CARLOS CLEMENTE CERRI

Raphael Hypolito
1975

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DAS ARENAS GRANÍTICAS

(caracterização mineralógica e química de uma
topossequência da região de Itu, SP)

Orientador
Prof. Dr. Adolpho José Melfi

DEDALUS - Acervo - IGC

30900004811

SÃO PAULO
1974

A
Ana Maria e
Carlos Eduardo

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	1
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
PRIMEIRA PARTE	
CONSIDERAÇÕES GERAIS	
CAPÍTULO I	12
ESTUDO DO MEIO FÍSICO	12
1.1.- GEOLOGIA E PETROGRAFIA	13
1.2 - SOLOS	15
1.3 - RELEVO	18
1.4 - CLIMA	20
1.5 - VEGETAÇÃO	25
CAPÍTULO II	26
MATERIAIS E MÉTODOS	26
II.1 - MATERIAIS	26
II.1.1. - CARACTERIZAÇÃO GERAL DA TOPOSEQUÊNCIA E COLETA DE AMOSTRAS	26
II.2 - MÉTODOS	29
II.2.1. - MÉTODOS DE LABORATÓRIO	29
II.2.1.1 - MÉTODOS FÍSICOS	29
A - <i>Análise granulométrica</i>	29
B - <i>Densidade aparente (Da)</i>	30
C - <i>Desindade real (Dr)</i>	31
D - <i>Capacidade de Campo (Cc %)</i>	31
E - <i>Umidade de Murchamento (Um%)</i>	32

II.2.1.2 - MÉTODOS QUÍMICOS	33
II.2.1.3 - MÉTODOS MINERALÓGICOS	35
A - <i>Difração aos Raios-X</i>	35
B - <i>Análise térmica diferencial</i>	36
C - <i>Análise térmica ponderal</i>	37
D - <i>Microscopia óptica</i>	38
E - <i>Microscopia eletrônica</i>	39
F - <i>Microsonda eletrônica</i>	40
II.2.2 - MÉTODOS DE TRABALHO DE ESCRITÓRIO	40
II.2.2.1 - CÁLCULOS	40
A - <i>Cálculo normativo</i>	41
B - <i>Cálculo isovolumétrico</i>	42
C - <i>Cálculo isoalumínio</i>	42
D - <i>Cálculo do Ki</i>	43
E - <i>Cálculo do Kr</i>	43
F - <i>Porcentagem de alteração (taxa de alteração)</i>	44
CAPÍTULO III	45
CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DOS PERFIS ESTUDADOS	45
III.1 - GENERALIDADES	45
III.2 - CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS	49
SEGUNDA PARTE	
RESULTADOS E DISCUSSÕES	
CAPÍTULO I	73
ASPECTOS MINERALÓGICOS	73
I.1 - COMPORTAMENTO DOS MINERAIS PRIMÁRIOS	73

I.1.1 - ALTERAÇÃO DO QUARTZO	73
I.1.2 - ALTERAÇÃO DOS FELDSPATOS	77
I.1.2.1 - ALTERAÇÃO DOS PLAGIOCLÁSIOS	77
A - <i>Alteração dos plagioclásios em gibbsita</i>	79
B - <i>Alteração dos plagioclásios em caolinita</i>	82
C - <i>Alteração dos feldspatos potássicos</i>	84
I.1.3 - ALTERAÇÃO DAS MICAS TRIOCTAÉDRICAS	88
I.2 - GÊNESE E EVOLUÇÃO DOS MINERAIS SECUNDÁRIOS	90
I.2.1 - MINERAIS DO GRUPO DA CAOLINITA	93
I.2.1.1 - HALOISITA E METAHALOISITA	95
I.2.1.2 - CAOLINITA	97
I.2.2 - GIBBSITA	99
CAPÍTULO II	113
ASPECTOS QUÍMICOS	113
II.1 - COMPORTAMENTO DO SILÍCIO	113
II.2 - COMPORTAMENTO DO ALUMÍNIO	116
II.3 - COMPORTAMENTO DO SÓDIO	116
II.4 - COMPORTAMENTO DO POTÁSSIO	117
II.5 - ÍNDICES DE ALTERAÇÃO	118
TERCEIRA PARTE	
CONCLUSÕES	120
BIBLIOGRAFIA	124

AGRADECIMENTOS

A elaboração de um trabalho científico, normalmente envolve a orientação, a colaboração e o incentivo de várias pessoas. De uma maneira simples, mas, sincera, queremos registrar nossos agradecimentos e gratidão às seguintes pessoas e entidade, das quais, a experiência científica, os serviços técnicos e o apoio financeiro nos permitiram desenvolver este trabalho dentro de um clima seguro e tranquilo:

Ao Professor Doutor Adolpho José Melfi, do Departamento de Geologia Geral, pela dedicação com que nos orientou e incentivou no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Doutor José Pereira de Queiroz Neto, do Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, que também nos conduziu de maneira segura durante certa época de nossas pesquisas.

Ao Professor Doutor Domingos Pellegrino, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, pela valiosa colaboração na orientação e execução das análises químicas.

Ao Professor Doutor Evaristo Ribeiro Filho, do Departamento de Geologia Econômica e Geofísica Aplicada do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, que com dedicação e técnica efetuou algumas das ilustrações fotográficas contidas neste trabalho.

Ao Professor Doutor Sérgio Estanislau do Amaral, do Departamento de Geologia Geral, pela gentileza em ler e criticar os originais.

À Professora Doutora Cecília Alvarenga Pimentel, do

Instituto de Física, Universidade de São Paulo, que com solicitude nos dirigiu e assessorou na técnica da microscopia eletrônica.

Ao Professor Doutor Douglas Alberto Ferraz de Campos, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, pela especial atenção com que nos instruiu na técnica da impregnação.

Ao Geólogo Adilson Carvalho, na época vinculado ao Instituto Agrônomo de Campinas, pela valiosa colaboração em parte dos trabalhos de campo.

À Senhora Nair de Campos Louzada e ao Senhor José Ponchirolli pelo cuidado e dedicação na execução datilográfica deste trabalho.

À Senhorita Itacy Kroehne que com esmero e gentileza confeccionou as ilustrações gráficas.

Ao Senhor Jayme Alves da Silva pela inestimável colaboração na impressão e composição final deste trabalho.

E, em especial à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo que nos proporcionou, com presteza e seriedade, os meios financeiros para a execução do presente trabalho.

INTRODUÇÃO

O granito é a rocha melhor estudada no que diz respeito ao seu comportamento face aos processos intempéricos, tendo sido objeto de numerosos trabalhos científicos. O grande interesse dos pesquisadores pelo estudo de sua alteração superficial prende-se ao fato de que estas rochas, além de cobrirem cerca de 20% da superfície das terras emersas do Globo, acham-se homogeneamente distribuídas por todas as zonas climáticas do mundo, o que permite interessantes pesquisas de correlações.

Alia-se ainda o fato de que certas características intrínsecas dos granitos favorecem a observação dos fenômenos de alteração, tais como a textura grosseira e a existência de minerais com diferentes graus de alterabilidade.

Uma vez submetido a um processo de alteração superficial predominantemente hidrolítico, o granito pode apresentar dois grandes "tipos" de evolução. Um, decorrente de uma hidrólise moderada, encontra-se principalmente nas regiões extratropicais (zonas notadamente temperadas, mas também zonas frias ou áridas): é a arenização. Outro, resulta de uma hidrólise mais intensa e característica das regiões intertropicais: trata-se da alteração laterítica.

O batólito granítico de Itu (SP), constituído essencialmente por quartzo, feldspato potássico e plagioclásios, forma um conjunto relativamente homogêneo face ao intemperismo. A alteração superficial dessa rocha, a despeito de situar-se em clima relativamente agressivo (caracterizado por pluviometria média anual de 1 200 mm e temperatura média anual de 21° C) caracteriza-se pela formação de uma espessa camada superficial de material arenizado, sobre o qual desenvolvem-se solos podzolizados com cascalhos.

O fenômeno da arenização, que significa desagregação completa da rocha em seus constituintes originais, como já mencionamos, é um processo relativamente comum e característico de regiões temperadas, porém, bastante raro em clima tropical úmido, onde a intensidade de ação dos agentes de intemperismo provoca marcado rearranjo mineralógico com a formação de grande quantidade de minerais argilosos.

Os principais objetivos desta pesquisa foram estudar a evolução geoquímica e mineralógica da alteração intempérica do granito de Itu, bem como, a gênese da formação superficial arenizada. Para atingir esses objetivos foi analisada uma topossequência composta de cinco perfis de alteração, que situados em altitudes e condições de drenagem diferentes, representam as características do relevo de toda a área granítica estudada.

As amostras coletadas dos perfis foram submetidas à análises química, física e mineralógica, utilizando-se para tal as técnicas de difração de raios-X, análise térmica diferencial e termoponderal, microsonda eletrônica e microscopia eletrônica.

Os resultados obtidos a partir das análises efetuas nos propiciaram atingir, em parte, os objetivos já mencionados.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Estudos feitos por HARRISON (1934), GOLDICH (1938), BIROT (1947, 1967), COLLIER (1951, 1961), ROXTON e BEER (1957), DEJOU (1958, 1967), LENEUF (1959), PEDRO (1959), HENIN e ROBERT (1964), WATSON (1965), HARRIS e ADAMS (1966), LELONG (1967), MELFI (1967), TARDY (1969), TSAWLASSOU (1971), SEDOH (1973), NOVIKOFF (1974) sobre a alteração de granitos em regiões climáticas distintas do Globo, possibilitam afirmar que a arenização é um fenômeno peculiar da meteorização deste tipo de rocha, porém, não é o único.

A fim de melhor ordenar este capítulo e levando-se em conta a quantidade desproporcional de trabalhos efetuados em regiões temperadas (principalmente na Europa) resolvemos subdividi-lo em três partes.

ALTERAÇÃO DOS GRANITOS EM REGIÕES TEMPERADAS-ARENIZAÇÃO

Em numerosos países da zona temperada as rochas graníticas são, na ausência de fenômenos de erosão, alteradas numa espessura média da ordem de 3 a 4 metros, mas que pode atingir excepcionalmente uma dezena de metros. Sua alteração promove o aparecimento na superfície de um material incoerente, geralmente de cor bege e de textura conservada, no seio do qual podem permanecer alguns corpos esparsos não alterados e mais ou menos arredondados: este material tem sido denominado arena.

COLLIER (1961) define a arena como sendo um produto incoerente resultante da desagregação maciça das rochas graníticas que sofrem influência das ações meteóricas.

Quando se compara um granito fresco com a mesma rocha dita "podre", percebe-se que a característica essencial desta alteração é a mudança do aspecto dos feldspatos. Enquanto que os feldspatos potássicos, via de regra, conservam sua cor, o brilho e dureza iniciais, os plagioclásios aparecem completamente esbranquiçados, opacos e pulverulentos, mais ou menos transformados em argila de neogênese.

Este aspecto corresponde a uma perda relativamente grande da coesão da rocha, evoluindo até a desagregação total, com individualização de seus minerais primários. Trata-se, portanto, de um material grosseiro onde as frações areias e cascalhos representam 70 a 80% do total e a fração argila oscila ao redor de 1 a 2%, donde o nome de arenas "magras" dado por LELONG (1967).

As biotitas, no material alterado, tornam-se castanhas com reflexos dourados. A cor de ferrugem das biotitas se estende, às vezes, ao conjunto da rocha e esta alteração se intensifica na parte superior da arena. O quartzo e a moscovita parecem não sofrer os efeitos intempéricos.

O estudo geoquímico das arenas situadas em regiões temperadas permite apreciar a ordem de remoção dos elementos e as taxas de alteração, isto é, a porcentagem dos elementos evacuados:

O ferro situa-se entre os elementos móveis, mas seu lugar varia segundo os casos.

À direita, encontram-se os elementos constituintes dos feldspatos alcalinos, da moscovita e do quartzo e, à esquerda, os elementos característicos dos plagioclásios e dos ferromagnesianos.

A taxa de alteração, que se mede pela perda de material, não ultrapassa algumas unidades por cento: 1,6 e 4,7 para as arenas estudadas por COLLIER.

DEJOU (1959) encontra taxas de alteração maiores: 18,8% para o granito de Lormes (morvan Nord).

O que se pode deduzir desses dados é que estamos diante de uma alteração química relativamente fraca. No entanto, a desagregação tende a propagar-se facilmente para o interior da massa granítica não só devido à sua textura grosseira, como também pelo seu desenvolvido sistema de diaclases.

Os trabalhos mais recentes abordam e explicam os aspectos genéticos envolvidos: o ataque moderado se concentra somente sobre os minerais vulneráveis (plagioclásios, biotita); os plagioclásios são hidrolizados e dão origem a minerais secundários submicroscópicos do tipo montmorilonita, caolinita, ou mesmo gibbsita (DEJOU, 1967); (TARDY, 1969); (SEDDOH, 1973); (NOVIKOFF, 1974), enquanto que o cálcio e o sódio, libertados por essa decomposição, substituem o potássio das biotitas, que são desta forma vermiculitizadas, isto é, transformadas em filossilicatos entumescidos e hidratados (ROBERT, 1966). Como resultado há o aparecimento em certos pontos da massa granítica de movimentos resultantes dessas forças de expansão e contração, que são suscetíveis de desagregar os minerais e provocar aos poucos, a desagregação da rocha numa certa espessura. a

A mesma rocha do maciço pode apresentar frequentemente algumas zonas menos alteradas. Às vezes pode-se afirmar que estas zonas correspondem a partes protegidas da ação da água por se encontrarem, por exemplo, afastadas das fendas. Este efeito da água é particularmente visível nas pedreiras onde a arenização pode atingir zonas bastante profunda

das. As zonas menos alteradas podem tomar a forma de blocos angulosos correspondentes à rede de diaclases.

Do ponto de vista morfológico e em consequência da existência dessa camada espessa de arenas, as regiões graníticas apresentam freqüentemente em zonas temperadas (Bretanha ou Maciço Central, por exemplo), um relevo suave em domos achatados. Mas em período de erosão, em particular sob clima periglacial, as formações móveis de alteração são facilmente arrastadas; não permanecem então na superfície do substrato senão bolas residuais mais ou menos unidas que formam assim os topos de blocos arredondados que aparecem nitidamente na paisagem (Devon, Vendê).

Esses matacões, cujo volume atinge às vezes várias dezenas de metros cúbicos, podem também amontoar-se de diferentes maneiras, formando figuras bizarras que são características de certas regiões graníticas: Bretanha, Sidobre, Morvan, etc.

ALTERAÇÃO DOS GRANITOS EM REGIÕES TEMPERADAS-SEM ARENIZAÇÃO

Embora a feição mais comum da alteração das rochas graníticas submetidas à ação de um clima temperado seja a formação da arena, existem corpos desta rocha que no processo intempérico dão origem a materiais não arenizados.

Os granitos de granulação fina, muito silicosos, isto é, pobres em plagioclásios e em biotita, são exemplos representativos das rochas que não se arenizam. Estão geralmente em saliências desgastadas pela erosão do granito encaixante arenizado, os perfis de alteração são muito rasos e não podem ser encontrados senão sobre filões resistentes.

Como na arenização, o aspecto do material alterado é dado pela perda do brilho cristalino e da coesão dos feldspatos, não conduzindo aqui à desagregação maciça da rocha, mas somente a uma desagregação superficial e progressiva a partir das paredes das fissuras.

ALTERAÇÃO DOS GRANITOS EM REGIÕES TROPICAIS

A literatura concernente à alteração superficial de rochas nas regiões quentes e úmidas é vasta. Contudo, para os granitos, os trabalhos são escassos, pois, o fenômeno de ferralitização (laterização) acha-se geralmente associado às rochas básicas, objeto de maior interesse aos autores.

Os trabalhos de HARRISON (1934) na Guiné Britânica, GOLDICH (1938), CLAISSE (1953) na Costa do Marfim, RUXTON e BEER (1957) em Hong Kong, e sobretudo a tese muito documentada de LENEUF (1959), igualmente na Costa do Marfim, são os mais importantes estudos conduzidos em clima tropical. MELFI (1967) em sua tese de doutoramento, muito contribuiu para a elucidação da alteração dos granitos em nosso clima.

Esquematicamente, o perfil de alteração clássico se apresenta aqui desta maneira:

Acima da rocha fresca passa-se bruscamente para um material pulverulento que perdeu sua coesão. A seguir, à medida que a decomposição química dos feldspatos se intensifica, verifica-se progressivamente uma formação móvel e plástica, na qual a textura da rocha primitiva se conserva, constituindo a "lithomarge" ou arena "plástica", segundo LELONG, em oposição às arenas "arenosas" das regiões temperadas. Logo que a alteração dos feldspatos estiver completa e que a arquitetura inicial do granito desaparecer, passa-se a um ní

vel chamado argila vermelha variegada, que é específica da evolução laterítica. Os caracteres principais dessa formação em relação às arenas de zonas temperadas são: a importância da fração argilosa, essencialmente caolinítica que ultrapassa comumente 20 a 30%, e o desaparecimento total dos feldspatos, quer sejam calco-sódicos ou potássicos (perda quase total em Na_2O , CaO e K_2O); os únicos minerais primários restantes são constituídos de quartzo mais ou menos fraturado e pulverizado.

A alteração corresponde então, nessas condições, a uma hidrólise intensa, que degrada todos os minerais do granito e em particular os feldspatos potássicos, de modo que se termina numa camada superficial que tem uma composição química total muito diferente daquela da rocha inicial.

O perfil de alteração é variável com as condições topográficas e a natureza da rocha matriz. No lugar onde a erosão não é ativa, a rocha se altera intensamente, podendo atingir profundidades superiores a 50 m. Em regiões acidetadas os horizontes superiores podem ser remanejados, e conforme a situação topográfica, ser completamente erodidos ou apresentar uma espessura considerável devido ao coluvionamento. Sobre os domos graníticos, onde uma grande parte da água de chuva escorre, observa-se uma zona de alteração progressiva de profundidade variável podendo atingir alguns decímetros, recobertos por uma crosta castanho amarelada. Às vezes a superfície da rocha se destaca sob a forma de escamas (descamação). Em resumo, nos terrenos mal drenados o perfil de alteração termina no nível inferior da camada freática, apresentando na base horizontes esverdeados.

A rocha intervém sobretudo pela sua basicidade. Nas rochas básicas, a passagem da rocha matriz para a laterita faz-se bruscamente, como já havia notado LACROIX. No que concerne aos granitos, de acordo com as anotações de COLLIER

(1961), pode-se dizer simplesmente que as crostas de alteração e as manchas do horizonte argiloso são menos vivas que a rocha e mais pobres em minerais ferromagnesianos; assim, existem argilas lateríticas quase brancas.

O exame mineralógico evidencia que a primeira fase de alteração da rocha corresponde à formação de fissuras finas principalmente nos plagioclásios. Estes podem frequentemente apresentar uma intensificação da sericitização. Des^{de} cobre-se já na fração menor que dois microns um produto caolinítico: metahaloisita e um pouco de gibbsita.

A acentuação da alteração se deve a uma extensão da microdivisão das microclinas e mesmo do quartzo, mas sobretudo à intensificação da caolinização dos feldspatos, sempre acompanhada da formação da gibbsita, e de geles amorfos e às vezes de um pouco de ilita. Deve-se atribuir a esta alteração o aspecto irregular adquiridos por esses feldspatos.

Todos os autores estão de acordo em afirmar que as microclinas são mais resistentes que os plagioclásios. Os minerais ferromagnesianos se alteram e liberam hidróxidos férricos, os quais podem migrar nas microfissuras das rochas, na sua vizinhança, explicando assim as manchas ferruginosas, às vezes observadas. Somente o quartzo e a moscovita não parecem alterados quimicamente.

As crostas coloridas que sucedem as zonas esbranquiçadas mostram uma alteração mais avançada. Encontra-se a metahaloisita e a gibbsita, porém, os geles mais ricos em ferro e a presença de goethita caracterizam este estado de alteração.

Enfim a argila variegada caracteriza-se pela presença maciça de caolinita acompanhada de gibbsita e goethita e de geles, tanto mais abundantes quanto mais básica for a

rocha. A montmorilonita pode formar-se dos granitos, os mais básicos em condições de má drenagem. Os materiais residuais são sempre o quartzo, que constitui a maior parte das frações grosseiras, e conforme a natureza da rocha, a moscovita e a hornblenda.

A comparação da rocha sã com a argila variegada (alteração caolinítica-gibbsítica) permite constatar, além dos ganhos de água e de oxigênio, perdas de uma parte da sílica e da quase totalidade das quatro bases. As particularidades dessa alteração residem na solubilização do quartzo e da importância das perdas em potássio; entretanto, nos estádios mais avançados da alteração, as taxas de potássio e mesmo de sódio podem aumentar. A ordem da mobilidade relativa crescente dos elementos apresenta-se assim:

As relações moleculares $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ das frações inferiores a dois microns são próximos de dois tanto quanto a rocha for leucocrática.

Na argila variegada, as taxas das frações inferiores a dois microns, mostram o elevado grau de alteração química atingida nessas regiões; porém, não dá mais que uma estimativa incompleta, pois o complexo de alteração não está restringido somente a essas frações.

Em conclusão, as rochas graníticas encontradas em presença de condições de hidrólise limitada ou intensa - são objeto de uma instalação relativamente fácil do fenômeno de alteração climática. No entanto, as formações superficiais que resultam não têm, conforme o caso, as mesmas características mineralógicas: elas são grosseiras e constituídas essencialmente de minerais primários resistentes (quartzo e feldspato potássico) em zonas temperadas, enquanto que nas

regiões intertropicais, elas são plásticas e ricas em caol
nita devido ao desaparecimento maciço dos feldspatos.

