desta tese e ajuda na etapa de análises químicas.

Aos estudantes da Universidade do Amazonas Zacarias Cruz e José Galco Aguiar pela ajuda dispensada durante as etapas de campo.

A todos os colegas do grupo de pesquisa Geoquímica de Superfície e do curso de Pós-Graduação pelo incentivo, proveitosas discussões, e agradável atmosfera de trabalho.

À Universidade Federal do Pará, através do Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica do Centro de Geociências, pelo total apoio dado em todas as etapas deste trabalho e pelo uso de sua infra-estrutura laboratorial.

À Universidade do Amazonas, através do Departamento de Geociências, pela minha liberação para a execução desta tese.

Ao PADCT/FINEP/FADESP e CNPq pelo suporte financeiro, através dos projetos Apoio Institucional as Pesquisas do Centro de Geociências da UFPa - Sub-projeto: Evolução Geoquímica Supergênica Durante o Cenozóico da Amazônia Oriental, convênio 65.92.0025.00 e projeto Mineralogia e Geoquímica Aplicada a Materiais Supergênicos e Rejeitos Minerais da Amazônia, processo 520041/95-0, respectivamente, para realização deste trabalho.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo durante o tempo de trabalho.

Por último, mas não menos importante, a toda minha família, especialmente:

Aos meus pais, Lucindo (Bem) e Ma. Helena (Menha), pelos anos de total apoio e incentivo a minha formação educacional e profissional.

A minha adorável esposa, Neila, que compreendeu o início difícil e separado, e com paciência e amor sempre esteve ao meu lado.

A minha sogra, Dona Altina, pela confiança em mim depositado desde o começo.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS.....	ii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	v
RESUMO	1
ABSTRACT.....	4
 1 - INTRODUÇÃO	 7
1.1- APRESENTAÇÃO.....	7
1.2 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	8
1.3- ASPECTOS GERAIS SOBRE A FISIOGRAFIA.....	8
 1.4- GEOLOGIA REGIONAL	 12
1.4.1- Estratigrafia	12
1.4.2- Lateritos da Amazônia	17
1.4.3- Neotectônica da Amazônia.....	22
 2 - METODOLOGIA	 25
 3 - ESTRUTURA GEOLÓGICA DOS PERFIS LATERÍTICOS	 28
3.1- HORIZONTE TRANSICIONAL	31
3.2- HORIZONTE ARGILOSO	33
3.3- HORIZONTE FERRUGINOSO	33
3.4- HORIZONTE ESFEROLÍTICO	36
3.5- LINHA DE PEDRA	36
3.6- HORIZONTE SOLO	39
 4- MINERALOGIA	 40
4.1- PRINCIPAIS MINERAIS.....	40
4.1.1- Quartzo - SiO_2	40
4.1.2- Caulinita - $(\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$	44
4.1.3- Hematita - Fe_2O_3	44
4.1.4- Goethita - α - FeOOH α - $(\text{Fe,Al})\text{OOH}$	45
4.1.5- Gibbsita - $\text{Al}(\text{OH})_3$	47
4.1.6- Anatásio e Rutilo - TiO_2	47

4.2 - MINERALOGIA DOS HORIZONTES	48
4.2.1- Horizonte Transicional	48
4.2.2- Horizonte Argiloso	48
4.2.3- Horizonte Ferruginoso	51
4.2.4- Horizonte Esferolítico	51
4.2.5- Horizonte Solo	52
5 - GEOQUÍMICA	53
5.1 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA	53
5.1.1 - Elementos maiores e menores	53
5.1.2 - Elementos traços	60
6 - GEOLOGIA ESTRUTURAL	67
6.1- FALHAS NORMAIS	67
6.2- FALHAS TRANSCORRENTES	70
6.3- FALHAS INVERSAS E DOBRAS	73
7 - EVOLUÇÃO GEOLÓGICA	77
7.1- EVOLUÇÃO GEOQUÍMICA/MINERALÓGICA	77
7.2- EVOLUÇÃO LATERÍTICA	79
7.3- EVOLUÇÃO ESTRUTURAL	80
8 - CONCLUSÕES	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
ANEXO - ANÁLISE FATORIAL MODO Q	96

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

FIGURA 1 - Mapa de localização da área estudada (sombreada)	9
FIGURA 2 - Mapa das unidades morfoestruturais da região de Manaus e arredores.....	11
FIGURA 3 - Coluna crono-litoestratigráfica da região de Manaus e arredores.....	13
FIGURA 4 - Mapa geológico da região do médio Amazonas.....	14
FIGURA 5 - Seção geológica esquemática em corte de estrada, mostrando dois níveis de lateritização afetados por falhas.....	17
FIGURA 6 - Perfil geológico do caulim da rodovia Manaus-Itacoatiara.....	21
FIGURA 7 - Compartimentação estrutural do Terciário Superior e Quaternário da Amazônia...	24
FIGURA 8 - Localização dos perfis geológicos estudados (♦) e perfis lateríticos amostrados (●) em Manaus.....	29
FIGURA 9 - Estruturação dos perfis lateríticos selecionados na cidade de Manaus. Ver localização na figura 8 (*) posição das amostras	30
FIGURA 10 - Exposição do horizonte transicional ao longo do perfil da avenida Grande Circular da Cidade Nova, e da linha de pedra.	32
FIGURA 11 - Lentes de argila branca maciça dentro do horizonte transicional.	32
FIGURA 12 - Aspecto geral do horizonte argiloso no perfil do Cemitério.....	34
FIGURA 13 - Aspecto do mosqueamento em camada argilosa no perfil do Xingu.....	34
FIGURA 14 - Crosta ferruginosa verticalizada em forma de dique e com as estruturas colunares em posição horizontal.....	35
FIGURA 15 - Aspectos gerais do horizonte esferolítico ao longo do perfil do Cemitério.....	37
FIGURA 16 - Aspecto da granulocrescência (A) e granulodecrescência (B) na linha de pedra no perfil da estrada do aeroclube de Manaus.....	38
FIGURA 17 - Perfil laterítico afetado por falha normal lítrica, colocando a cobertura de latossolo ao lado do horizonte argiloso no perfil do Cemitério.....	39
FIGURA 18 - Difratogramas representativos das reflexões dos componentes minerais nos diferentes horizontes lateríticos estudados.....	41
FIGURA 19 - Distribuição mineralógica ao longo dos perfis lateríticos com base nas médias das concentrações dos minerais.....	43
FIGURA 20 - Moles % de $AlOOH$ das goethitas nos perfis do Xingu e Exata.....	46
FIGURA 21 - Distribuição da mineralogia nos perfis lateríticos do <i>Dique</i> (a), Xingu (b), Cemitério (c), Exata (d) e Versalhes (e).....	50
FIGURA 22 - Distribuição dos óxidos TiO_2 , Fe_2O_3 , SiO_2 , Al_2O_3 e perda ao fogo no perfil do Cemitério.....	56
FIGURA 23 - Distribuição dos óxidos TiO_2 , Fe_2O_3 , SiO_2 , Al_2O_3 e perda ao fogo no perfil do <i>Dique</i>	56
FIGURA 24 - Distribuição dos óxidos TiO_2 , Fe_2O_3 , SiO_2 , Al_2O_3 e perda ao fogo no perfil da Exata.....	57
FIGURA 25 - Distribuição dos óxidos TiO_2 , Fe_2O_3 , SiO_2 , Al_2O_3 e perda ao fogo no perfil do Xingu.....	57
FIGURA 26 - Correlação SiO_2 versus Fe_2O_3 nos perfis lateríticos estudados.....	58
FIGURA 27 - Diagrama triangular SiO_2 - Fe_2O_3 - Al_2O_3 nos perfis estudados.	59
FIGURA 28 - Distribuição dos elementos-traço no perfil do Cemitério.....	63

FIGURA 29 - Distribuição dos elementos-traço no perfil do <i>Dique</i>	63
FIGURA 30 - Distribuição dos elementos-traço no perfil da Exata.....	64
FIGURA 31 - Distribuição dos elementos-traço no perfil do Xingu.....	64
FIGURA 32 - Correlação Al_2O_3 versus Ga nos perfis lateríticos estudados.....	66
FIGURA 33 - Mapa estrutural da região de Manaus e adjacências.....	68
FIGURA 34 - Geometria das falhas normais na estrada do Tarumã.....	69
FIGURA 35 - Geometria das falhas normais no Selva Parque.....	69
FIGURA 36 - Geometria das falhas transcorrentes dextrais NE-SW, ao longo de perfil situado na avenida Grande Circular próximo ao Tarumã, mostrando estruturas em flor negativa, estruturas de ejeção e retro-empurrão, <i>horts e grabbens</i>	71
FIGURA 37 - Geometria das falhas transcorrentes E-W com segmentos curvos, ao longo de sua direção, na região da laje do Tupé, afetando rochas da Formação Alter do Chão. Os traços das descontinuidades são realçados pelos "sulcos" erosivos.....	72
FIGURA 38 - Geometria de dobra encontrada em sedimentos intemperizados da Formação Alter do Chão, em corte artificial no porto da Fogás, com falha normal superimposta subparalela ao corte.....	74
FIGURA 39 - Geometria das falhas ao longo do perfil da avenida Grande Circular na Cidade Nova, deslocando a linha de pedra.....	75
FIGURA 40 - Aspecto dos sedimentos arenosos, pós-lateritos imaturos autóctones, encontrados no perfil da avenida Grande Circular da Cidade Nova.....	76
FIGURA 41 - Correlação entre F_I e F_{II} (modo Q) entre as amostras dos horizontes nos perfis lateríticos do <i>Dique</i> , Cemitério, Exata e Xingu.....	78

TABELAS

TABELA 1 - Média das concentrações dos minerais identificados nos horizontes lateríticos....	42
TABELA 2 - Composição mineralógica das amostras dos perfis da construtora Exata (a), Xingu (b), Cemitério (c), <i>Dique</i> (d) e do jardim Versalhes.....	49
TABELA 3 - Composição química dos perfis da Construtora Exata (a), Xingu (a), Cemitério (c) e <i>Dique</i> (d).....	55
TABELA 4 - Composição química de elementos-traço das amostras.....	61

RESUMO

A região da cidade de Manaus e arredores encontra-se no domínio da Formação Alter do Chão, de idade Meso-Cenozóica instalada na bacia do Amazonas. Essa formação é composta por sedimentos continentais vermelhos, incluindo essencialmente arenitos argilosos, argilitos, quartzo grauvacas, quartzo arenitos e brechas intraformacionais. Sobre essas rochas, desenvolveram-se os perfis lateríticos cenozóicos, os quais têm ampla distribuição areal e estão bem preservados e expostos ao longo dos cortes de estrada e nas margens dos rios Negro, Solimões e Amazonas.

A constituição mineralógica dos perfis lateríticos da região é a base de caulinita, hematita, goethita, quartzo, gibbsita, anatásio e rutilo, em ordem decrescente de abundância, cujo padrão de distribuição é típico dos perfis com espesso horizonte solo (latossolo). A restrita presença da gibbsita e a ausência do horizonte bauxítico-fosfático confirmam o grau de evolução incompleto do perfil laterítico. A gibbsita do horizonte argiloso provavelmente é um representante do último evento de lateritização. A goethita do horizonte solo possui até 36 moles % de AlOOH enquanto a da crosta tem 12 moles %.

Os lateritos que ocorrem na cidade de Manaus são imaturos quanto ao grau de evolução, existindo os tipos completos, truncados e alóctones. Os primeiros possuem crosta ferruginosa parcialmente alterada e ocorrem nas porções sul, sudeste e oeste da cidade de Manaus, estruturados nos horizontes transicional, argiloso, ferruginoso, esferolítico e solo. Os segundos são truncados, na altura dos horizontes transicional e argiloso, pela presença da linha de pedra e encontram-se nas porções nordeste e central da área.

Quanto à geoquímica, os teores de Fe_2O_3 crescem do horizonte transicional até o ferruginoso, de onde decrescem para o horizonte solo, acompanhando a distribuição da hematita e goethita, enquanto o Al_2O_3 , SiO_2 , PF apresentam comportamento inverso, refletindo a distribuição da caulinita, quartzo e gibbsita. Os teores de Al_2O_3 , SiO_2 em alguns locais mostram comportamento diferente provavelmente devido à composição da rocha-mãe. Os teores de TiO_2 expressam diretamente a quantidade de anatásio e rutilo encontrados.

Quanto aos elementos-traço, verifica-se que o Mo, Cu, As, V, Pb, Zn, Co se correlacionam positivamente com o Fe_2O_3 , onde forma a crosta e os esferolitos; a distribuição desses elementos está diretamente relacionada à distribuição da hematita e goethita ao longo dos perfis. Por outro lado, o Cu, Ba, Nb e Ga estão associados à distribuição do Al_2O_3 e TiO_2 , sendo que o Cr, Ba e Nb estão juntos com o anatásio e o Ga com a gibbsita. O Zr apresenta comportamento peculiar, provavelmente formando fase mineral própria como zircão, tendo a sua distribuição localmente acompanhada de Y, Hg, Pb e V.

A correlação $\text{SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$ é negativa em todos os perfis evidenciando uma característica de perfis lateríticos. A derivação dos horizontes lateríticos iniciou-se a partir de rocha-mãe silico-aluminosa, originando o horizonte argiloso que por enriquecimento de Fe_2O_3 e perda de Al_2O_3 e SiO_2 formou a crosta ferruginosa. A decomposição da crosta por perda de Fe_2O_3 e acúmulo de SiO_2 e Al_2O_3 origina o horizonte esferolítico e depois o horizonte solo. Quanto à composição química da crosta laterítica, pode-se afirmar que ela é do tipo ferruginosa e que os perfis lateríticos possuem uma derivação a partir de rocha-mãe silico-aluminosa. Com relação à

composição das crostas lateríticas, pode-se afirmar que se trata de crosta ferruginosa com teores de SiO_2 e Al_2O_3 elevados.

O quadro neotectônico da região de Manaus é caracterizado por falhas normais orientadas nas direções NW-SE e NE-SW que interagem com dois feixes de falhas transcorrentes dextrais de direções E-W e NE-SW e definem uma bacia de afastamento. Essas falhas afetam o perfil laterítico plio-pleistocênico, bem como a linha de pedra decorrente do desmantelamento, erosão e transporte dos fragmentos da crosta laterítica. Afetando apenas os sedimentos da Formação Alter do Chão ocorrem falhas de empurrão NE-SW e dobras com eixo NE-SW, mas há indicações de que essas estruturas deformam também o perfil laterítico desenvolvido no Eoceno-Oligoceno.

Sobre a evolução tectônica, entende-se que a região de Manaus experimentou transpressão no Mioceno e transtensão no Pleistoceno Médio a Superior, separadas por um período de estabilidade no Plio-Pleistoceno Inferior durante o qual se formou o perfil laterítico imaturo. Um terceiro pulso de movimentação transcorrente afetou a área no Pleistoceno Superior-Holoceno, respondendo provavelmente pelos eventos de sismicidade registrados na área da cidade de Manaus e adjacências.

ABSTRACT

The region of the Manaus city is located in the domains of the Alter do Chão Formation of Meso-Cenozoic age, which is part of the Amazon Basin. It includes red continental sediments, formed mainly by clayey sandstones, argillites, quartz-graywakes, quartz-sandstones and intraformational breccias. Over these rocks were developed Cenozoic lateritic profiles, with a large areal distribution, well preserved and exposed at road cuts and at the margins of the Negro, Solimões and Amazonas rivers.

Mineralogically the lateritic profiles are constituted by kaolinite, hematite, goethite, quartz, gibbsite, anatase and rutile, in their inverse order of abundance. The distribution pattern is typical for profiles with a thick soil horizon (latosol). The low amount of gibbsite and absence of the bauxitic-phosphatic horizon confirm the degree of incomplete evolution of the lateritic profile. The gibbsite in the clayey horizon is probably linked to the last event of laterization. The goethite of the soil horizon presents upper to 36 moles % of AlOOH , while the goethite from the crust presents 12 moles %.

The laterites that occur in Manaus are relatively immature to their evolution stage, displaying complete, truncated and allochthonous types. The first contains a ferruginous crust that is partially altered and occurs in the South, South-East and East regions of Manaus city. They are formed toward the top by transitional, clayey, ferruginous, spherulitic and soil horizons. The second lateritic type is cut by a stone line at the transitional and clayey horizons. This type of laterite is located in the North-East and Central portions of the area.

Geochemically the contents of Fe_2O_3 increase from the transitional horizon to the ferruginous horizon, from where it decreases towards the soil horizon, following the distribution of hematite and goethite, while Al_2O_3 , SiO_2 and loss of ignition present the inverse behaviour, reflecting the distribution of kaolinite, quartz and gibbsite. The contents of Al_2O_3 and SiO_2 some times show a different behavior probably due to compositional differences of the parent-rock composition. The contents of TiO_2 are closely related to the amount of anatase and rutile.

In respect to the traces elements it is observed that Mo, Cu, As, V, Pb, Zn and Co are positively correlated to the Fe_2O_3 , forming the crust and sphaeroids; the distribution of these elements is related to the distribution of hematite and goethite on the lateritic profiles. On the other hand, Cu, Ba, Nb and Ga are associated with the distribution of Al_2O_3 and TiO_2 ; Cr, Ba, and Nb are related to anatase and Ga to gibbsite. Zr presents an unique behaviour probably forming a proper mineral phase as zircon, being its distribution accompanied by Y, Hg, Pb and V.

The correlation SiO_2 - Fe_2O_3 is negative in all profiles reflecting a normal geochemical pathway of lateritic profile. The lateritic horizons evolved initially from silic-aluminous parent-rock originating the clayey horizon which, by enrichment of Fe_2O_3 and loss of Al_2O_3 and SiO_2 , given rise to the ferruginous crust. The desagregation of the crust by loss of Fe_2O_3 and accumulation of SiO_2 and Al_2O_3 originated the spherulitic horizon and later the soil horizon. The chemical composition of the lateritic crust allows its classification as ferruginous type with high contents of SiO_2 and Al_2O_3 , suggesting that the lateritic profiles derived from a silicic-aluminous parent-rock.

The neotectonic framework of the region of Manaus is characterized by normal faults printing NW-SE and NE-SW, which linked to two main sets of dextral strike-slip faults trending E-W and NE-SW, defining a pull-apart basin. These faults affect the Pliocene-Pleistocenic lateritic profile as well as the stone line due to the desagregation, erosion and transport of the fragments of the lateritic crust. NE-SW inverse faults and folds affect only the sediments of the Alter do Chão Formation. There are evidences that these structures deform also Eocene-Oligocene lateritic profile.

The tectonic evolution of the area is understood of transpression in the Miocene and transtension in the Middle and Upper Pleistocene, separated by a period of stability on the lower Pliocene-Pleistocene during which the immature lateritic profile was formed. A third pulse of strike-slip movement affected the area at the Upper Pleistocene-Holocene and probably was responsible for the seismic events that took place in and around Manaus city.

1 INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO/OBJETIVOS

Nas últimas décadas, o estudo dos processos do intemperismo laterítico vem desenvolvendo-se principalmente devido à descoberta de inúmeros depósitos minerais associados aos lateritos. Dentre os principais trabalhos que enfocaram aspectos diversos sobre os lateritos destacam-se ASSAD & NETTO (1976), ASSAD (1978), COSTA (1980), KOTSCHOUBEY & TRUCKENBRODT (1980), BERNADELLI (1982 a,b), CHAUVEL et al. (1982), KOTSHOUBEY (1984), CORREA et al. (1988), COSTA et al. (1988), CHAUVEL et al. (1989), COSTA (1991), TRUCKENBRODT et al. (1991), ANGÉLICA et al. (1995), COSTA & ANGÉLICA (1995), COSTA & ARAÚJO (1995) e HORBE (1995). Como a Amazônia está, em parte, coberta por rochas e solos lateríticos, decorrentes da atuação dos processos de lateritização (hidrólise, hidratação, oxidação, redução, quelação, dissolução), o estudo dos lateritos tornou-se fundamental para as geociências, sobretudo nas interfaces com a geomorfologia, a hidrogeologia, a sedimentologia, o mapeamento geológico, a prospecção mineral, e a geologia estrutural. Esta última utilizando-se da estruturação dos perfis lateríticos (cenozóicos), relativamente novos no tempo geológico, como camada guia para o entendimento dos movimentos neotectônicos da Amazônia.

Como a região da cidade de Manaus apresenta boas exposições de perfis lateríticos e de estruturas neotectônicas que ainda não foram adequadamente descritas e explicadas, escolheu-se essa área para realizar pesquisa na interface geoquímica de superfície - geologia estrutural, cujos resultados são apresentados nesta dissertação. Portanto, os objetivos do trabalho consistem na caracterização geológica, geoquímica

e mineralógica dos lateritos, e no entendimento dos movimentos tectônicos que afetaram os perfis no Terciário e Quaternário.

1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área estudada encontra-se sobre a zona compartimental do Purus que separa as bacias do Solimões e Amazonas, que corresponde à reativação de cicatrizes crustais geradas no Pré-Cambriano (WANDERLEY FILHO, 1991; WANDERLEY FILHO & COSTA, 1991; WANDERLEY FILHO, 1996). No Mesozoico, a área passou a integrar a bacia que acolheu os sedimentos da Formação Alter do Chão e no Cenozoico experimentou movimentações transcorrentes (COSTA et al., 1995) e formação de lateritos.

Geopoliticamente a área encontra-se na parte nordeste do estado do Amazonas, na confluência dos rios Negro e Solimões, e é limitada pelos meridianos 60° 18' e 59° 47' e paralelos 3° 00' e 3° 10' (Figura 1).

1.3 ASPECTOS GERAIS SOBRE A FISIOGRAFIA

A cidade de Manaus e adjacências apresenta pluviosidade anual da ordem de 2100mm, tem uma estação seca de junho a outubro, e outra úmida entre novembro e maio, e possui precipitações mínimas da ordem de 50mm em agosto, e máximas de 300mm em março; a pluviometria mostra uma forte variabilidade anual e mensal em volume total. As temperaturas médias mensais variam entre 24 a 28° C. A umidade relativa do ar é sempre elevada, com médias mensais variando de 77%, na estação seca, a 88%, na estação chuvosa (LUCAS, 1989). Segundo a classificação de Köppen, a região acha-se no domínio do clima tropical dos tipos Amw e Am (YAMAZAKI et al., 1978).

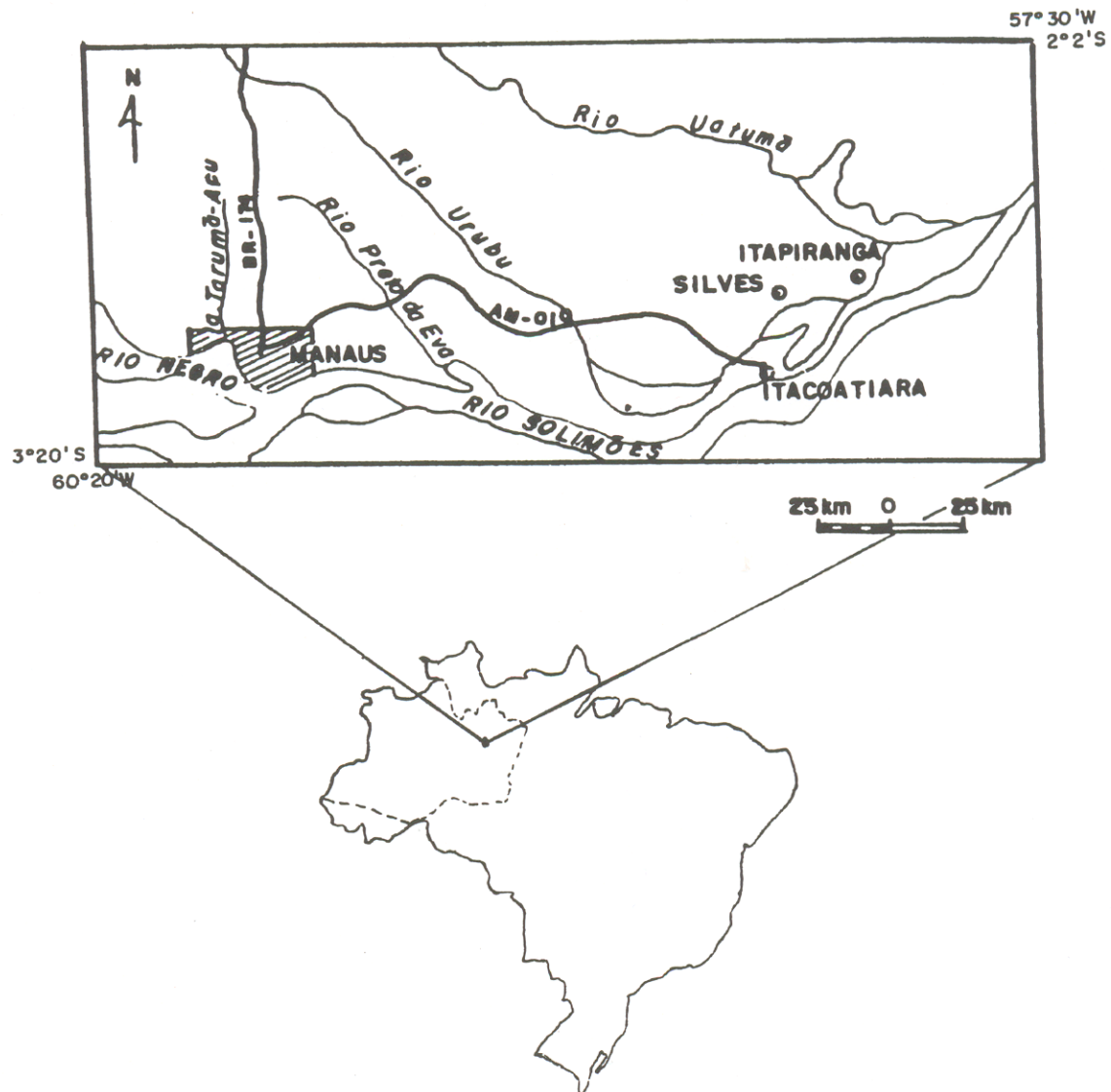


Figura 1: Mapa de localização da área estudada (sombreada).

A região em pauta contém porções do Planalto Dissecado Rio Trombetas-Rio Negro e da Planície Amazônica, nas folhas SA-20 (Manaus) e SA-21 (Santarém) no lado norte da sinéclise do Amazonas (NASCIMENTO et al., 1976 e COSTA et al., 1978) (Figura 2).

As áreas aplainadas conservadas do planalto são reduzidas e restritas aos interflúvios. As cotas topográficas oscilam entre 120-170 m, no trecho da rodovia AM-010 (Manaus-Itacoatiara), e as menores cotas registradas são de 80m no vale do rio Preto da Eva e de 60m nas margens do rio Urubu (NASCIMENTO et al., 1976 & COSTA et al., 1978). SOUZA & MEDEIROS (1972) registram que o relevo da região é formado por tabuleiros com extensões que variam de 1 a 9 km e altitudes que oscilam entre 40 a 160m. Na cidade de Manaus, as áreas mais elevadas apresentam cotas topográficas em torno de 100 m. Tais superfícies, por estarem sempre acima do nível atingido pelas cheias dos rios, são denominadas de "terras firmes".

As condições geomorfológicas desse planalto refletem a intensa atuação dos processos erosivos, resultando uma grande faixa de dissecação em interflúvios com encostas ravinadas, interflúvios tabulares, interflúvios tabulares com drenagem densa, e localmente, ocorrem superfícies tabulares, ocupando posição altimétrica mais elevada em relação aos relevos dissecados próximos (NASCIMENTO et al., 1976 & COSTA et al., 1978).

A Planície Amazônica é caracterizada por uma forma alongada, tem seu eixo ocupado pelo rio Amazonas e está restrita a uma faixa de terra sobre a influência do referido rio, as quais foram divididas em áreas alagadas e inundáveis.

Segundo SOUZA & MEDEIROS (1972), as áreas situadas nas margens do rio Amazonas são constituídas por terraços, restingas e planície de inundação, predominando "terras baixas". As cotas topográficas nessa área variam entre 25 e 40 m, e, portanto, estão sujeitas a inundações provocadas pelas enchentes do rio Amazonas.

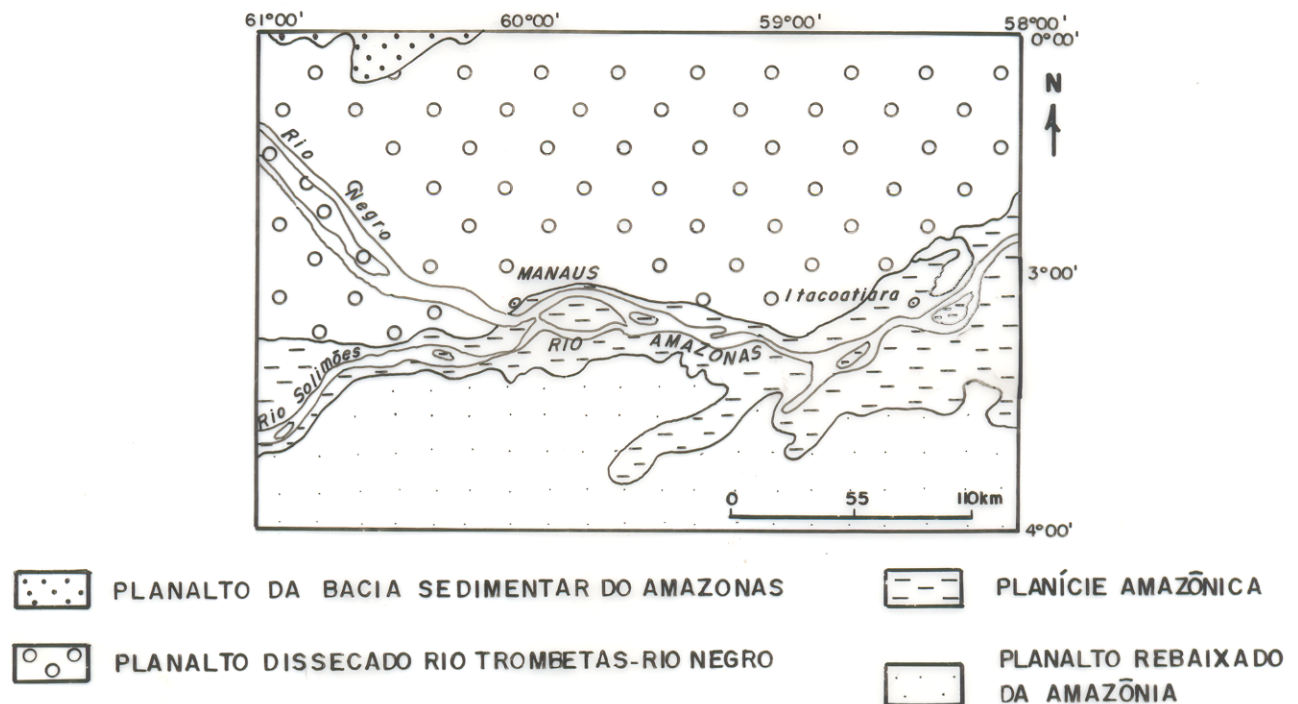


Figura 2: Mapa das unidades morfoestruturais da região de Manaus e arredores. Fonte:

NASCIMENTO et al., 1976 & COSTA et al., 1978.

O padrão de drenagem dominante é ortogonal com forte controle estrutural. Os rios Urubu, Preto da Eva, Puraquequara, Tarumã- Açu e Tarumã-Mirim e parte do Cuieras, drenam a área com cursos aproximadamente paralelos na direção NW-SE, tendo, em geral, afluentes com cursos perpendiculares às calhas dos rios receptores. Os leitos dos rios são amplos na foz em relação aos seus alto e médio cursos, segundo SOUZA & MEDEIROS (1972). Na cidade de Manaus, a rede de drenagem é composta

por igarapés que correm preferencialmente nas direções NE-SW e NW-SE, e pelo igarapé do São Raimundo na direção N-S.

1.4 GEOLOGIA REGIONAL

1.4.1 Estratigrafia

As unidades geológicas que ocorrem na região datam do Cretáceo Inferior ao Recente, e situam-se na área de abrangência das bacias sedimentares do Solimões e do Amazonas. A Figura 3 mostra o quadro crono-litoestratigráfico da região, bem como as unidades informais de rochas derivadas de processos de lateritização, as quais são denominadas de lateritos maduros e imaturos (COSTA, 1991).

A região da cidade de Manaus e arredores encontram-se no domínio da Formação Alter do Chão, referida pela primeira vez por Kistler apud LOURENÇO et al. (1978), como sendo uma unidade do Mesozóico da bacia do Amazonas. Segundo ARAÚJO et al. (1976) e SCHOBENHAUS & CAMPOS (1984), a Formação Alter do Chão é composta por sedimentitos continentais vermelhos, representados essencialmente por arenitos argilosos, argilitos, quartzo-grauvacas, quartzo-arenitos e brechas intraformacionais. O quartzo arenito foi denominado por Albuquerque apud SCHOBENHAUS & CAMPOS (1984) de Arenito Manaus, com áreas de exposição no Médio e Baixo Amazonas e na cidade de Manaus, onde é usado como brita e blocos de pavimentação na construção civil. A oeste da região da cidade de Manaus, a Formação Alter do Chão encontra-se encoberta pelos sedimentos da Formação Solimões. Segundo FRANZINELLI & PIUCI (1988), a Formação Alter do Chão está distribuída na região do Médio Amazonas, conforme mostrado na Figura 4.

Coluna Cronolitoestratigráfica				Coluna Litoestratigráfica		Unidades Informais: Lateritos
Era	Período	Época		Bacia do Solimões	Bacia do Amazonas	
Ceno- zóico	Quater- nário	Holoceno		Aluviões recentes		Imaturos
		Pleistoceno				
	Terciário	Plioceno				maturos
		Mioceno		Formação Solimões		
		Oligoceno				
		Eoceno				
		Paleoceno				
Meso- zóico	Cretá- ceo	Superior	Cenoniano			
			Turoniano	Formação Alter		
			Cenominiano	do Chão		
		Inferior	Albiano			

Figura 3: Coluna crono-litoestratigráfica da região de Manaus e arredores.

Modificado de CAPUTO (1984).

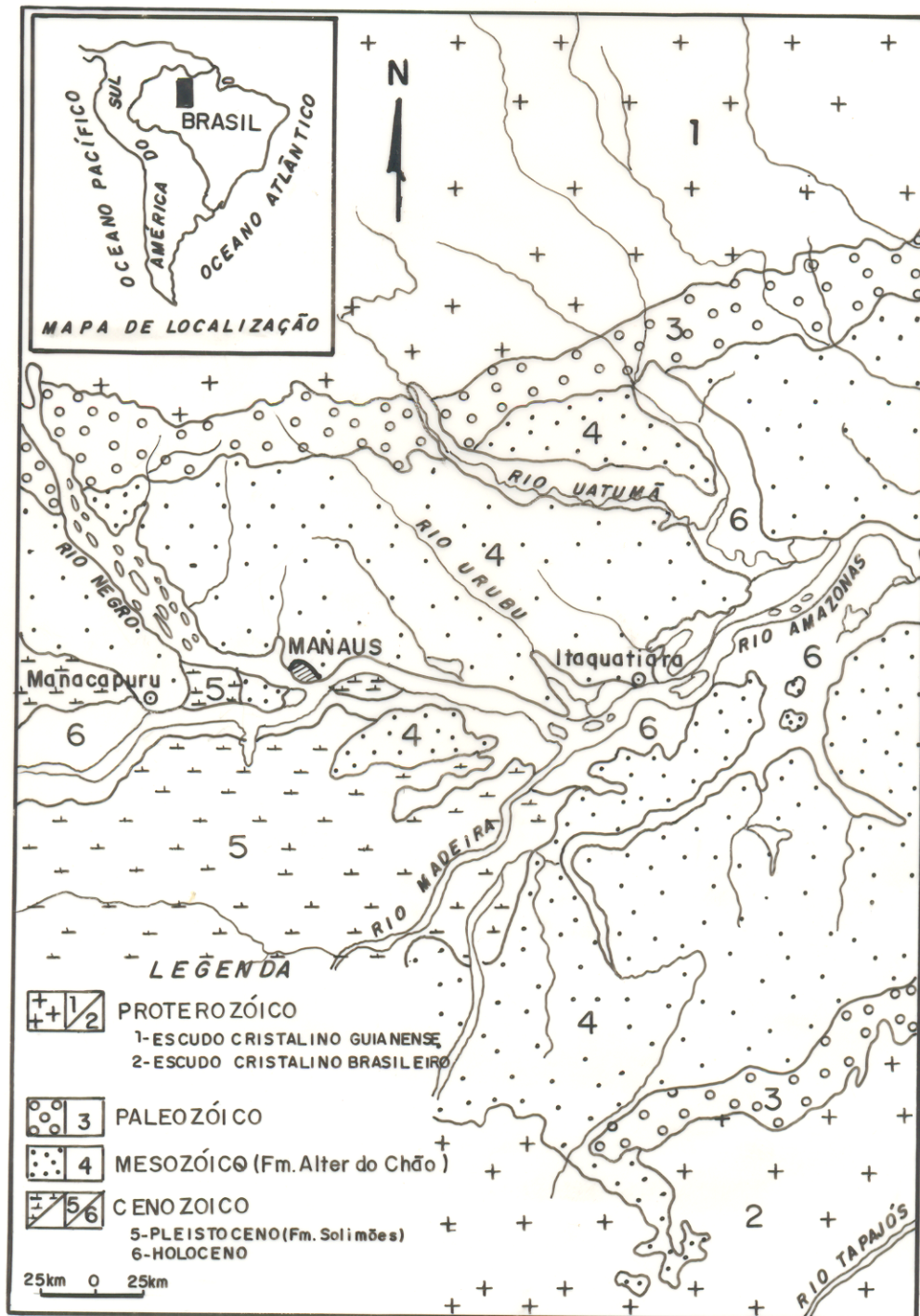


Figura 4: Mapa geológico da região do Médio Amazonas. Fonte FRANZINELLI & PIUCI (1988).

Estudos micropalenontológicos concluíram que a sedimentação da Formação Alter do Chão iniciou-se na Albiano Médio ou Superior (Cretáceo Inferior), estendendo-se pelo Cenomaniano e Turoniano (Cretáceo Superior) (SCHOBENHAUS & CAMPOS, 1984).

A Formação Solimões foi, pela primeira vez, formalmente descrita por Rego apud CAPUTO (1984) para designar uma seção argilosa ao longo do rio Solimões. Segundo HOORN (1993), a Formação Solimões é constituída por argila, silte, e argila e areia fina a média com intercalações de linhito, camadas de gipso e nódulos de calcários e limoníticos. Também, são encontradas camadas ricas em fosseis. Os sedimentos são caracterizados por uma variedade de cores do vermelho ao preto. Nas camadas arenosas, algumas estruturas sedimentares são comuns, tais como, estratificações cruzadas, lenticular e "flaser". As bioturbações são frequentes. O sistema deposicional é fluvial a fluvio-lacustre com características estuarina, com influencia episódica de condições marinhas costeiras.

Quanto à idade da Formação Solimões, com base em estudos palinológicos, Daemon & Contreiras apud HOORN (1994) sugeriram idade do Paleoceno ao Pleistoceno; mais tarde Cruz apud HOORN (1994), propuseram a idade do Mioceno ao Plioceno. Já HOORN (1993), após distinguir 5 zonas palinológicas correlacionáveis com outras zonas existentes na porção norte da América do Sul, estabeleceu a idade do Mioceno para a Formação Solimões.

O Holoceno é caracterizado pela deposição dos aluviões recentes, compreendendo cascalho, areia e silte/argila.

Quanto às unidades informais, existem dois grandes grupos de lateritos divididos por COSTA (1991) em maduros e imaturos, onde os maduros são lateritos com horizontes melhor diferenciados, sendo um aluminoso-fosfático, o qual não ocorre nos imaturos. Os lateritos ainda podem ser autóctones e aloctónes, dependendo se esses possuem sequência de horizontes completa ou incompleta truncada por linha de pedra. Os maduros desenvolveram-se no Eoceno-Oligoceno (TRUCKENBRODT et al., 1982; e COSTA, 1984), e foram retrabalhados no Mioceno-Pleistoceno (KOTSCHUBEY, 1984 e COSTA, 1990 a,b). Os lateritos imaturos, por sua vez, se formaram durante o Quaternário (Pleistoceno) e não se estenderam para o Holoceno (COSTA, 1991). KOTSCHUBEY & TRUCKENBRODT (1981) mostraram que os lateritos maduros exibem feições típicas de processos policíclicos, enquanto COSTA (1990 a,b) evidencia também os processos epigenéticos. FRANZINELLI & PIUCI (1988) assinalam dois níveis de lateritização, um antigo e outro atual, em corte de estrada na rodovia AM-363 (Figura 5), não correlacionáveis aos lateritos maduros e imaturos de COSTA (1991).

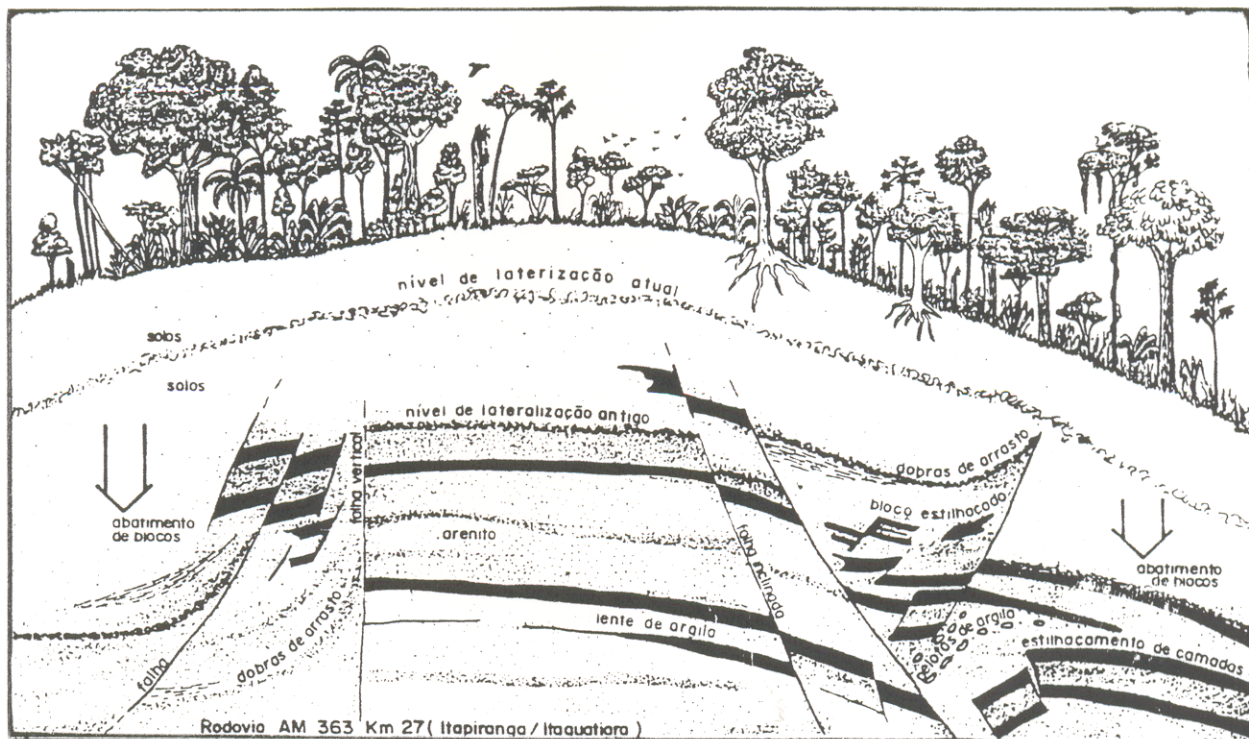


Figura 5: Seção geológica esquemática, em corte de estrada, mostrando dois níveis de lateritização afetados por falhas. Fonte: FRANZINELLI & PIUCI (1988).

1.4.2. Lateritos da Amazônia

Lateritos, solos lateríticos e rochas associadas, amplamente denominados de regolitos na literatura australiana (BUTT & ZEEGERS, 1992; ANAND, 1995), recobrem cerca de 30% da superfície dos continentes, e constituem elementos fundamentais da paisagem geológica da Austrália, Índia, países da África Central e Equatorial e do Brasil. Embora se estendam por grande parte do Brasil, é na Amazônia que eles se destacam em termos de abundância, complexidades mineralógica, geoquímica e genética, e riqueza mineral. A profundidade do intemperismo varia desde poucos metros até mais que 150m de profundidade, dependendo da idade do laterito, atividade

tectônica regional, do clima, da história climática da região e da natureza da rocha-mãe (Nahon & Tardy apud BUTT & ZEEGERS, 1992).

Os lateritos são tema de discussão e controvérsia por mais de um século. Atualmente, o termo é aplicado de forma mais abrangente do que nas últimas décadas. SCHELLMANN (1979) conceitua laterito como produto de intenso intemperismo de rochas de subsuperfície, fazendo com que os teores de Fe e/ou Al sejam mais elevados e os de Si mais baixos nos lateritos do que na rocha-mãe apenas caolinizada. NAHON (1991) diz que o manto de intemperismo e os solos que cobrem a superfície das terras emersas são produtos da destruição das rochas ígneas, metamórficas e sedimentares sobre a ação de agentes externos atmosféricos e biológicos. TARDY (1993) refere-se aos lateritos como acumulação ferruginosa ou aluminosa endurecida e contínua (couraça) ou descontínua (nódulo e pisolito), excluindo os solos ferralíticos, ferrosialíticos e ferruginosos tropicais. TARDY (op. cit.) diz ainda que os lateritos são produtos da intensa alteração meteórica e são constituídos de assembleia mineral que possui goethita, hematita, hidróxido de alumínio, caolinita e quartzo. Enquanto COSTA (1991) e COSTA & ANGÉLICA (1995), estudando lateritos na Amazônia, usam o termo laterito para designar rochas formadas ou em fase de formação por meio de intenso intemperismo químico de rochas preexistentes, inclusive de lateritos antigos, sob condições de clima tropical ou equivalentes. Tratam-se de rochas lateríticas ricas em Fe e Al e pobres em Si, alcalinos e alcalinos-terrosos se comparadas à composição da rocha-mãe. MARTINI & CHESWORTH (1992) designa laterito como produto de intenso intemperismo tendo como resultado uma assembléia mineralógica composta de óxidos, oxi-hidróxidos e hidróxidos de Fe e Al, caolinita e quartzo, caracterizado por uma razão

$\text{SiO}_2:(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$, a qual não pode exceder o valor requerido para caracterizar o quartzo e a caolinita.

Os perfis de intemperismo na Amazônia possuem coberturas nas regiões de platôs constituídas de horizonte argiloso, na parte superior, com mais de 80% de caolinita, espessura variando de 2 a 10m, podendo alcançar 20m, denominada de "Argila de Belterra" (SOMBROEK, 1966), e que é considerada por este autor como sedimento terciário, cuja origem lacustre explica a granulometria fina e homogênea. Outros autores (TRUCKENBRODT & KOTSCHOUBEY, 1981; KOTSCHOUBEY & TRUCKENBRODT, 1981; TRUCKENBRODT et al., 1982; KOTSCHOUBEY, 1984) consideram essas coberturas como sedimento terciário de ambiente semi-árido, enquanto CHAUVEL et al. (1982) e IRION (1984) consideram que os horizontes argilosos derivam das alterações desenvolvidas in situ sobre sedimentos da Formação Alter do Chão subjacentes. Segundo COSTA (1991), HORBE & COSTA (1994) e HORBE (1995), essas coberturas argilosas são derivadas do intemperismo de crostas e bauxitas subjacentes e adjacentes.

Esses perfis de intemperismo citados acima, a exemplo dos lateritos bauxíticos, segundo LOURENÇO et al. (1978), desenvolveram-se sobre platôs no vale Amazônico, e possuem o seguinte perfil esquemático, da base para o topo: argila mosqueada rosa, vermelha e branca; zona de transição que consiste em bauxita, alterando-se em caolinita; bauxita rosa, vermelha gibbsítica; ferralita ferruginosa em blocos; concreções esferoidais e disformes de óxido de ferro cimentado por gibbsita; concreções esferoidais de gibbsita e óxido de ferro com estrutura pisolítica e vermicular

e argila amarela plástica. Segundo MORAES (1994), a estruturação do perfil laterítico caulínico da rodovia AM-010 (Manaus-Itacoatiara) é constituída, da base para o topo, como mostra a figura 6.

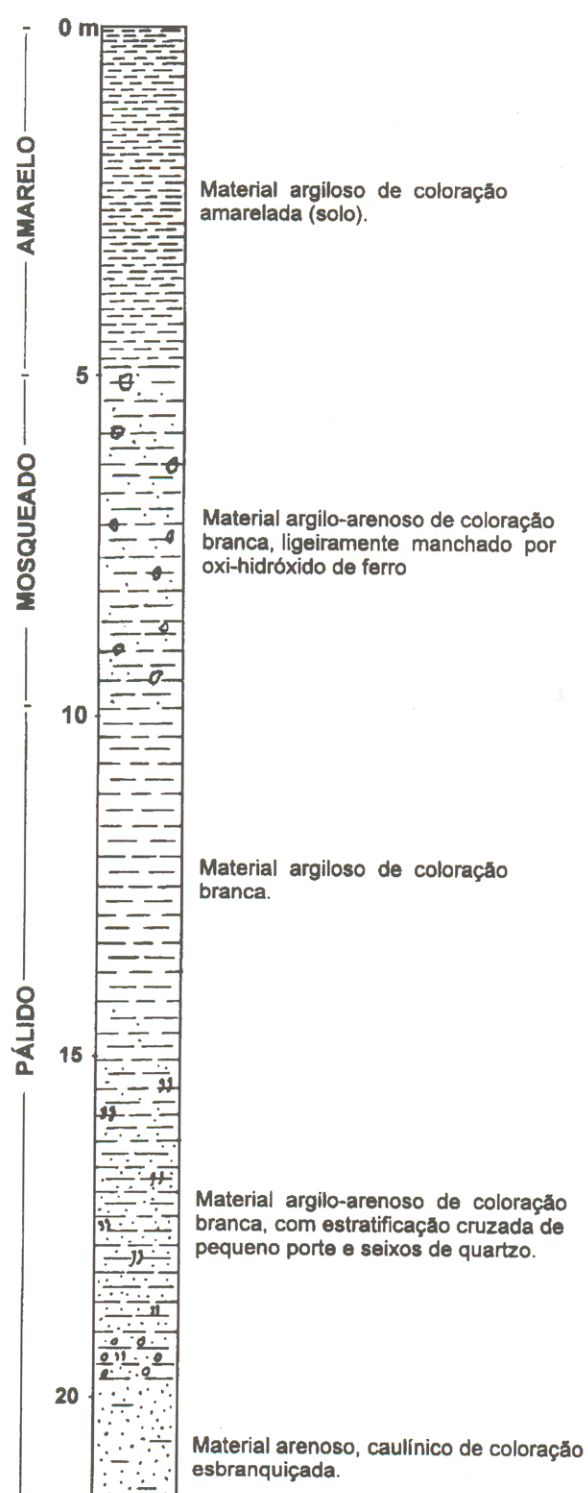


Figura 6: Perfil geológico do caulim da rodovia Manaus-Itacoatiara. Fonte: MORAES (1994).

1.4.3. Neotectônica da Amazônia

As primeiras investigações neotectônicas na região dos baixos cursos dos rios Negro e Solimões foram realizadas por STERNBERG (1950), que demonstrou o controle tectônico dos vales da planície Amazônica e do traçado dos rios Urubu, Preto da Eva e Uatumã. Em seguida, STERNBERG (1953) relatou os principais eventos sismológicos dessa região, identificando-a como uma das principais áreas sismogênicas da Região Amazônica.

Iriondo & Suguio apud FRANZINELLI & PIUCI (1988) sugeriram movimentações de blocos durante o Holoceno envolvendo toda a planície amazônica em território brasileiro. FRANZINELLI & PIUCI (1988) propuseram que os fenômenos neotectônicos que ocorrem na bacia amazônica, provocaram uma compartimentação peculiar e conspícua nos sedimentitos da Formação Alter do Chão da bacia do Amazonas, e também alertam para os efeitos dessa tectônica nas coberturas mais jovens. Na região do baixo curso do rio Negro, FRANZINELLI & IGREJA (1990) definiram um hemi-graben caracterizado por falhas normais inclinadas para nordeste e decorrentes da atuação de um eixo extensional voltado para N50°-55°E. Ressaltaram, no entanto, que parte dos dados estruturais pode ser explicada através de um sistema direcional dextral de direção E-W. COSTA et al. (1992) e COSTA et al. (1994) referem-se a tectônica ressurgente na região amazônica e relacionaram as estruturas neotectônicas a dois episódios de movimentação, um no Terciário Superior (Mioceno-Plioceno) e outro no Quaternário. A compartimentação estrutural do Terciário Superior engloba 3 domínios denominados de transpressivo, direcional e distensivo, de leste

para oeste. O domínio transpressivo situa-se na região entre Manaus e Santarém e é formado por três segmentos principais: o primeiro, entre as cidades de Manaus e Itacoatiara, caracteriza-se pela presença de vários feixes de falhas inversas na direção NE-SW e inclinados preferencialmente para SE. No interflúvio rio Preto da Eva/Urubu, ocorrem duplexes e sistemas embriados afetando os sedimentitos da Formação Alter do Chão; o segundo, estende-se entre as cidades de Itacoatiara e Parintins e compõe-se de dois feixes de falhas transcorrentes de direção NE-SW; e o terceiro, corresponde à região do Baixo Tapajós, sendo caracterizado por dobras quilométricas. A compartimentação estrutural do Quaternário se refere ao desenvolvimento de duas junções tríplices denominadas Baixo Tapajós e Marajó-Mexiana, bem como a existência de falhas normais NW-SE que afetam os sedimentos da Formação Solimões (Figura 7).