A natureza dos produtos de alteração dos granitos, portanto, parece estar ligada não só ao clima, como depende também de sua constituição mineralógica (porcentagem de biot
ta, tipo de plagioclásio, etc.) e textura.

PRIMEIRA PARTE
CONSIDERAÇÕES GERAIS

CAPÍTULO I

ESTUDO DO MEIO FÍSICO

A região em estudo acha-se situada na parte centro-leste do Estado de São Paulo, logo acima do trópico de Capricórnio, estendendo-se entre os paralelos $23^{\circ}18'$ e $23^{\circ}12'$ S e os meridianos $47^{\circ}16'$ e $47^{\circ}09'$ W. (Figura 1).

Localiza-se na porção do Planalto Atlântico denominado por ALMEIDA (1964) Serrania de São Roque, próximo ao contato com a Depressão Periférica.

Fig.1 - MAPA DE SITUAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

1.1 - GEOLOGIA E PETROGRAFIA

Basicamente, as rochas existentes nos arredores da topossequência estudada constituem duas unidades litológicas distintas: Intrusivas ácidas e Complexo metamórfico.

As principais rochas que constituem o complexo metamórfico são predominantemente gnáisses, micaxistos e filitos subordinados.

Perfeitamente encaixados nas rochas metamórficas, afloram corpos intrusivos ácidos, que na área estudada, constituem os granitos.

A topossequência está situada sobre o granito de Itu, que constitui um batólito alongado na direção NE/SW, ocupando uma área de aproximadamente 200 km². (Figura 2).

Fig.2- LOCALIZAÇÃO DO BATÓLITO DE ITU (segundo Hasui et al, 1969)

O batólito granítico de Itu é um maciço circunscrito, irregular, discordante, pós-cinemático e, de acordo com sua mineralogia, constitui um oligoclásio-granito ou um granito verdadeiro na acepção de MARMO (1967).

Graças à sua pobreza em minerais máficos e seu alto teor em feldspato potássico, pode ser classificado como alaskito MELFI (1967).

Quando fresco apresenta coloração rósea, que lhe é característica. As proporções médias dos minerais constituintes foram assim avaliados por HASUI (1969): 45% de ortoclásio pertítico (às vezes somando-se pequenas quantidades de microclina); 25% de plagioclásio (An 15 a 25%), 25-30% de quartzo, 1 a 5% de biotita, fluorita, apatita, titanita, moscovita, sericita, hematita, magnetita, zircão, turmalina e rutilo.

A textura é hipidiomórfica granular, onde os cristais melhor formados são os plagioclásios. As dimensões mais comuns são: ortoclásio 4-10 mm, plagioclásio 1-4 mm, quartzo 2-5 mm. O arranjo dos cristais é homogêneo, sem orientação preferencial e com raro destaque de fenocristais.

O ortoclásio é sempre pertítico, desde a textura fina até a mesopertítica, onde o plagioclásio exibe geminação polissintética. A geminação segundo a lei de Carlsbad está sempre presente nos feldspatos potássicos. Albita secundária envolve grãos de plagioclásio ou apresenta-se em continuidade óptica com o plagioclásio dos cristais pertíticos. Zoneamento progressivo em plagioclásios foi observado algumas vezes, inclusive em cristais incluídos por ortoclásio. Sericitização ocorre em grau variável, seja limitando-se à parte central do plagioclásio, seguindo certas lamelas de geminação polissintética, seja acompanhando a estrutura pertítica. Hematita sob a forma de "poeira", ora dispersa nos cristais de

ortoclásio, ora concentrada em planos de clivagem, ou margeando as estruturas pertíticas, é um dos responsáveis pelo tom avermelhado do granito de Itu.

Os esforços suportados pela rocha são evidenciados pelos minerais que sofreram transformação: cristais de quartzo e de plagioclásio exibem extinção ondulante com certa frequência; nota-se também quartzo fraturado e moído, estes bordejando cristais maiores ou dispersos, segundo planos de fratura. A causa desse tectonismo de intensidade branda, segundo HASUI *et al* (1969), parece relacionar-se a falhamentos muito posteriores à época orogênica, como por exemplo, as falhas transcorrentes de Itu, no limite S e SW do batólito, e do Piraí onde ocorre o ribeirão do mesmo nome.

O granito de Itu é considerado posterior ao grupo Açungui, sendo colocado no Precambriano Superior. Datações radiométricas realizadas pelo método potássio-argônio, evidenciam idades entre 500 e 560 milhões de anos (CORDANI & BITTENCOURT, 1969).

As áreas de ocorrência deste granito são caracterizadas geralmente pelo aparecimento de grandes e abundantes matacões, formando verdadeiros "mares de pedras". Os "boulders" têm ocorrência generalizada, mas aparecem com maior concentração nas vertentes.

1.2 - SOLOS

Sobre os granitos de Itu, ocorrem solos caracterizados pela Comissão Nacional de Solos, em 1960, como: Solos Podzolizados com Cascalho (Pc). Esta unidade de mapeamento é constituída por solos pouco profundos, moderadamente drenados, com espessura em torno de 15 m, apresentando cascalhos ao

longo do perfil, horizontes facilmente separáveis tanto pela cor como pela textura, sendo aquela predominante de coloração bruno escura no horizonte A e vermelho amarelada no B.

De um modo geral, esta unidade de solos apresenta as seguintes características morfológicas (CNS, 1960):

1 - A amplitude de variação da cor do horizonte A para o B é de 5 a 7,5 unidades em matiz, 4 unidades em valor e 7 unidades em croma (valores extremos), o que indica que o contraste na cor nos dois últimos horizontes é grande, enquanto, entre o horizonte B e C esta variação é menor, variando apenas 1 ou 2 unidades em valor e croma;

2 - Transição clara entre os horizontes A e B e gradual entre B e C;

3 - Horizonte B de consistência dura quando seco, firme e friável quando úmido e plástica e pegajosa quando molhado;

4 - Observa-se em todo o perfil distribuição de cascalhos de 3 a 5 mm de diâmetro. Seu teor é sempre superior a 20%, sendo que esta concentração é maior no horizonte A₂, onde pode atingir até 52% de cascalho;

5 - Fácil identificação de horizontes e subhorizontes.

Como parte de nosso trabalho de campo realizamos um mapeamento de solos que cobre parte do maciço granítico e suas vizinhanças (Figura 3).

Fig.3 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS SOLOS DA REGIÃO CIRCUNVIZINHA A TOPOSSEQUENCIA ESTUDADA

1.3 - RELEVO

A região de Itu situa-se no contato de duas províncias geomorfológicas distintas: o Planalto Atlântico e a Depressão Periférica.

Pesquisas detalhadas sobre a geomorfologia e as formações superficiais da região Itu-Salto foram efetuadas por MODENESI (1974). Este autor distingue 7 níveis topográficos em altitudes decrescentes, dos topos da Serra de Itaguá (950 m) até as mais baixas colinas a Depressão Periférica (550 m). Dispostos em patamares sucessivos estão separados por rampas fortes ou degraus. Esses níveis, quase planos (1-1,5%) inserem-se na rampa mais forte (2,5%) da superfície pré-permiana de DE MARTONE (1940), descrita e denominada por ALMEIDA (1964), superfície Itaguá.

Foram interpretados por MODENESI (1974) como testemunhos de duas superfícies de erosão: SUPERFÍCIE PALEOGÊNICA (níveis 1 e 2, correspondentes aos topos da Serra de Itaguá) e SUPERFÍCIE NEOGÊNICA (níveis 3, 4 e 5 correspondentes aos divisores dos rios principais). Embutidos nos vales atuais ocorrem dois aplanamentos restritos (níveis 6 e 7).

O perfil mais elevado da topossequência estudada situa-se num desdobramento da superfície neogênica (nível 4: 700 a 725 m de altitude). Foto 2.

Um aspecto típico da área estudada é a presença generalizada de matacões principalmente nas vertentes. Como também observou MODENESI (1974), os matacões ocorrem em menor intensidade nos interflúvios e mais raramente ainda nos vales. Sua orientação reflete a direção preferencial dos diaclasamentos (NW/SE).

Os níveis estão fortemente dissecados pela drenagem, que se instalou segundo as linhas de fraqueza escavando vales profundos estreitos e de vertentes muito íngremes. As planícies aluviais são raras e quando ocorrem são de pequena extensão.

A orientação geral da rede de drenagem mostra rumos preferenciais para NW. O padrão de drenagem é ao mesmo tempo paralelo e retangular. Resulta do paralelismo dos principais cursos d'água, ajustados aos principais falhamentos e das direções perpendiculares dos seus tributários, controladas por diaclasamentos e fraturas de arranjo retangular.

No mesmo trabalho citado anteriormente foi efetuada uma tentativa de correlação entre os níveis e as formações superficiais. Depósitos correlativos dos processos erosivos foram encontrados apenas na SUPERFÍCIE NEOGÊNICA (bancada ferruginosa). A maior parte dos níveis está recoberta por colúviação extensiva relacionada a processos posteriores à elaboração dos aplainamentos. As únicas ocorrências de material "*in situ*" estão nas áreas graníticas com matacões ainda dispostos segundo direções de diaclasamento e fraturas.

Como observaram QUEIROZ NETO & MODENESI (1973) e MODENESI (1974), depósitos de topo de nível e de vertente diferem em suas características e perfis de solos. Os primeiros são mais espessos, muito intemperizados, alguns com elevado teor em ferro. Nesses materiais desenvolvem-se solos com horizontes B latossólicos: LE, LH, LVA. Os depósitos de vertente são menos espessos e intemperizados, dando origem a perfis de solos menos evoluídos, com horizontes B texturais (Pc).

Este é o esquema geral de distribuição das formações superficiais. Entretanto, podem ocorrer em situação de topo de nível, perfis menos evoluídos.

Na topossequência analisada os perfis pertencem a segunda categoria descrita acima, inclusive o perfil 1, apesar de estar em situação de topo de nível.

1.4 - CLIMA

Os agentes climáticos que realmente exercem papel preponderante nos fenômenos intempéricos e pedogenéticos são: água e temperatura.

A água infiltrada percola através da zona de aeração e atinge o nível hidrostático, sendo temporariamente retida. O esvaziamento destas reservas é lento, alimentando as fontes e riachos

A temperatura intervém, sobretudo, para ativar as hidrólises, aumentar a velocidade de solubilização dos minerais e deslocar as reações de equilíbrio.

Os dados de temperatura média do ar e da precipitação pluviométrica (Quadro 1) e o balanço hídrico (Figura 4) da região de Itu (SP) permitem classificar o clima como pertencente ao tipo Cfa segundo a classificação de KÖPPEN.

O tipo Cfa é definido como clima mesotérmico úmido com temperatura do mês mais quente maior que 22°C e do mês mais frio abaixo de 18°C e apresentando no mês mais seco mais de 30 mm de chuva.

O balanço hídrico determinado pelo IAC (Figura 4) fornece os seguintes dados para o município de Itu (SP).

Precipitação	1208 mm
Evapotranspiração potencial	981 mm
Excedente	255 mm
Deficiência	28 mm

	PRECIPITAÇÃO (mm)	TEMPERATURA (°C)
Janeiro	245	23,5
Fevereiro	204	23,7
Março	102	23,1
Abril	54	21,2
Maio	56	18,5
Junho	53	17,1
Julho	34	16,7
Agosto	33	17,5
Setembro	46	19,6
Outubro	120	21,0
Novembro	104	22,1
Dezembro	157	22,4
MÉDIA ANUAL	1208	20,5

Quadro 1 - Dados de temperatura média do ar e da precipitação pluviométrica do município de Itu(SP), fornecidos pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC).

Uma limitação do balanço hídrico de THORNTWAITE & MATTER (1955), é fixar a capacidade de suprimento de água disponível (CAD) no solo, em 100 ou 125 mm de profundidade, excluindo o fator solo, que é um eficiente modificador das condições climáticas presentes. Este fato não permite um conhecimento adequado das características hídricas do perfil de solo em profundidade, dificultando a interpretação do fenômeno da arenização.

Para conhecer as características hídricas do material alterado, foi utilizado o método de determinação da marcha anual da água disponível no solo por RANZANI (1970), aplicado ao perfil mais profundo (perfil 3).

Utilizando-se os dados da Quadro 2 e do balanço hídrico (Figura 4), foi possível estabelecer os níveis com água disponível e sem água disponível (Figura 5).

QUADRO 2 - CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS DO PERFIL 3

H O R I Z O N T E				0,33 atm.	15 atm.	A.D.	Da.	h	C.A.D.
SÍMBOLO	PROFUNDIDADE (Cm)		ESPE. (H) (Cm)	Cc. %	U.mu %				
A ₁	0	- 15	15	14,11	7,29	6,82	1,75	1,78	11,93
A ₂	15	- 45	30	18,15	11,67	6,48	1,77	3,43	11,43
B ₁	45	- 65	20	20,36	13,03	7,33	1,59	2,33	11,65
B ₂	65	- 90	25	21,05	12,92	8,13	1,46	2,96	11,84
B ₃	90	- 110	20	20,66	9,68	10,96	1,46	3,20	16,00
C ₁	110	- 140	30	20,96	6,59	14,37	1,42	6,12	20,40
C ₂	140	- 240	100	21,43	4,67	16,76	1,40	23,46	23,46
C ₃	240	- 340	100	21,73	5,71	16,02	1,35	21,62	21,62
C ₄	340	- 440	100	22,85	5,81	17,04	1,47	25,04	25,04
C ₅	440	- 540	100	20,22	4,92	15,30	1,61	24,63	24,63
C ₆	540	- 640	100	20,10	7,70	12,40	1,66	20,58	20,58
C ₇	640	- 740	100	19,14	5,00	14,14	1,59	22,48	22,48
C ₈	740	- 840	100	20,93	5,28	15,65	1,60	25,04	25,04
C ₉	840	- 940	100	17,65	4,60	13,05	1,74	22,70	22,70
D ₁	940	-1040	100	11,84	3,22	8,62	2,22	19,13	19,13

Cc. = Capacidade de Campo
 U.mu = Umidade de Murchamento
 A.D. = Água Disponível

H = Espessura do Horizonte Considerado
 h = Camada de Água
 Da. = Densidade Aparente

Fig.4 - MARCHA ANUAL DA PRECIPITAÇÃO E DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL SEGUNDO TORNTHTWAITE E MATHER DA ESTAÇÃO DE ITU, LATITUDE 23°16' LONGITUDE 47°17', ALTITUDE 645 m

Fig.5 - MARCHA ANUAL DA ÁGUA DISPONÍVEL NO
PERFIL -3

Com água disponível
Sem água disponível

Observa-se na Figura 5, que na profundidade superior a 3800 mm, que marca aproximadamente o limite superior da zona de arenização, o perfil apresenta água disponível durante o ano todo, embora deficiências ocorram em superfície nos meses mais secos.

1.5 - VEGETAÇÃO

A vegetação original da área, preservada em alguns locais, é constituída pela floresta latifoliada tropical semidecídua. Essa formação vegetal caracteriza-se por perder parcialmente as folhas na estação seca, provavelmente pela baixa retenção de água que os Solos Podzolizados com Cascalho apresentam em virtude, talvez, da sua textura arenosa. A floresta é composta de árvores de altura média entre 20-25m, entre as quais se destacam a peroba (*Aspidosperma* sp), pau d'alho (*Gallesia gorozema*), figueira branca (*Ficus doliaria*, Mart.), palmitos (*Euterpis edulis*) etc. Uma das características desta floresta nos Solos Podzolizados com Cascalho, é a ausência de muitas espécies de palmáceas.

A área, atualmente, apresenta-se em grande parte coberta por pastagens naturais de capim gordura (*Melinis minutiflora*) e por culturas perenes destacando-se o café (*Coffea arabica*, L).

CAPÍTULO II

MATERIAIS E MÉTODOS

II.1 - MATERIAIS

II.1.1 - CARACTERIZAÇÃO GERAL DA TOPOSSEQUÊNCIA E COLETA DE AMOSTRAS

A topossequência escolhida é composta de 5 perfis de alteração numerados de 1 a 5 desde o topo até à base, conforme mostra a Figura 6.

O perfil 3 está localizado no primeiro corte da estrada que serve de acesso à Fazenda Coqueiro, ligando esta a rodovia Itu-Jundiaí (altura do km 99). A coleta das amostras de todos os horizontes deste perfil foi feita nos moldes usuais, ou seja, pelo menos 50 cm do material exposto foi eliminado e em seguida coletaram-se as amostras na parte central de cada horizonte. Nos níveis correspondentes à arena, isto é, nos horizontes C_1 e C_2 do perfil 1; C_1 , C_2 , C_3 e C_4 do perfil 2 e C_1 a R_1 do perfil 3, a amostragem foi feita de 1 em 1 metro. Para a descrição e coleta dos demais perfis foram abertas trincheiras de aproximadamente 2,00 x 1,50 m de abertura por 2,00 m de profundidade. As amostras situadas abaixo de 2,00 m nestes perfis foram coletadas com o auxílio de um trado.

Em todos os perfis tentou-se atingir a rocha original, o que nem sempre foi possível. Observações de campo evidenciaram que o granito sobre o qual a topossequência se

Foto 1 - Vista geral da área estudada; Em primeiro plano está situada a toposequência, objeto do presente trabalho.

	PERFIL 1	PERFIL 2	PERFIL 3	PERFIL 4	PERFIL 5
Drenagem	Normal (passa a lenta)	Normal	Normal	Lenta	Muito lenta
Vegetação	pasto	pasto/café	café	pasto	pasto/frutas
Espessura do-A mm	0 - 35	0 - 25	0 - 45	0 - 115	0 - 25
Espessura do B mm	35 - 190+	25 - 80	45 - 110	115 - 200+	25 - 125
Espessura su posta do per fil mm	400 - 500	400 - 500	1000	<400?	?

Figura 6 - Localização dos perfis que compõem a topossequência e algumas características

desenvolveu é relativamente homogêneo, de modo a justificar a coleta do material original em um único local, na base do perfil 3.

II.2 - MÉTODOS

Para efeito de um melhor entendimento, a exposição dos métodos empregados obedecerá a seguinte divisão: Métodos de Laboratório e Métodos de Trabalho de Escritório.

II.2.1 - MÉTODOS DE LABORATÓRIO

II.2.1.1 - MÉTODOS FÍSICOS

A - Análise granulométrica

Aproximadamente 2 kg de amostra da parte central de cada horizonte foram trazidos do campo e deixados secar ao ar por aproximadamente 48 horas. Em seguida as amostras foram esboroadas, passadas em peneiras de 2 mm e pesadas, obtendo-se assim a porcentagem da fração maior que 2 mm (cas calho).

Na amostra menor que 2 mm foram determinadas as porcentagens de areia grossa, areia fina, silte e argila, (escala de ATTERBERG), e recalculadas levando-se em conta a porcentagem de cascalho. Trataram-se 25 gramas da T.F.S.A. (Terra fina seca ao ar) com 2 gramas de pirofosfato de sódio e 50 ml de água destilada, deixando dispersar por 12 horas. Em seguida foram agitadas por 20 minutos a 12 000 rpm e passadas por peneira de 0,2 mm, determinando-se assim a

areia grossa. As frações silte e argila foram determinadas por pipetagem obedecendo à Lei de Stock. A fração areia fina foi determinada por diferença.

Nos horizontes superficiais procedeu-se à eliminação da matéria orgânica utilizando o método de ANDERSON (1963). (Tratamento da amostra com hipoclorito de sódio, pH 9,5, centrifugação do sobrenadante e lavagens sucessivas com água destilada).

B - Densidade aparente (Da)

O método utilizado para a determinação da densidade aparente foi o da parafina. Três torrões de aproximadamente 50 gramas foram coletados de cada horizonte do perfil e levados ao laboratório. Aos torrões amarrou-se um fio fino para a numeração das amostras. Em seguida cada torrão foi impermeabilizado com 3 banhos de parafina a 80°C. Deixou-se esfriar e determinou-se o peso do torrão + fio + etiqueta + parafina. Em seguida pesou-se o torrão imerso em água. Feito isto rompeu-se o torrão e uma parte da amostra foi pesada com a umidade do campo e seca na estufa a 105-110°C.

Para a determinação da densidade aparente usou-se a fórmula:

$$d_{ap} = \frac{\{P_1 - (P_f + P_{et})\} \times \frac{P_5}{P_4}}{\left(\frac{P_2 - P_3}{1}\right) - \left(\frac{P_2 - P_1}{0,8}\right)}$$

P_f = Peso do fio de cobre

P_{et} = Peso da etiqueta

P_1 = Peso do torrão úmido + Peso do fio + Peso da etiqueta

P_2 = Peso do torrão úmido + Peso do fio + Peso da etiqueta + Peso da parafina

P_3 = Peso do torrão + Peso do fio + Peso da etiqueta + Peso da parafina imersos em água

P_4 = Peso de parte da amostra úmida do centro do torrão

P_5 = Peso da amostra retirada do centro do torrão seca na estufa a 105-110°C

0,8 = Densidade da parafina

1 = Densidade da água

C - Densidade real (D_r)

O método utilizado para a determinação da densidade real foi o do álcool etílico. Foram pesadas 20,000 gramas de terra fina seca em estufa (105-110°C) e colocadas num balão volumétrico (50 ml) e adicionados 25 ml de álcool etílico. Após esperar 12 horas completou-se o volume obtendo-se dessa maneira o volume da amostra. A densidade real foi obtida dividindo o peso da amostra (20,000 gramas) pelo volume encontrado.