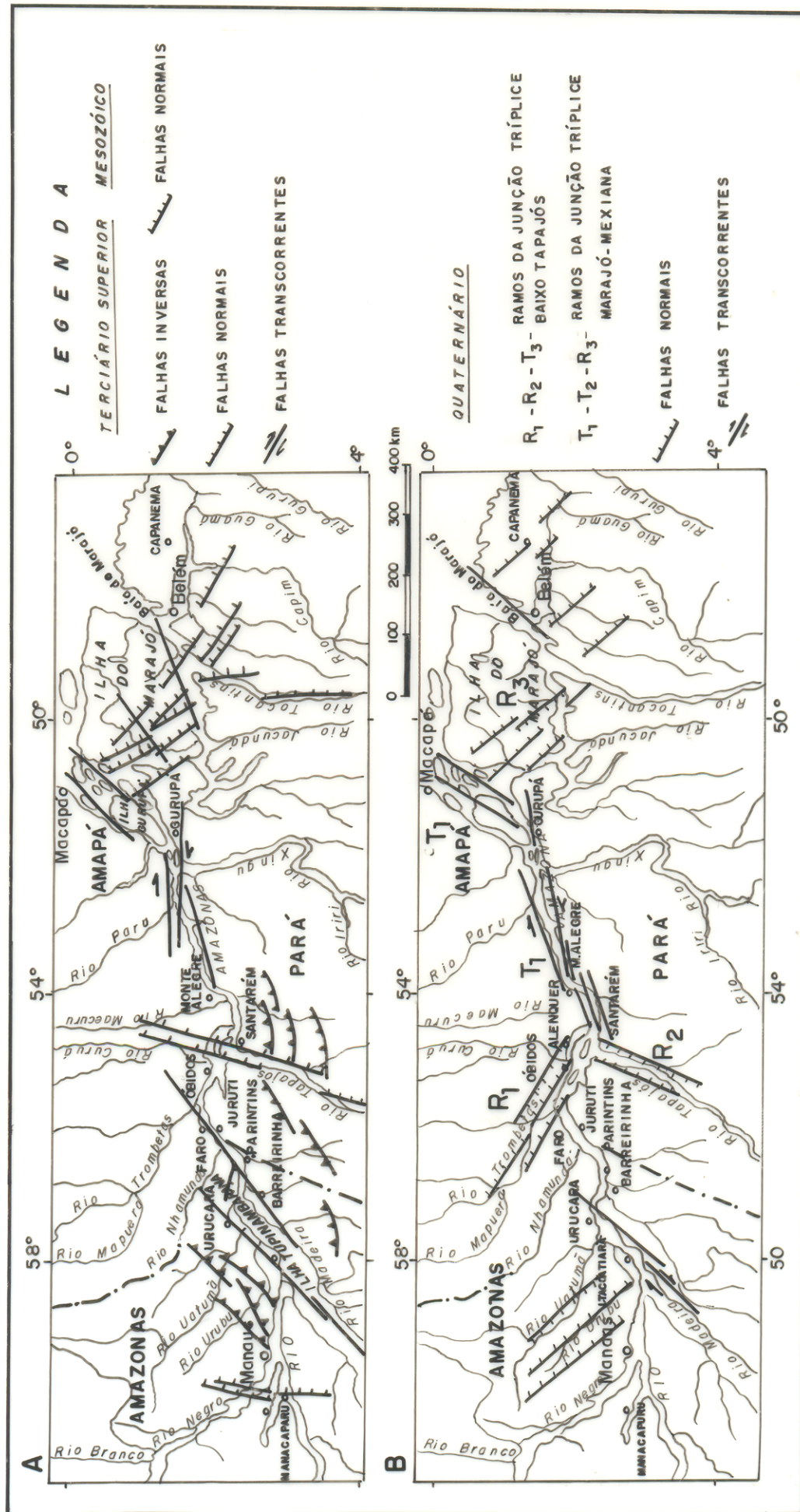


Figura 7 - Compartimentação estrutural do Terciário Superior e Quaternário da Amazônia. Fonte: COSTA et al.(1994).

2 METODOLOGIA

O trabalho envolveu os seguintes procedimentos: levantamento bibliográfico, mapeamento de perfis, análises laboratoriais, confecção de perfis e mapas geológicos, interpretação e integração dos dados.

O estado da arte dos lateritos e da neotectônica da amazônia foi cuidadosamente analisado visando à busca de subsídios para o desenvolvimento do trabalho. O conhecimento disponível em áreas de outros continentes também serviu de apoio para o entendimento da complexidade geoquímica dos lateritos.

O mapeamento dos perfis lateríticos foi realizado nos períodos de 02/09 a 03/10/94 e de 17/12/94 a 17/01/95, e envolveu procedimentos de rotina de caracterização e correlação de horizontes através de seções geológicas de detalhe, acompanhadas de coleta de amostras. Foram escolhidos 6 perfis lateríticos, onde foram coletadas 26 amostras representativas dos diferentes horizontes lateríticos. A amostragem foi feita na vertical, em profundidade, com exceção do perfil do *dique* onde a amostragem foi na horizontal devido a verticalização dos horizontes. Sistemáticamente, foram descritos os tipos de estruturas neotectônicas através de métodos propostos por ANGELIER (1992) e outros. Dessa forma, tornou-se possível definir os tipos de perfis lateríticos e suas correlações com o quadro neotectônico.

As análises laboratoriais consistiram em preparação, análises químicas, mineralógicas e petrográficas das amostras selecionadas.

Após adequada seleção, as amostras foram secadas em estufa e posteriormente descritas macroscopicamente. Das amostras, porções foram cuidadosamente separadas para confecção de lâminas delgadas, através do processo de impregnação de resina, enquanto o restante da amostra foi homogeneizado e posteriormente quarteado. Em seguida, retirou-se uma alíquota para pulverização em "sharper box". Finalmente, da amostra pulverizada, foram retiradas três alíquotas para análises mineralógicas por difração de raios-X e análises químicas de elementos maiores e traços. Para o cálculo do teor de AlOOH na goethita foi utilizado o método de SCHULZE (1984). As amostras estudadas contêm quartzo, o qual serviu como padrão interno e as condições do difratômetro de raios-x, de tubo de Cu, foram de $1^\circ \times 2\theta/4\text{cm/min}$. e $2 \times 10^\circ/\text{seg}$. no intervalo de 36° a $38^\circ 2\theta$.

Nos laboratórios do Departamento de Geoquímica e Petrologia do Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará, foram analisados os elementos maiores, apresentados na forma de óxidos (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , P_2O_5) e perda ao fogo (PF).

Os métodos utilizados foram os seguintes: gravimetria para SiO_2 e PF; volumetria para Al_2O_3 (com EDTA); e colorimetria para Fe_2O_3 e TiO_2 . Os resultados de Fe_2O_3 incluem o FeO .

Os elementos traços foram analisados nos laboratórios da Geosol através dos seguintes métodos: espectrografia ótica de emissão B, V, Mo, Ga, Y, Zr, Nb, Sc e Ba; absorção atômica Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Cr e Mn; e geração de hidretos As e Hg.

No tratamento estatístico, foi utilizado o software “GEOQUANT” para a análise fatorial modo Q com rotação varimax, com os dados ajustados para intervalos de 0 a 1. Nas análises, foram considerados os teores dos minerais, dos óxidos de Si, Al, Fe, Ti, dos elementos-traço e da perda ao fogo. Para os teores abaixo do limite de detecção utilizou-se o valor 1.

Na análise fatorial, foi utilizado o modo Q que forneceu dois fatores, com base em suas cargas e estes em correlação com as variáveis ($r > 0,53$) de grau de confiabilidade 97,5 %. Os dados foram ajustados para média igual a zero e variância unitária com solução varimax.

3 ESTRUTURAÇÃO GEOLÓGICA DOS PERFIS LATERÍTICOS

Na área estudada, foram realizados várias seções geológicas (Figura 8) nas quais os perfis lateríticos, principalmente o horizonte ferruginoso (crosta ferruginosa), serviram de marcadores para a definição dos movimentos neotectônicos.

Ao longo das seções geológicas, foram escolhidos 6 pontos de perfis lateríticos representativos da área para amostragem, e que serviram de base para as devidas correlações, conforme mostrado na Figura 9.

A descrição dos perfis é feita em conjunto, apresentando-se cada horizonte laterítico individualmente.

Na região de Manaus, foram identificados perfis lateríticos imaturos, devido à ausência do horizonte aluminoso, dos tipos autóctones e alóctones (Figura 9), segundo a classificação de COSTA (1991). Os aloctónes possuem a presença da linha de pedra. Esses perfis encontram-se estruturados nos seguintes horizontes lateríticos, do topo para a base:

Perfil Imaturo Autóctone

(Horizontes)

- 1- Solo(Cobertura)
- 2- Esferolítico
- 3- Ferruginoso
- 4- Argiloso
- 5- Transicional (Pálido)

Perfil Imaturo Alóctone

ou Linha de Pedra

(Horizontes)

- 1- Solo(Cobertura)
- 2- Linha de Pedra
- 3- Argiloso
- 4- Transicional (Pálido)

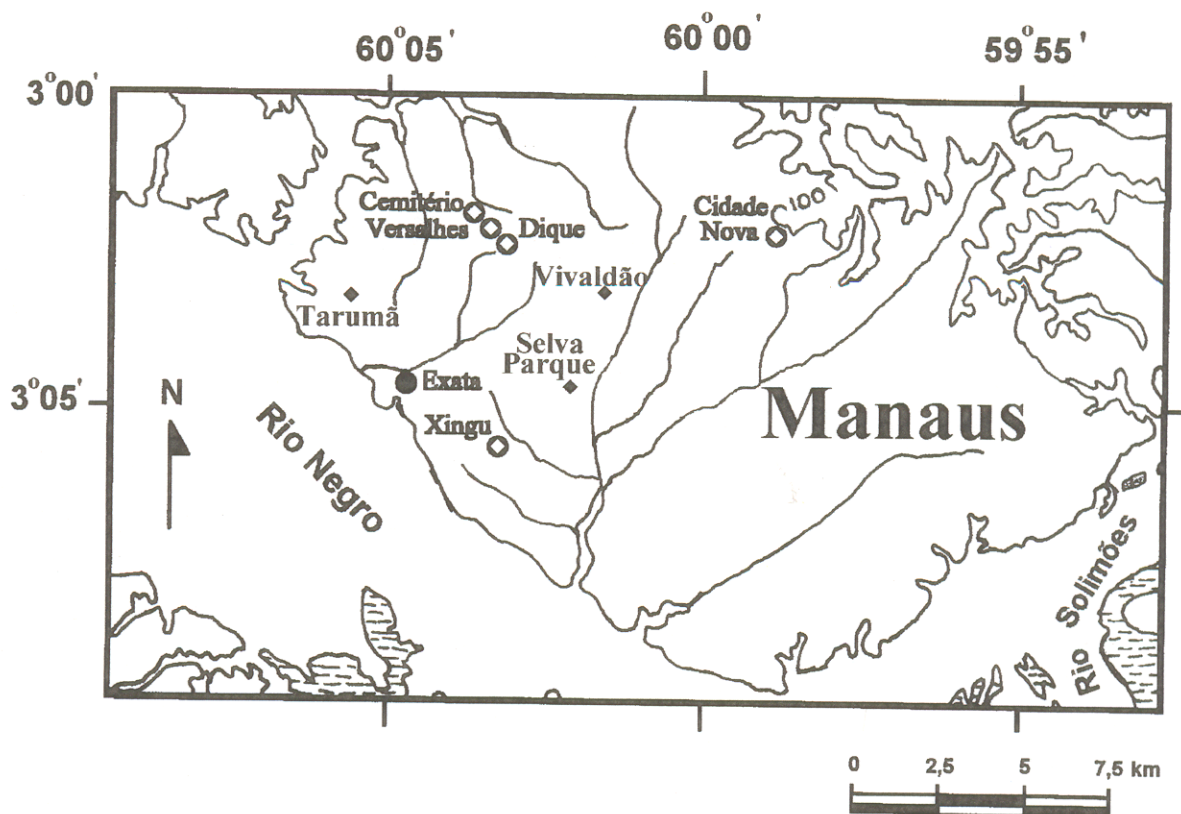


Figura 8: Localização dos perfis geológicos estudados (♦) e perfis lateríticos amostrados (●) dentro da cidade de Manaus.

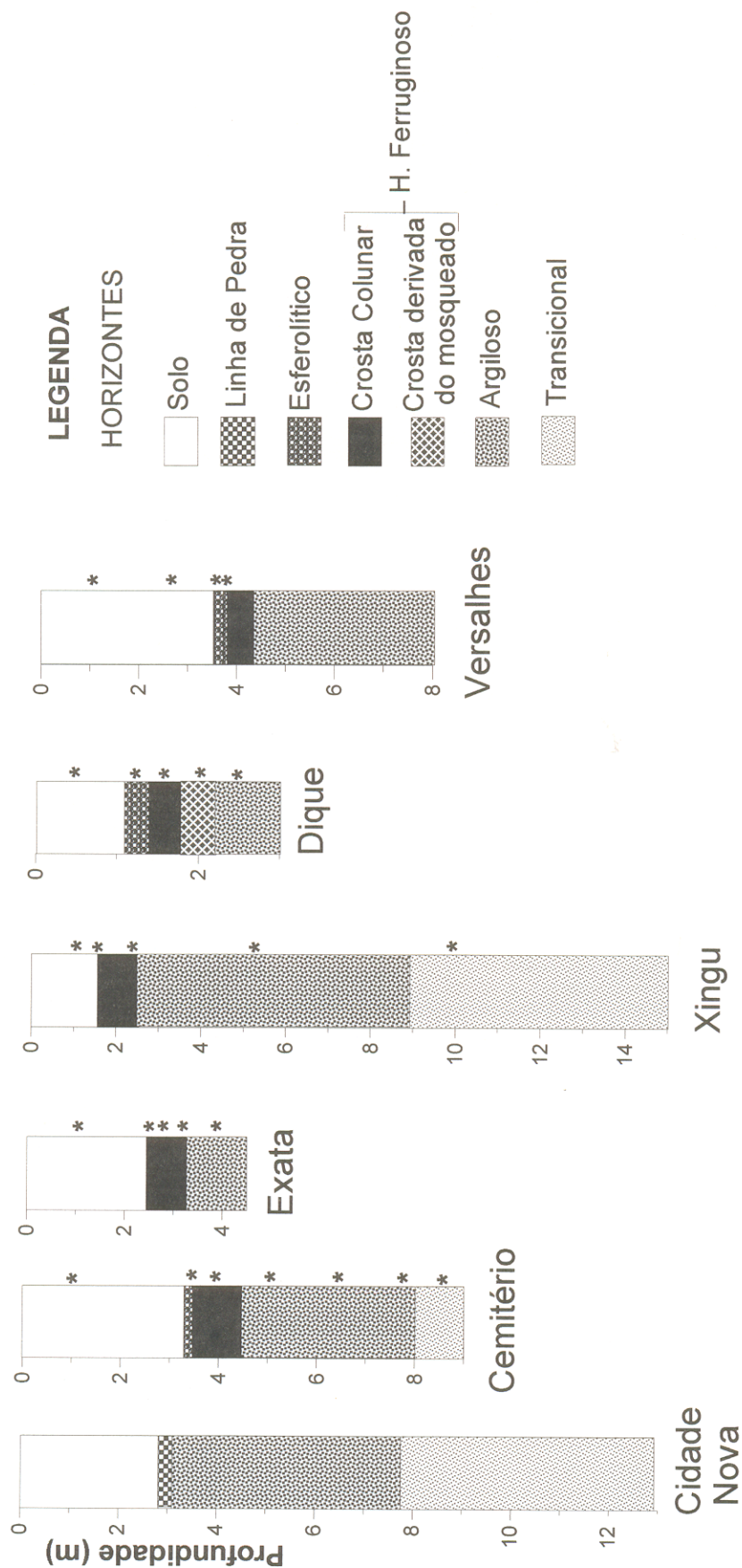


Figura 9: Estruturação dos perfis lateríticos selecionados na cidade de Manaus.
 Ver localização na Figura 8. (*) posição das amostras.

Os perfis lateríticos encontram-se deformados ou rotacionados por movimentos tectônicos, perfeitamente identificáveis através do deslocamento dos horizontes guias, nos casos representados pelo horizonte ferruginoso (crosta) no perfil autóctone e pela linha de pedra no alóctone. Os perfis geológicos com as estruturas neotectônicas serão discutidos no item geologia estrutural.

Neste item, apresenta-se a descrição dos perfis lateríticos, por horizonte, pautada nas suas estruturas, textura, composição mineral e espessura.

3.1 - HORIZONTE TRANSICIONAL

O horizonte transicional ocorre na base do perfil laterítico, de cor branca a rosa, aflora em poucos pontos e apresenta espessura média de 3,5m, chegando a 8m na porção nordeste da área, onde está associado à linha de pedra, sugerindo as maiores taxas de soerguimento nesta porção da área (Figura 10). A estruturação da rocha está bem preservada e é possível identificar-se estruturas sedimentares herdadas da rocha-mãe, a Formação Alter do Chão, tais como: estratificações plano-paralelas, cruzada plana e acanalada, lentes conglomeráticas e acamamentos.

Quanto à composição mineralógica, somente os grãos de quartzo são identificáveis, macroscopicamente, em meio a matriz argilosa de cor branca a rosa, que através de análises de difração de raios-X, mostra-se composta de caulinita, goethita e anátasio em pequena quantidade. Neste horizonte, são encontradas lentes constituídas de caulinita pura maciça de cor branca (Figura 11).

Verticalmente, em direção ao topo, ao longo deste horizonte, percebe-se que as estruturas primárias tendem a desaparecer, e os sedimentos adquirem tonalidade rosada. O contato do horizonte transicional com o sotoposto é gradual, marcado pela estrutura maciça da base do horizonte argiloso.



Figura 10: Exposição do horizonte transicional, ao longo do perfil da Avenida Grande Circular da Cidade Nova, e da linha de pedra. Nota-se a estruturação primária dos sedimentos preservada na base do perfil.



Figura 11: Lente argila branca maciça dentro do horizonte transicional.

3.2 - HORIZONTE ARGILOSO

O horizonte argiloso possui espessura média de 5m, atingindo o máximo de 11m (Figura 12), dificilmente contém estruturas da rocha-mãe na base do perfil, e passa para o horizonte sotoposto, crosta ferruginosa derivada do horizonte mosqueado, através de contato abrupto. A granulometria do material constituinte desse horizonte depende da constituição da rocha-mãe original, ou seja, a composição do material é essencialmente argilosa, com coloração avermelhada onde derivou de camada argilosa e é areno-argilosa onde se formou a partir de material arenoso. Nota-se ainda que o material argiloso desenvolve mosqueamento intenso (Figura 13), e é mais representativo ao longo do horizonte, enquanto o material areno-argiloso apresenta, no máximo, manchas esbranquiçadas incipientes.

Na porção inferior do horizonte argiloso, a estruturação é bastante isotrópica, enquanto na porção mais superior, o material apresenta-se com aspecto mosqueado, com manchas de óxido de ferro, que se tornam mais freqüentes em direção ao topo. O quartzo é o único mineral possível de ser identificado.

3.3 - HORIZONTE FERRUGINOSO

O horizonte ferruginoso possui espessura que varia de 0,5 a 1m, apresenta contatos abruptos com os horizontes adjacentes e é caracterizado por crosta ferruginosa que pode ser dividida em crosta colunar (topo) e crosta derivada do mosqueado (base).



Figura 12: Aspecto geral do horizonte argiloso no perfil do Cemitério



Figura 13: Aspecto do mosqueamento em camada argilosa no perfil do Xingu.

A crosta derivada do mosqueado ocorre na base do horizonte ferruginoso e é constituída de porções ferruginosas com contornos irregulares, composta de óxi-hidróxidos de ferro, centimétricas a decimétricas, envolvidas em matriz argilosa rosa-avermelhada compacta. Na parte superior do horizonte, ocorre crosta ferruginosa, em posição horizontal, com estruturas colunares constituídas de óxi-hidróxidos de ferro, de aproximadamente 0,5 m de comprimento, em posição vertical, envolvidas por material argiloso de cor amarela empalidecida, em alguns locais, misturadas com esferolitos ferruginosos. Rotacionadas pelos movimentos neotectônicos, também são encontradas crostas ferruginosas em posição inclinada, e excepcionalmente em posição vertical, (Figura 14) com as estruturas colunares na horizontal, dependendo da intensidade da movimentação sofrida pelo perfil laterítico.

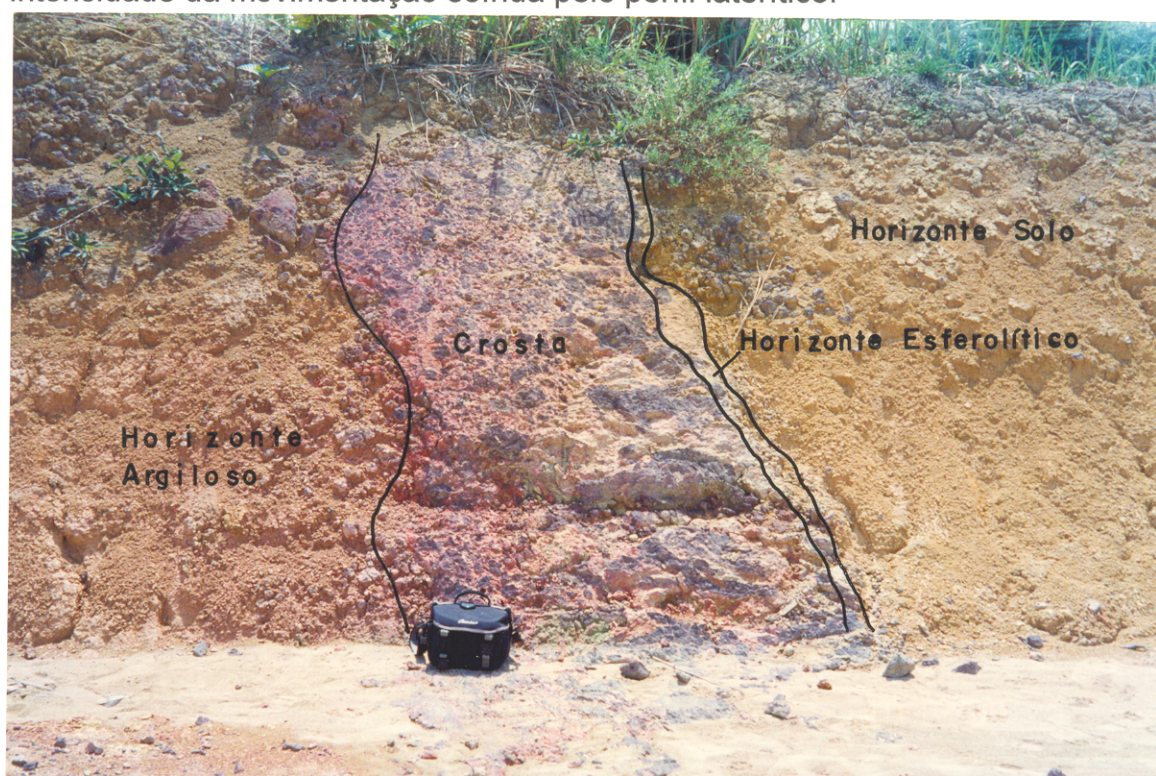


Figura 14: Crosta ferruginosa verticalizada em forma de dique com as estruturas colunares em posição horizontal.

3.4 HORIZONTE ESFEROLÍTICO

O horizonte esferolítico ocorre sobreposto ao horizonte ferruginoso em contato brusco, localmente gradual, possui espessura variando entre 30 a 50cm, está associado aos perfis onde a crosta ferruginosa encontra-se melhor preservada (Figura 15) e restringe-se às partes sul e sudeste da área.

O horizonte esferolítico é composto essencialmente por esferolitos de óxi-hidróxidos de ferro, e raros nódulos de cor branca e composição gibbsítica, de tamanhos centimétricos. Esses encontram-se imersos numa matriz argilosa de cor amarela, semelhante a que ocorre no horizonte solo.

3.5 LINHA DE PEDRA

A linha de pedra ou "stone line" é constituída essencialmente por fragmentos de óxi-hidróxidos de ferro, derivado da crosta ferro-aluminosa preexistente. Essa linha de pedra apresenta espessura variando de 15 a 80cm e ocorre nas porções central e nordeste da área estudada.

Na porção central da área, as linhas de pedras ocorrem truncando o horizonte mosqueado, formando lentes com dezenas de metros de comprimento e espessuras centimétrica a métrica. Internamente, as linhas de pedras mostram granulocrescência onde estão associadas aos vales e granulodecrescência nas porções mais altas (Figura 16). Essas linhas são bastante irregulares e compreendem fragmentos oscilando entre as escalas do milímetro ao decímetro, possuem formas irregulares; e, em alguns pontos, existem superfícies polidas de cor marron.

Na região nordeste da área, ao longo do perfil da avenida Grande Circular da Cidade Nova, a linha de pedra apresenta espessura uniforme de aproximadamente 15cm, truncando o horizonte argiloso abaixo da zona mosqueada, sugerindo que esta área foi mais soerguida do que as partes sul e sudeste. Nessa região, a linha de pedra é constituída por fragmentos ferruginosos de cor marrom escura, imersos numa matriz argilosa de cor amarelada; o tamanho das concreções é uniforme e de escala centimétrica.



Figura 15: Aspectos gerais do horizonte esferolítico ao longo do perfil do Cemitério.



Figura 16: Aspecto da granulocrescência (A) e granulodecrescência (B) na linha de pedra no perfil da estrada do Aereoclube de Manaus.

3.6 HORIZONTE SOLO

Este horizonte encontra-se amplamente distribuído na região de Manaus e é composto por um material argiloso a areno-argiloso de cor amarela, e recobre indistintamente as linhas de pedra, o horizonte esferolítico ou o horizonte ferruginoso, e localmente pode estar em contato com o horizonte argiloso. Essa cobertura ocorre de maneira contínua ao longo dos perfis, possui espessura variando de menos de um metro até dezenas de metros, e frequentemente encontra-se afetada por falhas, que a coloca lado-a-lado com unidades inferiores, a exemplo dos horizontes ferruginoso, argiloso e transicional (Figura 17).

Essa unidade mostra-se mais argilosa onde ocorre como cobertura dos lateritos autóctones, ou seja, recobrindo o horizonte ferruginoso ou esferolítico nas porções sul e sudoeste. Nas porções central e nordeste, no domínio da linha de pedra, as coberturas são argilo-arenosa a areno-argilosa.