A porosidade foi determinada usando a fórmula:

$$P \% = \left(1 - \frac{D_a}{D_r}\right) 100$$

sendo:

P = porosidade

D_a = densidade aparente

D_r = densidade real

D - Capacidade de Campo (C_c %)

Para determinar a capacidade de campo utilizaram-se

as técnicas de RICHARDS empregando para tal o aparelho Placa de Richards (Pressure Plate - fabricação Soil Moisture equipment Co, pressão máxima de 1 Bar).

A pressão empregada foi de 0,33 atmosferas.

E - Umidade de Murchamento (Um%)

Nesta determinação também foram empregadas as técnicas de RICHARDS e o aparelho utilizado foi: Membrana de Richards ("Membrane") - fabricação Soil Moisture equipment Co.

A pressão empregada foi de 15 atmosferas.

Objetivando uma maior caracterização da potencialidade de água no perfil do solo efetuaram-se os cálculos de Água Disponível (A.D); Camada de água (h) e Capacidade de Água Disponível (CAD). Para tanto, utilizaram-se fórmulas que relacionam tensões, espessura de horizonte e densidade aparente. Por exemplo:

$$AD = Cc - Um$$

$$h = \frac{AD \times Da \times H}{100}$$

$$CAD = \frac{h}{H} \times 100$$

onde:

- AD = Água disponível
- Cc = Capacidade de Campo
- Um = Umidade de Murchamento
- h = Camada de água
- Da = Densidade Aparente
- H = Espessura do horizonte considerado

II.2.1.2 - MÉTODOS QUÍMICOS

pH em H_2O	- determinado através de potenciômetro em suspensão de TFSA com água na relação = 1 : 2,5
pH em KCl	- determinado potenciometricamente em suspensão de TFSA com cloreto de potássio 1 N, pH 7, na relação 1 : 2,5
Carbono	- determinado por oxidação úmida pelo dicromato de potássio e titulação do excesso de dicromato por iodometria (CATANI <i>et al</i> 1955).
Nitrogênio	- Método semimicroanalítico: digestão de solo com sulfato de potássio e óxido mercúrico e ácido sulfúrico, destilação com hidróxido de sódio, recebendo o amoníaco em ácido bórico e titulação com ácido sulfúrico padrão
Cálcio "trocável"	- extração com ácido nítrico 0,05 N determinação pelo EDTA em pH 12 usando como indicador Calcon. (GLORIA <i>et al</i> 1964)
Magnésio "trocável"	- extração com ácido nítrico 0,05 N determinação pelo EDTA em pH 10 usando como indicador eriocromo negro T. O teor de magnésio foi obtido subtraindo desta determinação o teor de cálcio (GLORIA <i>et al</i> 1964)
Potássio e Sódio "trocável"	- extração com ácido nítrico 0,0 N e determinação por fotometria de chama (MUNHOZ, 1957)
Soma de Bases (S)	- calculada através da soma dos teores de Ca^{++} + Mg^{++} + K^+ + Na^+
Hidrogênio "trocável"	- determinado através da extração com acetato de cálcio 1 N, pH 7 e titulação com NaOH 0,02 N (CATANI <i>et al</i> 1955)
Alumínio "trocável"	- extração com cloreto de potássio 1 N e titulação do excesso com hidróxido de sódio 0,10 N

Capacidade de Troca de Cátions - calculada somando S + H⁺ +
"calculada" (CTC) Al⁺⁺⁺

Capacidade de Troca de Cátions - determinada por extração com
"Determinada" (CTC⁺) acetato de cálcio e titula-
ção por EDTA 0,01 M

Índice de Saturação de Bases(V)- obtido pela equação:

$$\frac{S}{CTC} \times 100$$

ANÁLISE QUÍMICA TOTAL

Pela análise química total da rocha fresca e seus produtos de alteração, dosaram-se os seguintes óxidos: SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, TiO₂, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅, H₂O⁺, H₂O⁻.

Para a dosagem desses óxidos segue-se a seguinte marcha analítica:

a) fusão com carbonato de sódio para a determinação gravimétrica da sílica no resíduo. No extrato foram determinados: alumínio (volumetria), ferro total (colorimetria), cálcio e magnésio (absorção atômica), fósforo e manganês (colorimetria).

b) fusão com carbonato de sódio para a determinação do titânio separadamente (colorimetria).

c) fluorização (HF + HNO₃ + HCl) para a dosagem de sódio e potássio (fotometria de chama).

d) fluorização (HF + NH₄VO₃) para a dosagem de FeO (colorimetria).

e) determinação de água total pelo método de Penfield.

f) água higroscópica (H_2O^-) a 105-110°C.

DOSAGEM DOS AMORFOS

Os produtos amorfos foram dosados segundo a técnica de SEGACEM (1968). Tal técnica está baseada no fato de que os produtos amorfos são mais rapidamente atacados que os produtos cristalizados. As amostras (TFSA) foram colocadas oito vezes em contato com HCl (8 N) durante 30' e NaOH (0,5 N) durante 5', alternadamente. Após cada tratamento, foi dosado o silício, o ferro, e o alumínio, colorimetricamente.

Os principais aparelhos utilizados na Análise Química foram: Espectrofotômetro Beckman DB; Aparelho de Absorção Atômica Perkin-Elmer 303; Fotômetro de Chama Coleman Jr.; medidor de pH Metrhom (meter E 396 B); microdigestor Kjeldhal.

II.2.1.3 - MÉTODOS MINERALÓGICOS

A - Difração aos raios-X

O equipamento utilizado foi um PHILLIPS (NORELCO), que trabalhou com tubo de cobre e anticátodo de níquel com 20mV e 15mA de potência.

As amostras representativas de cada horizonte foram reduzidas a pó e passadas em peneira de 100 meshes. Em seguida foram submetidas à difração aos raios-X.

Uma pasta da fração argila obtida da análise granulométrica foi esfregada em uma lâmina de vidro com auxílio

de uma espátula, para se obter a orientação preferencial das partículas.

O diagnóstico dos minerais foi feito de acordo com WARSHALL & ROY (1961), baseando-se no espaçamento basal dos minerais.

Relação dos minerais encontrados com
seus 3 valores de d, distância inter
planar mais intensa

Mineral	Distância interplanar		θ A
Biotita	10,10	3,36	2,65
Clorita	14,00	4,68	3,50
Feldspato K	6,26	4,25	2,16
Plagioclásio	4,03	3,66	3,22
Quartzo	3,34	4,26	1,82
Caulinita	7,20	3,56	2,33
Gibbsita	4,85	4,37	2,39

B - Análise térmica diferencial

A análise térmica diferencial foi feita com auxílio de um aparelho de registro automático da RIGAKU que trabalhou com taxa de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ e velocidade do papel 2,5 mm/min. O forno atinge 1200°C . Como comparador foi usada a alumina calcinada que é uma substância inerte até 1100°C .

O método preconizado por DIXON (1966) para a Análise Térmica Diferencial, não revela bons resultados quando se trata de determinar quantitativamente pequenas porcentagens de argilo-minerais na amostra integral do solo. Amostra integral do solo significa o solo como um todo, ou seja todas as frações granulométricas.

A porcentagem de argila é proporcional à área do pico endotérmico evidenciado entre 550 e 650°C e isto limita ainda mais o método quando se quer determinar a porcentagem de caolinita em amostras ricas em quartzo. A 520°C há uma outra reação endotérmica devido à passagem do quartzo α para β , mascarando dessa forma as porcentagens da caolinita.

A análise Térmica Diferencial foi efetivada apenas na fração argila com o intuito de confirmar os tipos argilo-minerais presentes bem como estimar os teores relativos dos amorfos.

C - Análise térmica ponderal

O objetivo deste método foi o de auxiliar na análise mineralógica quantitativa dos horizontes de alteração do granito. A análise mineralógica quantitativa propriamente dita foi feita usando-se o cálculo normativo, descrito mais adiante.

Foi possível, por esses motivos, comprovar os teores dos argilo-minerais encontrados, com os obtidos a partir do cálculo normativo.

A termobalança é o aparelho mais indicado para a obtenção dos dados de caolinita no material estudado. Na impossibilidade da utilização da termobalança para todas as amostras, fez-se uma improvisação deste aparelho utilizando-se uma mufla e uma balança analítica de precisão.

Para a obtenção dos teores dos argilo-minerais por esse outro método termoponderal baseou-se nos seguintes dados: a gibbsita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) possui 34,61% de água e a caolinita $\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$ um teor de 13,96 em água e também que a gib-

bsita perde sua água de constituição no intervalo de temperatura de 220-350°C e a caolinita entre 350 e 650°C.

Em função desses dados procedeu-se da seguinte maneira: em um cadinho de porcelana calcinada, de aproximadamente 3 gramas, colocou-se 1,0000 g da amostra total de cada horizonte isenta de matéria orgânica. Em seguida foram levados para a mufla e aquecidos desde 20 a 220°C num intervalo de tempo de 2:30 h, retirados e colocados em dessecador por 30 minutos. A operação foi repetida para os intervalos de 220-350 e 350-650°C.

A diferença de peso da amostra, graças à perda de água entre 220 e 350°C, equivale à porcentagem de gibbsita (30 g de água corresponde a 100 g de gibbsita).

A perda de peso entre 350 e 650°C equivale à porcentagem de caolinita (14,69 g de água corresponde a 100 g de caolinita).

Os dados obtidos pela termobalança e pelo método im provisado foram semelhantes. (Figura 44).

D - Microscopia óptica

A microscopia óptica, utilizando luz transmitida, foi aplicada no estudo de seções delgadas da rocha nos diferentes estádios de alteração e também na caracterização mineralógica e micromorfológica dos diferentes horizontes do solo.

Para a confecção das lâminas dos horizontes do solo, foram necessárias técnicas adicionais, com a finalidade de tornar coerente o material a ser laminado.

Amostras em forma de cilindro de aproximadamente 4 cm de diâmetro por 6 cm de altura, orientadas e representativas de todos os horizontes do perfil 3, foram impregnadas com acrílico, de acordo com a metodologia descrita por CAMPOS *et al* (1973). Foi usada a resina acrílica DINAMBRA (monômero do metilmetacrilato) e como catalizador e clarificador o peróxido de benzoíla e ácido tricloroacético, respectivamente.

Desta maneira conseguiram-se lâminas delgadas para o estudo ao microscópio óptico, tanto do solo como da arena.

Neste mesmo cilindro confeccionaram-se seções polidas para o estudo na microsonda eletrônica.

E - Microscopia eletrônica

A microscopia eletrônica foi feita com a finalidade de constatar a presença da haloisita e o grau de cristalinidade dos argilo-minerais.

As amostras foram dispersas entre lâminas de vidro com solução concentrada de hidróxido de amônio e em seguida diluída em água destilada até a dispersão adequada (PIMENTEL, 1961). Foi depositada com uma pipeta uma gota da dispersão sobre a tela usual para microscopia eletrônica recoberta com película suporte de parlódio e após 10 minutos retirou-se com papel de filtro o líquido depositado. Após a secagem ao ar, as amostras foram analisadas ao microscópio eletrônico de transmissão JEOL JEM 50-B com tensão aceleradora de 40.000 volts do Instituto de Geociências da USP. As micrografias eletrônicas foram obtidas com aumento de 4.000 vezes e ampliadas fotograficamente até 29.000 vezes.

F - Microsonda eletrônica

A microsonda eletrônica utilizada foi a de modelo EMX-SM, da Applied Research Laboratories. As condições de instrumentação usadas foram as seguintes: potencial de aceleração 15 kV, corrente de amostra 0,05-0,10 Å, tempo de integração nos contadores 10" e diâmetro do feixe eletrônico 1 a 20µ. As condições de análise foram ajustadas para eliminar qualquer perda de K e Na por volatilização. Como padrões foram utilizados: periclásio, biotita, albita, ortoclásio, quartzo e granada.

Utilizaram-se 4 amostras representativas de todo o perfil 3 para analisar o feldspato potássico, plagioclásio e biotita, mais os seus produtos de alteração.

Inicialmente foram analisados o K, Al e Na, respectivamente nos cristais ADP, ADP e RAP, para os três minerais e seus produtos de alteração.

Posteriormente, nos mesmos pontos, foram analisados o Fe, Si e Mg respectivamente nos cristais LiF, ADP e RAP.

As seções polidas utilizadas para a microsonda eletrônica foram confeccionadas a partir das amostras impregnadas com acrílico. As seções foram cobertas com uma fina película de vapor de carbono, produzido por um metalizador a vácuo.

II.2.2 - MÉTODOS DE TRABALHO DE ESCRITÓRIO

II.2.2.1 - CÁLCULOS

Foram efetivados vários cálculos com a finalidade

de auxiliar a interpretação dos resultados obtidos das análises física e química e de proporcionar a determinação da composição mineralógica.

A - Cálculo normativo

A partir da análise química total e com auxílio do cálculo normativo, pode-se determinar a porcentagem de plagioclásio, feldspato potássico, quartzo e comparar as porcentagens de caolinita e gibbsita obtidas pela análise termoponderal.

Supõe-se que todo o sódio encontrado na análise química total esteja presente na composição química do plagioclásio ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$).

Para a determinação da porcentagem de plagioclásio em cada horizonte, basta dividir o teor de óxido de sódio (1) encontrado na análise mineralógica pelo peso molecular (62). Em seguida multiplica-se o valor encontrado (1) pelo peso molecular do mineral. Subtrai-se do teor total do óxido de alumínio o valor equivalente ao encontrado para o Na_2O (1). Do teor total de SiO_2 subtrai-se 6 vezes o valor (1). Isto porque a relação molecular do plagioclásio é 1:1:6.

Supõe-se, igualmente, que todo o potássio presente na análise química total faz parte da composição química do feldspato potássico (ortoclásio e microclina) - $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$.

Procedeu-se da mesma forma empregada para o plagioclásio. Depois de efetuados os cálculos para o feldspato potássico, restará uma certa porcentagem de SiO_2 e Al_2O_3 .

Como já se determinou previamente a porcentagem de caolinita

e gibbsita, todo o alumínio e parte da sílica serão consumidos para a formação destes argilo-minerais. Toda a sílica restante entra na composição do quartzo, que desta maneira é calculado por diferença. A porcentagem de gibbsita e caolinita foram também confirmadas pelo cálculo normativo.

Pode-se supor que quase o total do magnésio determinado esteja presente na composição da biotita.

O levantamento de dados analíticos mostrou que a magnésia contribui com valores girando em torno de 7% do total de óxidos presentes na biotita. Com auxílio desses dados pode-se ter um valor aproximado do teor de biotita no material alterado.

B - Cálculo isovolumétrico

O estudo quantitativo da evolução dos constituintes de uma rocha no decorrer do intemperismo pode ser feito por diversos métodos geoquímicos.

O método isovolumétrico é o mais indicado quando a estrutura da rocha é conservada nos horizontes de alteração.

Este método aplicado pela primeira vez por MOHR, citado por BONIFAS (1959), supõe que a alteração não modifica o volume de um material rochoso, mas sua densidade aparente.

C - Cálculo isoalumínio

Como a estrutura da rocha inicial não é mantida nos horizontes superiores dos perfis estudados, fêz-se necessário efetuar o cálculo isoalumínio para complementar os estu-

dos sobre o comportamento dinâmico dos principais elementos analisados.

D - Cálculo do Ki

Ki é igual à relação molar entre a porcentagem em pesos de SiO₂ na forma combinada e o óxido de alumínio.

$$Ki = \frac{SiO_2\% \text{ (combinado)}}{Al_2O_3} \times 1,7$$

O Ki permite comparar dois ou mais horizontes de um perfil ou dois perfis entre si.

O valor de Ki abaixo de 1,8 indica a presença de hidróxido de alumínio livre e valores entre 1,8 e 2,0 indica a presença de minerais do grupo da caolinita. Valores acima de 2 indicam a presença de minerais do tipo 2:1.

E - Cálculo do Kr

O Kr é igual à relação molar entre a porcentagem do óxido de silício e a dos óxidos de alumínio e ferro férrico.

$$Kr = \frac{\frac{SiO_2}{60}}{\frac{Al_2O_3}{102} + \frac{Fe_2O_3}{160}}$$

*F - PORCENTAGEM DE ALTERAÇÃO (TAXA DE ALTERAÇÃO, PEDRO
-1964)*

Este cálculo que nos permite medir a perda de material é baseado na seguinte fórmula:

$$\% \text{ alteração} = \left(100 - \frac{\text{Kr do material alterado}}{\text{Kr da rocha sã}} \right) \times 100$$

CAPÍTULO III

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DOS PERFIS ESTUDADOS

III.1 - GENERALIDADES

O perfil 1, em posição de topo, ocupa a parte central de um patamar bastante aplainado, de algumas centenas de metros de diâmetro. Esse patamar, liga-se à zona mais elevada, a E-SE, por uma escarpa muito suave (<3% de declividade). Apresenta-se quase como um promontório, com sensíveis rupturas de declive nas bordas (W, NW e SW) e passa a encostas de declividade acentuada.

Na parte central não apresenta matacões, e estes ocorrem nas bordas e sobretudo nas encostas. (Foto 2).

O perfil 2, situa-se num patamar de dimensões bem menores, que prolonga-se para NW a partir do anterior, porém em situação topográfica mais baixa. (Foto 3).

Na encosta deste patamar foram retirados os perfis 3 e 4. O primeiro corresponde a uma posição de meia encosta e o segundo, já no sopé. (Fotos 4 e 5).

O perfil 5 encontra-se em posição de fundo de vale, em sequência aos anteriores.

Dessa maneira, os perfis 2, 3, 4 e 5 encontram-se numa sequência quase retilínea, do topo até o fundo do vale. (Foto 1 e Figura 6).

Na abertura das trincheiras dos perfis 1 e 2, e comparativamente ao barranco do perfil 3, foram encontrados indícios de que a camada de alteração é menos espessa. As observações nas trincheiras foram complementadas em ambos os casos por tradagem. O manuseio do trado, e as amostras por ele retiradas, individualizam o material menos alterado a cerca de 3,0 a 3,5 m de profundidade.

O perfil 1 está em zona de pastos, com capim gordura (*Melinis minutiflora*), porém ao que tudo indica, foi anteriormente uma floresta.

O perfil 2 situa-se no limite entre pastos e a cultura de café, onde se instala o perfil 3.

Os perfis 4 e 5, de sopé estão sob pastos de capim gordura. Na área do perfil 5 também foram plantadas bananeiras.

A posição topográfica dos perfis e seu revestimento atual podem justificar a menor espessura do horizonte A do perfil 2, constituindo uma zona de exportação de material por erosão. Já o perfil 3, também em situação de exportação, receberia ao mesmo tempo, materiais das posições mais elevadas, podendo então apresentar o horizonte superficial com maior espessura.

O perfil 4 indica estar em zona de acumulação de materiais trazidos por erosão e apresenta sucessão de colúvios.

Os dois perfis de sopé, 4 e 5 acham-se em posição topográfica que acarreta modificações sensíveis na drenagem interna. Com efeito, na época da coleta de amostras, a trincheira do perfil 5 apresentava-se cheia de água até cerca de 50 cm da parte superficial. Para a coleta, foi retirada a água, porém logo após voltou a inundar novamente, indicando

Foto 2 - Local de coleta do perfil 1. Topo da superfície de 750 m (nível 4).

Foto 3 - Local de coleta do perfil 2. Posição de declive suave, com inúmeros matacões graníticos.

Foto 4 - Corte na estrada onde foi coletado o perfil 3.

Foto 5 - Arena granítica que caracteriza a parte inferior do perfil 3.

Foto 6 - Parte basal do perfil 3 onde nta-se o nítido contato entre a superfície da rocha original e o arena.

ser essa a posição do lençol naquela ocasião.

O fundo do perfil 4 achava-se também enxarcado, indicando maior profundidade do lençol em relação ao caso anterior.

As outras trincheiras não apresentam a mesma característica. No entanto, no momento da abertura da trincheira do perfil 1, foi possível observar que o teor de umidade aumentava sensivelmente em profundidade. Esse fato não foi observado na trincheira do perfil 2.

O perfil 3, por ter sido coletado em corte da estrada, não permitiu a mesma observação.

As observações de campo permitem supor diferenças sensíveis nas condições de drenagem dos perfis. Os de fundo de vale e sopê da encosta apresentam respectivamente drenagem muito lenta (imperfeita) e drenagem lenta (moderada).

Os perfis de encosta e topo apresentam drenagem normal, porém mais lenta no de topo.

Essas condições de drenagem, adicionadas às ações erosivas, poderão explicar certas diferenças entre os perfis.

III.2 - CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

Perfil 1

A₁ 0 - 15 cm - cor cinzento escura (10Y R 4/1, úmida); textura arenosa; estrutura maciça que se desfaz em subangular grande; esqueletos abundantes; porosidade grande e abundante; consistência: (seca).

solta, (úmida) solta, (molhada) não plástica e não pegajosa; transição clara, ondulada; atividade biológica: minhocas, formigas; raízes finas e abundantes.

- A₂ 15 - 35 cm - cor bruna (10Y R 5/3, úmida); textura arenosa; estrutura maciça; esqueletos abundantes, porosidade grande e abundante; consistência (seca) ligeiramente dura, (úmida) solta; transição abrupta ondulada; atividade biológica: minhocas e formigas; raízes finas abundantes; camada de seixos de quartzo e quartzito, arredondados de aproximadamente 2 cm de diâmetro.
- B₁ 35 - 50 cm - cor vermelho amarelada (5Y R 5/6, úmida) com presença de pequenos pontos brancos; textura areno barrenta; estrutura subangular, maciça, natural; esqueleto comum; porosidade média pouca; consistência (seca) ligeiramente dura, (molhada) ligeiramente pegajosa e ligeiramente plástica; transição abrupta levemente ondulada; mosqueamento pouco pequeno; cerosidade pouca (5Y R 5/6); atividade biológica: minhocas e formigas; raízes finas; o horizonte se apresenta com grandes rachaduras.
- B₂ 50 -105 cm - cor vermelho amarelada (5Y R 5/8 úmida); textura cascalhenta; estrutura subangular, pequena, fraca; esqueleto comum; porosidade média pouca; consistência (seca) dura, (molhada) ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana, gradual; mosqueamento pouco, pequeno; cerosidade moderada, comum (cor 5Y R 5/6); atividade biológica: formigas; raízes finas, poucas.

B₃₁ 105 - 120 cm - cor vermelho amarelada (5Y R 5/6, úmida)
textura argilosa cascalhenta; estrutura maciça;
esqueleto comum; porosidade média, comum; consis-
tência (seca) ligeiramente dura; (molhada) li-
geiramente plástica, ligeiramente pegajosa; tran-
sição clara, ondulada; mosqueamento pouco, pe-
queno; cerosidade fraca, como (cor 5Y R 5/8);
atividade biológica: formiga; raízes finas, pou-
cas.

B₃₂ 120 - 190⁺ cm - cor vermelho amarelada (5Y R 4/6, úmida);
textura argilosa cascalhenta; estrutura maciça,
esqueleto comum; porosidade média, comum; con-
sistência (seca) ligeiramente dura, (molhada)
ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa;
transição plana ondulada; cerosidade pouca; ati-
vidade biológica: formiga; raízes finas, muito
poucas.

C₁ 190 - 250 cm - Tradagem

C₂ 250 - 310⁺ cm - Tradagem

Perfil 2

A₁ 0 - 12 cm - cor cinzento muito escura (5Y R 3/1 se-
ca); textura areno cascalhenta; estrutura ma-
ciça; esqueleto abundante; porosidade grande,
comum, natural; consistência (seca) solta,
(úmida) solta, (molhada) não plástica e não
pegajosa; transição clara, plana; atividade
biológica: minhocas, formigas; raízes finas,
abundantes.

- A₂ 12 - 25 cm - cor bruno avermelhado escura (5Y R 3/3 seca), textura areno cascalhenta; estrutura maciça; esqueletos abundantes; porosidade grande, comum, natural; consistência (seca) solta, (úmida) solta, (molhada) não plástica e não pegajosa; transição gradual, ondulada; atividade biológica: minhocas e formigas; raízes finas e abundantes.
- B₁ 25 - 40 cm - cor bruno avermelhada (5Y R 4/4, seca); textura argilosa cascalhenta; estrutura subangular pequena fraca; esqueleto abundante; porosidade grande, comum, natural; consistência (seca) macia, (úmida) muito friável, (molhada) ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição clara, ondulada; atividade biológica: formigas; raízes finas, poucas.
- B₂ 40 - 65 cm - cor bruna a bruno escura (7,5Y R 4/4 seca); textura argilosa cascalhenta; estrutura subangular, pequena, fraca; esqueletos comuns; porosidade grande, comum, natural; consistência (seca) ligeiramente dura, (úmida) friável, (molhada) ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição gradual, ondulada; mosqueamento pouco a comum; cerosidade fraca, descontínua; atividade biológica: formigas; raízes finas, muito poucas.
- B₃ 65 - 80 cm - cor bruna forte (7,5Y R 5/6 a 5/8 seca); textura areno argilosa cascalhenta; estrutura maciça; esqueletos comuns; porosidade grande, comum, natural; consistência (seca) solta; transição gradual, ondulada; mosqueamento comum, pequeno a médio; cerosidade fraca, descontínua.

C₁ 80 - 130 cm - cor bruna forte (7,5Y R 5/6 seca); textura areno argilosa cascalhenta; estrutura maciça; esqueletos comuns; consistência (seca) solta; porosidade grande, comum, natural; mosqueamento abundante.

C₂ 130 - 200 cm - Tradagem

C₃ 200 - 230 cm - Tradagem

C₄ 230 - 290⁺ cm - Tradagem

Perfil 3

A₁ 0 - 15 cm - cor cinzento escura (5Y R 4/1 úmida); textura areno cascalhenta; estrutura maciça; esqueletos abundantes; porosidade grande, comum; consistência (seca) solta, (úmida) friável; transição clara, plana; atividade biológica: minhocas; raízes finas abundantes.

A₂ 15 - 45 cm - cor vermelho amarelada (5Y R 5/8 úmida); textura areno cascalhenta; estrutura maciça; esqueleto abundante; porosidade grande, comum; consistência (seca) solta, (úmida) friável; transição gradual, ondulada; atividade biológica: minhocas; raízes finas abundantes.

B₁ 45 - 65 cm - cor bruna a bruno forte (7,5Y R 5/5 úmida); textura areno argilosa cascalhenta; estrutura maciça; esqueleto comum; porosidade grande, comum; consistência (seca) solta, (úmida) friável; transição clara, ondulada; mosqueamento pouco pequeno; cerosidade fraca, descontínua; atividade biológica: formiga.

- B₂ 65 - 90 cm - cor vermelho amarelada (5Y R 5/6 úmida);
textura areno argilosa cascalhenta; estrutura
maciça; esqueleto comum; porosidade grande, co
mum; consistência (seca) solta, (úmida) friã-
vel; transição difusa, ondulada; mosqueamento
pequeno, comum; cerosidade fraca, descontínua;
raízes finas, muito poucas.
- B₃ 90 - 110 cm - cor amarelo avermelhada (5Y R 6/6 úmida);
textura areno argilosa cascalhenta; estrutura
maciça; esqueleto comum; porosidade grande, co
mum; consistência (seca) solta, (úmida) solta.
- C₁ 110 - 140 cm - cor amarelo avermelhada (5Y R 6/7 úmida);
textura cascalhenta; estrutura maciça.
- C₂ 140 - 240 cm- cor amarelo avermelhada (5Y R 7/6 úmida);
textura cascalhenta; estrutura maciça.
- C₃ 240 - 340 cm- cor amarelo avermelhada (5Y R 6/8 úmida);
textura cascalhenta; estrutura maciça.
- C₄ 340 - 440 cm- cor amarelo avermelhada (5Y R 6/7 úmida);
textura cascalhenta; estrutura maciça.
- C₅ 440 - 540 cm - cor amarelo avermelhada (5Y R 7/5 úmida);
textura cascalhenta; estrutura maciça.
- C₆ 540 - 640 cm - cor amarelo avermelhada (7,5Y R 6/8 úmi-
da); textura cascalhenta; estrutura maciça.
- C₇ 640 - 740 cm - cor bruno clara (7,5Y R 6/4 úmida); textu
ra cascalhenta; estrutura maciça.
- C₈ 740 - 840 cm - cor amarelo avermelhada (5Y R 6/6 úmida);
textura cascalhenta; estrutura maciça.

C₉ 840 - 940 cm - cor amarelo avermelhada (5Y R 6/5 úmida);
textura cascalhenta; estrutura maciça.

R₁ 940 cm - Rocha desagregada

R₂ Rocha parcialmente alterada

R₃ Rocha fresca

Perfil 4

Colúvio 0-13 cm - cor bruna (7,5Y R 5/4 úmida); textura areno barrenta; estrutura maciça que se desfaz em subangular, fraca; esqueleto pouco; porosidade média, comum; consistência (seca) solta, (úmida) solta, (molhada) pouco plástica, pouco pegajosa; transição abrupta plana; atividade biológica: minhocas; raízes finas abundantes; canais de insetos e minhocas.

II A₁₁ 13-21 cm - cor bruno amarelado escura (10Y R 3,5/4 úmida); textura arenosa; estrutura maciça que se desfaz em subangular fraca; esqueleto abundante; porosidade média a pequena, comum, abundante; consistência (úmida) friável, (molhada) não plástica, não pegajosa; transição clara, plana; atividade biológica: minhocas; raízes finas abundantes; canais de insetos e minhocas.

II A₁₂ 21-32 cm - cor bruno escura (10Y R 3,5/3 úmida), textura areno barrenta; estrutura maciça fraca que se desfaz em subangular média; esqueleto comum; porosidade média a pequena, comum abundante; consistência (úmida) muito friável, (molhada) não plástica, levemente pegajosa; transição clara, plana; atividade biológica: minhocas; raízes finas abundantes; canais de insetos e minhocas.

III A₁ 32-43 cm - cor bruno acinzentado muito escura (10Y R 3/2 úmida); textura arenosa; estrutura maciça, fraca que se desfaz em subangular, média; esqueleto comum a abundante com presença de carvão vegetal; porosidade média a grande, comum abundante; consistência (úmida) muito friável, (molhada) não plástica e levemente pegajosa; transição clara, levemente ondulada; atividade biológica: minhocas, raízes finas e abundantes; canais de insetos e minhocas.

III A₂₁ 43-60 cm - cor bruno forte (7,5Y R 5/6 úmida); textura arenosa; estrutura maciça, fraca que se desfaz em subangular, média; esqueleto comum, abundante; porosidade média a grande com canais abundantes; consistência (úmida) muito friável, (molhada) não plástica, levemente pegajosa; transição ondulada, clara; cerosidade apenas nos poros e canais de animais, pouca (cor 10Y R 4/4); atividade biológica: minhocas; raízes finas comuns; canais de insetos e minhocas.

III A₂₂ 60-115 cm - cor bruno amarelada a bruno forte (8,5Y R 5/6); textura arenosa; estrutura maciça, muito fraca que se desfaz em subangular, média; esqueleto abundante; porosidade média a fina comum; consistência (seca) dura, (úmida) friável, (molhada) não plástica, não pegajosa; transição ondulada abrupta; atividade biológica: ausente; raízes finas e poucas.

III B₂ 115-155 cm - cor bruno forte (7,5Y R 5/8 úmida); textura areno barrenta; estrutura maciça que se desfaz em subangular grossa; esqueleto comum a abundante; porosidade média a pouca; consistência (seca) dura, (úmida) friável, (molhada) levemente plástica, pouco pegajosa; transição

clara e ondulada; cerosidade abundante e contínua recobrando poros e agregados (cor 7,5Y R 4/4); raízes finas raras.

III B₃ 155-200 cm - cor vermelho amarelada (7,5Y R 5,5/8 úmida) na parte superior do horizonte e bruno forte (7,5Y R 5/8 úmida) na parte inferior; textura areno barrenta; estrutura maciça coerente; esqueleto comum; porosidade média, muito pouca; consistência (molhada) levemente plástica, pouco pegajosa; cerosidade comum recobrando frestas; cor (7,5Y R 4/4); A parte inferior deste horizonte possui maior quantidade de feldspatos.

Perfil 5

A₁₁ 0 - 5 cm - cor bruna a bruno escura (10Y R 4/3 úmida); textura arenosa; estrutura subangular, fraca esqueleto abundante; porosidade comum, pequena; consistência (úmida) solta, (molhada) ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição clara, plana; raízes abundantes.

A₁₂ 5 - 23 cm - cor bruno escura (10Y R 3/3 úmida); textura areno barrenta que se desfaz em subangular, fraca; esqueleto abundante; porosidade comum, pequena; consistência (seca) macia, (molhada) não plástica, não pegajosa; transição gradual, ondulada; atividade biológica: ausente; raízes abundantes.

B 23 - 50 cm - cor bruno amarelada (10Y R 5/6 úmida); textura areno barrenta; estrutura maciça que se desfaz em subangular, muito fraca, média a pequena; esqueleto abundante; porosidade média comum; consistência (úmida) macia, (molhada) não plástica, não pegajosa; transição gradual plana; raízes finas comuns.

- Bg 50 - 80 cm - cor amarelo brunada (10Y R 6/6 úmida); textura areno barrenta; estrutura maciça que se desfaz em subangular, muito fraca, média a pequena; esqueleto abundante; porosidade média; consistência (molhada) não plástica e não pegajosa; transição gradual plana; mosqueamento pouco, pequenas manchas irregulares (cor 7,5 R 5/6); atividade biológica: ausente; raízes finas e comuns concentrando-se a 80 cm de profundidade.
- BG₁ 80 - 125 cm - cor amarela (10Y R 7/6 molhada); textura areno argilosa; estrutura maciça; esqueleto comum, porosidade média; consistência (úmida) ligeiramente pegajosa, manchas vermelhas (5Y R 5/6) ligeiramente pegajosa, ligeiramente plástica, mosqueamento difuso e abundante; cerosidade ausente; atividade biológica quase ausente; raízes poucas.
- BG₂ bolsas de 20 a 30 cm dno interior de BG₁ com cor bruno forte (7,5Y R 5/6 úmida);
- G₁ 125 - 150 cm - cor bruno clara (7,5Y R 6/4 úmida); textura areno argilosa; estrutura maciça; esqueleto comum; consistência (molhada) plástica, pegajosa; atividade biológica: ausente; raízes poucas.
- G₂ 150 - 175⁺ cm - cor bruno clara (7,5Y R 6/4 úmida); textura areno argilosa; estrutura maciça; esqueleto comum; consistência (molhada) plástica, pegajosa; atividade biológica: ausente; raízes poucas.
- III - 3 - Características Física e Química
As características física e química acham-se representadas nos Quadros 3, 4 e 5 e Figuras 6 a 31.

QUADRO 3 - CARACTERISTICAS FISICAS DOS PERFIS ESTUDADOS

	HORIZONTE	PROFUNDIDADE (cm)	GRANULOMETRIA %					CLASSE TEXTURAL
			CASCALHO	AREIA GROSSA	AREIA FINA	SILTE	ARGILA	
P E R F I L	A ₁	0 - 15	63,0	17,4	10,8	5,4	3,4	f.a.
	A ₂	15 - 35	58,2	16,4	15,2	6,6	3,5	f.a.
	B ₁	35 - 50	62,0	14,4	12,4	5,3	5,8	f.a.
	B ₂	50 - 105	35,5	15,2	15,3	11,6	22,3	f.a.b.
	B ₃₁	105 - 120	40,8	14,6	16,6	6,9	21,1	f.a.b.
	B ₃₂	120 - 190	39,8	15,3	17,7	8,1	19,1	f.a.b.
	C ₁	190 - 250	30,0	17,3	25,5	11,9	15,1	f.a.b.
	C ₂	250 - 310 +	30,6	21,1	24,0	11,2	13,0	f.a.b.
P E R F I L	A ₁	0 - 12	55,0	21,7	13,7	5,8	3,7	f.a.
	A ₂	12 - 25	55,5	13,5	16,1	7,3	7,4	f.a.
	B ₁	25 - 40	46,7	11,6	18,9	8,2	14,5	f.a.b.
	B ₂	40 - 65	42,2	9,5	19,5	8,9	19,8	f.a.b.
	B ₃	65 - 80	41,2	13,8	20,4	9,1	15,4	f.a.b.
	C ₁	80 - 130	40,0	18,5	21,6	9,4	10,4	f.a.
	C ₂	130 - 200	37,8	27,1	20,5	10,1	4,4	f.a.
	C ₃	200 - 230	37,2	17,8	26,5	12,9	5,4	f.a.
P E R F I L	C ₄	230 - 290 +	29,2	27,3	26,3	11,9	5,1	f.a.
	A ₁	0 - 15	40,3	25,1	15,6	9,6	9,3	f.a.
	A ₂	15 - 45	45,0	14,8	14,8	8,4	16,8	f.a.b.
	B ₁	45 - 65	50,9	15,2	12,0	7,9	17,6	f.a.b.
	B ₂	65 - 90	51,7	13,5	11,7	8,9	14,2	f.a.b.
	B ₃	90 - 110	46,3	16,8	15,3	11,4	10,0	f.a.
	C ₁	110 - 140	43,5	25,8	13,9	11,5	5,1	f.a.
	C ₂	140 - 240	36,1	26,8	21,1	11,4	4,6	f.a.
P E R F I L	C ₃	240 - 340	33,0	36,1	14,6	11,4	4,7	f.a.
	C ₄	340 - 440	46,0	28,4	11,9	10,3	3,2	f.a.
	C ₅	440 - 540	40,0	31,9	12,0	10,0	5,5	f.a.
	C ₆	540 - 640	37,0	29,1	13,9	9,9	9,9	f.a.
	C ₇	640 - 740	43,0	34,5	13,0	7,1	2,3	f.a.
	C ₈	740 - 840	41,7	33,5	12,6	9,2	2,8	f.a.
	C ₉	840 - 940	50,5	25,5	12,2	9,2	2,5	f.a.
	R ₁	940 - 1000 +	72,4	17,5	7,1	2,3	0,5	f.a.
P E R F I L	colúvio	0 - 13	52,5	17,1	14,6	5,8	9,9	f.a.
	II A ₁₁	13 - 21	59,3	16,1	12,0	6,2	6,3	f.a.
	II A ₁₂	21 - 32	49,8	20,7	14,1	9,6	5,6	f.a.
	III A ₁	32 - 43	46,4	23,5	18,0	7,0	5,0	f.a.
	III A ₂₁	43 - 60	41,3	22,4	20,6	9,2	6,4	f.a.
	III A ₂₂	60 - 115	45,8	23,1	19,5	6,8	4,7	f.a.
	III B ₂	115 - 155	50,2	16,7	13,6	4,7	14,7	f.a.b.
	III B ₃	155 - 200 +	56,9	14,2	8,7	3,0	17,1	f.a.b.
P E R F I L	A ₁₁	0 - 5	45,3	26,3	13,3	8,8	6,1	f.a.
	A ₁₂	5 - 23	45,2	27,0	15,1	8,2	4,4	f.a.
	B	23 - 50	44,6	24,4	19,4	6,7	4,7	f.a.
	B _g	50 - 80	49,1	22,1	17,4	6,3	5,0	f.a.
	BG ₁	80 - 125	38,2	25,5	16,4	7,4	12,4	f.a.b.
	BG ₂	80 - 125	43,3	16,5	12,3	5,0	22,6	f.a.b.
	G ₁	125 - 150	19,8	21,6	18,4	7,3	32,8	b.
	G ₂	150 - 175	26,0	18,6	21,7	8,0	25,5	f.a.arg.

f.a. = fino arenoso

f.a.b. = fino areno barrenta

b. = barrento

f.a.arg. = fino areno argiloso

QUADRO 4 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICAS DOS PERFIS ESTUDADOS

-60-

	HORIZONTE	PROFUNDIDADE (cm)	C%	N%	C/N	pH H ₂ O	pH KCl	Dr	Da	Pa
P E R F I L	A ₁	0 - 15	2,46	0,23	10,69	5,80	4,75	2,40	1,90	20,84
	A ₂	15 - 35	0,78	0,08	9,75	5,90	4,80	2,53	1,96	22,55
	B ₁	35 - 50	0,45	0,05	9,00	6,05	4,70	2,56	2,11	17,58
	B ₂	50 - 105	0,21	0,04	5,25	6,15	4,85	2,63	1,79	31,94
	B ₃₁	105 - 120	0,15	0,03	5,00	6,30	4,95	2,63	2,01	23,58
	B ₃₂	120 - 190	0,12	0,04	4,00	6,30	4,95	2,63	1,77	32,70
	C ₁	190 - 250	0,03	0,03	1,00	5,50	4,05	2,63	-	-
1	C ₂	250 - 310 ⁺	0,03	0,02	1,50	5,80	4,05	2,63	-	-
	A ₁	0 - 12	1,12	0,14	8,00	5,75	4,65	2,53	1,97	22,14
	A ₂	12 - 25	0,58	0,07	8,28	5,40	4,30	2,59	2,11	18,54
	B ₁	25 - 40	0,46	0,08	5,75	5,40	4,25	2,59	1,95	24,71
	B ₂	40 - 65	0,39	0,06	6,50	5,60	4,35	2,56	1,80	29,69
	B ₃	65 - 80	0,18	0,02	9,00	5,90	4,55	2,59	1,81	30,12
	C ₁	80 - 130	0,03	0,00	0,00	6,10	4,65	2,63	1,71	34,98
2	C ₂	130 - 200	0,00	0,02	0,00	6,15	4,95	2,63	-	-
	C ₃	200 - 230	0,00	0,00	0,00	6,20	4,90	2,59	-	-
	C ₄	230 - 290 ⁺	0,00	0,00	0,00	6,20	4,95	2,63	-	-
	A ₁	0 - 15	1,03	0,10	10,3	4,60	3,90	2,50	1,75	30,00
P E R F I L	A ₂	15 - 45	0,45	0,07	6,4	4,70	4,05	2,56	1,77	30,86
	B ₁	45 - 65	0,40	0,04	10,0	4,32	4,12	2,53	1,59	37,16
	B ₂	65 - 90	0,21	0,03	7,0	4,85	4,10	2,53	1,46	42,43
	B ₃	90 - 110	0,13	0,02	6,5	4,90	4,22	2,47	1,46	40,90
	C ₁	110 - 140	0,06	0,01	6,0	5,00	4,30	2,56	1,42	44,54
	C ₂	140 - 240	0,01	0,00	0,0	4,72	4,35	2,50	1,40	44,00
	C ₃	240 - 340	0,00	0,00	0,0	4,75	4,20	2,50	1,35	46,00
	C ₄	340 - 440	0,00	0,00	0,0	4,50	4,40	2,50	1,47	41,20
	C ₅	440 - 540	0,00	0,00	0,0	4,65	4,10	2,53	1,61	36,37
	C ₆	540 - 640	0,00	0,00	0,0	4,85	4,05	2,53	1,66	34,39
	C ₇	640 - 740	0,00	0,00	0,0	4,95	5,15	2,53	1,59	37,16
	C ₈	740 - 840	0,00	0,00	0,0	4,70	5,22	2,47	1,60	37,23
	C ₉	840 - 940	0,00	0,00	0,0	5,00	4,77	2,50	1,74	30,40
	R ₁	940 - 1000	0,00	0,00	0,0	5,45	4,60	2,47	2,22	10,22
	Colúvio	0 - 13	0,52	0,06	8,66	5,65	4,40	2,63	1,60	39,17
P E R F I L	II A ₁₁	13 - 21	0,83	0,08	10,37	5,55	4,35	2,59	1,88	27,42
	II A ₁₂	21 - 32	0,99	0,10	9,90	5,10	4,00	2,59	1,78	31,28
	III A ₁	32 - 43	0,82	0,09	9,11	5,10	4,05	2,59	1,88	27,42
	III A ₂₁	43 - 60	0,28	0,04	7,00	5,15	4,15	2,59	1,84	28,96
	III A ₂₂	60 - 115	0,07	0,03	2,33	5,10	4,20	2,63	1,92	17,00
	III B ₂	115 - 155	0,12	0,03	4,00	5,30	4,25	2,63	2,00	23,96
	III B ₃	155 - 200 ⁺	0,06	0,01	6,00	5,30	4,40	2,63	2,02	23,20
P E R F I L	A ₁₁	0 - 5	0,70	0,20	3,50	6,40	5,25	2,56	1,51	41,02
	A ₁₂	5 - 23	0,22	0,08	2,75	5,75	4,55	2,53	1,70	32,81
	B	23 - 50	0,12	0,03	4,00	5,80	4,55	2,56	1,76	31,25
	B _g	50 - 80	0,06	0,02	3,00	6,15	4,80	2,56	2,04	20,32
	B _{g1}	80 - 125	0,12	0,01	12,00	6,30	4,75	2,56	1,76	31,25
	B _{g2}	80 - 125	0,07	0,02	3,50	6,20	4,70	2,63	1,88	28,52
	G ₁	125 - 150	0,04	0,02	2,00	6,15	4,70	2,59	1,90	26,64
5	G ₂	150 - 175	0,04	0,01	4,00	6,20	4,65	2,59	1,98	23,56