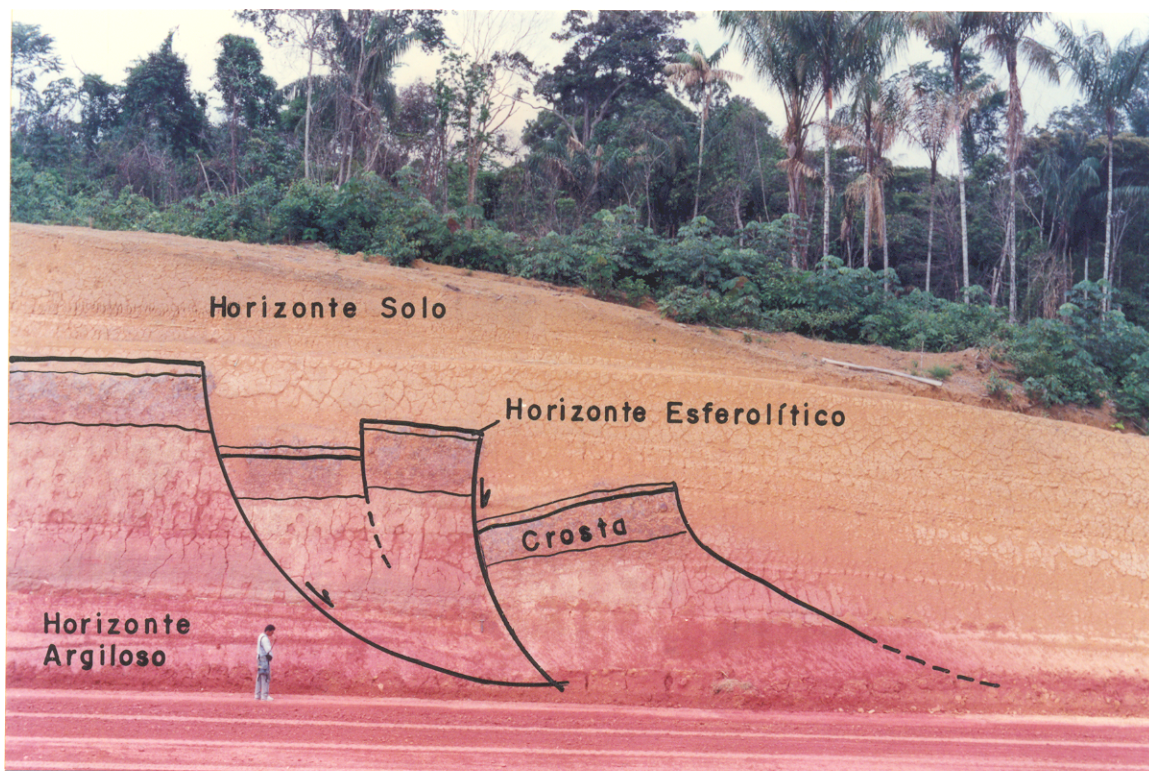


Figura 17: Perfil laterítico afetado por falha normal lístrica, colocando a cobertura de latossolos ao lado do horizonte argiloso no perfil do Cemitério.

4 MINERALOGIA

A caracterização mineralógica foi realizada através da análise por microscopia ótica e difração de raios-X.

Definiu-se, portanto, que os principais minerais do perfil laterítico são a caulinita, os óxi-hidróxidos de ferro (hematita e goethita), a goethita aluminosa e quartzo distribuídos em termos quantitativos de acordo com a especificidade de cada horizonte. Menores quantidades de hidróxidos de alumínio (gibbsita) e óxidos de titânio (anatásio e rutilo), este último mineral como resistato, também foram identificados nestes horizontes. A Figura 18 mostra os difratogramas característicos de cada horizonte laterítico com as reflexões dos minerais identificados.

4.1 PRINCIPAIS MINERAIS

As médias das concentrações dos minerais e a distribuição nos horizontes com base nas médias ao longo dos perfis lateríticos estudados estão representadas respectivamente na Tabela 1 e Figura 19.

4.1.1 - Quartzo - SiO_2

O quartzo está distribuído irregularmente ao longo de todo o perfil laterítico, mas mostra um aumento da crosta para o horizonte solo, e apresenta brusca diminuição no horizonte ferruginoso; esta diminuição deve-se provavelmente a maior dissolução do quartzo nesse horizonte (Tabela 1 e Figura 19). A presença de quartzo e sua distribuição irregular reflete o comportamento irregular da granulação do quartzo na

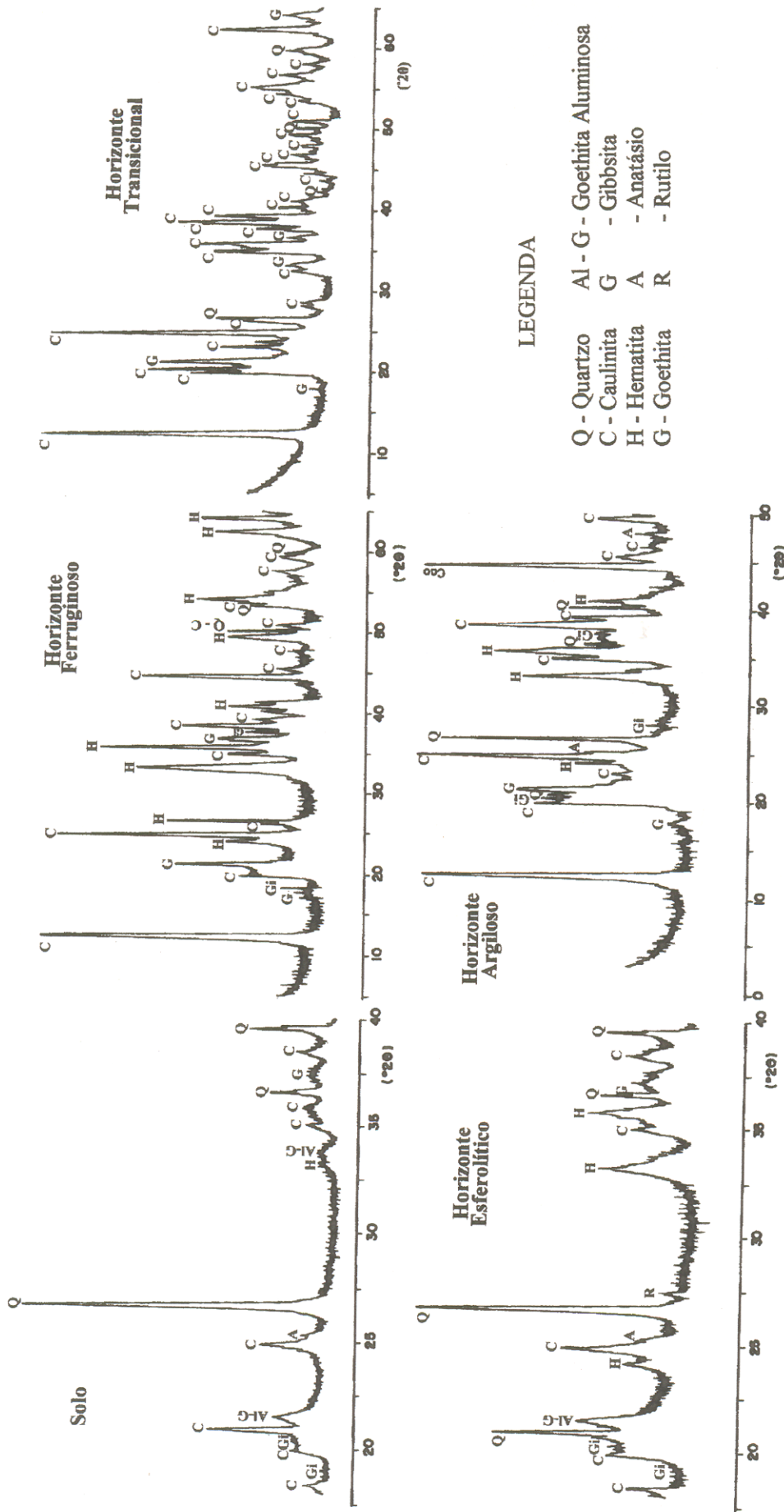


Figura 18: Difractogramas representativos das reflexões dos componentes minerais nos diferentes horizontes lateríticos estudados.

Tabela 1: Médias das concentrações dos minerais identificados nos horizontes lateríticos.

Horizontes	Qz	Cau	Hem	Goe	Gib	Anat	Anat + Rut	Rut
Solo	18	57	7	14	3	1	--	--
Esferolítico	13	60	3	19	3	1	0	--
Ferruginoso	6	25	26	37	5	1	--	0
Argiloso	26	60	7	5	0	1	--	--
Transicional	8	81	--	8	--	2	--	--

Qz - Quartzo, Cau - Caulinita, Hem - Hematita, Goe - Goethita, Gib - Gibbsita,
 Anat - Anatásio e Rut - Rutilo. (--) não detectado.

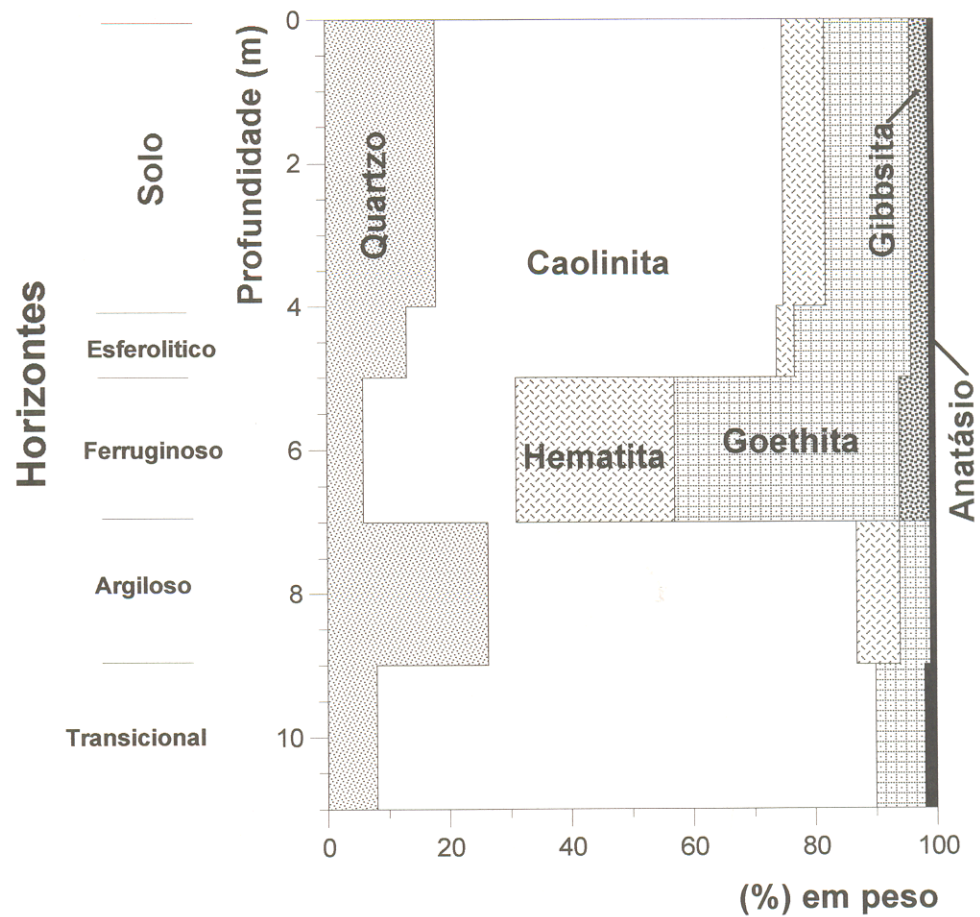


Figura 19: Distribuição mineralógica ao longo dos perfis lateríticos com base nas médias das concentrações dos minerais.

rocha-mãe, provalmente de intercalações de camadas arenosas (quartzosas) e argilosas da sequência sedimentar da Formação Alter do Chão, conforme observado por ARAUJO et al. (1976) e SCHOBENHAUS & CAMPOS (1984). Ao microscópio ótico, os grãos de quartzo mostram-se com contornos sub-arredondados a subangulosos, alguns apresentam extinção ondulante, imersos em matriz caulínica nos horizontes solo e argiloso. Nos horizontes ferruginoso e esferolítico, o quartzo apresenta-se envolvido por plasma ferruginoso, opaco a avermelhado, conferindo coesão ao material.

4.1.2 - Caulinita - $\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$

A caulinita ocorre amplamente distribuída ao longo do perfil laterítico (Figura 19), principalmente no horizonte transicional, diminuindo gradativamente até o horizonte ferruginoso (crosta), de onde volta a aumentar até o horizonte solo, tornando-se novamente o mineral predominante com cerca de 57% em peso, em média, da constituição mineralógica deste horizonte (Tabela 1). Em seção delgada, sob o microscópio ótico, a caulinita apresenta-se como uma massa criptocristalina de cor amarelada, manchada por goethita e hematita principalmente no horizonte ferruginoso.

4.1.3 - Hematita - α - Fe_2O_3

A hematita ocorre preferencialmente no horizonte ferruginoso (crosta) com cerca de 26% de peso em média (Tabela 1). Este mineral experimenta considerável aumento na sua concentração da base do perfil laterítico até o horizonte ferruginoso, a partir do qual a quantidade de hematita diminui em direção ao horizonte solo (Figura 19). Em seção delgada, a hematita aparece constituindo plasma ferruginoso de cor opaca a

vermelho escuro, envolvendo e preenchendo microfraturas nos minerais de quartzo, goethita e gibbsita no horizonte ferruginoso. No horizonte esferolítico, relictos de hematita são encontrados constituindo os esferolitos ferruginosos. No horizonte argiloso, ocorre como manchas na matriz caulinítica, dando, juntamente com a goethita, o aspecto mosqueado ao material.

4.1.4 - Goethita - α - FeOOH α - (Fe,Al)OOH

A goethita é um dos minerais de Fe mais comuns em lateritos, e ocorre ao longo dos perfis lateríticos estudados em Manaus. Também é comum ocorrer nas coberturas lateríticas Al-goethita como consequência da substituição do Fe por Al na sua estrutura que pode chegar a 33 moles % AlOOH de alumínio, segundo TARDY & NAHON (1985). A goethita apresenta comportamento similar à hematita em termos de distribuição das médias das concentrações ao longo dos perfis lateríticos (Tabela 1 e Figura 19). No horizonte ferruginoso, em que este mineral é mais abundante, ocorre a goethita férrica, enquanto que no horizonte solo o predomínio é da goethita aluminosa (Figura 20), semelhante ao observado por NAHON et al. (1979), LUCAS (1989), HORBE (1995) e HORBE et al. (1996). Os moles % de AlOOH nas goethitas mostram que o grau de substituição de Fe por Al varia de 11 a 36 moles % de AlOOH, aumentando continuamente, do horizonte ferruginoso (crosta) até o horizonte solo. Os teores crescentes em moles % de AlOOH superam os valores máximos de 33 moles % de AlOOH obtido em goethita por BARDOSSY (1982), TARDY & NAHON (1985) e TARDY (1993). Microscopicamente, a goethita, de cor vermelha a laranja, apresenta-se disseminada manchando a matriz caulínica, ou preenchendo microfraturas na matriz e

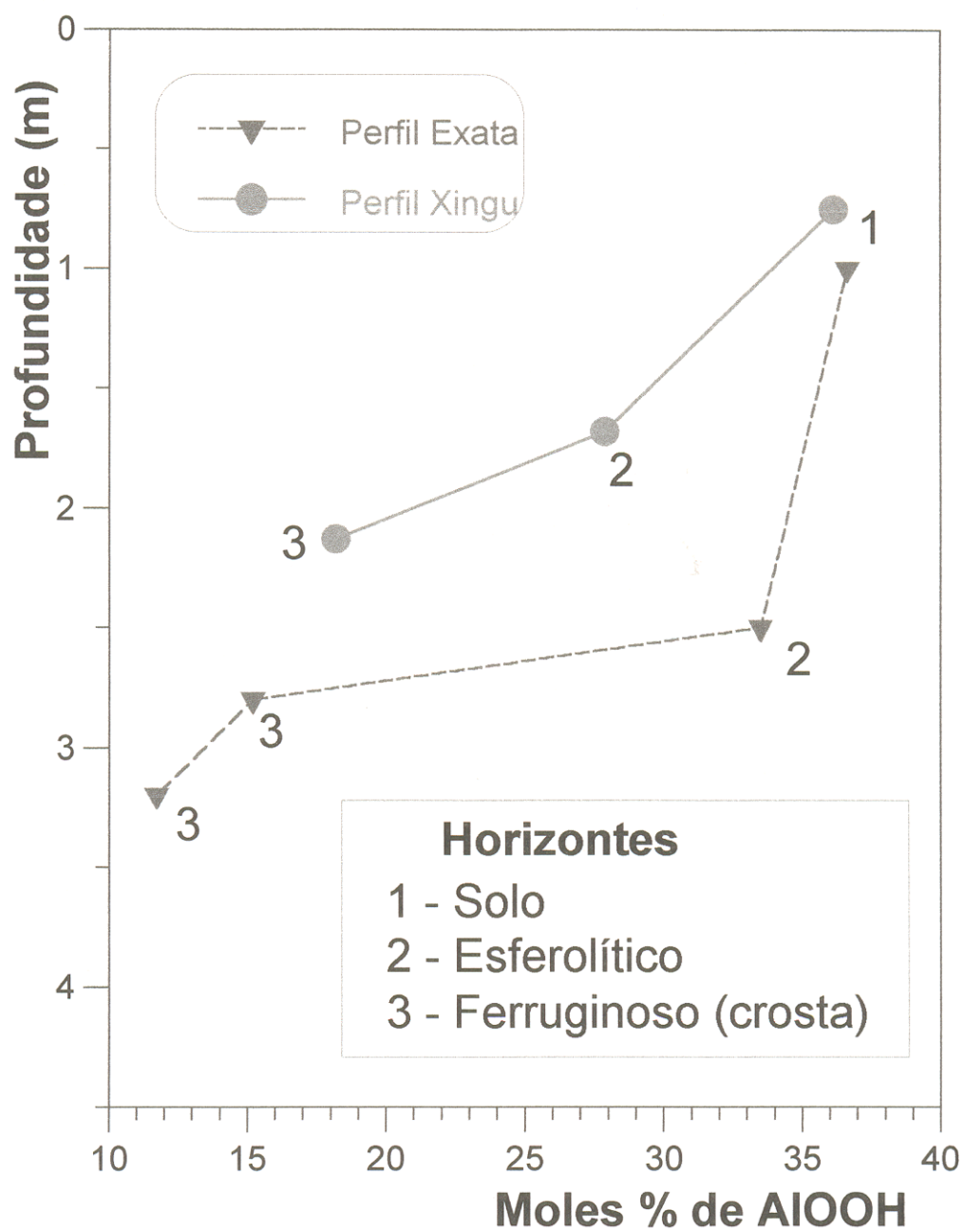


Figura 20: Moles % de AlOOH das goethitas nos perfis do Xingu e Exata.

nos grãos de quartzo. Na crosta laterítica, a goethita é identificada compondo o plasma ferruginoso, enquanto, nos poros, são individualizados cristais de goethita subradiais preenchendo-os ou formando um córtex interno.

4.1.5 - Gibbsita - γ - $\text{Al}(\text{OH})_3$

A gibbsita ocorre em pequena quantidade, praticamente restrita aos horizontes ferruginoso, esferolítico, solo e raramente no argiloso, atingindo 5% em peso, em média, no primeiro horizonte citado, e diminuindo para o horizonte solo até 3% (Tabela 1 e Figura 19). Em seções delgadas, sob o microscópio ótico, a gibbsita ocorre disseminada na matriz caulínica nos horizontes solo, esferolítico, ferruginoso. A gibbsita do horizonte argiloso provavelmente trata-se de gibbsita mais nova formada no último evento de lateritização semelhantes aos trabalhos de LUCAS (1989), HORBE (1991) e COSTA (1992). Cristais de gibbsita bem formados são identificados no interior de poros na crosta laterítica, e cristais subradiais em alguns locais, formam córtex interno nos poros. Massas criptocristalinas de gibbsita são vistas compondo nódulos no horizonte esferolítico do perfil laterítico.

4.1.6 - Anatásio e Rutilo - TiO_2

O anatásio ocorre ao longo dos perfis lateríticos em quantidades que variam em média de 1 a 2% em peso. O rutilo, um resistato, ocorre apenas no perfil do Xingu (Tabela 2b e Figura 21b), no horizonte ferruginoso e junto com o anatásio no horizonte esferolítico. Esses minerais foram identificados apenas através da difração de raios-X.

4.2 MINERALOGIA DOS HORIZONTES

A composição mineralógica das amostras por horizonte dos diferentes perfis lateríticos estudados são mostradas na Tabela 2, e a distribuição dos minerais ao longo dos perfis estão na Figura 21.

4.2.1 - Horizonte transicional

Este horizonte é restrito ao perfil do Cemitério. A caulinita é o mineral predominante com 81% em peso no perfil (Tabela 2c), e, em menor proporção, ocorrem quartzo (8%), goethita (8%) e anatásio (2%). Estes minerais possuem suas reflexões bem marcadas nos difratogramas de raios-X (Figura 18).

4.2.2 - Horizonte argiloso

Novamente, a caulinita é o mineral mais abundante neste horizonte, variando os teores de 53 a 77% em peso (Tabela 2 e Figura 21), exceto no perfil do Xingu (Tabela 2b e Figura 21b), onde alcança 20% em peso. Já o quartzo mostra teores bem variáveis, entre o nulo no perfil do dique (Tabela 2d e Figura 21a) e 73% em peso no perfil Xingu (Tabela 2b e Figura 21b). A hematita ocorre com teores abaixo de 11% (Tabela 2 e Figura 21), exceto no perfil do dique onde o teor é de 29% em peso (Tabela 2d e Figura 21a). A goethita apresenta-se com teores que variam de 4 a 9% nos perfis lateríticos (Tabela 2 e Figura 21), exceto no perfil do dique onde ela não ocorre (Tabela 2d e Figura 21a). A gibbsita somente ocorre no horizonte argiloso dos perfis da Construtora Exata (Tabela 2a e Figura 21d) e do dique com teores de 2 e 1%, respectivamente. O anatásio ocorre em todos os perfis estudados com teores em torno de 1%.

Tabela 2: Composição mineralógica das amostras dos perfis da Construtora Exata (a), Xingu (b), Cemitério (c), Dique (d) e do Jardim Versalhes.

(a)

Horizontes	Amostras	Qz	Cau	Hem	Goe	Gib	Anat	Total
Solo	EXA- 11	20	66	--	11	--	2	99
Esferolítico	EXA- 12	21	68	--	9	--	2	100
Ferruginoso	EXA- 14	6	31	33	24	6	1	101
Ferruginoso	EXA- 15	5	23	30	37	3	1	99
Argiloso	EXA- 13	24	53	11	8	2	1	99

(b)

Horizontes	Amostras	Qz	Cau	Hem	Goe	Gib	Anat	Anat +Rut	Rut	Total
Solo	XIN- 01	68	18	2	6	5	1	--	--	100
Esferolítico	XIN- 02	25	40	12	16	3	--	2	--	98
Ferruginoso	XIN- 03	11	7	20	49	10	--	--	2	99
Argiloso	XIN- 05	73	20	1	4	--	1	--	--	99
Argiloso	XIN- 06	12	74	3	9	--	2	--	--	100

(c)

Horizonte	Amostras	Qz	Cau	Hem	Goe	Gib	Anat	Total
Solo	CIM- 07	7	72	--	10	8	1	98
Esferolítico	CIM- 06	--	50	4	34	10	1	99
Ferruginoso	CIM- 05	--	29	27	39	2	1	98
Argiloso	CIM- 04	13	77	3	5	--	1	99
Argiloso	CIM- 03	20	70	2	6	--	2	100
Argiloso	CIM- 02	37	57	2	4	--	0,4	100,4
Transc.ional	CIM-01	8	81	--	8	--	2	99

(d)

Horizontes	Amostras	Qz	Cau	Hem	Goe	Gib	Anat	Total
Solo	BLRT- 01	10	77	9	--	3	1	100
Esferolítico	BLRT- 02	14	56	--	25	3	2	100
Ferruginoso	BLRT- 03	7	36	19	36	2	1	101
Ferruginoso	BLRT- 04	7	38	44	9	2	1	101
Argiloso	BLRT- 05	--	69	29	--	1	1	100

(e)

Horizontes	Amostras	Qz	Cau	Hem	Goe	Gib	Anat	Total
Solo	VER-12	3	50	14	30	--	2	99
Solo	VER-11	1	56	19	24	--	0,6	100,6
Esferolítico	VER-10	12	75	--	7	2	2	98
Esferolítico	VER-09	6	68	--	24	2	1	101

Qz - Quartzo, Cau - Caulinita, Hem - Hematita, Goe - Goethita, Gib - Gibbsita, Anat - Anatócio e Rut - Rutilo. (--) não detectado.

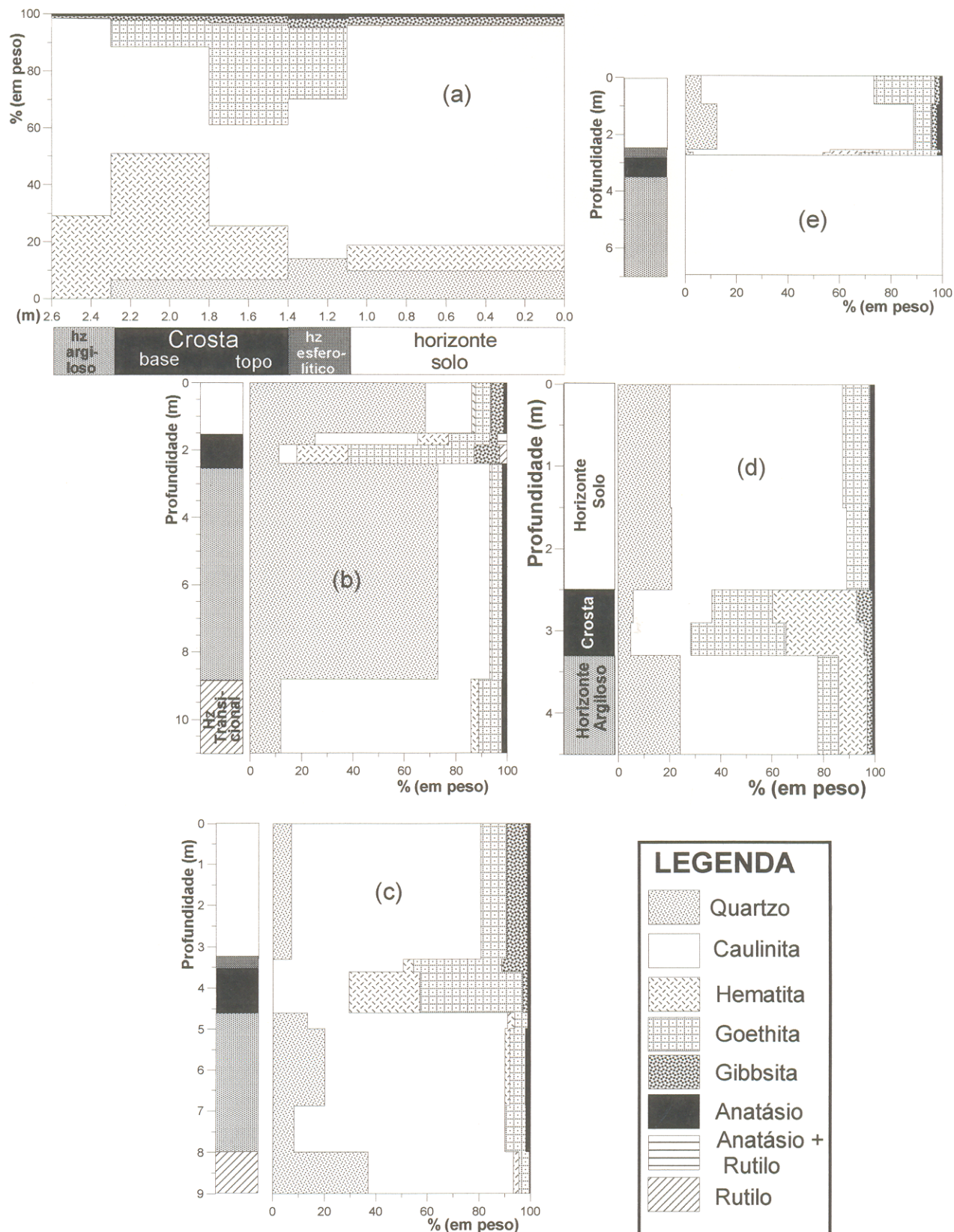


Figura 21: Distribuição da mineralogia nos perfis lateríticos do *Dique* (a), *Xingu* (b), *Cemitério* (c), *Exata* (d) e *Versalhes* (e).