COMPLEXO SORTIVO m eq./100 g. DE SOLO												
	HORIZONTE	PROFUNDIDADE (cm)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	S	Al ⁺⁺⁺	H ⁺	CTC	CTC ⁺	V %
P E R F I L 1	A ₁	0 - 15	4,66	0,83	0,15	0,30	5,94	0,05	3,68	9,67	-	61,43
	A ₂	15 - 35	2,77	0,54	0,12	0,16	3,59	0,08	1,44	5,11		70,25
	B ₁	35 - 50	2,03	0,43	0,11	0,26	2,83	0,02	1,20	4,05		69,87
	B ₂	50 - 105	2,82	0,43	0,10	0,34	3,69	0,10	0,96	4,75		77,68
	B ₃₁	105 - 120	2,56	0,51	0,10	0,26	3,43	0,22	1,04	4,69		73,13
	B ₃₂	120 - 190	2,02	0,62	0,23	0,33	3,20	0,24	1,12	4,56		70,17
	C ₁	190 - 250	0,40	0,67	0,16	0,45	1,68	1,18	1,60	4,46		37,76
	C ₂	250 - 310	0,34	0,29	0,01	0,49	1,13	1,33	1,60	4,06		27,83
P E R F I L 2	A ₁	0 - 12	2,03	0,37	0,06	0,31	2,77	0,08	2,64	5,49		50,45
	A ₂	12 - 25	1,38	0,38	0,12	0,14	2,02	0,27	2,40	4,69		43,07
	B ₁	25 - 40	1,39	0,35	0,10	0,13	1,95	0,42	2,32	4,70		41,48
	B ₂	40 - 65	1,90	0,50	0,08	0,21	2,69	0,26	2,32	5,27		51,04
	B ₃	65 - 80	1,94	0,21	0,11	0,32	2,58	0,11	1,36	4,05		63,70
	C ₁	80 - 130	1,14	0,27	0,08	0,28	1,77	0,16	0,40	2,33		75,96
	C ₂	130 - 200	0,59	0,34	0,10	0,24	1,27	0,42	0,24	1,93		65,80
	C ₃	200 - 230	0,61	0,29	0,11	0,34	1,35	0,27	0,32	1,94		69,58
P E R F I L 3	C ₄	230 - 290 +	0,67	0,13	0,11	0,30	1,21	0,30	0,16	1,67		72,45
	A ₁	0 - 15	1,66	0,52	0,09	0,09	2,36	0,92	4,48	7,76	6,60	30,41
	A ₂	15 - 45	1,12	0,32	0,07	0,15	1,66	1,11	4,32	7,09	6,10	23,41
	B ₁	45 - 65	1,26	0,50	0,08	0,09	1,93	1,22	4,24	7,39	6,30	26,12
	B ₂	65 - 90	1,34	0,44	0,07	0,08	1,93	1,03	4,00	6,96	5,70	27,89
	B ₃	90 - 110	1,16	0,42	0,09	0,12	1,79	0,64	2,88	5,31	4,40	33,71
	C ₁	110 - 140	0,96	0,36	0,08	0,11	1,51	0,47	2,72	4,70	3,30	32,19
	C ₂	140 - 240	0,82	0,32	0,08	0,09	1,31	0,44	1,84	3,59	2,70	36,49
P E R F I L 4	C ₃	240 - 340	0,64	0,38	0,07	0,09	1,18	0,60	1,36	3,14	2,30	37,58
	C ₄	340 - 440	0,76	0,32	0,06	0,16	1,30	1,53	0,96	3,79	3,80	34,30
	C ₅	440 - 540	0,56	0,34	0,06	0,15	1,11	1,11	1,44	3,66	3,90	30,23
	C ₆	540 - 640	0,92	0,60	0,07	0,29	1,88	2,25	1,76	5,89	8,50	31,92
	C ₇	640 - 740	0,92	0,72	0,07	0,28	1,99	0,80	0,64	3,43	4,60	58,02
	C ₈	740 - 840	0,96	0,62	0,08	0,31	1,97	0,65	0,80	3,42	3,40	57,60
	C ₉	840 - 940	0,88	0,52	0,08	0,23	1,71	0,60	0,72	3,03	3,10	56,44
	R ₁	940 - 1000	2,64	1,60	0,07	0,36	4,67	0,39	0,80	5,86	4,20	79,69
P E R F I L 5	Colúvio	0 - 13	1,68	0,27	0,16	0,42	2,53	0,19	1,76	4,48		56,47
	II A ₁₁	13 - 21	1,71	0,53	0,15	0,16	2,55	0,19	2,24	4,98		51,20
	II A ₁₂	21 - 32	1,23	0,53	0,18	0,12	2,06	0,75	3,52	6,33		32,54
	III A ₁	32 - 43	0,80	0,06	0,12	0,10	1,08	0,58	2,80	4,46		24,21
	III A ₂₁	43 - 60	0,74	0,18	0,13	0,10	1,15	0,27	1,76	3,18		36,16
	III A ₂₂	60 - 115	0,66	0,05	0,12	0,14	0,97	0,30	1,12	2,39		40,58
	III B ₂	115 - 155	1,33	0,18	0,13	0,13	1,77	0,24	1,04	3,05		58,03
	III B ₃	155 - 200 +	1,49	0,38	0,14	0,19	2,20	0,21	1,44	3,85		57,14
P E R F I L 5	A ₁₁	0 - 5	4,32	0,96	0,15	0,68	6,11	0,19	2,32	8,62		70,88
	A ₁₂	5 - 23	1,74	0,40	0,00	0,15	2,29	0,26	1,60	4,15		55,18
	B	23 - 50	1,01	0,13	0,18	0,10	1,42	0,06	0,96	2,44		58,19
	Bg	50 - 80	1,01	0,21	0,16	0,09	1,47	0,02	0,48	1,97		74,61
	BG ₁	80 - 125	1,31	0,46	0,13	0,22	2,12	0,03	0,64	2,79		75,98
	BG ₂	80 - 125	2,24	0,58	0,20	0,24	3,26	0,05	1,44	4,75		68,63
	G ₁	125 - 150	2,16	0,64	0,19	0,68	3,67	0,14	1,04	4,85		75,67
	G ₂	150 - 175	1,76	0,54	0,19	0,41	2,90	0,11	0,88	3,89		74,55

S = Soma de Bases

CTC = Capacidade de troca de cátions calculada

CTC⁺ = Capacidade de troca de cátions determinada

V% = Índice de Saturação de bases

RELAÇÃO C/N DO PERFIL I
Fig. 9

MEDIDAS DO pH DO PERFIL I
Fig. 10

COMPLEXO SORTIVO DO PERFIL I
Fig. 11

RELAÇÃO C/N DO PERFIL 2
Fig.14

MEDIDAS DO pH DO PERFIL 2
Fig.15

COMPLEXO SORTIVO DO PERFIL 2
Fig.16

RELAÇÃO C/N DO PERFIL 3
Fig.19

MEDIDAS DO pH DO PERFIL 3
Fig.20

COMPLEXO SORTIVO DO PERFIL 3
Fig.21

Fig. 22-ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

PERFIL 4

Fig. 23-DENSIDADE REAL
DENSIDADE APARENTE

PERFIL 4

RELAÇÃO C/N DO PERFIL 4
Fig. 24

MEDIDAS DO pH DO PERFIL 4
Fig. 25

COMPLEXO SORTIVO DO PERFIL 4
Fig. 26

Fig. 27-ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

PERFIL 5

Fig. 28-DENSIDADE REAL DENSIDADE APARENTE

PERFIL 5

RELAÇÃO C/N DO PERFIL 5
Fig.29

MEDIDAS DO pH DO PERFIL 5
Fig.30

COMPLEXO SORTIVO DO PERFIL 5
Fig.31

SEGUNDA PARTE

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta parte serão fornecidos os dados obtidos no decorrer da pesquisa e discutidos, sob os pontos de vista mineralógico e químico, os resultados oriundos dos estudos efetuados. No que se refere à mineralogia, serão abordados aspectos que dizem respeito ao comportamento dos minerais primários face aos processos de alteração e gênese dos minerais secundários. Quimicamente, será analisado o comportamento dinâmico dos principais elementos, evidenciado pelos cálculos isovolumétrico e isoalumínio.

CAPÍTULO I

ASPECTOS MINERALÓGICOS

1.1 - COMPORTAMENTO DOS MINERAIS PRIMÁRIOS

Os minerais primários, que constituem o granito de Itu, podem seguir diferentes caminhos no curso da alteração. Analisaremos neste capítulo as modificações mais importantes que afetam o quartzo, feldspatos e micas, no decorrer da meteorização.

1.1.1 - ALTERAÇÃO DO QUARTZO

De uma maneira geral, existem poucos artigos que se dedicam ao estudo do quartzo, pelo fato deste mineral ser considerado altamente estável nas condições encontradas na superfície da Terra.

A utilização de técnicas analíticas modernas, tais como a microscopia eletrônica de varredura e microsonda ele

trônica ressaltam que o quartzo pode, no decorrer dos processos intempéricos, sofrer transformações por vezes importantes.

Trabalhos recentes colocaram em evidência a existência de uma fina película amorfa na periferia dos grãos de quartzo. Apesar de certos autores considerarem sua formação ligada a fenômenos físicos de atrito, sem o desenvolvimento necessário de processos químicos de solubilização, sabemos que tais películas podem se formar sem que haja a atuação de forças de atrito. MILLOT & FAUK (1971) e FAUK (1973) colocaram em evidência em seus estudos a importante solubilização que o quartzo pode sofrer em regiões tropicais.

Na realidade, a solubilidade do quartzo é freada ou mesmo impedida nos processos superficiais graças à proteção fornecida pelas películas ferruginosas que se desenvolvem ao redor de seus cristais e, também, pelo fato de as soluções alterantes apresentarem quase sempre teores, em sílica dissolvida, superiores ao limite de solubilidade do quartzo (6ppm).

Este limite máximo é rapidamente atingido nas águas de percolação que se concentram no lençol freático. Esta água saturada em sílica em contato com os grãos de quartzo tem um poder de dissolução extremamente baixo. Nos horizontes situados acima e abaixo do lençol, as águas de percolação, não se encontrando saturadas em sílica em relação à solubilidade do quartzo, podem promover uma alteração mais rápida e eficaz de seus cristais.

NOVIKOFF (1974), estudando a alteração do quartzo, afirma que a existência de película de sílica amorfa na superfície do grão facilita o seu ataque pelos agentes de meteorização.

Considerações de caráter geral podem ser ressaltadas.

das no que diz respeito à alteração do quartzo no granito de Itu.

O estudo das lâminas delgadas de todos os horizontes do perfil 3 permite-nos afirmar que o quartzo está sempre presente na forma de cristais límpidos, sem alteração química evidente desde a rocha fresca até o nível C_3 , que corresponde à parte superior da arena. Uma possível interpretação para tal fato pode ser explicada pela constante umidade de que o perfil possui a partir de 3,8 m de profundidade. É bastante provável que as soluções percolantes já tenham atingido o limite máximo de solubilidade em sílica a partir de C_3 em direção à rocha, impedindo desta forma que haja a alteração química do quartzo. As únicas modificações visíveis, que ocorrem em seus cristais nestes horizontes inferiores, são as microfissuras que se desenvolvem e evoluem para o topo do perfil, resultando na diminuição do tamanho dos grãos (Foto 7). As análises efetuadas pela microsonda eletrônica individualizaram o ferro e o potássio como os maiores responsáveis pelo preenchimento das fissuras. A partir de C_3 , em direção ao topo do perfil, as fissuras aumentam bastante de espessura e se acham preenchidas por materiais de diferentes naturezas. A corrosão do quartzo começa a se fazer presente atingindo o máximo no horizonte A_2 (Foto 7).

O Quadro 6, correspondente à análise mineralógica quantitativa dos cinco perfis estudados, mostra que o quartzo sofre ao longo da topossequência importante variação no seu teor relativo.

O perfil 1, por estar situado na parte mais elevada da topossequência estudada, é aquele que nos horizontes superficiais apresenta um teor relativo em quartzo maior que aqueles localizados na meia encosta e sopé. O Quadro 6 mostra que nas partes mais elevadas o teor em quartzo é da ordem de 80%, passando a 70% na meia encosta e 60% no sopé. Es

QUADRO 6 - ANÁLISE MINERALÓGICA QUANTITATIVA DOS 5 PERFIS ANALISADOS

	HORIZONTE	PROFUNDIDADE	QUARTZO	FELDSPATO K	PLAGIOCLÁSIO	MINERAIS MICÁCEOS	MINERAIS DO GRUPO DA CAOLINITA	GIBBSITA
PERFIL 1	A ₁	0 - 15	83	5	3	1	7	1
	A ₂	15 - 35	80	6	4	1	8	1
	B ₁	35 - 50	66	6	5	1	21	1
	B ₂	50 - 105	47	6	11	1	34	1
	B ₃₁	105 - 120	52	7	10	1	28	2
	B ₃₂	120 - 190	59	7	8	1	23	2
	C ₁	190 - 250	57	11	9	1	21	1
	C ₂	250 - 310+	57	12	6	1	23	1
PERFIL 2	A ₁	0 - 12	68	15	5	1	20	1
	A ₂	12 - 25	48	22	6	1	22	1
	B ₁	25 - 40	41	20	8	2	28	1
	B ₂	40 - 65	35	19	8	1	36	1
	B ₃	65 - 80	45	22	7	1	23	2
	C ₁	80 - 130	44	27	8	1	19	2
	C ₂	130 - 200	43	28	8	1	19	1
	C ₃	200 - 230	43	26	11	1	18	1
	C ₄	230 - 290+	42	27	10	1	19	1
PERFIL 3	A ₁	0 - 15	69	15	1	1	13	1
	A ₂	15 - 45	64	18	1	1	15	1
	B ₁	45 - 65	56	20	1	1	20	2
	B ₂	65 - 90	48	23	1	2	23	3
	B ₃	90 - 110	42	25	1	2	28	2
	C ₁	110 - 140	30	29	2	2	26	1
	C ₂	140 - 240	26	28	7	2	26	1
	C ₃	240 - 340	42	29	2	2	24	1
	C ₄	340 - 440	35	31	8	1	24	1
	C ₅	440 - 540	42	29	4	1	23	1
	C ₆	540 - 640	38	33	7	1	20	1
	C ₇	640 - 740	29	38	10	1	21	1
	C ₈	740 - 840	44	34	4	1	16	1
	C ₉	840 - 940	33	35	7	1	23	1
	R ₁	940 - 1000+	52	29	18	1	5	1
	R ₂	-	39	33	24	1	3	tr
	R ₃	-	40	34	25	1	0	0
PERFIL 4	III A ₁	32 - 43	75	13	5	1	5	1
	III A ₂₁	43 - 60	69	17	5	1	7	1
	III A ₂₂	60 - 115	68	16	5	1	9	1
	III B ₂	115 - 155	65	15	7	1	11	1
	III B ₃	155 - 200+	63	12	8	1	15	1
PERFIL 5	A ₁₁	0 - 5	57	27	6	1	8	1
	A ₁₂	5 - 23	68	15	5	2	9	1
	B	23 - 50	71	15	5	1	7	1
	Bg	50 - 80	69	18	6	1	6	tr
	BG ₁	80 - 125	59	19	8	2	10	2
	BG ₂	80 - 125	46	14	10	1	28	1
	G ₁	125 - 150	57	17	9	2	26	3
	G ₂	150 - 175	60	14	8	2	14	2

te teor relativamente mais alto nas partes mais elevadas es
tã, sem dúvida alguma, relacionado a uma acumulação residual,
atestando sua estabilidade nos processos superficiais.

I.1.2 - ALTERAÇÃO DOS FELDSPATOS

Os feldspatos são os minerais mais frequentes do
granito de Itu, perfazendo aproximadamente 60% do total da
rocha, sendo 35% de feldspato potássico (ortoclásio) e 25%
em plagioclásio (albita-oligoclásio).

Podemos dizer que os minerais secundários presen
tes na arena e solo, são formados exclusivamente a partir da
alteração dos feldspatos. Sua meteorização pode ser explica
da pela troca verificada entre os cátions liberados de seus
retículos, por ions H^+ das soluções. Tal troca é acompanha
da de uma deformação da rede cristalina dando condições ã
passagem dos ânions em solução. Esta passagem é regulada pe
lo pH e a concentração iônica das soluções.

1.2.1 - ALTERAÇÃO DOS PLAGIOCLÁSIOS

Os plagioclásios são os minerais cuja alteração é
a mais notável no curso da evolução das rochas graníticas.
Eles tendem a desagregar-se e transformar-se logo nos primei
ros estádios de alteração, levando a rocha a uma perda de
coesão. Esta desagregação se traduz por um crescimento pro
gressivo do sistema de microfraturas, que tendem a se alar
gar à medida que progride a alteração. Essas modificações
físicas estão intimamente relacionadas com as transformações
químicas. As ações conjuntas de microdivisão dos plagioclá
sios e a sua consequente hidratação conduzem ao aparecimento
de fácies cavernosas muito frequentes nas arenas graníticas.

Os processos que intervêm nas principais neoforma
ções, segundo SEDDOH (1973) podem ser assim representados:

- alteração por importação de elementos: brumificação (Fe, Mg), sericitização (K);
- alteração decorrente principalmente de uma eliminação parcial ou total de elementos (Si, Na e Ca) em certos pontos do feldspato; é o caso da gênese de caolinita e gibbsita epitáxica sobre os cristais de feldspatos.

Em muitos casos, exportação e importação de elementos dão-se conjuntamente. Ao curso da sericitização, por exemplo, a importação de K se combina com eliminação de Na e Ca.

Os resultados obtidos dos estudos de difração de raios X, ATD, microscopia óptica e microsonda eletrônica efetuados sobre minerais isolados e em lâminas delgadas permitiram reconhecer dois tipos principais de alteração dos plagioclásios do granito de Itu: alteração dos plagioclásios em gibbsita e alteração dos plagioclásios em caolinita, seja diretamente, seja através de uma fase amorfa.

As análises aos raios X, efetuadas em cristais extraídos da rocha fresca, exibiam apenas reflexões a 6,39 Å e 6,27 Å, características dos plagioclásios, indicando que não se produziu nenhuma neoformação significativa de natureza hidrotermal. No entanto, ao microscópio óptico notam-se sobre grãos frescos pequenos pontos brilhantes amarelados, sob nêcois cruzados, relacionados à sericita. Existem basicamente duas hipóteses sobre a origem das sericitas. Um grupo de autores acredita que a sericitização é uma etapa obrigatória da alteração meteórica das arenas, ao passo que outro grupo afirma que a sericita é um produto de retrodiagenese profunda das rochas.

No granito de Itu existem evidências que nos levam

a acreditar ser a sericita fruto de retrodiagênese da rocha, provocada por processos endógenos de pequena monta.

A análise térmica diferencial não é bastante sensível para detectar ínfimas quantidades de sericita, o que vale dizer que, as curvas obtidas se traduzem por uma reta sem manifestações significativas, tanto endotérmicas como exotérmicas. (Figura 34).

Os resultados obtidos da análise por microsonda eletrônica, em grãos frescos, confirmaram as proporções relativas dos óxidos formadores do mineral.

Discutiremos a seguir as duas vias principais de alteração dos plagioclásios.