4.2.3 Horizonte ferruginoso

O horizonte ferruginoso é composto principalmente por hematita e goethita, as quais constituem as estruturas colunares encontradas neste horizonte, e caulinita, subordinadamente tem-se o quartzo, gibbsita, anatásio e rutilo. A hematita ocorre com teores que variam de 20 a 38% (Tabela 2 e Figura 21). A goethita apresenta-se com teores variando de 9 a 49% (Tabela 2 e Figura 21), mais elevados que a hematita a cada perfil, exceto na base do horizonte ferruginoso do perfil do dique, onde ela experimenta o menor teor encontrado na crosta laterítica (9%) (Tabela 2d e Figura 21a). A gibbsita ocorre em todos os perfis estudados com variação de teores de 2 a 10% em peso, tendo este valor máximo sido encontrado no perfil do Xingu (Tabela 2b e Figura 21b), dessa forma caracterizando a crosta laterítica como crosta ferro-aluminosa.

4.2.4 Horizonte esferolítico

Neste horizonte, a caulinita volta a ser o mineral predominante, seguida pela goethita, quartzo e hematita; subordinadamente, ocorrem também gibbsita, anatásio e rutilo. A caulinita ocorre com teores elevados acima de 40% (Tabela 2 e Figura 21), chegando até 75% (Tabela 2e e Figura 21e). A goethita apresenta-se com teores que variam de 7 a 34% em peso (Tabela 2 e Figura 19), sempre acima dos teores de hematita como no horizonte ferruginoso, indicando que a crosta ferro-aluminosa já se encontra em estágio avançado de alteração. Os teores de hematita são baixos e variam de nulo, nos perfis da Construtora Exata, Cemitério e Jardim Versalhes (Tabela e Figura 2a e 21d; 2c e 21c; 2e e 21e) a 12% no perfil do Xingu (Tabela 2b e Figura 21b). A gibbsita nesse horizonte, no geral, apresenta teores variando de 2 a 4% em

peso, exceto no perfil do Xingu (Tabela 2b e Figura 21b) onde tem o maior teor encontrado, de 10%, nos perfis estudados. O anatásio apresenta teores entre 1 a 2% em peso nos perfis lateríticos; no perfil do Xingu, o anatásio ocorre junto com o rutilo, somando 2% em peso. O rutilo é um mineral resistato representante de uma camada da rocha-mãe.

4.2.5 Horizonte solo

A caulinita é o mineral expressamente mais abundante com teores variando entre 50 e 70% em peso (Tabela 2 e Figura 21), exceto no perfil do Xingu (Tabela 2b e Figura 21b) onde apresenta 18% de teor em detrimento ao teor de 68% de quartzo. Subordinadamente, ocorrem o quartzo, hematita, goethita, gibbsita e anatásio. O quartzo apresenta variação de teores entre 1 a 68% em peso (Tabela 2 e Figura 21). Esta grande variação de valores provavelmente, ainda está refletindo as intercalações das camadas arenosas(quartzosas) e argilosas da rocha-mãe e também os processos de podsolização. A hematita apresenta-se com teores que variam de nulo (Tabela 2a e Figura 21b) a 19% (Tabela 2e e Figura 21e), esses novamente são sempre inferiores aos de goethita, como nos horizontes esferolítico e ferruginoso, exceto no perfil do dique (Tabela 2d e Figura 21a), isso pode ter sido causado pela intensa movimentação sofrida por esse perfil. Os teores de goethita no horizonte solo variam de nulo a 30% conforme a Tabela 2 e Figura 21, onde a goethita não ocorre no perfil do dique. A gibbsita apresenta teores variando entre o nulo até 8% no perfil do Cemitério (Tabela 2c e Figura 21c). O anatásio ocorre em todos os perfis estudados com teores entre 1 e 2% em peso.

5 GEOQUÍMICA

5.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

5.1.1 Elementos maiores e menores

Os perfis estudados na região de Manaus são constituídos basicamente por SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , que são responsáveis, juntamente com a perda ao fogo (PF), por mais de 95% da sua composição química geral (Tabela 3). A distribuição dos óxidos SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 e perda ao fogo ao longo dos perfis é mostrada nas Figuras 22, 23, 24, 25.

A porcentagem de SiO_2 é bastante variável, alcançando o mínimo em torno de 15% e o máximo próximo de 80%. Os teores de Al_2O_3 variam entre 7 a 33%, enquanto os teores de Fe_2O_3 encontram-se entre 8 a 63%. Os valores percentuais de TiO_2 são uniformes e possuem variação em torno de 1 e 2% (Tabela 3).

Os teores de Fe_2O_3 são mais elevados no horizonte ferruginoso (51 a 63%) (Tabela 3), e constituem a crosta ferruginosa. Esses teores crescem do horizonte transicional até o ferruginoso de onde decrescem para o horizonte solo (Figuras 22, 23, 24 e 25), acompanhando a distribuição da hematita e goethita (Figura 21). Os teores de Al_2O_3 , SiO_2 , PF diminuem do horizonte transicional até o horizonte ferruginoso e crescem para o horizonte solo (Figuras 22, 23, 24 e 25), refletindo a distribuição da caulinita, quartzo e gibbsita (Figura 21). Nos perfis do Cemitério e Xingu (Figuras 22 e 25), na base do horizonte argiloso, os teores de Al_2O_3 , SiO_2 mostram comportamento diferente refletindo, provavelmente, uma variação litológica das camadas da rocha-mãe. Os teores mais elevados de Al_2O_3 e SiO_2 ocorrem nos horizontes solo e argiloso com valores de 10 a 33% e 7 a 30%, para Al_2O_3 , e 40 a 76% e 33 a 82% para SiO_2 , respectivamente (Tabela 3). Os

teores de TiO_2 variam em torno de 1 a 2%, e a distribuição desses mostra curvas paralelas a de Al_2O_3 ao longo dos perfis exceto no do Xingu.

Indicativo de perfil laterítico SiO_2 e Fe_2O_3 mostram correlação negativa (Figura 26), não linear, evidenciando mais uma vez as semelhanças entre nos perfis estudados.

No diagrama $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (Figura 27), pode-se observar que as amostras dos diferentes horizontes dos perfis estudados constituem campos composicionais distintos, e que o horizonte esferolítico forma um campo intermediário entre a crosta e o horizonte solo. Os horizontes solo e argiloso formam um mesmo campo composicional silico-aluminoso, representando o predomínio de caulinita e quartzo subordinado. As amostras que estão deslocadas para o vértice SiO_2 representam os teores de quartzo mais elevados encontrados, provavelmente, como reflexo da composição mineralógica da rocha-mãe, e a amostra deslocada para o campo do horizonte esferolítico contém bastante Fe_2O_3 devido à proximidade com o horizonte ferruginoso, justificando a presença de goethita. Com relação à composição das crostas lateríticas, com base na Figura 27, pode-se afirmar que se trata de crosta ferruginosa com teores de SiO_2 e Al_2O_3 relativamente elevados para crostas em geral. A interpretação da Figura 27 permite mostrar que a derivação dos horizontes lateríticos se deu a partir de rocha-mãe silico-aluminosa, originando o horizonte argiloso de onde, por enriquecimento de Fe_2O_3 e perda de Al_2O_3 e SiO_2 , originou-se a crosta ferruginosa como os processos de formação de crostas ferruginosas mostradas por NAHON et al. (1979), NAHON (1991) e BEAUVAIS & COLIN (1993). O fechamento desse evento de lateritização com a formação da crosta ferruginosa se deu no Terciário Superior,

Tabela 3: Composição química dos perfis da Construtora Exata (a), Xingu (b), Cemitério (c) e Dique (d) .

(a)								
Tipo	Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P.F.	P ₂ O ₅	Total
Solo	EXA- 11	51,24	26,19	9,52	1,59	10,31	0,00	98,85
Solo+Esfer	EXA- 12	52,28	26,71	7,97	1,92	10,34	0,00	99,22
Crosta	EXA- 14	20,18	15,66	54,17	1,30	8,59	0,00	99,90
Crosta	EXA- 15	15,69	11,25	62,72	0,94	8,09	0,01	98,70
H. Argil.	EXA- 13	48,81	22,33	18,73	1,38	8,95	0,00	100,20

(b)								
Tipo	Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P.F.	P ₂ O ₅	Total
Solo	XIN- 01	76,59	10,40	6,81	1,07	4,85	0,00	99,72
Solo+Esfer	XIN- 02	43,27	17,59	25,99	2,27	8,16	0,00	97,28
Crosta	XIN- 03	14,53	9,26	61,21	1,95	12,29	0,17	99,41
H. argil.	XIN- 05	82,33	7,01	4,59	0,98	3,23	0,00	98,14
H. argil.	XIN- 06	46,21	29,33	11,39	2,00	11,27	0,00	100,20

(c)								
Tipo	Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P.F.	P ₂ O ₅	Total
Solo	CIM- 07	40,49	33,47	9,29	0,99	13,86	0,04	98,14
H. Esfer.	CIM- 06	23,11	26,01	35,02	0,92	13,80	0,09	98,95
Crosta	CIM- 05	13,3	12,72	62,96	1,03	8,74	0,04	98,79
H. argil.	CIM- 04	48,45	30,54	7,06	0,28	12,2	0,07	98,60
H. argil.	CIM- 03	52,63	27,84	7,44	1,66	10,35	0,06	99,98
H. argil.	CIM- 02	73,91	14,54	6,07	0,41	5,58	0,04	100,55
H. Pálido	CIM-01	45,82	31,85	7,33	1,72	12,10	0,03	98,85

(d)								
Tipo	Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P.F.	P ₂ O ₅	Total
Solo	BLRT- 01	45,09	32,09	8,77	1,04	13,21	--	100,2
H. Esfer.	BLRT- 02	38,68	23,38	21,49	1,53	13,02	--	98,1
Crosta	BLRT- 03	22,66	15,21	53,03	0,88	9,17	--	100,95
Crosta	BLRT- 04	23,64	15,62	51,73	0,79	8,46	--	100,24
H. argil.	BLRT- 05	33,53	25,07	30,19	0,81	11,31	--	100,91

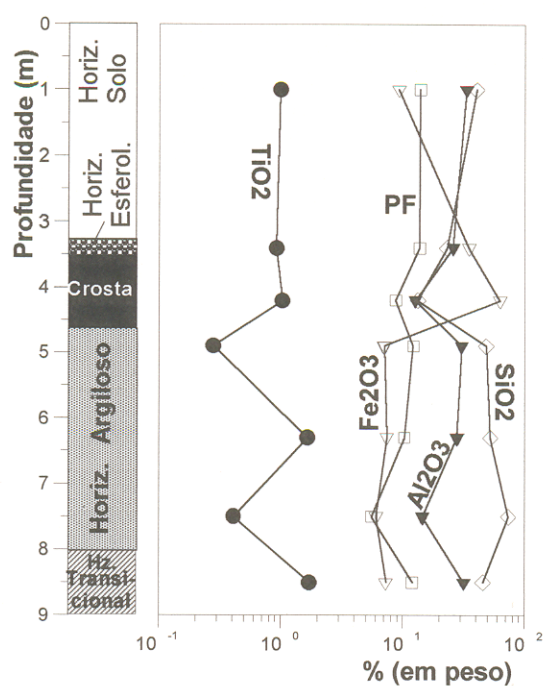


Figura 22: Distribuição dos óxidos TiO_2 , Fe_2O_3 , SiO_2 , Al_2O_3 e perda ao fogo no perfil do Cemitério.

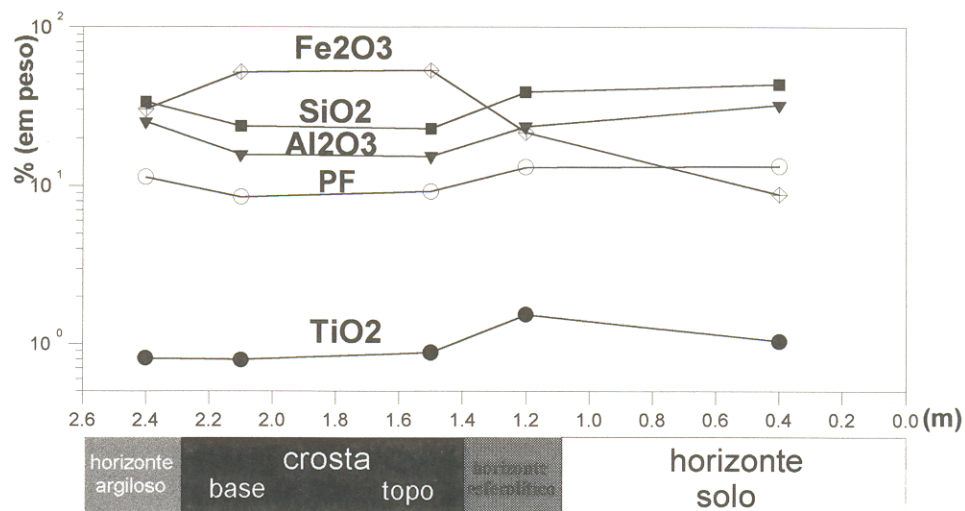


Figura 23 : Distribuição dos óxidos TiO_2 , Fe_2O_3 , SiO_2 , Al_2O_3 e perda ao fogo no perfil do Dique.

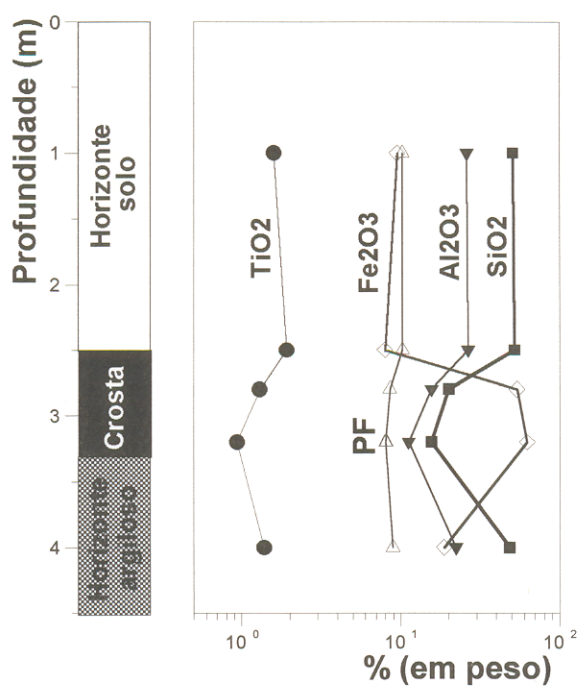


Figura 24: Distribuição dos óxidos TiO_2 , Fe_2O_3 , SiO_2 , Al_2O_3 e perda ao fogo no perfil da Exata.

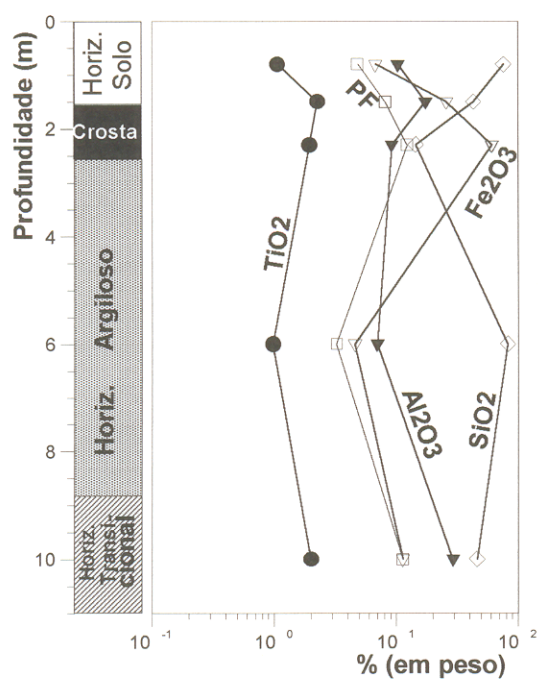


Figura 25: Distribuição dos óxidos TiO_2 , Fe_2O_3 , SiO_2 , Al_2O_3 e perda ao fogo no perfil do Xingu.

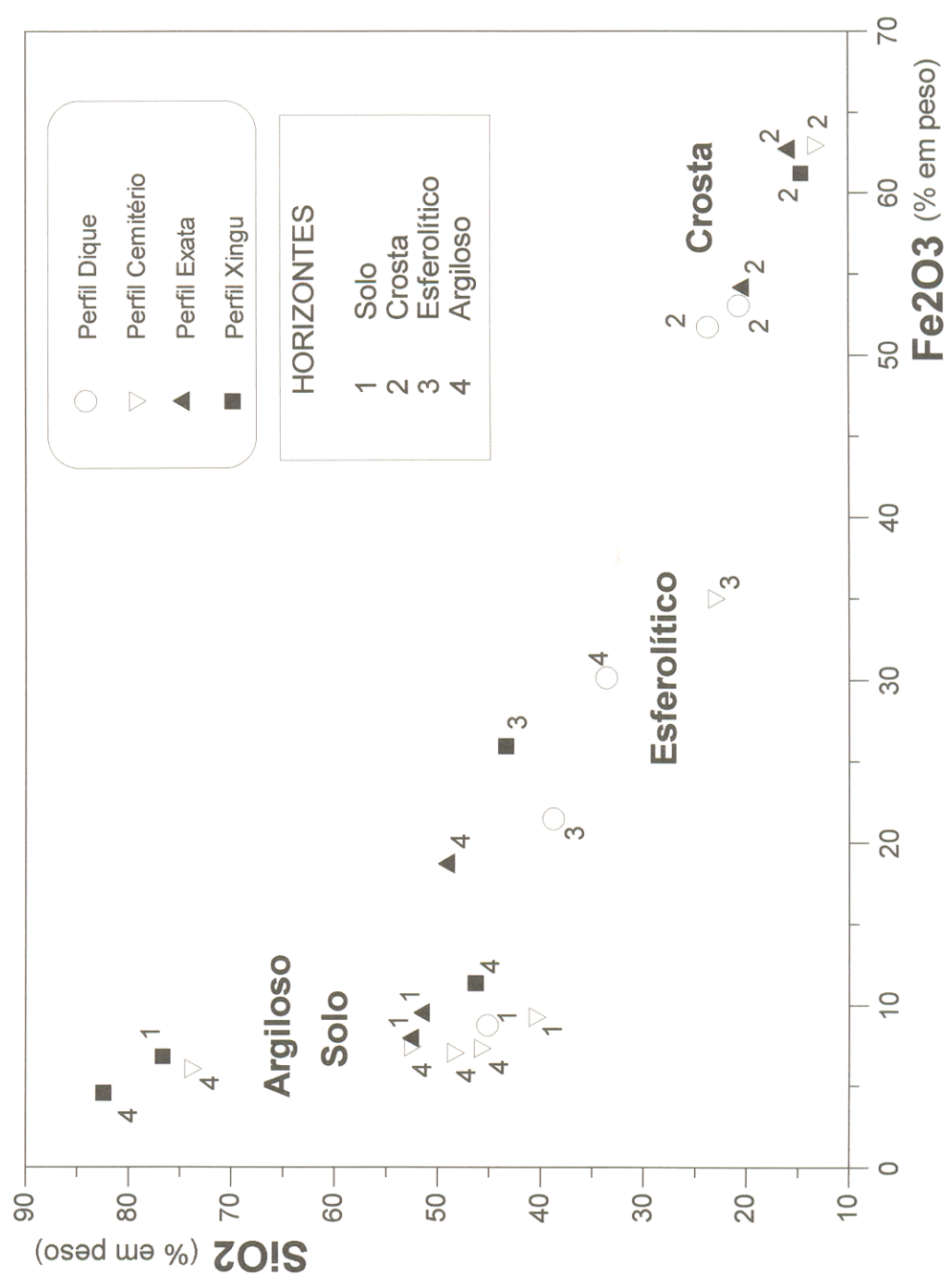


Figura 26: Correlação SiO₂ versus Fe₂O₃ nos perfis lateríticos estudados.

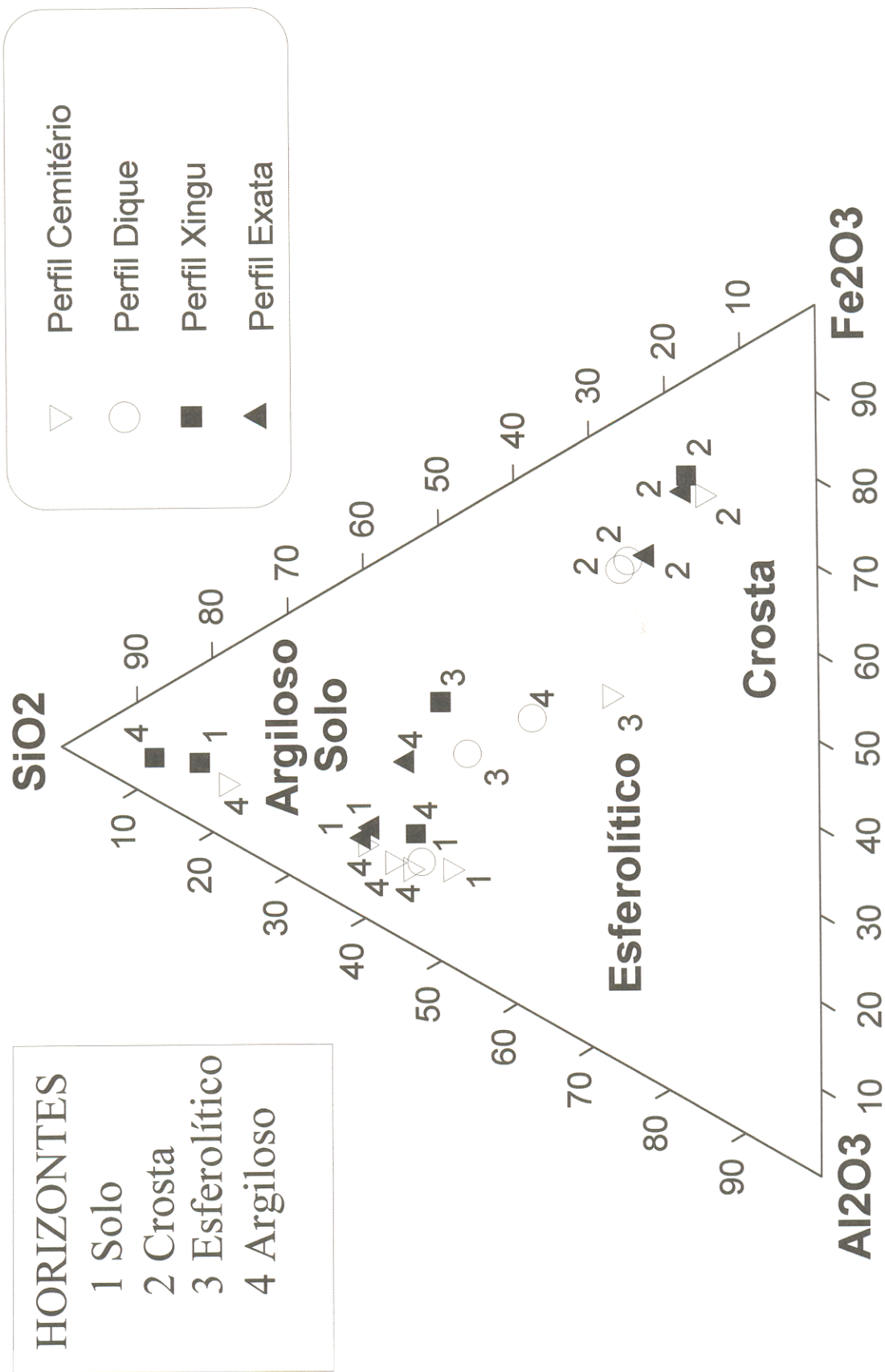


Figura 27: Diagrama triangular SiO₂ - Fe₂O₃ - Al₂O₃ nos perfis estudados. Horizontes: 1 Solo; 2 Crosta; 3 Esferolítico; 4 Argiloso. Perfis: O Dique; ▽ Cemitério; ▲ Exata e □ Xingu.

conforme TRUCKENBRODT & KOTSCHOUBEY (1981), TRUNCKENBRODT et al., (1982) e COSTA (1991). Novo evento intempérico atuando sobre as crostas origina o horizonte esferolítico e depois o horizonte solo deslocando o campo composicional gradualmente para o campo silico-aluminoso, ou seja, o intemperismo se deu com perda de Fe_2O_3 e acúmulo de SiO_2 e Al_2O_3 num processo inverso ao anterior. O comportamento expressado entre SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 é típico de perfis de alteração intempérica na degradação da crosta ferruginosa com formação de solos, conforme observado na África por TARDY & NAHON (1985), TARDY (1993), BITTON & VOLKOFF (1993) e BEAUVAIS & TARDY (1993) e na Amazônia por HORBE (1995).

O paralelismo entre as curvas de SiO_2 e Al_2O_3 (Figuras 22, 23, 24 e 25) e razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ próxima a 1,2 permite confirmar a presença de caolinita. Quando o teor de Al_2O_3 se aproxima ou supera os de SiO_2 , indica a presença também de gibbsita, comprovada pelas análises de difração de raios-X. O comportamento inverso indica a presença aleatória de quartzo.

5.1.2 Elementos traços

Os teores dos elementos-traço nos perfis estudados são apresentados na Tabela 4. Os teores mais elevados são de Zr, V, Cr e Mn (2600 ppm, 1120ppm, 343 ppm e 268 ppm, respectivamente). B, Mo, Ga, Zr, Nb, Pb, As quando comparados a média crustal apresentam teores mais elevados e Y, Sc, Ba, Cu, Zn, Ni e Mn mais baixos. Os demais (V, Co, Cr, Hg) apresentam-se tanto teores abaixo como acima da média crustal, conforme os horizontes e os perfis. No entanto, quando os teores desses elementos são comparados com as médias em argilitos e arenitos o Mo, Zr, Nb e Pb

Tabela 4: Composição química de elementos traço das amostras.

Horizontes	Amostras	B ppm	V ppm	Mo ppm	Ga ppm	Y ppm	Zr ppm	Nb ppm	Sc ppm	Ba ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ni ppm	Co ppm	Cr ppm	Mn ppm	As ppm	Hg ppb
Perfil do Xingu																			
Solo	XIN-01	15	144	<5	22	14	1280	43	<5	31	4	21	20	15	8	66	87	8	270
Esferolítico	XIN-02	18	300	18	41	29	1640	61	16	128	8	53	27	27	20	147	77	31	1105
Ferruginoso	XIN-03	43	1080	47	34	30	1560	41	37	45	45	107	232	54	35	118	268	169	490
Argiloso	XIN-05	15	108	<5	16	<10	130	<20	5	<10	5	18	13	23	7	57	52	1	50
Argiloso	XIN-06	14	166	6	32	22	600	53	13	79	21	43	30	63	24	145	75	3	80
Transicional	XIN-07	11	178	6	42	14	980	56	16	50	12	37	21	22	19	69	50	1	<50
Transicional	XIN-08	11	80	<5	10	<10	60	<20	5	22	4	9	12	14	5	30	35	1	60
Perfil do Dique																			
Solo	BLRT-01	<10	140	<5	47	<10	630	<20	9	50	4	30	20	34	21	163	71	17	170
Esferolítico	BLRT-02	19	480	17	68	<10	1560	52	15	16	5	37	20	31	23	232	48	33	130
Ferruginoso	BLRT-03	39	940	34	30	<10	2300	56	16	15	9	80	24	29	30	184	31	53	<50
Ferruginoso	BLRT-04	41	560	33	34	<10	2400	64	13	11	6	69	21	31	33	162	39	17	<50
Argiloso	BLRT-05	16	620	22	54	24	2600	70	16	30	7	57	21	33	26	223	48	19	60
Perfil da Construtora Exata																			
Solo	EXA-11	16	200	9	54	22	1420	58	5	102	4	34	21	28	18	115	102	11	90
Esferolítico	EXA-12	14	154	9	53	20	1200	65	14	62	4	34	20	27	17	118	94	10	90
Ferruginoso	EXA-14	14	810	34	27	<10	2300	55	14	<10	14	71	26	32	29	136	39	27	130
Ferruginoso	EXA-15	14	800	41	37	<10	1280	53	17	15	10	46	22	28	30	162	14	43	380
Argiloso	EXA-13	19	270	18	48	27	2000	58	13	33	4	80	17	28	17	176	81	17	140
Perfil do Cemitério																			
Solo	CIM-07	14	84	<5	46	<10	420	<20	9	96	4	39	20	24	25	147	77	11	160
Esferolítico	CIM-06	20	580	40	58	<10	1500	64	14	31	7	50	19	31	29	248	42	32	180
Ferruginoso	CIM-05	20	1120	40	37	<10	1720	55	18	<10	8	107	24	35	38	190	29	40	50
Argiloso	CIM-04	22	270	10	56	32	1460	52	<5	57	7	39	15	106	27	240	93	6	<50
Argiloso	CIM-03	28	80	<5	25	<10	420	<20	9	19	5	37	17	20	22	76	120	2	<50
Argiloso	CIM-02	26	100	<5	18	14	1010	28	8	<10	4	34	10	13	10	40	71	1	<50
Transicional	CIM-01	16	122	<5	36	14	670	32	13	43	7	27	16	26	26	71	87	3	<50
Perfil Versalhes																			
Solo	VER-12	12	186	12	42	34	2000	64	16	<10	4	34	17	25	21	108	69	7	<50
Solo	VER-11	10	140	<5	38	14	1080	35	9	81	5	32	17	24	19	133	62	8	60
Esferolítico	VER-10	26	780	54	46	20	1920	63	14	<10	7	55	21	33	30	343	40	59	110
Esferolítico	VER-09	35	790	49	42	<10	1460	61	14	12	7	53	22	27	26	332	23	56	<50
*	M. Crustal	10	135	1,5	15	33	165	20	22	425	55	13	70	75	25	100	950	1,8	80
*	M. Argilitos	100	130	2,6	19	26	160	11	13	580	45	20	95	68	19	90	850	13	400
*	M. Arenitos	35	20	0,2	12	15	220	--	1	--	--	7	16	2	0,3	35	--	1	300

M - Média, (--) Sem valores * Fonte: MASON & MOORE (1982).

apresentam teores superiores a essas médias, enquanto o V, Ga, Sc, Pb, Ni, Co, Cr e As são maiores apenas em relação a média em arenitos. Os teores de B, Ba, Cu, Zn, Ni e Mn apresentam-se inferiores à média em argilitos, enquanto o V, Ga, Y, Sc, Co, Cr, As e Hg possuem valores oscilando em torno dessa média. B, Y, Zn e Hg estão em quantidades acima e abaixo da média em arenitos. Nenhum elemento-traço mostrou teor abaixo da média em arenitos.

Já é possível verificar diferenças marcantes de teores de elementos-traço entre os perfis, isso provavelmente deve-se as variações laterais e verticais das unidades sedimentares da rocha-mãe da Formação Alter do Chão.

Na análise do padrão de distribuição ao longo dos perfis, percebe-se grande variação nos teores de elementos-traço de um perfil para o outro (Figuras 28, 29 30 e 31) e distingue-se quatro grupos:

1- Mo, Cu, As, V, Pb, Zn, Co apresentam teores, em geral, crescendo do horizonte transicional para o horizonte ferruginoso (crosta) e, decrescendo deste para o horizonte solo. Este padrão é semelhante ao padrão apresentado pelo Fe_2O_3 (Figuras 22, 23, 24 e 25) que ocorre na forma de hematita e goethita. Ao longo dos perfis, esses elementos-traço devem estar associados a esses dois minerais.

2- Cr, Ba, Ga e Nb com teores decrescendo do horizonte transicional para a crosta e desta crescendo para o horizonte solo, exceto no perfil do Xingu (Figuras 22, 23, 24 e 25) em que os teores são altos na base do horizonte solo e diminuem para o topo. O Cr e o Ba, apesar de normalmente estarem associados ao Fe_2O_3 , neste caso, parecem estar com o TiO_2 que ocorre na forma de anatásio, bem como o Nb semelhante ao descrito por CORRÊA, (1996). O Ga aparentemente encontra-se

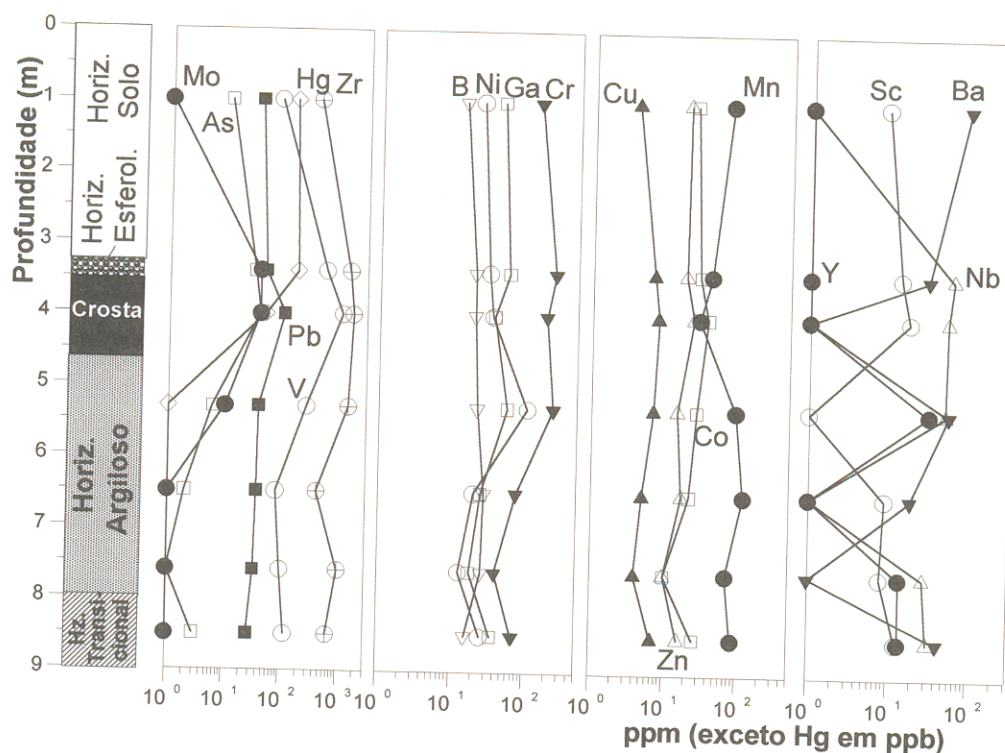


Figura 28: Distribuição dos elementos-traço no perfil do Cemitério.

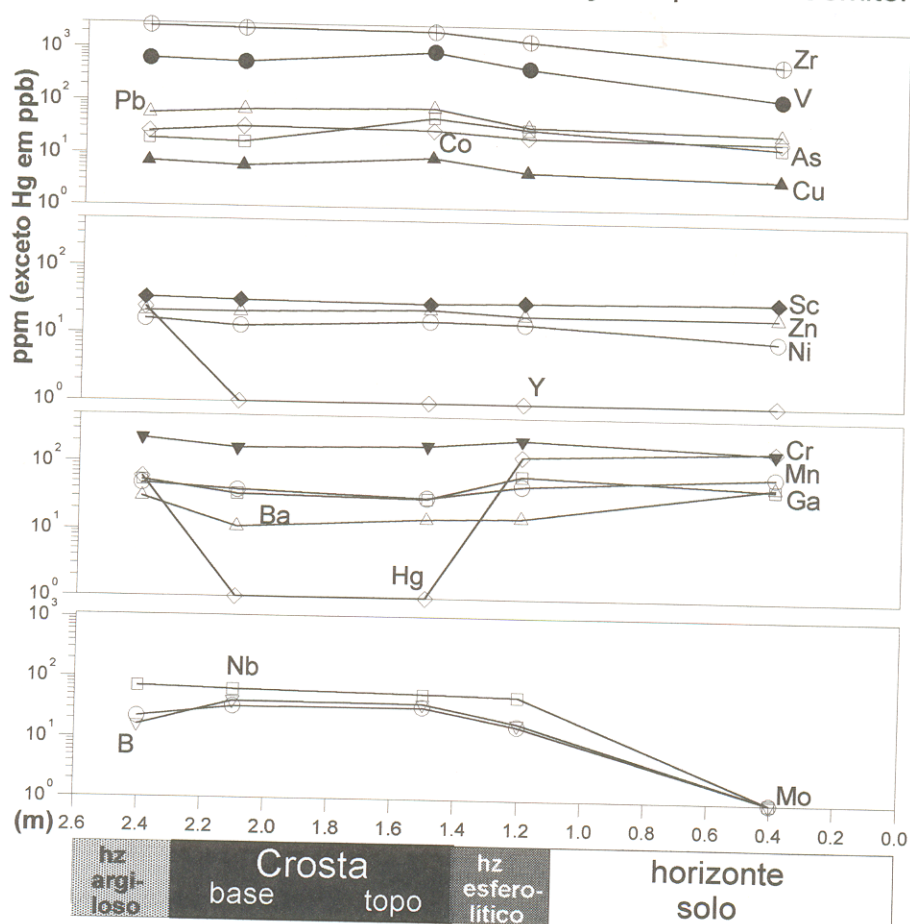


Figura 29: Distribuição dos elementos-traço no perfil do Dique.

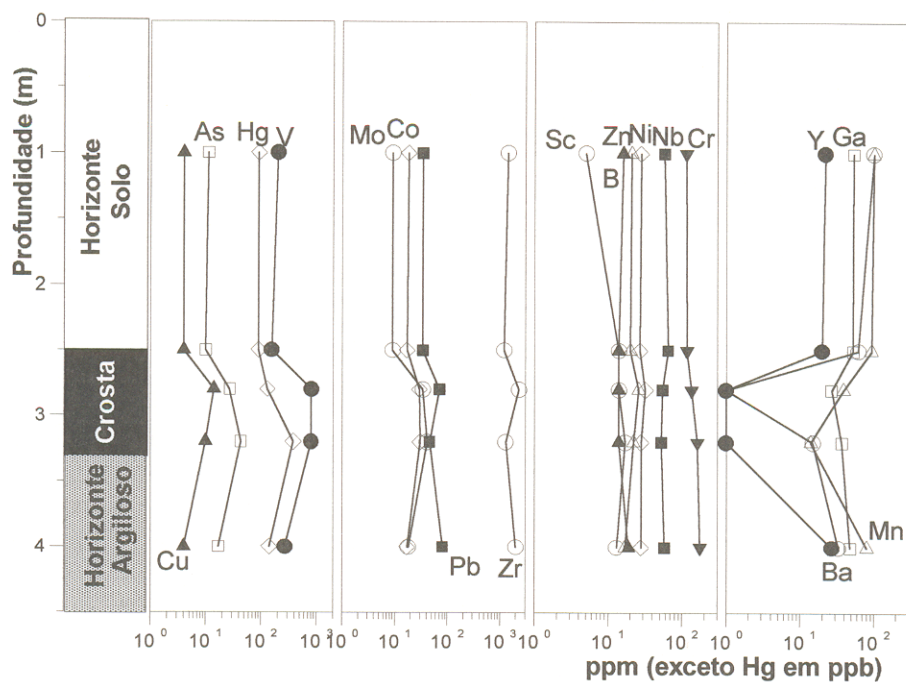


Figura 30: Distribuição dos elementos-traço no perfil da Exata.

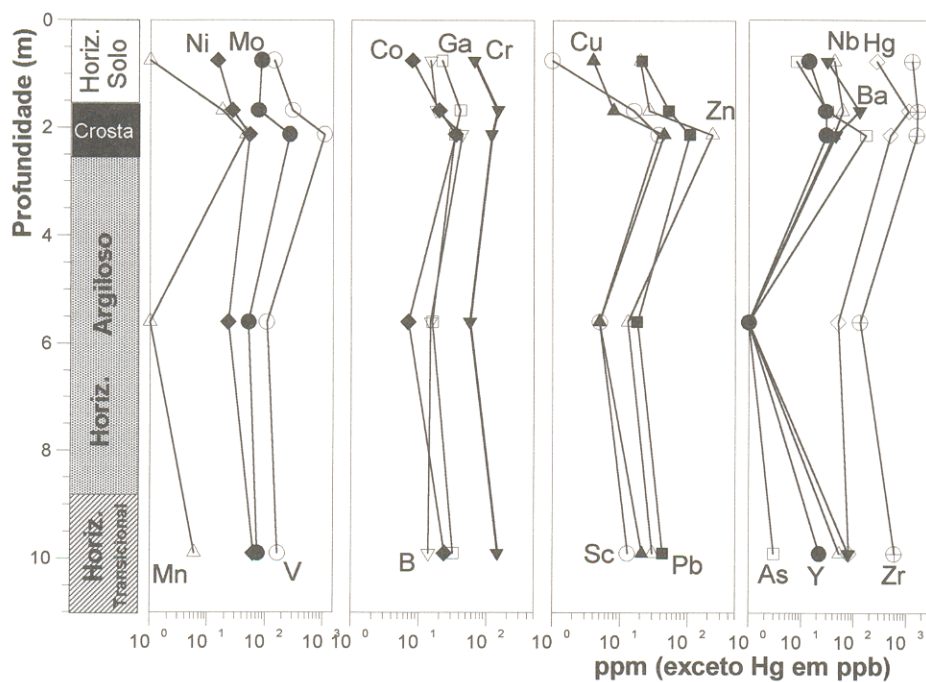


Figura 31: Distribuição dos elementos-traço no perfil do Xingu.

associado ao Al_2O_3 que se manifesta na forma de gibbsita e caulinita. A Figura 32 mostra a correlação positiva entre o Ga e Al_2O_3 , ratificando a associação desses elementos entre-si, como é observado na distribuição ao longo dos perfis estudados.

3- Zr varia irregularmente ao longo dos perfis, demonstrando mais uma vez a influência da natureza granulométrica e mineralógica da rocha mãe, com teores mais elevados na crosta. Este comportamento também é acompanhado pelo Y, Hg, Pb e V em diferentes perfis. Os teores de Zr constituem o zircão, o qual não foi identificado por difração de raios-X pelos baixos teores de ocorrência.

4- B, Hg, Ni, Mn, Sc, Y apresentam distribuição ao longo dos perfis com comportamento, ora semelhante ao Fe_2O_3 , ora ao Al_2O_3 . Esses elementos-traço em alguns locais não apresentam padrão de distribuição ao longo dos perfis estudados.

As diferenças na distribuição dos elementos-traço entre os perfis estudados, do horizonte transicional ao horizonte solo, são interpretadas como reflexo da sua variação na rocha-mãe.

Pelo exposto, verifica-se que Mo, Cu, As, V, Pb, Zn, Co se correlacionam com o Fe_2O_3 , onde forma a crosta e os esferolitos, e ainda que a distribuição desses elementos está diretamente relacionada à distribuição da hematita e goethita ao longo dos perfis. Por outro lado, Cu, Ba, Nb e Ga estão associados a distribuição do Al_2O_3 e TiO_2 , sendo que Cr, Ba e Nb estão juntos com o anatásio e Ga com a gibbsita. Zr apresenta comportamento individual, provavelmente formando fase mineral própria como zircão, tendo a sua distribuição, localmente acompanhada de Y, Hg, Pb e V.

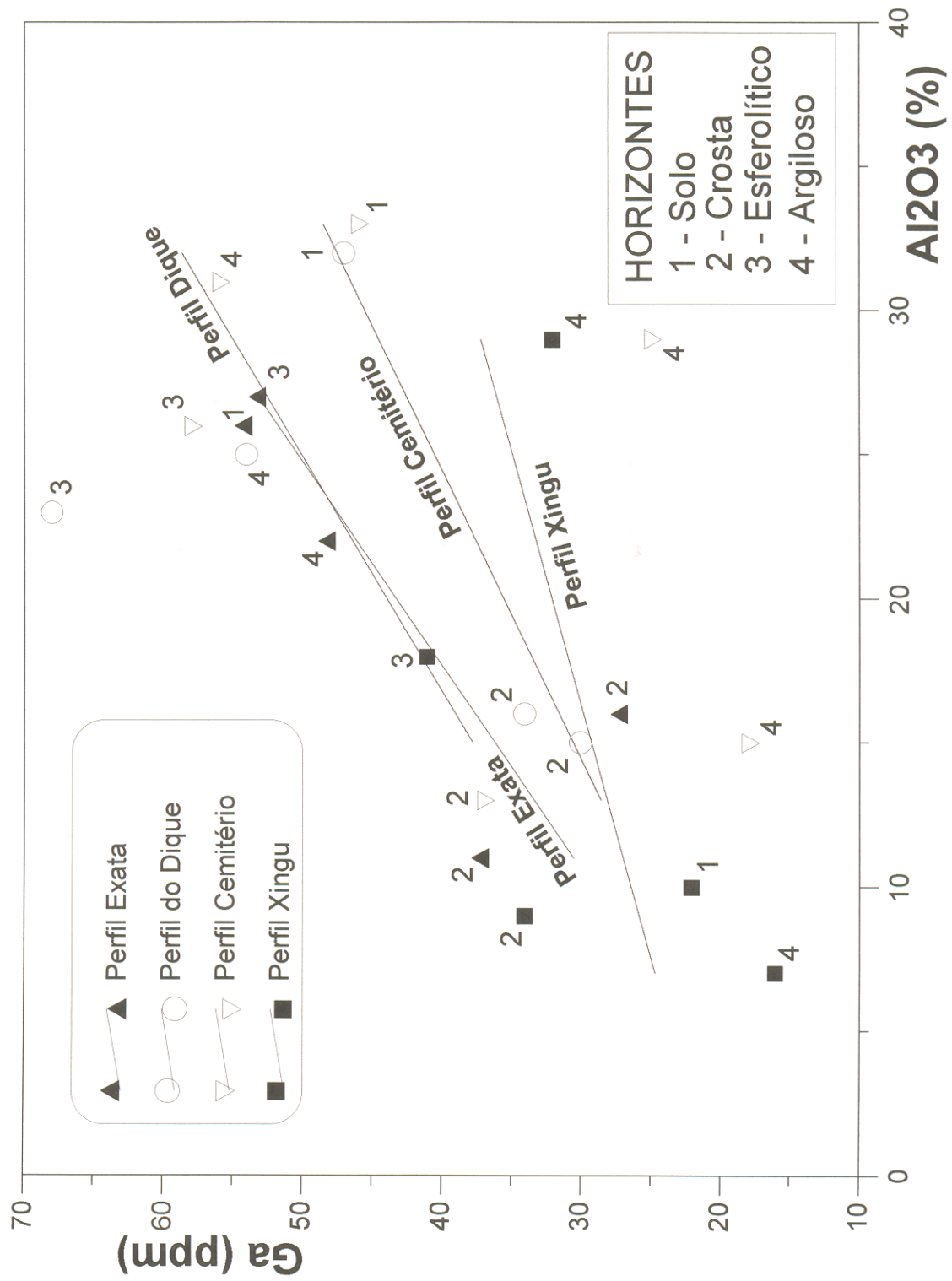


Figura 32: Correlação Al₂O₃ versus Ga nos perfis lateríticos estudados.

6 GEOLOGIA ESTRUTURAL

Na região de Manaus, ocorrem vários feixes de falhas normais orientadas na direção NW-SE que interagem com dois feixes de falhas transcorrentes dextrais de direções E-W e NE-SW. Essas falhas afetam o perfil laterítico plio-pleistocênico, bem como a linha de pedra decorrente do desmantelamento, erosão e transporte dos fragmentos da crosta laterítica desenvolvida sobre os sedimentitos da Formação Alter do Chão. Afetando apenas os sedimentitos da Formação Alter do Chão ocorrem falhas de empurrão NE-SW e dobras com eixo NE-SW.

6.1 FALHAS NORMAIS

As falhas normais ocorrem principalmente na região sudoeste da cidade de Manaus, preferencialmente mergulhando para SW, e secundariamente para NE, controlando a orientação do rio Negro entre os bairros da Ponta Negra e Educandos (Figura 33). Essas falhas apresentam-se com perfis predominantemente planares nos perfis do Tarumã e Xingu (Figura 34), mas ocorrem também perfis lístricos, impondo rotação de até 50° no perfil laterítico, gerando estruturas tipo *roll-over* (Figura 35). As falhas do sistema em dominó na estrada do Tarumã mergulham para SW com ângulos variando de 50 a 70° e rotacionam os blocos no sentido anti-horário. Verifica-se também que alguns blocos encontram-se mais basculados, sugerindo fases de movimentações diferentes nas falhas individuais do sistema. Esse quadro de desnivelamento e rotação de blocos falhados se repete em escala regional, refletindo-se no relevo através da alternância de faixas elevadas e abatidas ao longo da direção NW-SE. Destaca-se ainda que grande parte das falésias na margem esquerda do rio Negro é controlada pelas escarpas de falhas.

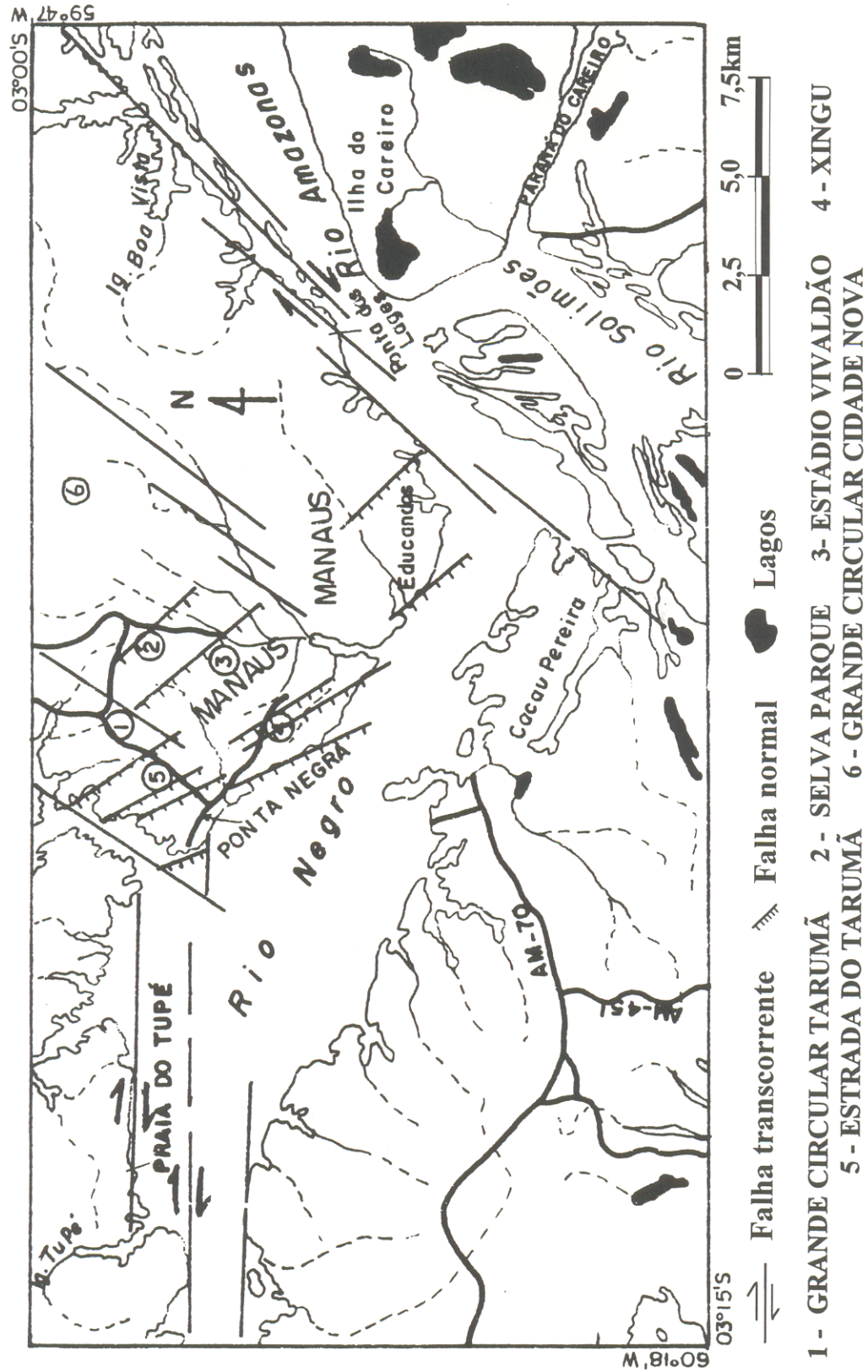


Figura 33: Mapa estrutural da região de Manaus e adjacências.