A - Alteração dos plagioclásios em gibbsita

A análise difratométrica aos raios X, efetuadas em grãos isolados extraídos das rochas e materiais em vias de alteração e reduzidos a pó, evidencia picos a 4,85 Å e 4,37 Å característicos da gibbsita. É bem provável que toda a gibbsita presente no material alterado tenha sido formada exclusivamente a partir do plagioclásio. (Figura 32).

A análise térmica diferencial é sensível para detectar pequenas quantidades de minerais gibbsíticos. Os termogramas indicam um pico endotérmico a 290° C mais ou menos acentuado segundo a quantidade de argila presente.

O estudo por microscopia óptica de lâminas delgadas nos vários horizontes permitiu constatar que nos primeiros estádios de alteração, a gibbsita limita-se a zonas pontuais no mineral primário. Nos horizontes su

Fig.34-Análises térmicas diferenciais de feldspatos frescos e alterados extraídos dos vários horizontes do perfil 3.

Foto 7 - Fotomicrografia do horizonte A₁ (Perfil 3). Nota-se a intensa fragmentação do quartzo. Nícois paralelos. Aumento 40 X.

Foto 8 - Fotomicrografia do horizonte C₉ (Perfil 3). Plagioclásio em vias de alteração. Observa-se a presença de material amorfo (cores escuras) ocupando suas fraturas e clivagens. Nícois paralelos. Aumento 40 X.

periores, onde a alteração é mais acentuada, tem tendência de se concentrar nos planos das microfissuras.

Uma das limitações da microscopia óptica, para o estudo das alterações, é não permitir tratar com segurança as neoformações que ocorrem no interior do cristal, tornando-se necessário, portanto, o uso de análises químicas quantitativas pontuais.

Os resultados obtidos a partir da microsonda eletrônica colocou em evidência o alto teor em Al_2O_3 nestes pontos esparsos do feldspato, caracterizando quimicamente a formação epitáxica da gibbsita sobre cristais pouco alterados de plagioclásios.

B - Alteração dos plagioclásios em caolinita

Os plagioclásios do granito de Itu alteram-se mais comumente em caolinita através de uma fase amorfa.

A microscopia óptica nos mostrou que logo nos primeiros estádios da meteorização do granito, os plagioclásios passam a exibir ao longo de suas fraturas, ou clivagens, um material de preenchimento isótropo, com comportamento amorfo (Foto 8). À medida que a alteração progride, estes geles passam a ocupar um maior volume dos plagioclásios, evoluindo finalmente no sentido de permitirem no seu seio a formação de cristalitos de minerais do grupo da caolinita, perfeitamente caracterizados aos raios X e ATD.

Os plagioclásios, sobretudo na arena, podem ainda conservar sua forma característica, mas acham-se química e estruturalmente transformados em minerais do grupo da caolinita. Tal fato explica a alta porcentagem de argilo-minerais no material de alteração, em contraste com seu baixo teor em argila.

O Quadro 7 mostra que os plagioclásios, já nos primeiros estádios de alteração (nos horizontes arenizados), sofrem uma brusca redução quantitativa, desaparecendo quase que por completo nos horizontes superiores em todos os perfis analisados.

Comparando os resultados, nota-se que o perfil 3 é o que apresenta no solo um teor menos elevado em plagioclásio. O teor calculado em 28% na rocha fresca passa abruptamente para 5% na arena e a 1% no solo. Os demais perfis possuem cifras mais elevadas de plagioclásio em vias de alteração, tanto na arena como no solo (3 a 5%), evidenciando, contudo, sua baixa estabilidade. Tal fato pode ser explicado levando-se em consideração a drenagem e o posicionamento dos perfis no relevo.

Os perfis 1 e 2, localizados nas partes mais elevadas da topossequência, são aqueles que, mesmo apresentando condições de drenagem perfeita e que deveriam, portanto, apresentar-se mais intensamente alterados, possuem pequena espessura da camada arenisada ligadas a efeitos de drenagem, que retiram as camadas mais superiores do perfil e os coloca nas partes mais baixas da topossequência, formando os horizontes coluvionares. O perfil 3, localizado na parte média da topossequência, possui características de drenagem idêntica aos anteriores, sendo contudo, mais espessa a camada arenisada. Os perfis 4 e 5 são os mais profundos, localizando-se, contudo, numa região de drenagem imperfeita.

A interpretação que poderia ser dada com relação ao

QUADRO 7 - ANÁLISE QUÍMICA TOTAL (PORCENTAGEM EM PÊSO) DOS PERFIS ESTUDADOS

HORIZONTE		PROFUNDIDADE (cm)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	CaO	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁻	H ₂ O ⁺	TOTAL	
P E R F I L	A ₁	0 - 15	88,48	6,89	0,80	0,18	0,78	0,40	0,05	0,08	0,02	0,14	0,02	0,77	1,74	100,34	
	A ₂	15 - 35	89,04	6,38	0,92	0,15	0,96	0,46	0,08	0,06	0,01	0,18	0,01	0,49	1,57	97,31	
	B ₁	35 - 50	86,90	9,76	0,97	0,10	0,96	0,60	0,10	0,04	0,01	0,18	0,02	0,67	1,88	99,19	
	B ₂	50 - 105	68,12	16,39	2,09	0,14	0,96	1,24	0,10	0,06	0,01	0,24	0,02	1,20	5,64	96,21	
	B ₃₁	105 - 120	72,56	15,21	1,80	0,16	1,25	1,19	0,09	0,08	0,01	0,22	0,01	1,67	4,79	99,04	
	B ₃₂	120 - 190	75,16	13,69	1,62	0,08	1,25	1,02	0,10	0,08	0,01	0,22	0,01	1,42	4,11	98,77	
	C ₁	190 - 250	78,36	10,48	1,12	0,22	1,84	1,05	0,10	0,04	0,01	0,17	0,01	0,96	2,72	97,08	
1	C ₂	250 - 310+	74,30	16,56	1,51	0,19	2,05	0,65	0,09	0,03	0,01	0,20	0,01	1,43	3,59	100,59	
P E R F I L	A ₁	0 - 12	85,68	8,28	0,73	0,25	2,68	0,67	0,10	0,05	0,02	0,12	0,04	0,60	2,03	101,24	
	A ₂	12 - 25	77,08	14,20	1,34	0,18	3,90	0,78	0,10	0,06	0,01	0,22	0,02	0,73	2,56	101,20	
	B ₁	25 - 40	75,38	14,36	1,38	0,32	3,48	0,94	0,25	0,06	0,01	0,18	0,02	0,85	3,54	100,77	
	B ₂	40 - 65	66,30	18,76	1,84	0,21	3,34	0,98	0,10	0,05	0,01	0,22	0,02	3,04	5,04	99,92	
	B ₃	65 - 80	69,90	16,39	1,42	0,19	3,62	0,81	0,10	0,06	0,01	0,17	0,01	0,99	4,41	98,09	
	C ₁	80 - 130	71,62	16,06	1,84	0,12	4,66	0,88	0,11	0,04	0,01	0,17	0,02	1,02	3,58	100,13	
	C ₂	130 - 200	73,88	14,70	0,72	0,17	4,72	0,88	0,10	0,12	0,01	0,12	0,01	0,92	2,48	98,84	
2	C ₃	200 - 230	77,04	14,53	0,50	0,21	4,52	1,33	0,05	0,03	0,01	0,08	0,01	0,83	2,71	101,85	
	C ₄	230 - 290+	73,10	16,56	1,37	0,15	4,72	1,22	0,05	0,06	0,02	0,13	0,02	0,92	2,94	101,15	
P E R F I L	A ₁	0 - 15	81,58	9,13	1,16	0,18	2,54	0,13	0,07	0,04	0,02	0,18	0,01	0,70	2,03	97,77	
	A ₂	15 - 45	72,42	14,53	1,64	0,26	2,96	0,14	0,10	0,04	0,02	0,25	0,02	1,01	3,92	97,85	
	B ₁	45 - 65	65,96	17,91	1,88	0,29	3,31	0,16	0,10	0,06	0,02	0,28	0,03	1,29	5,43	97,36	
	B ₂	65 - 90	64,96	20,62	1,79	0,32	3,74	0,16	0,18	0,03	0,02	0,28	0,02	1,45	4,67	98,88	
	B ₃	90 - 110	64,78	19,60	1,51	0,22	4,08	0,16	0,17	0,02	0,01	0,23	0,01	1,31	4,97	97,82	
	C ₁	110 - 140	66,14	19,94	1,68	0,31	4,86	0,19	0,17	0,03	0,01	0,28	0,02	1,06	4,36	99,79	
	C ₂	140 - 240	68,56	18,42	1,52	0,09	4,65	0,81	0,16	0,04	0,01	0,17	0,01	0,76	3,90	99,83	
	C ₃	240 - 340	69,14	17,58	1,36	0,19	5,00	0,20	0,20	0,04	0,01	0,22	0,01	0,83	3,60	99,01	
	C ₄	340 - 440	68,62	18,42	1,33	0,22	5,29	0,93	0,04	0,04	0,02	0,22	0,01	0,89	3,55	100,31	
	C ₅	440 - 540	69,96	16,90	1,26	0,20	4,79	0,53	0,06	0,03	0,03	0,18	0,01	0,78	2,68	98,19	
	C ₆	540 - 640	69,10	16,06	2,91	0,21	5,64	0,79	0,06	0,03	0,03	0,18	0,01	1,39	3,25	100,44	
	3	C ₇	640 - 740	67,06	17,91	1,09	0,22	6,27	1,16	0,07	0,02	0,02	0,22	0,02	0,76	3,15	98,76
		C ₈	740 - 840	68,44	17,91	0,72	0,32	5,71	0,50	0,05	0,01	0,01	0,22	0,02	0,70	3,17	98,54
	C ₉	840 - 940	69,70	18,25	1,44	0,08	5,99	0,88	0,04	0,01	0,01	0,22	0,02	0,86	3,51	101,77	
P E R F I L	R ₁	940 - 1000+	75,64	13,35	1,05	0,14	5,00	2,14	0,04	0,01	0,01	0,08	0,03	0,42	0,87	99,58	
	R ₂	-	76,34	12,76	0,86	0,26	4,94	2,98	0,04	0,01	0,01	0,12	0,01	0,18	0,63	99,14	
	R ₃	-	75,46	12,76	0,55	0,19	5,50	3,03	0,04	0,01	0,01	0,12	0,01	0,19	0,25	98,22	
P E R F I L	III A ₁	32 - 43	85,24	7,10	0,93	0,32	2,26	0,57	0,05	0,04	0,02	0,24	0,02	0,57	1,33	98,69	
	III A ₂₁	43 - 60	83,92	7,60	1,09	0,25	2,82	0,57	0,04	0,03	0,03	0,27	0,01	0,42	1,23	98,26	
	III A ₂₂	60 - 115	85,90	7,27	1,01	0,24	2,68	0,56	0,03	0,04	0,01	0,25	0,01	0,26	1,13	99,39	
	III B ₂	115 - 155	78,76	10,82	1,80	0,08	2,54	0,79	0,11	0,05	0,02	0,31	0,01	0,61	2,63	98,52	
	III B ₃	155 - 200+	78,70	12,68	1,53	0,26	2,12	0,90	0,10	0,04	0,01	0,21	0,01	0,71	3,34	100,61	
P E R F I L	A ₁₁	0 - 5	80,64	8,96	0,94	0,22	4,52	0,70	0,10	0,08	0,03	0,25	0,03	0,84	2,38	99,68	
	A ₁₂	5 - 23	84,66	7,44	0,74	0,24	2,54	0,59	0,14	0,05	0,02	0,22	0,02	0,46	1,60	98,71	
	B	23 - 50	87,30	6,25	0,77	0,12	2,64	0,64	0,03	0,05	0,01	0,21	0,01	0,26	1,09	99,38	
	B ₉	50 - 80	85,68	7,10	0,47	0,15	2,96	0,76	0,07	0,05	0,01	0,24	0,01	0,21	1,29	99,00	
	B _{G1}	80 - 125	81,98	9,13	0,83	0,15	3,25	0,94	0,15	0,06	0,02	0,32	0,01	0,44	2,04	99,31	
	B _{G2}	80 - 125	70,72	16,39	3,35	0,17	2,44	1,22	0,09	0,05	0,01	0,29	0,01	1,53	5,54	101,81	
	C ₁	125 - 150	71,68	14,70	0,95	0,39	2,82	1,13	0,16	0,08	0,01	0,26	0,01	1,13	4,74	98,06	
5	C ₂	150 - 175	81,66	8,62	0,75	0,10	2,36	1,01	0,12	0,06	0,01	0,18	0,01	0,18	2,93	98,03	

baixo teor de plagioclásio no perfil 3, em comparação com os demais, é que este perfil retém uma quantidade de água que o deixa úmido durante o ano inteiro (Figura 5 e Quadro 3) porém não encharcado. Esta umidade, constante em quase todo o perfil, propicia uma maior velocidade de alteração dos plagioclásios, fato comprovado pelo seu quase total desaparecimento já nestes horizontes iniciais de alteração.

Os perfis 1 e 2 não oferecem as mesmas condições de alteração dos plagioclásios, motivado talvez, por uma menor retenção de umidade quando comparado com o perfil 3. Esta ausência quase que total de umidade, em determinadas épocas do ano, é bem provável que esteja ligada às infiltrações laterais que sofrem os perfis localizados em posições elevadas.

Pelo fato dos perfis 4 e 5 estarem localizados em locais permanentemente encharcados, não são favorecidos pela renovação das soluções, resultando numa baixa capacidade de alteração dos plagioclásios.

C - Alteração dos feldspatos potássicos

Os feldspatos potássicos são os constituintes mais representativos do granito de Itu. Seu teor na rocha original gira em torno de 35%.

Mais resistentes que os plagioclásios, os feldspatos potássicos estão presentes em todo o perfil, inclusive nos horizontes superficiais do solo.

No granito fresco os feldspatos são róseos, de aspecto coerente e duro. No material alterado a cor de origem é geralmente mantida e as modificações visíveis a olho nu são sobretudo mecânicas: fissuras que recortam os planos da macia e das clivagens, acarretando em certos casos uma diminuição da coesão do conjunto. Nos horizontes mais superficiais

ciais os cristais são bastante friáveis, desagregando-se mesmo sob uma ligeira pressão exercida pelos dedos.

SEDDOH (1973), estudando feldspatos frescos e alterados ao microscópio eletrônico de varredura, mostrou que são realmente as modificações físicas que predominam na alteração dos feldspatos potássicos, que no entanto, são extremamente lentas.

O estudo de lâminas delgadas do perfil 3 evidencia, quanto ao aspecto, duas etapas principais de alteração dos feldspatos potássicos. A primeira, uma alteração incipiente do mineral, porém permanecendo o cristal sem sinais de decomposição. A segunda é caracterizada pelo desenvolvimento de uma fase pulverulenta, que tanto pode ocupar a periferia do mineral como o cristal todo. Nos primeiros estádios de alteração são visíveis as fissuras sinuosas e espessadas, que aparecem recortando os planos de clivagem. Elas se apresentam vazias ou revestidas por um filme de óxido de ferro. À medida que a alteração se acentua, a superfície do mineral torna-se ligeiramente pulverulenta, mostrando às vezes finas manchas acastanhadas de óxido de ferro.

Nos estádios mais avançados de alteração pode ser constatado que, paralelamente às microfissuras, desenvolvem-se fendas mais largas que recortam os cristais. Nesses verdadeiros canalículos que atravessam minerais, observa-se um produto castanho amarelado orientado segundo as paredes das fissuras. Estes preenchimentos provenientes dos minerais vizinhos mais frágeis e do complexo de alteração, inicialmente caracterizados como amorfos, evoluem e dão origem às argilas.

Nenhuma modificação importante nas propriedades ópticas intervêm nos feldspatos potássicos, no curso da alteração.

Os resultados obtidos permitem concluir que a alteração

Foto 9 - Fotomicrografia do horizonte B₁ (Perfil 3). Feldspato alterado. Manchas de material amorfo ocupam sua face, em nítida relação com os planos de clivagem. Nícois cruzados. Aumento 40 X.

Foto 10 - Fotomicrografia exibindo detalhe da foto anterior. Nícois cruzados. Aumento 150 X.

Fig.32-Análises difratométricas de feldspatos frescos e alterados extraídos dos vários horizontes do perfil 3.
PL=Plagioclásio - FK=Feldspato Potássico - CA=Caolinita.

ração dos feldspatos potássicos processa-se de maneira análoga à dos plagioclásios, diferindo somente no que diz respeito à velocidade de alteração e inexistência de evolução direta em gibbsita. Em resumo, os feldspatos potássicos evoluem para caolinita através de uma fase amorfa.

1.3 - ALTERAÇÃO DAS MICAS TRIOCTAÉDRICAS

O estudo do comportamento das micas, face à intervenção dos processos intempéricos, foi levado a efeito nas frações isoladas dos diversos níveis do perfil 3. Os minerais separados foram submetidos ao exame de raios X e ATD.

Paralelamente ao estudo de minerais isolados, foram examinadas também lâminas delgadas, permitindo dessa forma a caracterização das vias de alteração das micas trioctaédricas.

Na rocha inicial a biotita já se encontra intensamente cloritizada, tanto que a difração aos raios X, realizada sobre os minerais micáceos isolados do granito de Itu, apresenta um diagrama caracterizado por uma forte "reflexão" a 14 Å, acompanhada de uma pouco intensa a 10 Å.

Na rocha inalterada e nos primeiros estádios de alteração, a biotita cloritizada encontra-se sob a forma de agregados, onde o aspecto placóide, característicos das micas, é pouco nítido. Ao curso da meteorização a cor preta azulada das micas cloritizadas vai se tornando castanho avermelhada na arena e palha no solo. Além da mudança na cor do mineral, outro fato que pode ser notado a olho desarmado é a individualização das placas constituintes dos minerais, já na própria arena.

Os picos referentes à clorita, que na rocha fresca

Fig.33-Análises difratométricas de micas frescas e altera
radas extraídas nos vários horizontes do perfil 3.
Bl= Biotita - CL= Clorita - CA= Caolinita

são os mais intensos, desaparecem por completo no material arenizado, enquanto que se desenvolvem as reflexões a 10 Å e a 7 Å, correspondentes respectivamente à mica e caolinita. Em direção ao solo, os picos referentes às micas vão diminuindo de intensidade, ao passo que os referentes à caolinita se tornam cada vez mais intensos (Figura 33).

Com auxílio da microsonda eletrônica, constatamos que o mineral a 10 Å corresponde a uma hidromica (hidrobiotita), onde os valores de K, Mg e Na são sensivelmente mais baixos quando comparados aos da biotita da rocha fresca. Essa hidromica seria uma fase de transição entre a mica original e a caolinita.

Desta maneira, uma sequência provável da alteração das micas, seria:

A passagem biotita → clorita não é resultante de alterações superficiais, mas sim da ação de soluções hidrotermais em profundidade.

2 - GÊNESE E EVOLUÇÃO DOS MINERAIS SECUNDÁRIOS

Após o estudo da alteração dos minerais primários, teceremos algumas considerações sobre características, gênese e modo de evolução dos minerais secundários presentes na areia granítica e no solo.

Foto 11 - Fotomicrografia do horizonte B₁ (Perfil 3). Biotita alterada. Nícois descruzados. Aumento 128X.

Foto 12 - Fotomicrografia do horizonte B₂ (Perfil 3) onde se observa poros preenchidos por minerais do grupo da caolinita. Nícois cruzados. Aumento 107X.

Foto 13 - Fotomicrografia do horizonte B₂ (Perfil 3)
Canal existente onde se pode perceber o
preenchimento por argilo-minerais. Nóis
descruzados. Aumento 63X.

Foto 14 - Fotomicrografia do horizonte B₁ (Perfil 3).
Canal existente onde se pode perceber o
preenchimento por argilo-minerais. Nóis
descruzados. Aumento 63X.

2. 1 - MINERAIS DO GRUPO DA CAOLINITA

Os minerais do grupo da caolinita: haloisita, meta haloisita, caolinita e caolinita desordenada ("fire clay"), são os mais abundantes nos perfis de alteração do granito de Itu. A identificação desses minerais é usualmente feita utilizando a microscopia eletrônica, pois aos raios X todos eles representam reflexão a $7 \text{ \AA}$, característica para o grupo, exceção feita à haloisita quando hidratada ($10 \text{ \AA}$). (Fotos 15 e 18).

A distinção dos citados minerais ao microscópio eletrônico faz-se pelo reconhecimento das suas formas. As formas mais comuns observadas no material em estudo são plaquetas e tubos. A caolinita dos horizontes de alteração é representada por plaquetas hexagonais mais ou menos regulares e de tamanho variável. O "fire clay" é formado de pequenas plaquetas deformadas, freqüentemente inferiores a $0,1 \mu$. As formas da haloisita e da metahaloisita são muito variáveis, e normalmente se apresentam como tubos, ripas, plaquetas de bordos enrolados, conjunto de tubos, glomérulos arredondados e hexagonais. No geral, tubos de grande porte, por vezes unidos e relativamente curtos, representam as haloisitas, ao passo que tubos isolados e compridos caracterizam as metahaloisitas.

Os estudos mais aprofundados sobre a questão da formação de minerais caoliníticos podem ser encontrados nas publicações de SIEFFERMANN (1973) e SIFFERT & WEY (1972). Os resultados dessas pesquisas nos esclarece que qualquer que seja o material inicial, é o comportamento do alumínio que vai regular a síntese dos minerais do grupo da caolinita.