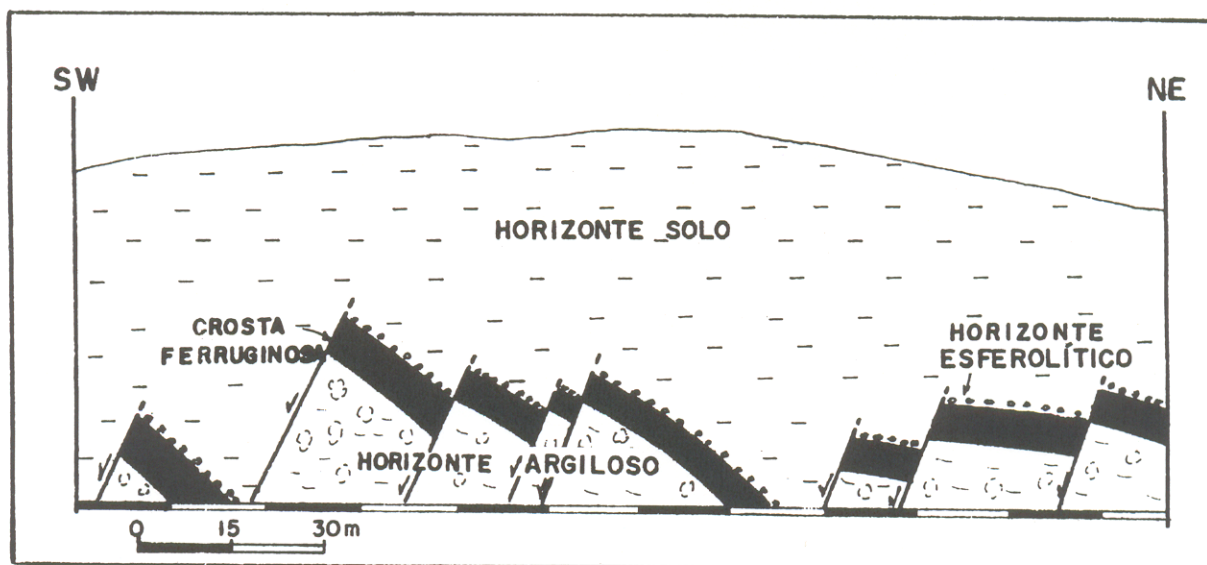


Figura 34: Geometria das falhas normais na estrada do Tarumã

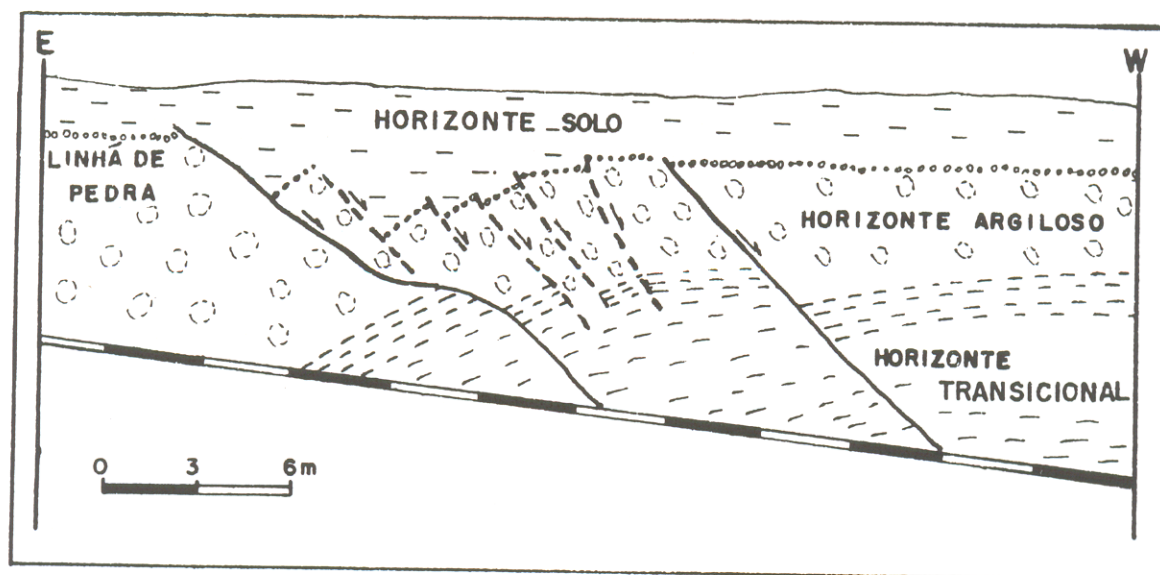


Figura 35: Geometria das falhas normais na estrada no Selva Parque.

6.2 FALHAS TRANSCORRENTES

As falhas transcorrentes de direção NE-SW controlam a região de confluência dos rios Negro e Solimões estendendo-se para nordeste em direção ao igarapé Boa Vista. Estas falhas estão bem expostas na ponta das lajes afetando arenitos e siltitos da Formação Alter do Chão, apresentam mergulho de 30° para SE e deslocam descontinuidades mais antigas no sentido dextral. Uma dessas falhas transcorrentes mais importantes pode ser observada na avenida Grande Circular, próximo a estrada do Tarumã, caracterizada por estrutura em flor negativa e responsável pela verticalização de frações do perfil laterítico (Figuras 14 e 36), bem como estruturas de ejeção e retro-empurrão localizados, resultando no desenvolvimento de *horts* e *grabbens* (Figura 36).

As falhas transcorrentes E-W estão bem expostas na laje da praia do Tupé e na Ponta Negra nas adjacências do Hotel Tropical, afetando principalmente rochas da Formação Alter do Chão, como também porções saprolitizadas da mesma. Estas falhas apresentam-se subverticais e ao longo de suas direções ocorrem duplexes desenvolvidos em segmentos curvos ou em áreas de terminação de falhas (Figura 37).

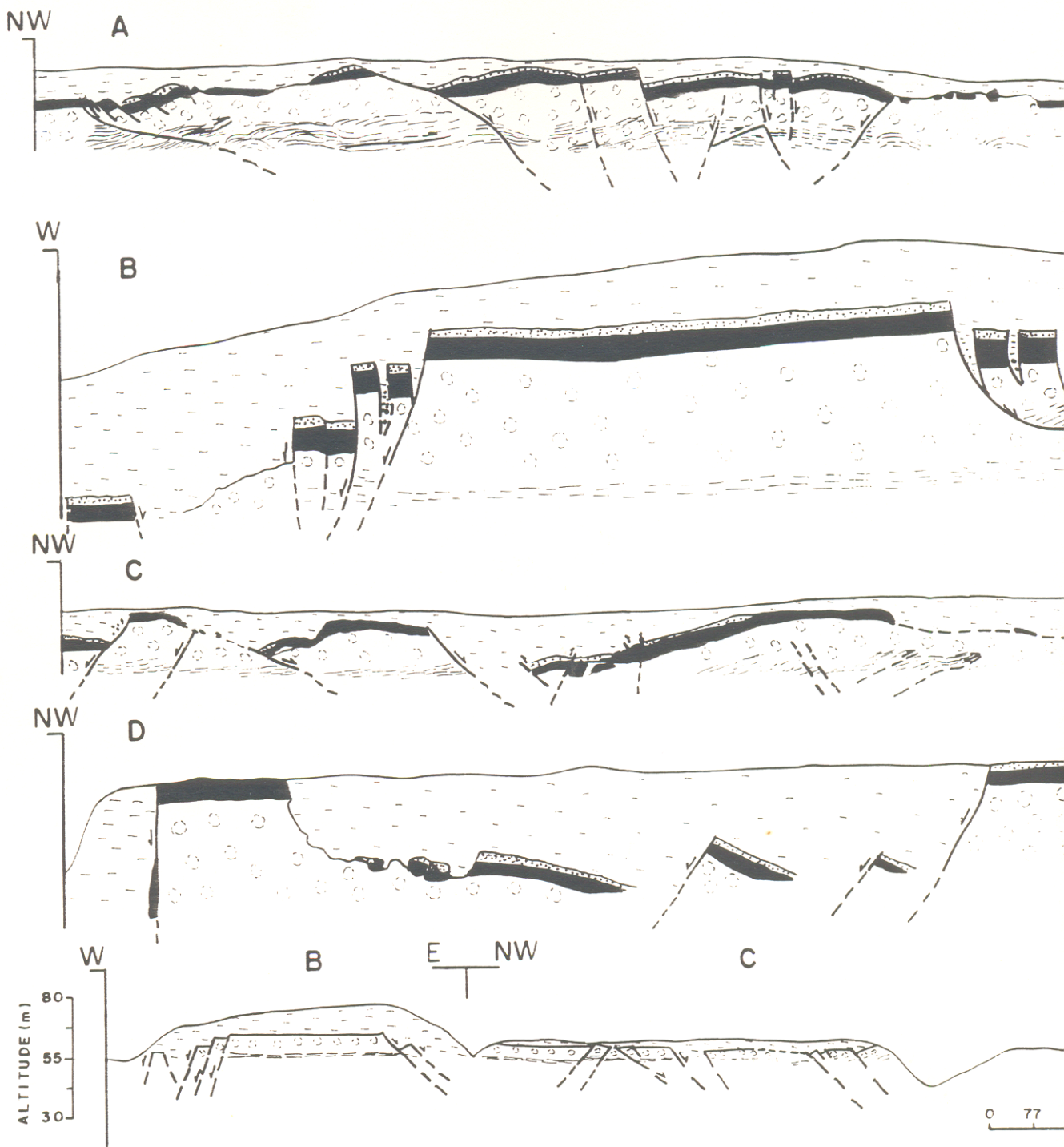
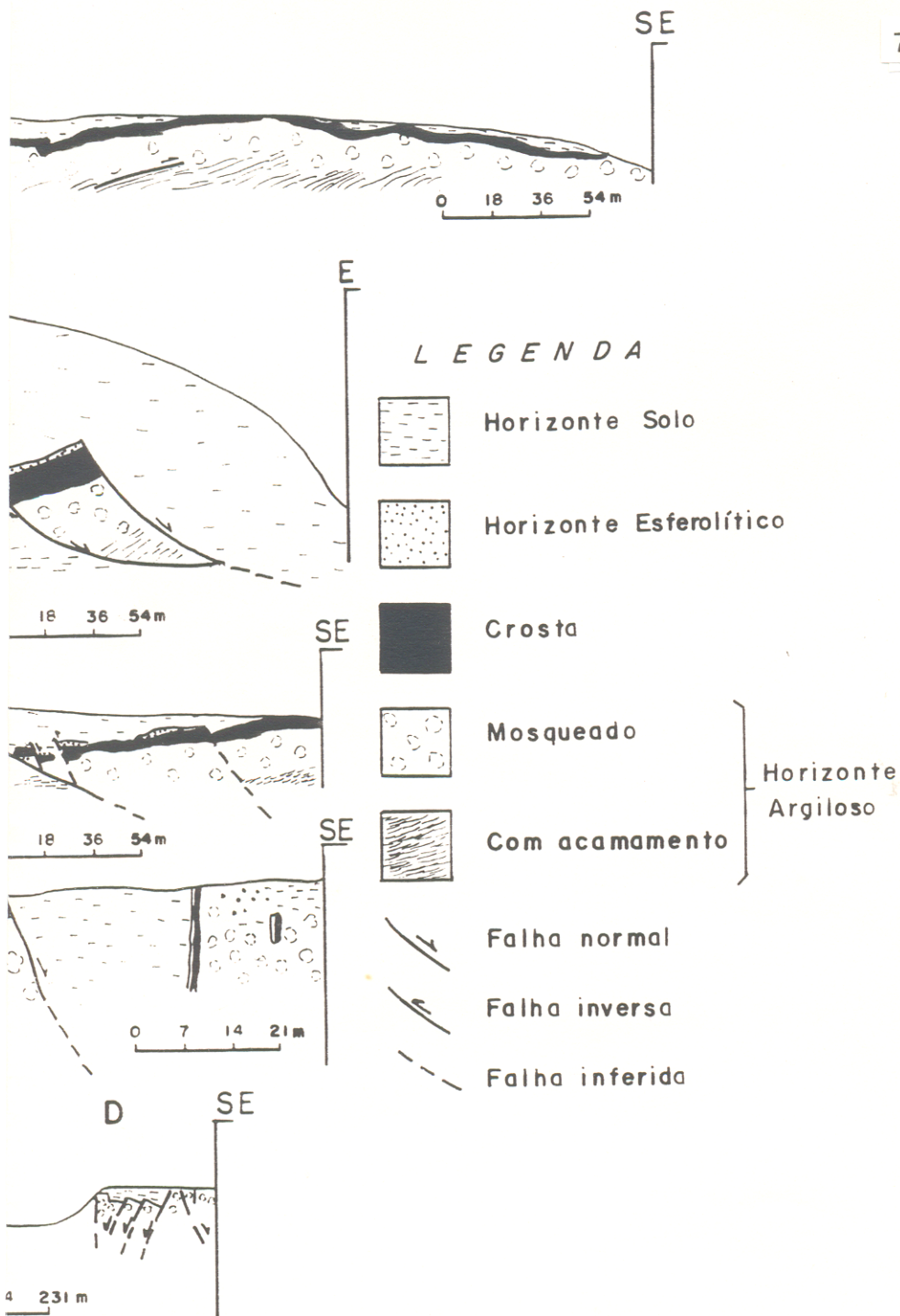


Figura 36- Geometria das falhas transcorrentes dextrais NE-SW Grande Circular próximo ao Tarumã, mostrando estratificação, ejeção e retro-empurrão, *horts* e *grabens* (perfis B e C, ou seja, é o lado nordeste da avenida).



ao longo do perfil situado na avenida
 turas em flor negativa, estrutura de
 C e D). O perfil A é correlacionável com



Figura 37: Geometria das falhas transcorrentes E-W com segmentos curvos, ao longo de sua direção, na região da laje do Tupé, afetando as rochas da Formação Alter do Chão. Os traços das discontinuidades são realçados pelos "sulcos" erosivos.

6.3 FALHAS INVERSAS E DOBRAS

Outras estruturas na área são as falhas de empurrão de direção geral NE-SW mergulhando para NW (Figura 36) e as dobras com eixo na direção NE-SW que podem ser observadas ao longo da Grande Circular próximo a estrada do Tarumã e em corte artificial no porto da Fogás (Figura 38). Na parte inferior do canto NW da Figura 36, observa-se que os cavalgamentos definem sistemas imbricados de baixo ângulo que parecem passar para duplexes antiformais em direção a SE. Nessa mesma área SAUCK et al. (1995) mostraram que essas variações geométricas se repetem em profundidade. Essas estruturas não afetam o perfil laterítico pleistocênico, e provavelmente estão ligadas a um evento transpressivo anterior a instalação desse perfil.

O quadro de estruturas se completa com as falhas transcorrentes NE-SW que afetam todas as demais estruturas, e os perfis lateríticos alóctones (linha de pedra) como na Grande Circular na Cidade Nova (Figura 39). Nesse perfil são identificados depósitos sedimentares arenosos, pós-lateritos autóctones, compostos por granulos de quartzo orientados sobre discordância erosiva truncando o horizonte argiloso (Figura 40).

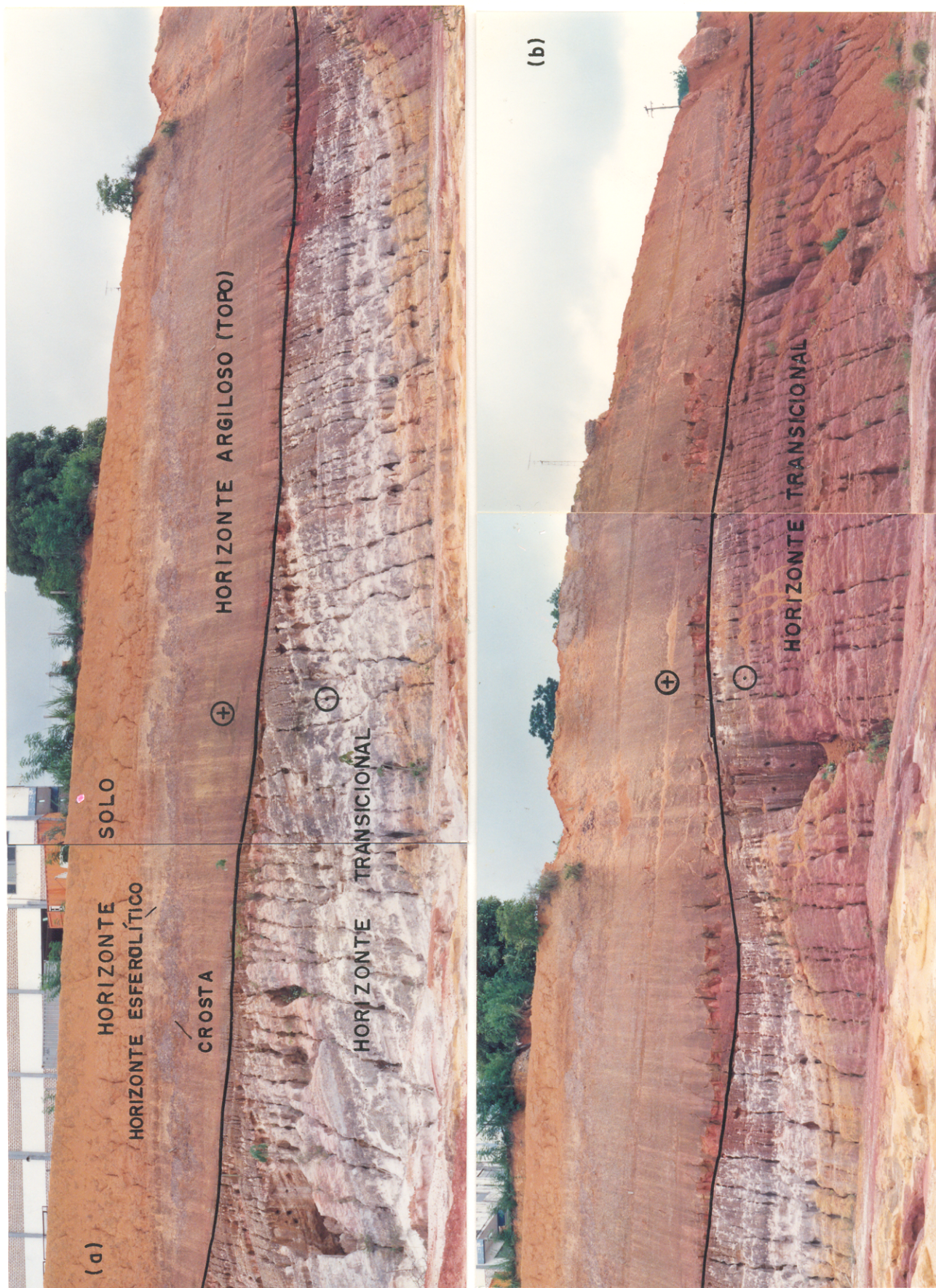


Figura 38: Geometria de dobra encontrada em sedimentos da Formação Alter do Chão intemperizados, em corte artificial no porto da Fogás, com falha normal (—) superimposta subparalela ao corte. Composição fotográfica começando na parte superior esquerda (a) e terminando no canto inferior direito (b).

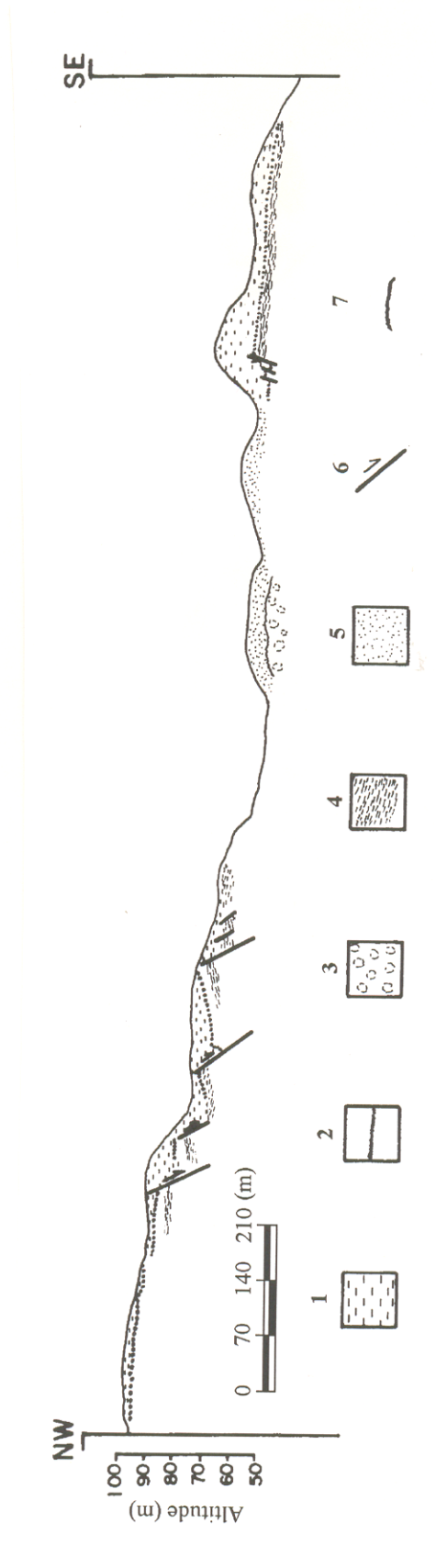


Figura 39: Geometria das falhas ao longo do perfil da avenida Grande Circular na Cidade Nova, deslocando linha de pedra. Nota-se também os depósitos sedimentares pós-lateritos imaturos autóctones. 1 - horizonte solo; 2 - linha de pedra; 3 - horizonte argiloso; 4 - horizonte transicional com acamamento; 5 - depósito sedimentar arenoso; 6 - falha normal e 7 - superfície de erosão.



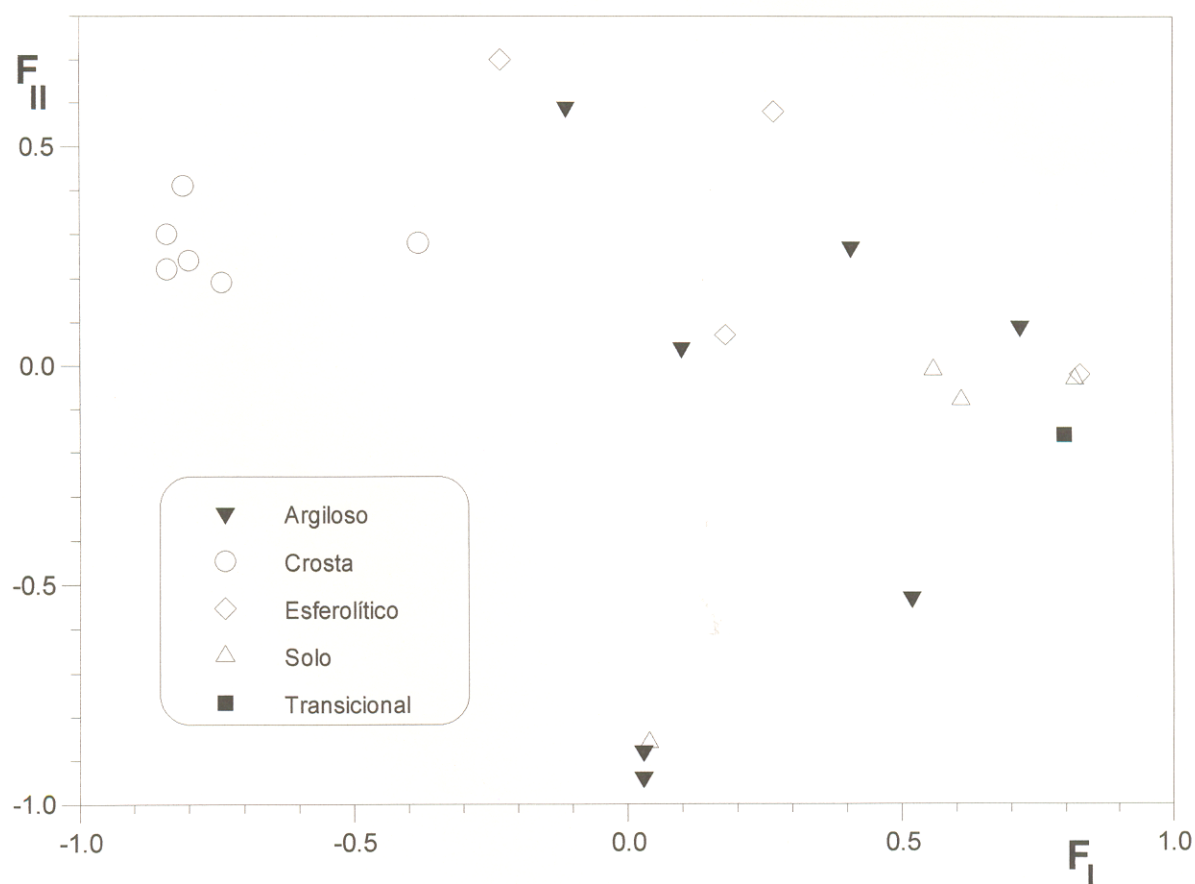
Figura 40: Aspecto dos sedimentos arenosos, pós-lateritos imaturos autóctones, encontrados no perfil da avenida Grande Circular da Cidade Nova. Nota-se a orientação dos seixos de quartzo do pacote sedimentar.

7 EVOLUÇÃO GEOLÓGICA

7.1 EVOLUÇÃO GEOQUÍMICA/MINERALÓGICA

A análise estatística multivariada das amostras dos perfis estudados permitiu identificar a diferenciação dos horizontes lateríticos, ratificando o que foi mostrado nos itens 4 e 5 quanto as suas diferenças químicas e mineralógicas. As semelhanças geoquímicas entre os perfis indicadas na Figura 41, mostram que os perfis lateríticos derivam do mesmo tipo de rocha-mãe e que essa tem pequenas variações laterais.

O fator I (Anexo), discriminado pela caulinita, Al_2O_3 , SiO_2 , Ba com cargas positivas, e por hematita, goethita, Fe_2O_3 , V, Mo, Zr e Pb com cargas negativas, agrupou as amostras dos horizontes ferruginoso (crosta), esferolítico e solo dos perfis do Cemitério, Exata e do *Dique* devido aos teores elevados em hematita e goethita e Fe_2O_3 , e ainda os horizontes transicional e argiloso dos perfis do Cemitério e Xingu, respectivamente, devido aos elevados teores de caulinita e SiO_2 . Esse fator comprova a associação do ferro com esses elementos-traço como observado no item 5.1.2. O fator II (Anexo), com goethita, perda ao fogo, Fe_2O_3 , V, Mo, Ga, Zr, Nb, Pb, Co e Cr com cargas positivas, e quartzo e SiO_2 com cargas negativas agrupou as amostras dos horizontes argiloso, esferolítico e solo, exceto as do perfil Exata, devido aos elevados teores de caulinita e à presença de goethita.



$$F_I = \frac{\text{Caulinita} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Ba}}{\text{Hematita} + \text{Goethita} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{V} + \text{Mo} + \text{Zr} + \text{Pb} + \text{Co}}$$

$$F_{II} = \frac{\text{Goethita} + \text{PF} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{V} + \text{Mo} + \text{Ga} + \text{Zr} + \text{Nb} + \text{Pb} + \text{Co} + \text{Cr}}{\text{Quartzo} + \text{SiO}_2}$$

Figura 41: Correlação entre F_I e F_{II} (modo Q) entre as amostras dos horizontes nos perfis lateríticos do *Dique*, Cemitério, Exata e Xingu.

7.2 EVOLUÇÃO LATERÍTICA

Os lateritos, na região de Manaus, desenvolvidos sobre rochas da Formação Alter do Chão, revelam que os perfis lateríticos maduros de COSTA (1991), do Eoceno-Oligoceno, encontram-se truncados na base, ou seja, no horizonte transicional e parte do argiloso, os quais ainda encontram-se preservados principalmente na porção nordeste da área. O horizonte transicional encerra camadas de argila branca caulínica, em grande quantidade, correlacionáveis com aqueles depósitos de caolim encontrados nas rodovias AM-010 e BR-174, descritos por MORAES (1994), os bauxíticos que ocorrem nas regiões do Pitinga/AM, Trombetas/PA e Juriti/PA.

Sobre os lateritos maduros truncados e erodidos desenvolveram-se os lateritos imaturos autóctones durante o Pleistoceno Inferior. Este período segundo TRICART (1985), úmido, favorecendo a iniciação à lateritização, permitindo a diferenciação e formação de zona inferior rica em óxi-hidróxidos de ferro e solo na parte superior. O encouraçamento desse perfil deve ter ocorrido no Pleistoceno Médio a Superior, quando o clima da região foi semi-árido. As estruturas colunares abundantes são sugestivas de período semi-árido (COSTA, 1991).

No Pleistoceno superior até o Holoceno, a região experimentou ciclos alternados de curta aridez e umidade, com domínio do húmido, o que provavelmente pode ter contribuído para o completo estabelecimento do encouraçamento, bem como para a formação dos horizontes esferolítico e solo derivados da crosta. Ou seja, durante este período, a região foi pelo menos exposta duas vezes a alternância de climas úmidos e áridos.