Foto - 15 - Fotomicrografia do horizonte B₂ (Perfil 3), onde predominam partículas em forma lamelar, com contorno irregular, isoladas ou em agrupamentos irregulares, com dimensões menores que 0,1 μ ; algumas partículas densas aos eletrons com dimensões de micron e contorno irregular, são observadas. Aumento 29.000 X.

Foto 16 - Fotomicrografica do horizonte C, (Perfil 3), onde predominam partículas lamelares com dimensões reduzidas, abaixo de 0,1 μ com contorno irregular. Algumas partículas com dimensão da ordem de 0,2 μ , na forma de placas com contornos bem definidos são observadas. Encontram-se algumas partículas tubulares com diametro da ordem de 0,0 μ e comprimento médio por volta de 0,3 μ , isoladas ou em meio de aglomerados irregulares de partículas lamelares. Aumento 29.000 X.

2.1.1 - HALOISITA E METAHALOISITA

Uma condição essencial para a formação dos minerais da família da haloisita é a existência de soluções com relativa concentração de sílica. Tais condições podem ocorrer nos primeiros estádios de alteração, onde a sílica é liberada mais abundantemente em consequência da hidrólise dos silicatos primários. Entretanto, como também nesta fase são liberados todos os demais cátions solúveis (cátions básicos), existe um certo impedimento no desenvolvimento de minerais bem cristalizados (NOVIKOFF, 1974).

Estes minerais secundários também podem sofrer os efeitos do intemperismo, evoluindo para formas mais estáveis nas condições ambientais. Numerosos autores assinalam que a hidrólise da haloisita poderia dar origem à gibbsita. PERHASE (1969) acredita que pequenas partículas hexagonais se destacam de tubos de haloisita e vão servir de germes aos cristais maiores de caolinita.

Na alteração do granito de Itu, a instabilidade da haloisita é um fato comprovado. As micrografias eletrônicas (Fotos 17 e 18), permitem constatar uma grande quantidade de tubos de haloisita-metahaloisita nos níveis inferiores do perfil. Nos horizontes superiores, os tubos vão ficando cada vez mais escassos, chegando quase a desaparecer nos horizontes superficiais. É muito provável que a haloisita seja afetada pela hidrólise, liberando alumina que pode recombinar-se com a sílica em solução para dar origem à caolinita.

Quando a renovação das soluções é muito lenta, a concentração em sílica é elevada e a haloisita se mantém. Se for mais rápida, a taxa de sílica decresce e assiste-se en

Foto 17 - Fotomicrografia do horizonte C_5 (Perfil 3) onde predominam partículas lamelares com dimensões abaixo de $0,1\mu$ com contornos irregulares; Algumas partículas apresentam-se bem formadas com contornos bem definidos. Encontram-se isoladas ou em aglomerados irregulares. Algumas partículas tubulares são encontradas, com diâmetro médio da ordem de $0,05\mu$ e comprimento que varia de $0,1\mu$ a 1μ , com predominância dos valores por volta de $0,1\mu$. Encontram-se isoladas ou em meio de aglomerados irregulares de partículas lamelares. Aumento 29.000X

Foto 18 - Fotomicrografia do horizonte C_8 (Perfil 3) onde predominam partículas lamelares com dimensões $< 0,05\mu$, contorno irregular; algumas partículas apresentam dimensões maiores. Observa-se agrupamentos irregulares, densos aos eletrons, com dimensões da ordem de micron! São observadas, frequentemente, partículas lamelares com bordo enrolado, em diferentes estágios de "enrolamento". Aumento 29.000 X.

tão a formação da caolinita. UEHARA *et al.* (in NOVIKOFF 1974) afirmam que para a conservação da haloisita num perfil, é necessário a existência de soluções percolantes ricas em sílica.

2.1.2 - CAOLINITA

A caolinita é o mineral secundário mais comum, encontrado nos perfis de Itu.

Como vimos, pode provir secundariamente da hidrôlise da haloisita, sendo porém, as quantidades formadas insignificantes se compararmos com a caolinita formada diretamente a partir da alteração dos minerais primários.

As condições gerais requeridas para a formação da caolinita são quase idênticas às necessárias para a formação da haloisita. Entretanto, é necessário que as soluções percolantes sejam mais diluídas, significando a existência de condições de maior umidade e melhor drenagem. Desta forma, as soluções menos concentradas em sílica e bases poderiam criar condições de equilíbrio que favoreceriam a estabilidade da caolinita em detrimento da haloisita.

A partir dos resultados de experiências em laboratório, os pesquisadores sugerem atualmente, três mecanismos distintos para explicar a neoformação da caolinita.

DELVIGNE & MARTIN (1970) postulam uma gênese ligada diretamente à formação de geles amorfos (alofanas), sem necessidade de passagem por um estado solúvel.

Uma outra corrente de pesquisadores, inspirados nos trabalhos de CORRENS (1940), afirma que a caolinita provém da combinação de íons em soluções diluídas.

Certos autores, como por exemplo WOLLAST (1967) e TRICHET (1966), baseados na alteração experimental de minerais primários, admitem a formação da caolinita a partir de reações entre a sílica existente nas soluções percolantes e a alumina amorfa.

O que se pode deduzir desses diferentes resultados, é que as soluções ora apresentam um papel subtrativo, retirando o excesso de sílica dos materiais amorfos, ora um papel aditivo, juntando sílica ao material amorfo para dar origem à caolinita.

Em síntese, constata-se que um certo número de fatos, militam a favor de que, a caolinita é formada a partir de elementos em solução, apesar de não se poder excluir outro mecanismo de neoformação. Pode-se então supor que sendo o alumínio bem menos solúvel que a sílica, a síntese da caolinita pode realizar-se a partir de alumina herdada e de sílica em solução.

Apesar da caolinita ser um mineral bastante estável nas condições ambientais, pode também sofrer um processo de evolução.

NOVIKOFF (1974) estudando a formação e evolução das argilas na República Popular do Congo, encontrou a seguinte ordem de alteração da caolinita.

caolinita → "fire-clay" → gibbsita

O citado autor atribui estas transformações a uma lixiviação progressiva da sílica. Admite também que a hidrólise da caolinita é facilitada pela existência de soluções ácidas. A água de chuva, atravessando as partes superiores dos horizontes superficiais, acidifica-se dissolvendo os ácidos das matérias orgânicas mais o gás carbônico, cuja concen

tração no solo, pode ser de 10 a 100 vezes superior à aquela da atmosfera. Essas águas tornam-se reativas, podendo atacar a caolinita, dando origem ao "fire-clay", que por sua vez, em determinadas circunstâncias, pode transformar-se em gibbsita. O aumento da taxa de sílica das soluções à medida que elas descem no perfil, vai diminuir a possibilidade de hidrólise da caolinita. Experimentalmente, PEDRO (1964) demonstrou a passagem caolinita → gibbsita, que apesar de viável é extremamente lenta.

A primeira constatação que se pode fazer sobre a evolução da caolinita nas areias e solo, provenientes da alteração do granito de Itu, é que a quantidade de "fire-clay" aumenta em direção às partes superiores do perfil. Nas zonas mais úmidas não foi constatada praticamente a presença de "fire-clay", porém nos horizontes superiores a taxa de "fire-clay" é bastante alta, chegando mesmo a ultrapassar o teor de caolinita.

O aumento desta caolinita desordenada traduz-se em microscopia eletrônica pela diminuição das plaquetas hexagonais de caolinita de grande porte ($\pm 0,5 \mu$) e o desenvolvimento de plaquetas menores com dimensões por volta de $0,1 \mu$, formas hexagonais irregulares e de bordos às vezes arredondados e corroídos, correspondentes ao "fire-clay" (Foto 15).

2.2 - GIBBSITA

É nas regiões de clima quente e úmido que existe uma maior possibilidade de se formar a gibbsita. Parece que são duas as condições para o aparecimento desse hidróxido: uma boa drenagem e um meio bastante pobre em bases.

Todos os autores que se dedicaram ao estudo da gib

bsita são unânimes em afirmar que este hidróxido encontra-se localizado mais comumente nos topos das elevações constantemente úmidas, mas não encharcadas. Afirmam ainda que se a percolação é diminuída por motivos estruturais ou mineralógicos, a quantidade de gibbsita diminui em proveito dos minerais do grupo da caolinita. Outro fator importante para que haja a formação de gibbsita é uma contínua e rápida renovação das soluções percolantes.

Quanto à gênese, a gibbsita pode ser dividida em duas categorias: uma, proveniente da alteração direta dos minerais das rochas, onde se instala epitaxicamente, e outra, formada pela alteração de minerais do grupo da caolinita.

Todo material sílico-aluminoso é suscetível de formar gibbsita, mas verifica-se que somente os feldspatos são capazes de formá-la em grande quantidade. Dentre os feldspatos, sabe-se que são os plagioclásios mais cálcicos e os mais pobres em sílica que fornecem mais facilmente os hidróxidos de alumínio, passando frequentemente por uma fase de produtos amorfos. A formação de gibbsita a partir dos feldspatos alcalinos é mais difícil e necessita de uma drenagem muito rápida; o mesmo se dá para os minerais ferromagnesianos mais ricos em alumina como a biotita. Quando a taxa de sílica do mineral primário cresce em detrimento da alumina, constata-se que diminuem as possibilidades de aparecer a gibbsita.

A gibbsita é um mineral resistente. Contudo, estudos recentes feitos por NOVIKOFF (1974), nos dão conta que a gibbsita pode ressilicificar em caolinita. Porém, o fenômeno da ressilificação da gibbsita é bastante controvertido, existindo um grande número de pesquisadores que acreditam que esta evolução é nula ou se existe é em muito pequena escala.

Essa controvérsia mostra que a passagem da gibbsita a caolinita é um fenômeno de difícil caracterização e sou.

mente a observação microscópica permite reconhecê-la com cer
teza.

NOVIKOFF observou ao microscópio óptico que os lo
cais contendo gibbsita são substituídos pela caolinita, e
essa invasão geralmente propaga-se a partir da parede dos po
ros. Notou que subsistem freqüentemente no interior das man
chas de caolinita, cristais isolados de gibbsita, cujo aspec
to residual é flagrante. Observou ainda o citado autor que
o aspecto da caolinita neoformada é muito variado, podendo
apresentar-se como pequenos cristais, filamentos, depósitos
canaliculares, etc. Essas formas são idênticas àquelas da
caolinita formada pela alteração dos minerais primários.

Resumindo, os fatores que condicionam a formação
de uma grande quantidade de gibbsita primária podem ser assim
agrupados: clima quente e úmido, boa drenagem, posição topo
gráfica elevada das rochas em vias de alteração, rocha rica
em plagioclásio cálcico e pobre em sílica e um meio bastante
pobre em bases.

Nos cinco perfis de alteração do granito de Itu, que
compõem a toposequência estudada, a quantidade de gibbsita
tanto no solo como na arena é bastante reduzida, variando de
1 a 3%. Certamente esta reduzida porcentagem está ligada à
rocha original. Apesar de existir na toposequência condi
ções de boa drenagem, os fatores climáticos podem ser consi
derados insuficientes para a sua formação, sobretudo agindo
sobre uma rocha rica em feldspato potássico e quartzo e po
bre em plagioclásios cálcicos.

O Quadro 6, mostra que não há uma va
riação muito significativa do teor de gibbsita nos cinco per
fis analisados, mesmo levando-se em consideração que os três
primeiros estão situados nas partes mais elevadas da topos
sequência e, portanto, mais propícios à formação do hidróxido

quando comparados com os dois perfis localizados nas partes mais baixas e afetados por hidromorfia.

Fig.35-DIFRATOGRAMAS DA FRAÇÃO ARGILA DOS HORIZONTES DO
PERFIL - I

Fig.36-DIFRATOGRAMAS DA FRAÇÃO ARGILA DOS HORIZONTES DO PERFIL - 2

Fig.37-DIFRATOGRAMAS DA FRAÇÃO ARGILA DOS HORIZONTES DO
PERFIL - 3

Fig.38-DIFRATOGRAMAS DA FRAÇÃO ARGILA DOS HORIZONTES DO
PERFIL - 4

Fig.39-DIFRATOGRAMAS DA FRAÇÃO ARGILA DOS HORIZONTES DO PERFIL - 5

Fig.40-ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL DOS HORIZONTES DO
PERFIL - I

Fig.41- ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIA DOS HORIZONTES
PERFIL - 2

Fig.42- ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL DOS HORIZONTES DO
PERFIL - 3

Fig.43-ANÁLISE TERMICA DIFERENCIAL DOS HORIZONTES DOS
PERFIS -4 e 5

Fig.44-ANÁLISE TERMO PONDERAL DOS PERFÍS ESTUDADOS (amostras totais)

Fig.45-ANÁLISE TERMICA DIFERENCIAL DOS PERFIS ESTUDADOS (amostras totais)

CAPÍTULO II

ASPECTOS QUÍMICOS

A análise química dos diferentes horizontes de to dos os perfis permitiu estabelecer o comportamento dinâmico dos principais elementos.

Através de cálculos isovolumétricos, aplicados nos horizontes à estrutura conservada dos perfis 1, 2, 3, e cálcu los isoaluminios nos perfis 4 e 5 pudemos determinar a dinâmi ca da SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O e Na_2O , principais elementos formado res dos silicatos primários constituintes do granito de Itu.

O exame das Quadros 8 e 9 possibilita interpreta_{ções} não só sobre a mobilidade desses elementos dentro do perfil, mas também seu comportamento em relação à posição do perfil na topossequência.

1 - COMPORTAMENTO DO SILÍCIO

O comportamento dinâmico do silício revelou-se de grande importância na caracterização do perfil na topossequência, em função da estreita correlação apresentada entre sua mobilidade e as condições de drenagem do meio.

Nos perfis situados em posição elevada, e portanto, bem drenados, a eliminação da sílica pode atingir valores elevados (67% no perfil 1), o que atesta um elevado grau de al teração dos silicatos primários. À medida que descemos topo_{graficamente}, a drenagem torna-se menos perfeita o que acar

	HORIZONTE	PROFUNDIDADE	SiO ₂ Combinado	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	K ₂ O	Na ₂ O	H ₂ O total	dap
PERFIL 1	C ₁	190 - 250	-67,38	+43,90	+40,41	-22,45	-77,07	-76,12	+358,22	1,77
	C ₂	250 - 310+	-64,58	-14,45	+81,50	-32,65	-75,34	-85,87	+503,42	1,77
PERFIL 2	C ₁	80 - 130	-48,80	-19,45	+113,69	-59,18	-45,40	-81,25	+436,99	1,71
	C ₂	130 - 200	-48,94	-25,30	-15,06	-40,82	-46,77	-81,25	+302,74	1,71
	C ₃	200 - 230	-48,07	-28,35	-43,83	-28,57	-48,01	-72,25	+306,16	1,71
	C ₄	230 - 290+	-45,45	-17,74	-57,53	-48,98	-45,33	-74,37	+344,52	1,71
PERFIL 3	C ₁	110 - 140	-57,54	-16,01	-72,60	-10,20	-52,27	-96,75	+431,51	1,42
	C ₂	140 - 240	-55,93	-23,56	-46,57	-75,51	-54,95	-96,75	+349,32	1,40
	C ₃	240 - 340	-66,11	-29,12	+27,39	-48,98	-52,95		+315,75	1,35
	C ₄	340 - 440	-43,86	-20,12	+33,56	-34,69	-46,43	-96,62	+347,95	1,47
	C ₅	440 - 540	-52,07	-41,78	+41,78	-34,69	-45,74	-89,37	+621,92	1,61
	C ₆	540 - 640	-45,02	-21,42	+231,50	-30,61	-35,51	-83,62	+428,08	1,66
	C ₇	640 - 740	-38,11	-14,60	+20,54	-30,61	-30,15	-76,62	+332,88	1,59
	C ₈	740 - 840	-46,33	-13,78	-19,17	-61,22	-35,99	-90,00	+332,88	1,60
	C ₉	840 - 940	-38,71	-7,61	-69,17	-73,47	-29,26	-6,49	+414,38	1,74
	R ₁	940 - 1000+	-20,23	-11,93	-60,95	-73,47	-20,81	-3,21	+97,26	2,22
	R ₂	-	+7,58	-24,41	-60,95	+38,78	+1,44	-7,80	+50,68	2,62
	R ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-

QUADRO 8 - CÁLCULO ISOVOLUMÉTRICO DOS PERFIS 1, 2 e 3

HORIZONTE	PROFUNDIDADE	SiO ₂ Combinado	Fe ₂ O ₃	FeO	K ₂ O	Na ₂ O	H ₂ O total
III A ₂₁	32 - 43	-25	232	121	-14	-69	409
III A ₂₂	43 - 60	-23	221	126	-14	-68	355
III B ₂	60 - 115	-39	284	-53	-46	-69	605
III B ₃	115 - 155	-47	179	37	-61	-70	653
A ₁₁	0 - 5	-9	141	63	+16	-68	744
A ₁₂	5 - 23	-26	130	116	-21	-64	322
B	23 - 50	-14	182	26	-3	-57	465
Bg	50 - 80	-13	84	42	-3	-56	720
BG ₁	80 - 125	-20	109	11	-18	-57	1678
BG ₂	80 - 125	-49	361	-32	-66	-69	998
G ₁	125 - 150	-43	50	74	-55	-68	845
G ₂	150 - 175	-28	109	-26	-37	-51	747

QUADRO 9 - CÁLCULO ISOALUMÍNIO DOS PERFIS 4 e 5

reta uma mais lenta eliminação da sílica, que decresce progressivamente até o perfil 5.

Obviamente, dentro do perfil há uma eliminação mais proeminente da sílica combinada em relação ao topo do perfil. O aumento exagerado da sílica nos horizontes superiores do solo deve-se à concentração residual do quartzo.

2 - COMPORTAMENTO DO ALUMÍNIO

O cálculo isovolume para o alumínio colocou em evidência sua pequena mobilidade no processo de alteração superficial. Em todos os perfis encontramos uma eliminação de Al_2O_3 que embora sendo relativamente fraca (entre 15 e 30%) caracteriza bem o comportamento deste elemento.

Sua mobilidade poderia ser explicada pela existência de pH, cujos valores são ligeiramente ácidos (4,5 e 5,0), próximo ao limite de solubilidade do alumínio, favoreceriam seu aparecimento como formas mais solúveis.

Nestas condições, podemos dizer que todo o alumínio em solução apareceria em formas polimerizadas, passíveis de sofrerem rápida recombinação com a sílica para dar origem a um argilo-mineral ou precipitação para formar a gibbsita (mecanismo não verificado neste trabalho).

3 - COMPORTAMENTO DO SÓDIO

O sódio encontra-se integralmente fazendo parte da estrutura cristalina dos plagioclásios. Como foi mostrado no comportamento dos minerais primários, este silicato é o

que apresenta menos estabilidade face às condições de alteração. Desta forma, o sódio é liberado do retículo dos plagioclásios e colocado em solução já nos primeiros estádios de alteração do perfil. Sua eliminação do perfil é rápida pelo fato de ser um cátion solúvel em qualquer condição do meio, e de ser dificilmente incorporado aos argilo-minerais formados ou em vias de formação.

De um modo geral na topossequência o sódio é quase que totalmente eliminado dos perfis topograficamente mais elevados (1, 2 e 3), onde as condições de boa drenagem favorecem a hidrólise dos plagioclásios e sua evacuação para fora do perfil.

Nos perfis situados nas posições inferiores da topossequência (perfis 4 e 5) a eliminação do sódio é menos pronunciada, apesar de continuar importante.

A drenagem menos intensa, ou mesmo imperfeita desses perfis, possibilitaria a fixação do sódio aos produtos amorfos, formados em maior quantidade, ou ainda associados aos materiais de preenchimento de fissuras dos minerais primários.

4 - COMPORTAMENTO DO POTÁSSIO

O potássio estando totalmente incluído no retículo dos feldspatos (ortoclásio e microclínio) é óbvio que vai apresentar uma dinâmica ligada ao comportamento desses minerais.

Nos primeiros estádios de alteração o potássio permanece quase que totalmente no perfil, pois nesta fase os feldspatos continuam intactos. À medida que o perfil evolui, começa a se produzir a hidrólise dos feldspatos com liberação

e colocação em solução do potássio. Nos perfis 1, 2 e 3, a boa drenagem permite sua evacuação, que pode atingir em valores reais até 80%. Nos perfis da base da topossequência, a eliminação é menos marcada, pois a presença de amorfos pode reter parcialmente este elemento.

De qualquer forma, sua menor eliminação em relação ao sódio deve-se sobretudo à resistência dos feldspatos potássicos à alteração, pois desde que seja colocado em solução, da mesma maneira que o sódio, tenderia a migrar, pois não encontraria no perfil as condições necessárias à sua fixação.

5 - ÍNDICES DE ALTERAÇÃO

O Ki (Quadro 10), em todos os horizontes e perfis apresenta valores superiores a 2,0 que poderia levar a pensar na existência de um processo de bissialitização (PEDRO, 1964) na formação destes solos. Entretanto a análise mineralógica evidencia que este fato está ligado à existência de feldspatos inalterados, que contribuem para elevar o valor do Ki.

A porcentagem de alteração (Quadro 10) é interessante para quantificar a parte alterada de um material. Sua aplicação não tem sentido obrigatório absoluto, porém fornece algumas informações sobre as perdas de material dos perfis.

As taxas mostram que os perfis topograficamente superiores apresentam uma taxa de alteração maior que os inferiores.

QUADRO 10 - ÍNDICES DE ALTERAÇÃO DOS 5 PERFIS ANALISADOS

	HORIZONTE	PROFUNDIDADE	Ki	Kr	% ALTERAÇÃO
PERFIL 1	A ₁	0 - 15	2,04	4,68	59,86
	A ₂	15 - 35	2,51	5,64	50,63
	B ₁	35 - 50	2,09	4,89	58,06
	B ₂	50 - 105	1,95	4,46	61,75
	B ₃₁	105 - 120	2,05	4,72	59,52
	B ₃₂	120 - 190	2,05	5,55	52,50
	C ₁	190 - 250	2,73	6,38	45,24
	C ₂	250 - 310+	1,95	4,59	60,63
PERFIL 2	A ₁	0 - 12	3,36	7,95	31,65
	A ₂	12 - 25	2,89	6,77	41,94
	B ₁	25 - 40	2,82	6,60	43,40
	B ₂	40 - 65	2,38	5,55	52,40
	B ₃	65 - 80	2,65	6,25	46,40
	C ₁	80 - 130	3,00	6,90	40,82
	C ₂	130 - 200	3,23	7,91	32,16
	C ₃	200 - 230	3,41	8,52	26,93
	C ₄	230 - 290+	3,12	7,43	36,28
PERFIL 3	A ₁	0 - 15	2,66	6,07	47,94
	A ₂	15 - 45	2,15	4,94	57,63
	B ₁	45 - 65	2,04	4,72	59,52
	B ₂	65 - 90	2,00	4,72	59,52
	B ₃	90 - 110	2,17	5,16	55,75
	C ₁	110 - 140	2,38	5,64	51,63
	C ₂	140 - 240	2,72	6,47	44,51
	C ₃	240 - 340	2,58	6,16	47,17
	C ₄	340 - 440	3,31	7,95	31,82
	C ₅	440 - 540	2,75	6,60	43,40
	C ₆	540 - 640	3,29	7,17	38,51
	C ₇	640 - 740	3,41	8,30	28,82
	C ₈	740 - 840	2,94	7,25	37,82
	C ₉	840 - 940	3,12	7,47	36,11
	R ₁	940 - 1000+	4,28	10,18	12,69
	R ₂	-	4,87	10,72	0,00
	R ₃	-	4,72	10,51	0,00
PERFIL 4	III A ₁	32 - 43	3,28	7,43	36,28
	III A ₂₁	43 - 60	3,55	8,00	31,39
	III A ₂₂	60 - 115	3,65	8,22	39,50
	III B ₂	115 - 155	2,90	6,38	45,28
	III B ₃	155 - 200+	2,49	5,72	50,94
PERFIL 5	A ₁₁	0 - 5	4,33	10,09	13,46
	A ₁₂	5 - 23	3,50	8,17	29,93
	B	23 - 50	4,08	9,31	20,15
	Bg	50 - 80	4,11	9,79	16,04
	BG ₁	80 - 125	3,77	8,87	23,93
	BG ₂	80 - 125	2,41	5,16	55,75
	G ₁	125 - 150	2,66	6,42	44,94
	G ₂	150 - 175	3,40	8,04	31,05

TERCEIRA PARTE

CONCLUSÕES

Os estudos mineralógicos e químicos da topossequência de solos desenvolvidos a partir das rochas graníticas aflorantes na região de Itu, permitiu ressaltar as seguintes conclusões:

- O batólito granítico de Itu, constituído essencialmente por grandes cristais de quartzo, feldspatos potássicos e plagioclásios, quando submetido à ação dos agentes meteoricos proporciona a formação de uma espessa camada de alteração denominada arena.

- A arenização do granito em clima tropical dá origem a materiais que apresentam praticamente as mesmas características físicas e morfológicas que as típicas arenas das zonas temperadas, diferindo entretanto em suas propriedades químicas e mineralógicas.

- Apesar da fração argila (inferior a 0,002 mm) apresentar valores extremamente baixos, comparáveis àqueles exibidos pelas arenas de regiões temperadas, a porcentagem de argilo-minerais formados é bastante elevada. É comum a existência de grandes cristais de feldspatos e micas totalmente transformados em minerais secundários, mantendo entretanto sua forma inicial preservada.

- Ao contrário das arenas de clima temperado o material de Itu tem sua origem controlada pela rocha granítica (textura grosseira, ausência de minerais micáceos e alta estabilidade de seus constituintes primários) muito mais do que pelo clima.

- Do ponto de vista da evolução mineralógica dos principais minerais primários e secundários observou-se que:

a) Comportamento dos minerais primários .

O quartzo sofre ao longo dos perfis importante acumulação residual, ligada à sua alta estabilidade nas condições ambientais. O estudo das secções delgadas revelaram a falta de evidências de um ataque químico acentuado, sendo que toda a modificação apresentada pelo quartzo, na evolução do perfil, restringe-se a um relativo fraturamento e consequente diminuição de tamanho de seus grãos. Os plagioclásios são os minerais que apresentam menos resistência à ação do intemperismo. Ainda na arena seu desaparecimento é quase total, sendo os principais responsáveis pelo alto teor em minerais secundários no material arenizado. Sua alteração inicia-se nos primeiros estádios da meteorização dos granitos podendo evoluir em duas direções: uma relativamente rara neste perfil, dando origem a pequenas quantidades de gibbsita e outra, mais comum evoluindo para minerais do grupo da caolinita, através de uma fase amorfa. Os feldspatos potássicos são os constituintes mais importantes das rochas graníticas de Itu. Normalmente seus cristais se mantêm intactos nos primeiros estádios de formação da arena, e permanecem até nos horizontes superiores dos perfis, sempre em concentrações relativamente elevadas. Sua alteração se processa de maneira análoga a dos plagioclásios, diferindo somente no que diz respeito à velocidade de alteração e inexistência de transformação direta em gibbsita. A biotita tem um comportamento particular durante a alteração do granito. Seus cristais micáceos, permanecem no perfil até nos horizontes superficiais do solo, sofrendo entretanto, modificações químicas e estruturas ao longo da evolução. A sequência provável da alteração das micas seria:

A passagem biotita → clorita corresponde a alterações hidrotermais em profundidade.

b) Comportamento dos minerais secundários.

Entre os minerais secundários presente na arena e solo são pertencentes ao grupo da caolinita (haloisita, metahaloisita, caolinita desordenada ("fire-clay") e a gibbsita.

A haloisita e metahaloisita são minerais bastante instáveis, encontrando-se concentrados nos horizontes bastante próximos à rocha, e desaparecendo nos níveis próximos à superfície.

A caolinita é o mineral secundário mais abundante nos perfis estudados. Pode provir tanto secundariamente, a partir da hidrólise da haloisita, porém as quantidades formadas são muito pequenas, como pode formar-se diretamente dos minerais primários (plagioclásio, feldspato potássico e biotita). A evolução da caolinita no material alterado (arena e solo) se faz no sentido da formação de "fire-clay" (caolinita + "fire-clay") sendo que este último pode ultrapassar o teor de caolinita nas partes superiores dos perfis. A baixa porcentagem de gibbsita se deve às condições climáticas insatisfatórias e a natureza da rocha matriz (rica em feldspato potássico e quartzo e pobre em plagioclásios cálcicos).

Do ponto de vista químico a dessilificação é a característica principal exibida por todos os perfis. A máxima eliminação da sílica se dá no perfil 1 (67%). À medida que descemos topograficamente nota-se uma eliminação progressiva da sílica. O alumínio, em todos os perfis analisados mostra-se pouco móvel, sendo que sua eliminação varia entre 15 e 30% nos diferentes perfis estudados. O sódio é quase totalmente eliminado dos perfis bem drenados, topograficamente elevados (1, 2 e 3) sendo que nos demais, de drenagem imperfeita sua eliminação ainda que importante é bem reduzida. A eliminação do potássio é menor que a do sódio, não só pelas ca

racterísticas intrínsecas do elemento, mas sobretudo, pela grande resistência que os feldspatos potássicos oferecem à alteração superficial, ficando deste modo imobilizado em seu retículo.

BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, F.F.M. de - 1964 - Fundamentos geológicos do relevo Paulista, in "Geologia do Estado de São Paulo". I.G.G., 41, pp. 165-253, São Paulo.
- ANDERSON, J.U. - 1963 - An improved pretreatment for mineralogical analysis of samples containing organic matter. Clays and Clay Miner., 10, pp. 380-388.
- BATES, T.F. - 1962 - Halloysite and gibbsite formation in Hawaii. Clays and Clay Miner., 9 ed. Nation, Conf., pp. 315-328.
- BIROT, P. - 1947 - Resultats de quelques experiences sur la désagrégation des roches cristallines. C.R.Ac.Sc., 225, pp. 745-747.
- BIROT, P. - 1950 - Notes sur le problème de la désagrégation des roches cristallines. Rev.Géogr.Phys.Géol.Dyn., pp. 271-276.
- BONIFAS, M. - 1959 - Contribution à l'étude géochimique de l'altération latéritique. Mem.Serv.Carte géol.Als.Lon., Strasbourg, 17, 159 p.
- BREWER, R. - 1964 - Fabric and mineral analysis of rocks. J. Wiley, New York, 479 p.
- BROWN, G. - 1961 - The X-ray identification and crystal structures of clay minerals. Miner.Soc. (Clay minerals group), London, 544 p.
- BUTLER, J.R. - 1954 - The geochemistry and mineralogy of rock weathering (2): The Nordmark area, Oslo. Geochem. Cosmochim. Acta, 6, pp. 268-281.
- CAILLERE, S. & HENIN, S. - 1963 - Mineralogie des argiles. Masson ed., 355 p.
- CLAISSE, G. - 1972 - Etude sur la solubilisation du quartz en voie d'altération. Cah. O.R.S.T.O.M., Paris, ser. Pédol., X, 2, pp. 97-122.

- COLLIER, D. - 1951 - Contribution à l'étude de l'alteration des granites et de l'évolution des sols sur les plateaux granitiques de l'Auvergne. Bull. Ass.Fr.Et. Sol., 12 p.
- COLLIER, D. - 1961 - Mise au point sur les processus de l'alteration des granites en pays tempéré. Ann.Agron., 12, pp. 273-331.
- COMISSÃO NACIONAL DE SOLOS - 1960 - Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Bol.Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, 12, 634 p.
- CORDANI, U.G. & GIRARDI, V.A.V. - 1967 - Geologia da folha de Morretes. Bol.Univ.Paraná, Geol., 26, 38 p.
- DEJOU, J. - 1958 - Étude comparative des phénomènes d'alteration sur granite porphyroïde de Lormes et sur anatexites à cordiérite du Morvan Nord et les sols qui en dérivent. Ann. Inst.Nat.Rech.Agron. Ser. A, pp. 101-123.
- DEJOU, J., PEDRO, G. - 1967 - A propos de la formation des "arenas" dans les pays tempérés et de la présence de kaolinite au sein de la zone d'alteration. Cas du Massif de la Pierre - qui - Vire. Ann. Agron., 18, pp. 145-193.
- DELVIGNE, J. - 1965 - Pédogenèse en zone tropicale. La formation des minéraux secondaires en milieu ferrallitique. Mém. O.R.S.T.O.M., Paris, 13, 177 p.
- DELVIGNE, J. & MARTIN, H. - 1970 - Analyse à la microsonde électronique de l'alteration d'un plagioclase en kaolinite par l'intermédiaire d'un plagioclase en kaolinite par l'intermédiaire d'une phase amorphe. Cah. O.R.S.T.O.M., Paris, ser.Géol., II, 2, pp. 259-295.
- DIXON, J.B. - 1966 - Quantitative analysis of kaolinite and gibbsite in rocks by differential thermal and selective dissolution methods. Clays and Clay Minerals, pp. 83-89.
- FAUCK, R. - 1972 - Contribution à l'étude des sols des régions tropicales. Les sols rouges sur sables et sur grès d'Afrique Occidentale. Mem. O.R.S.T.O.M., Paris, 61, 257 p.

- FETH, J.H., ROBERSON, G. & POLZER, W. - 1964 - Sources of mineral constituents in water from granite rocks, Sierra Nevada, California and Nevada. U.S. Geol. Survey- Water Supply Paper, 1535, 1, 70 p.
- GOLDICH, S.S. - 1938 - A study in rock weathering. Il. Geol., 46, pp. 17-58.
- GRAHAM, E.R. - 1949 - The plagioclase feldspars as an index to soil weathering. Soil. Sci., Soc. Amer. Proc., 14, pp. 300-302.
- GRIM, R.E. - 1953 - Clay Mineralogy. McGraw-Hill Book Co., Inc., 342 p.
- GROVES, A.W. - 1951 - Silicate Analysis, 2 nd ed., London. George Allen and Unwin, pp. 88-94 e pp. 181-186.
- HASUI, Y., PENALVA, F. & HENNIES, W.T. - 1969 - Geologia do Grupo São Roque. Anais XXXIII Congr. Bras. Geol., Salva
dor, pp. 101-134.
- HARRIS, R.C. & ADAMS, J.A.S. - 1966 - Geochemical and mineralogical studies on weathering of granitic rocks. Am. Jour. Sci., 264, pp. 146-173.
- HESS, P.C. - 1966 - Phase equilibria of some minerals in the $K_2O-Na_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ -System at 25°C and 1 atmosphere. Amer. Journ. Sci., 264, pp. 289-309.
- HILLEBRAND, W.F. *et al.* - 1953 - Applied Inorganic Analysis. 2 ed., New York. 466 p.
- HYPOLITO, R. - 1972 - Estudo experimental de alteração intem
périca de diabásios. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, U.S.P., inédito.
- JACINTHO, A.O. - 1969 - Determinação dos teores totais de co
bre, ferro, alumínio, manganês e fósforo do solo. Anais da ESALQ, XXVI, pp. 157-162.
- JACKSON, M.L. - 1958 - Soil Chemical Analysis. Prentic Hall Inc. Englemood, 498 p.
- JACKSON, M.L. - 1965 - Clay transformation in soil genesis during the quaternary. Soil Sci., 99, 1, pp. 13-22.
- KOLTHOFF, I.M. and SANDELL, E.B. - 1952 - Textbook of quantitative inorganic analysis. New York. 760 p.

- KRAUSKOPF, K.B. - 1972 - Introdução à geoquímica. Editora Poligono, 2 vols., 615 p.
- LELONG, F. - 1967 - Nature et genèse des products d'alteration de roches cristallines sous climat tropical humide (Gyane française). Thèse Fac.Sci.Nancy et Min., Sci. de la terre, 14, 188 p.
- LENEUF, N. - 1959 - L'alteration des granites calco-alcalins et des granodiorites en Côte d'Ivoire forestière et les sols qui en sont dérivés. Thèse Sci., Paris, O.R. S.T.O.M., 210 p.
- MARMO, V. - 1971 - Granite petrology and granite problem. 343 p.
- MASON, B.H. - 1966 - Principios de Geoquímica. Editora Poligono, 403 p.
- MAXWELL, J.A. - 1968 - Rock and mineral analysis. Chemical analysis, 27, 584 p.
- MAYNES, A.D. - 1968 - A procedure for silicate rock analysis based on ion exchange and complex-ion formation. Anal. Chim. Acta, 32, pp. 211-220.
- MELFI, A.J. - 1967 - Intemperismo de granitos e diabásios no município de Campinas e arredores, Estado de São Paulo. Tese de doutoramento (inédito).
- MILLOT, G. & BONIFAS, M. - 1955 - Transformations isovolumétriques dans les phénomènes de latéritisation et bauxilisation. Bull.Serv.Carte géol. Als. Lorr., 8, 1, pp. 3-20.
- MILLOT, G. & FAUK, R. - 1971 - Sur l'origine de la silice des silicifications climatiques et des diatomites quaternaires du Sahara. C.R.Acad.Sci., Paris, 272 D, pp. 4-7.
- MODENESI, M.C. - 1974 - Contribuição à geomorfologia da região Itu-Salto: Estudo das formações superficiais. IGEOG, série Teses e monografias nº 10.
- MONIZ, A.C. *et al.* - 1972 - Elementos de pedologia. Editora Poligono, 459 p.
- MUNSELL COLOR COMPANY - 1954 - Munsell soil color charts.

- NOVIKOFF, A. - 1964 - L'altération des roches dans le massif du Chaillu (Republique Populaire du Congo) Formation et. Tese de doutoramento (inédito).
- PEDRO, G. - 1957 - Nouvelles recherches sur l'influence des sols dans la désagrégation des roches. C.R.Ac.Sc., 244, pp. 2822-2824.
- PEDRO, G. - 1959 - Considerations sur une forme de l'altération des roches l'arenization. C.R. Acad.Sc., 248, pp. 993-996.
- PEDRO, G. - 1960 - Sur l'altération spontanée du granite en milieu naturel: résultats obtenus au bout de 30 ans dans l'expérience lysimétrique de Versailles. C.R. Acad.Sc., 253, pp. 2242-2244.
- PEDRO, G. - 1964 - Contribution à l'étude expérimentale de l'altération géochimique des roches cristallines. Ann.Agron. 2, 3 e 4, 344 p.
- PEDRO, G. et BERRIER, J.C.R. - 1966 - Sur l'altération expérimentale de la kaolinite et sa transformation en boehmite par lessivage à l'eau. C.R.Acad.Sci., 262 D, pp. 729-732.
- PEDRO, G. & LUBIN, J.C. - 1968 - Etudes sur l'évolution géochimique de gels aluminosilicoques et la formation des hydroxides d'aluminium en conditions de libre drainage. Ann.Agron. 19, 3, pp. 293-347.
- PEDRO, G. - 1969 - Essai d'évaluation de la vitesse d'hydrolyse d'une kaolinite en conditions expérimentales "latéritiques". C.R.Acad.Sci., 269 D, pp. 2517-2519.
- PIMENTEL, C.A. - 1966 - Distribuição geográfica de caulins cauliniticos e haloisíticos no Brasil. Cerâmica 47/48, pp. 161-170.
- QUEIROZ NETO, J.P. & MODENESI, M. - 1973 - Observações preliminares sobre as relações entre os solos e a geomorfologia na área de Itu-Salto, Estado de São Paulo. Anais Congr.Bras.Ciência do Solo, Vitória, pp. 69-72.

- RANZANI, G. & KINJO, T. - 1965 - Considerações sobre o mecanismo de gênese de solos provenientes de rochas pré-cambrianas. I - Anfibolito. Tese apresentada ao II Congresso Latino Americano de Ciências do Solo. Piracicaba, SP.
- RANZANI, G. - 1970 - Marcha anual da água disponível no solo. Apostila mimeografada - Centro de Estudos de Solos. Piracicaba, SP, 14 p.
- REICHE, P. - 1950 - A survey of weathering processes and products. Publication in geology, 3, 95 p.
- ROBERT, M. - 1966 - Le processus d'arenisation des granites: nouvelles données expérimentales. Comptes rendus. 91 e Congrès Rennes, II, 153-161.
- ROBERT, M. - 1970 - Étude expérimentale de la desagregation du granite et de l'évolution des micas. Tese de doutoramento (inédito).
- SEDDOH, F.K. - 1973 - Alteration des roches cristallines du Morvan. (Granites, granophyrites, rhyolites). Etude mineralogique, geochemique et micromorphologique. Tese de doutoramento (inédito).
- SIEFFERMANN, G. - 1973 - Les sols de quelques régions volcaniques du Cameroun. Variations pédologiques et mineralogiques du milieu équatorial au milieu tropical. Tese (1969). Mem. O.R.S.T.O.M., 66, 183 p.
- SIFFERT, B., WEY, R. - 1972 - Contribution à la connaissance de la synthèse des kaolins. Int. Clay conf. Madrid, 1, pp. 213-226.
- SOUZA SANTOS, P. de & PIMENTEL, C.A. - 1971 - Estudos sobre a presença de caulinita e halóisita em caulins brasileiros. Cerâmica, 67, pp. 258-295.
- TARDY, Y. - 1969 - Geochemie des altérations. Etude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique. Mem. Serv. Carte géol. Als. Lon. 31, 199 p.
- THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, J.R. - 1955 - The water balance. Publications in Climatology, VIII, 1.

- TRICHET, J. - 1969 - Contribution à l'étude de alteration experimentale des venes volcaniques. Tese de doutoramento. 232 p.
- TSAWCASSOV, G. - 1971 - Geochimie de l'alteration des roches granitiques et gneissiques en pays tropical et equatorial. Evolution des biotites et des feldspaths. Tese de doutoramento, 68 p.
- VERDADE, F.C. - 1960 - Composição química de alguns solos do Estado de São Paulo. I. K, Na, Ca e Mg. Bragantia, 19, pp., 547-565.
- VERDADE, F.C. - 1960 - Composição química de alguns solos do Estado de São Paulo. II. P e Mn. Bragantia 19, pp. 567-577.
- VERDADE, F.C. - 1961 - Composição Química de alguns solos do Estado de São Paulo. III. Sesquióxidos, sílica e certas relações moleculares. Bragantia, 20, pp. 885-905.
- WALKER, G.F. - 1949 - The decomposition of biotite in the soil. Mineral.Mag. 28, 206, pp. 693-703.
- WARSHAW, C.M. & ROY, R. - 1961 - Classification anal.scheme for the identification of layer silicates. Bull. Geol. Soc.Amer., 72.
- WATSON, J.P. - 1965 - A soil catenc on granite in Southern Rhodesic. III Clay minerals. IV Heavy minerals. V Soil evolution. J. Soil Sci., 16, 1, pp. 158-169.
- WOLLAST, R. - 1967 - Knetics of the alteration of K-feldspar in buffered solutions at low temperature. Geochim.et Cosmochim. Acta, 31, pp. 635-648.