No Holoceno, com a implantação do clima úmido, o intemperismo passou a decompor a crosta intensamente, acumulando com as coberturas geradas nas fases anteriores, os espessos solos argilo-arenoso a areno-argiloso encontrados na Amazônia.

7.3 EVOLUÇÃO ESTRUTURAL

As falhas inversas NE-SW e as dobras com eixo NE-SW são decorrentes da atuação de esforços compressivos que afetaram as rochas da Formação Alter do Chão de idade cretácica, e o perfil laterítico maduro, truncado que se desenvolveu sobre elas no Eoceno-Oligoceno, conforme se verifica nos afloramentos situados ao longo da rodovia AM-010 no trecho entre os rios Preto da Eva e Urubu. Durante esse evento, provavelmente no Mioceno, a região da cidade de Manaus e adjacências experimentou soerguimento e o perfil laterítico maduro foi profundamente erodido.

Ao longo do Plioceno e Pleistoceno Inferior, a região assistiu um período de estabilidade tectônica, que aliada ao clima húmido no Pleistoceno Inferior, propiciou o desenvolvimento do perfil laterítico imaturo.

Novo pulso de movimentação, no Pleistoceno Médio a Superior, gerou falhas transcorrentes dextrais E-W e NE-SW, cuja interação resultou no desenvolvimento de falhas normais orientadas na direção NW-SE e a consequente formação da bacia de Manaus. O jogo de blocos associado a essa movimentação transtensiva impôs segmentação importantes no perfil laterítico imaturo.

A porção nordeste da cidade de Manaus foi mais soerguida, propiciando a destruição do perfil laterítico autóctone e o estabelecimento das linhas de pedra,

truncando o perfil na altura do horizonte transicional (base do perfil). O desenvolvimento generalizado do horizonte solo sobre todos os blocos afetados pela transtensão é mais uma evidência contra a concepção que admite a sua formação através de processos de sedimentação.

No final do Pleistoceno Superior ou mesmo no Holoceno, registra-se o último pulso de movimentação que gerou as falhas de direção NE-SW, as quais afetaram as linhas de pedras.

8 CONCLUSÕES

Os perfis lateríticos possuem composição mineralógica a base de caulinita, hematita, goethita, quartzo, gibbsita, anatásio e rutilo, em ordem decrescente de abundância, cujo padrão de distribuição é típico dos perfis com espesso horizonte solo (latossolo). A restrita presença da gibbsita e a ausência do horizonte bauxítico-fosfático confirmam o grau de evolução imaturo do perfil laterítico. A caulinita e o quartzo são mais representativos nos horizontes solo e argiloso, enquanto a hematita e goethita são nos horizontes ferruginoso e esferolítico. A goethita apresenta-se mais aluminosa no horizonte solo com até 36 moles % de AlOOH e férrica no horizonte ferruginoso com 12 %.

Quanto à natureza do perfil laterítico, tem-se os perfis imaturos autóctones e alóctones. Os primeiros correspondem a perfis completos, com a crosta parcialmente decomposta, e ocorrem nas porções sul, sudeste e oeste da cidade de Manaus, estruturados nos horizontes transicional, argiloso, ferruginoso, esferolítico e solo. Os segundos são truncados, na altura do horizonte transicional e argiloso, indicados pela presença da linha de pedra e encontram-se nas porções nordeste e central da área.

Em termos químicos, os perfis lateríticos são basicamente constituídos por SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 e perda ao fogo que perfazem mais do que 95% da composição total de cada uma das amostras. A porcentagem de SiO_2 nos lateritos é bastante variável, alcançando o mínimo em torno de 15% e o máximo próximo de 80%; os menores valores estão no horizonte ferruginoso. Os teores de Al_2O_3 variam entre 7 a

33%, enquanto os teores de Fe_2O_3 encontram-se entre 8 a 63%. Os valores percentuais de TiO_2 são uniformes e possuem variação em torno de 1 e 2%. Os teores de Fe_2O_3 crescem do horizonte transicional até o ferruginoso, de onde decrescem para o horizonte solo, acompanhando a distribuição da hematita e goethita, enquanto o Al_2O_3 , SiO_2 , PF apresentam comportamento inverso, refletindo a distribuição da caulinita, quartzo e gibbsita. A distribuição dos teores de Al_2O_3 e SiO_2 , na base do perfil laterítico (horizonte argiloso), em alguns locais, mostram comportamento contrários, provavelmente, devido a variação litológica das camadas da rocha-mãe. Os teores de TiO_2 expressam diretamente a quantidade de anatásio e rutilo encontrados.

Indiretamente relacionada, a distribuição da hematita e goethita ao longo dos perfis, quanto aos elementos-traço verifica-se que Mo, Cu, As, V, Pb, Zn, Co se correlacionam com o Fe_2O_3 , componente principal da crosta e dos esferolitos. Por outro lado, Cu, Ba, Nb e Ga estão associados à distribuição do Al_2O_3 e Ga com a gibbsita. Zr apresenta comportamento individual, provavelmente, formando fase mineral própria como zircão, tendo a sua distribuição localmente acompanhada de Y, Hg, Pb e V.

A correlação SiO_2 - Fe_2O_3 é negativa em todos os perfis evidenciando a natureza laterítica dos perfis. A derivação dos horizontes lateríticos iniciou-se a partir de rocha-mãe silico-aluminosa, originando o horizonte argiloso que por enriquecimento de Fe_2O_3 e perda de Al_2O_3 e SiO_2 formou a crosta ferruginosa. A decomposição da crosta por perda de Fe_2O_3 e acúmulo de SiO_2 e Al_2O_3 origina transicionalmente o horizonte esferolítico e depois o horizonte solo.

Os lateritos e suas rochas geradoras na região de Manaus foram ainda modificados intensamente pela estrutural, ou seja, movimentos neotectônicos, dos quais podemos afirmar que:

- As falhas inversas NE-SW e as dobras com eixo NE-SW são decorrentes da atuação de esforços compressivos no Mioceno, que afetaram as rochas da Formação Alter do Chão de idade cretácica, e o perfil laterítico maturo que se desenvolveu sobre elas no Eoceno-Oligoceno, quiça no Mioceno.

- Ao longo do Plioceno e Pleistoceno Inferior, a região assistiu a um período de estabilidade tectônica, propiciando o desenvolvimento do perfil laterítico imaturo no Pleistoceno Inferior, período de clima húmido, segundo TRICART (1985).

- No Pleistoceno Médio a Superior foram geradas falhas transcorrentes dextrais E-W e NE-SW, cuja interação resultou no desenvolvimento de falhas normais orientadas na direção NW-SE e a consequente formação da bacia de Manaus. A porção nordeste da cidade de Manaus foi mais soerguida, propiciando a destruição do perfil laterítico autoctone e o estabelecimento das linhas de pedra, truncando o perfil na altura do horizonte transicional (base do perfil). O desenvolvimento generalizado do horizonte solo sobre todos os blocos afetados pela transtensão é mais uma evidência contra a concepção que admite a sua formação através de processos de sedimentação, como aqueles admitidos por SOMBROEK (1966), TRUCKENBRODT & KOTSCHOUBEY (1981), TRUCKENBRODT et al. (1982) e KOTSCHOUBEY (1984).

- No final do Pleistoceno Superior ou mesmo no Holoceno, registra-se o último pulso de movimentação que gerou as falhas de direção NE-SW, as quais afetaram as linhas de pedras.

Sobre o quadro tectônico, deduz-se através da análise das estruturas que a região de Manaus experimentou transpressão no Mioceno e transtensão no Pleistoceno Médio a Superior, separadas por um período de estabilidade no Plio-Pleistoceno. Um terceiro pulso de movimentação transcorrente afetou a área no Pleistoceno Superior-Holoceno, respondendo provalvemente pelos eventos de sismicidade registrados na área da cidade de Manaus e adjacências.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANAND, R.R. 1995. Genesis and classification of ferruginous regolith materials in the Yilgarn Craton: Implications for mineral exploration. In: INT. GEOCHEMICAL EXPL. SYMP. 17. Townsville, 1995. **Extended Abstracts**. p. 1-4.
- ANGELICA, R.S.; COSTA, M.L.; PÖLLMANN, H. 1995. Gold, wolframite, tourmaline bearing lateritized gossans in the Amazon region, Brazil. In: INT. GEOCHEMICAL EXPL. SYMP. 17. Townsville, 1995. **Extended Abstracts**. p. 269-270.
- ANGELIER, J. 1992. Fault slip analysis and palaeostress reconstruction. In: HANCOCK, P.L. ed. **Continental deformation**. Oxford, Pergamon Press. p.53-100.
- ARAUJO, J.F.V.; MONTALVÃO, R.M.G.; LIMA, M.I.C.; FERNANDES, P.E.C.A.; CUNHA, F.M.B.; FERNANDES, C.A.C.; BASEI, M.A.S. 1976. Geologia. In: BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SA.21 Santarém**; Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, DNPM Cap. 1, p. 30-81 (Levantamentos de Recursos Naturais, 10).
- ASSAD, R. 1978. Depósitos de bauxita na Amazônia. In: CONG.BRAS.GEOL, 30, Recife, 1978. **Anais...** Recife, SBG. v.6: 2511- 2519.
- ASSAD, R. & A. NETTO, A.P. 1976. Depósitos de bauxita de Almeirim In: CONG.BRAS.GEOLG., 29., Ouro Preto, 1976. **Anais...** Belo Horizonte, SBG. v.3, 113-118.
- BARDOSSY, G. 1982. A comparison of main bauxites region of our globe. In: INT. SEM. ON LATERITIZATION PROCESSES, 2., São Paulo, 1982. **Proceedings**. São Paulo, IAG/USP. p.15-51.

- BEAUVAIS, A. & COLIN, F. 1993. Formation and transformation processes of iron duricrust systems in tropical humid environment. **Chem. Geol.**, 106(1/2):77-101.
- BEAUVAIS, A. & TARDY, Y. 1993. Degradation and dismantling of iron crust under climatic changes in Central Africa. **Chem. Geol.**, 107(3/4):277-288.
- BERNARDELLI, A.L. 1982.a Depósito de níquel laterítico do Vermelho. In: SIMP.GEOL.AMAZ., 1, Belém, 1982. **Anais...** Belém, NO/SBG, Anexo, p. 87-95.
- BERNARDELLI, A.L. 1982.b Jazida de Manganês do Azul. In: SIMP.GEOL.AMAZ., 1., Belém, 1982. **Anais...** Belém, SBG/NN, Anexo, p. 51-59.
- BITTON, D. & VOLKOFF, B. 1993. Alteration déferruginisante des cuirasses massives et formation des horizons gravillonnaires ferrugineux dans les sols de l'Afrique Central humide. **C.R. Acad. Sci.**, 316:1447-1454.
- BUTT, C.R.M. & ZEEGERS, H. 1992. **Regolith exploration geochemistry in tropical and subtropical terrains.** Amsterdam., Elsevier. v.4: Handbook of exploration geochemistry.
- CAPUTO, M.V. 1984. **Stratigraphy, Tectonics, Paleoclimatology and Paleogeography of Northern Basins of Brazil.** Santa Barbara, University of California. Centro de Geociências. 583p. Tese (Doutorado em geologia). Centro de Geociências, University of California, 1984.
- CHAUVEL, A.; ANDREUX, F.; CERRI, C.C.; LUCAS, Y. 1989. Superficial evolution of Amazonian bauxite deposits. In: CONG. INT. OF ICSOBA, 6., **Anais...** Poços de Caldas, 1989, p. 45-53.
- CHAUVEL, A.; BOULET, R.; JOIN, P.; BOUCQUIER, G. 1982. Aluminium and iron oxi-hydroxide segregation in nodules of latosols developed on tertiary sediments

- (Barreiras Group), near Manaus (Amazon basin), Brazil.. In: MELFI, A.J. & CARVALHO, A., **Lateritisation Processes**. São Paulo, I.A.G./USP. p. 507-526.
- CORREA, S.L.A. 1996. **Evolução geoquímica das crostas lateríticas e dos sedimentos sobrepostos na estrutura de Seis Lagos (Amazonas)**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 204p. Tese (Doutorado em Geoquímica) - Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de geociências, UFPa, 1996.
- CORREA, S.L.A.; COSTA,M.L.; OLIVEIRA, N.P. 1988. Contribuição geoquímica a zona laterítica do complexo carbonatítico de Seis Lagos (Amazonas). In: CONG.BRAS.GEOL., 35., Belém, 1988. **Anais...**Belém, SBG. v.4, p.1959-1968.
- COSTA, J.B.S.; HASUI, Y.; BERMEGUY, R.; BORGES, M.S. 1995. Arcabouço Mesozoico da região da calha do rio Amazonas. **Rev. Geociências**. (no prelo).
- COSTA, J.B.S.; HASUI, Y.; BEMERGUY, R.L.; BORGES, M.S.; COSTA, A.R.; TRAVASSO,J.A.M.; IGREJA, H.L.S. 1992. Aspectos fundamentais de neotectônica da amazônia brasileira. In: INT. SIMP. QUATERNÁRIO DA AMAZÔNIA, Manaus, 1992. **Resumos e contribuições científicas**. Manaus, ABEQUA. p.103-106.
- COSTA, J.B.S. ; HASUI, Y.; BORGES, M.S.; BERMERGUY, R.L.; SAADI, A.; COSTA JUNIOR, P.S. 1994. Arcabouço tectônico Meso-cenozoico da calha do rio Amazonas. In: SIMP. GEOL. DA AMAZÔNIA, Belém, 1994. **Anais...**, Belém, SBG. v.1, p.47-50.
- COSTA,M.L. 1980. **Geologia, mineralogia, geoquímica e gênese dos fosfatos de Jandiá, Cansa Perna e Itacupim no Pará e Trauíra e Pirocaua no Maranhão**.

- Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 164p. Tese (Mestrado em Geologia) - Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de geociências, UFPa, 1980.
- COSTA, M.L. 1984. A dinâmica de formação de lateritas: o exemplo do NE do Pará e NW do Maranhão. In: CONGR. BRAS. GEOLOGIA, 33. , Rio de Janeiro, 1984. **Anais...** Rio de Janeiro, SBG. v.10, p.4823-4837.
- COSTA, M.L. 1990a. Lateritos e lateritização. In: CONGR. BRAS. GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. **Anais...** Natal, SBG. v.1, p. 404-421.
- COSTA, M.L. 1990b. Potencial metalogenético dos lateritos da Amazônia. In: CONGR. BRAS. GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. **Anais...** Natal, SBG. v.3, p.1371-1385.
- COSTA, M.L. 1991. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. **Revista Bras. Geociências**, 21(20):146-160.
- COSTA, M.L. & ANGÉLICA, R.S. 1995. Two generations of laterite profiles in the amazon region and their ore potencial: Rock and ore display. In: INT. GEICHEMICAL EXPL. SYMP., 17., Townsville, 1995. **Extended Abstracts**. p. 278.
- COSTA, M.L. & ARAÚJO, E.S. 1995. Application of multielemental chemistry in gold- and phosphate bearing lateritic crusts in the identification of parent rocks (serra do Pirocaua, Eastern Amazon region, Brazil). In: INT. GEICHEMICAL EXPL. SYMP., 17., Townsville, 1995. **Extended Abstracts**. p. 279-280.
- COSTA, M.L.; HORBE, A.C.; HORBE, M.A.; TEIXEIRA, J.T.; COSTA, W.A.M. 1988. A região laterítica bauxítica do Pitinga (AM). In: CONG. BRAS. GEOL., 35., Belém, 1988. **Anais...** Belém, SBG. v.1, p. 256-270.

- COSTA, R.C.R. ; NATALI FILHO, T. ; OLIVEIRA, A.A.B. 1978. Geomorfologia. In: BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SA.20 Manaus**; Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro. Cap. 2, (Levantamentos de Recursos Naturais, 10).
- FRANZINELLI, E. & IGREJA, H.L.S. 1990. Utilização de sensoriamento remoto na investigação na área do baixo rio Negro e grande Manaus. In: SIMP. BRAS. SENSORIAMENTO REMOTO, 6., Rio de Janeiro, 1990. **Anais...** Rio de Janeiro. v.3, p.641-648.
- FRANZINELLI, E. & PIUCI, J. 1988. Evidências de neotectônismo na bacia amazônica. In: CONGR. LATINO-AMERICANO GEOLOGIA, Belém, 1988. **Anais...** Belém. v.1, p.80-90.
- HOORN, C., 1993. Marine incursions and the influence of Andean tectonics on the Miocene depositional history of northwestern Amazonia: Results of a palynostratigraphic study. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 105(1/2):267-309.
- HOORN, C., 1994. **Miocene palynostratigraphy and paleoenvironments of northwestern Amazonia: Evidence for marine incursions and the influence of Andean tectonics**. 156p.
- HORBE, A.M.C. 1991. **Evolução mineralógica e geoquímica dos lateritos a Sn, Zr, Nb, Y, e ETR da Serra do Madeira, Pitinga - AM**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 245p. Tese (Mestrado em Geoquímica) - Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, UFPa, 1991.

- HORBE, A.M.C. 1995. **Evolução mineralógica e geoquímica multi-elementar de perfis de solos sobre lateritos e gossans na Amazônia**. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências. 213p. Tese (Doutorado em Geoquímica) - Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, UFPa, 1995.
- HORBE, A.M.C. & COSTA, M.L. 1994. Alumino-goethita em latossolos Amazônicos. In: SIMP. GEOL. AMAZÔNIA, 4. , Belém, 1994. **Anais ...** Belém, SBG. p. 172-175.
- HORBE, A.M.C.; COSTA, M.L. ; FERNANDES FILHO, L.A. 1996. The Crystalchemistry of Goethites and Al-Goethites of Soils Derived from Laterites in Amazonian Rain Forest Region - Brazil. In: INT. CONGR. APPLIED MINERALOGY, Polônia, 1996. **Anais ...** p. 154-157.
- IRION, G. 1984. Sedimentation and sediments of Amazonian rivers and evolution of Amazonian landscape since Pliocene times. In: The Amazon: liminology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin". **Monographiae Biologicae**, 56: 201-214.
- KOTSCHOUBEY, B. 1984. Bauxitas do baixo Nhamundá, região do médio e baixo Amazonas - natureza e gênese. In: CONGR. BRAS. GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro, 1984. **Anais...** Rio de Janeiro, SBG. v.8, p.3926-3940.
- KOTSCHOUBEY, B. & TRUCKENBRODT, W. 1980. Gênese das bauxitas do distrito de Paragominas-PA. Proposta de um modelo evolutivo. In: CONG. BRAS. GEOL, 31., Camboriu, 1980. **Boletim de Resumos**. Camboriu, SBG. v.2, p.370.

- KOTSCHOUBEY, B. & TRUCKENBRODT, W. 1981. Evolução poligenética das bauxitas do distrito de Paragominas-Acailândia (Estados do Pará e Maranhão). **Rev. Bras. Geociências**, 11(3):193-202.
- LOURENÇO, R.S.; MONTALVÃO, R.M.G.; PINHEIRO, S.S.; FERNANDES, P.E.C.A.; PERENA, E.R.; FERNANDES, C.A.C.; TEIXEIRA, W. 1978. Geologia. In: BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SA.20 Manaus**: geologia, geomorfologia, vegetação e uso da terra. Rio de Janeiro. cap. I, p.18-164. (Levatamento de Recursos Naturais, 18).
- LUCAS, Y. 1989. **Systemes pedologiques en Amazonie Bresilienne. Equilibres, desequilibres et transformations**. Tese (Doutorado). Université de Poitiers, Paris, 1989.
- MARTINI, I.P. & CHESWORTH, W. 1992. **Weathering, soils & paleosols**. Amsterdam, Elsevier. p. 535.
- MASON, B. & MOORE, C.B. 1982. **Principles of Geochemistry**. 4. ed. John Wiley & Sons. p.403.
- MOLNAR, A.B. & ALMARAZ, J.S.U. 1966. **Reconhecimento geológico entre as bacias do Amazonas e Maranhão**. Petrobrás, (Relatório Interno Petrobrás, 506).
- MORAES, E.L. 1994. **Correlações físicas, mineralógicas e geoquímicas entre caulins derivados de gnaisses e rochas sedimentares na Amazônia Ocidental**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 129p. Tese (Mestrado em Geoquímica) - Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de geociências, UFPa, 1990.

- NAHON, D. 1991. **Introduction to the Petrology of soils and chemical weathering.** New York, John Wiley & Sons. 313p.
- NAHON, D. ; JANOT, C. ; PAQUET, H.; PARRON, C.; MILLOT, G. 1979. Epigénie du quartz et la kaolinite dans les accumulations et cuirasses ferrugineuses superficielles. La signification des goethites et hématites alumineuses. **Sci. Géol. Bull.**, 32:165-180.
- NASCIMENTO, D. A. ; MAURO, C. A. ; GARCIA, M.L. 1976. Geomorfologia. In: BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SA.21 Santarém**; Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro. Cap. 2, (Levantamentos de Recursos Naturais, 10).
- SAUCK, W.A.; OLIVEIRA, J.A.D.; CARVALHO, J.S. 1995. GPR in the middle Amazon basin, Amazonas state, Brazil. In: CONGR. INTERN. SOCIED. BRAS. GEOFÍSICA, 4., Rio de Janeiro, 1995. **Anais...** Rio de Janeiro, SBGf. v.2, p.972-973.
- SHELLMANN, W. 1979. Considerations on the definition and classification of laterites. In: INT. SEMINAR ON LATERITIZATION PROCESSES, 1., Trivandrum, 1979. **Proceedings...** Trivandrum, Oxford & Ibh. p.1-10.
- SCHOBENHAUS, C. & CAMPOS, D.A. 1984. A evolução da plataforma Sul-Americana no Brasil e suas principais concentrações minerais. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E., coord. **Geologia do Brasil.** Brasília, DNPM. p. 9-53.

- SCHULZE, D.G. 1984. The influence of aluminum on iron oxides, VIII. Unit-cell dimensions of Al-substituted goethites and estimation of Al from them. **Clays and Clay Minerals** 32:36-44.
- SOMBROEK, W.G. 1966. **Amazon soils**; A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region. Wageningen, Centre for Agri. 292p. (publ. document).
- SOUZA, M.M. & MEDEIROS, M. F. 1972. Contribuição ao Estudo Sedimentológico da Região de Manaus. In: CONG. BRAS. GEOLOGIA, 27, Belém, 1982. **Anais ...Belém, SBG/NO.** p. 129 - 140.
- STERNBERG, H. O'R. 1950. Vales tectonicos na planície Amazônica?. **Rev. Geografia.**, Rio de Janeiro, (4):3-26.
- STERNBERG, H. O'R. 1953. Sismicidade e morfologia na Amazônia Brasileira. **Anais Acad.Bras. Ciências.**, Rio de Janeiro, (25):443-453.
- TARDY, Y. 1993. **Pétrologie des latérites et des sols tropicaux**. Paris, Mason. 459 p.
- TARDY, Y. & NAHON, D. 1985. Geochemistry of laterites, stability of Al-goethite, Al-hematite and Fe³⁺ kaolinite in bauxite and ferricretes: An approach to the mechanism of concretion formation. **Am. Jour. of Sci.**, 285(10):865-903.
- TRICART, 1978. Ecologie et développement: l'exemple amazonien. **Ann. Géogr.**, 481:257-291.
- TRUCKENBRODT, W. & KOTSCHOUBEY, B. 1981. Argila de Belterra - Cobertura terciária das bauxitas Amazônicas. **Rev. Bras. Geosci.**, 11(3): 203-208.
- TRUCKENBRODT, W.; KOTSCHOUBEY, B.; GÓES, A.M. 1982. Considerações a respeito da idade das bauxitas na parte leste da região Amazônica. In: SIMP. GEOL. AMAZÔNIA, 1., Belém, 1982. **Anais...** Belém, SBG/NO. v.1, p.201-209.

- TRUCKENBRODT, W. ; KOTSCHOUBEY, B.; SCHELLMANN, W. 1991. Composition and origin of the clay cover on north Brazilian laterites. **Geologische Rundschau**, 80(03):591-610.
- WANDERLEY FILHO, J.R. 1991. **Evolução estrutural da bacia do Amazonas e sua relação com o embasamento**. Belém, Universidade Federal do Pará. Tese (Mestrado em Geologia) - Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, UFPa, 1991.
- WANDERLEY FILHO, J.R. 1996. A influência dos lineamentos proterozóicos na estruturação da Bacia do Amazonas. In: SIMP. GEOL. AMAZÔNIA, 5., Belém, 1996. **Anais ...** Belém, SBG/NO. p.310-31.
- WANDERLEY FILHO, J.R. & COSTA, J.B.S. 1991. Contribuição à evolução estrutural da bacia do Amazonas e sua relação com o embasamento. In: SIMP. GEOL. AMAZÔNIA, 3., Belém, 1991. **Anais ...** Belém, SBG/NO. p.244-259.
- YAMAZAKI, D.R.; COSTA, A.M.R.; AZEVEDO, W.P. 1978. Pedologia. In: BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SA-30 Manaus**: geologia, geomorfologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro. Cap. III, p.245-410. (Levantamento de Recursos Naturais, 18).

ANEXO: ANÁLISE FATORIAL MODO Q.

Correlação entre as cargas dos fatores
e as variáveis

VARIÁVEIS	FATOR I	FATOR II
Quartzo	0.20	-0.84
Caulinita	0.75	0.08
Hematita	-0.81	0.43
Gibbsita	-0.34	0.33
Goethita	-0.63	0.53
Anatásio	0.51	0.13
SiO ₂	0.60	-0.84
Al ₂ O ₃	0.72	0.23
Fe ₂ O ₃	-0.88	0.58
TiO ₂	0.37	0.05
Perda ao fogo	0.34	0.67
B	-0.47	0.13
V	-0.83	0.63
Mo	-0.81	0.69
Ga	0.30	0.70
Y	0.37	0.04
Zr	-0.62	0.60
Nb	-0.34	0.62
Sc	-0.41	0.52
Ba	0.61	0.09
Cu	-0.24	0.25
Pb	-0.66	0.54
Zn	-0.19	0.18
Ni	0.09	0.39
Co	-0.50	0.79
Cr	-0.25	0.88
Mn	0.30	-0.14
As	-0.44	0.39
Hg	-0.07	0.10

Correlação entre os fatores e as amostras.

AMOSTRAS	FATOR I	FATOR II
EXA - 11	0.82	-0.03
EXA - 12	0.83	-0.02
EXA - 14	-0.84	0.22
EXA - 15	-0.80	0.24
EXA - 13	0.10	0.04
XIN - 01	0.04	-0.86
XIN - 02	0.18	0.07
XIN - 03	-0.38	0.28
XIN - 05	0.03	-0.94
XIN - 06	0.72	0.09
CEM - 01	0.80	-0.16
CEM - 02	0.03	-0.88
CEM - 03	0.52	-0.53
CEM - 04	0.41	0.27
CEM - 05	-0.81	0.41
CEM - 06	-0.23	0.70
CEM - 07	0.56	-0.01
DIQ - 01	0.61	-0.08
DIQ - 02	0.27	0.58
DIQ - 03	-0.84	0.30
DIQ - 04	-0.74	0.19
DIQ - 05	-0.11	0.59