

Boletim IG, Instituto de Geociências, USP, V. 5: 117-128, 1974  
**CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS E MINERALÓGICAS DOS  
ESTÁDIOS INICIAIS DA ALTERAÇÃO SUPERFICIAL  
DAS ROCHAS ULTRABÁSICAS DE BARRO ALTO (GO)**

por

*Adolpho José Melfi*  
*Departamento de Geologia Geral*

ABSTRACT

The studies of weathering of ultrabasic rocks are of great interest both from a geochemical point of view and related to the study of ore deposits.

Geochemically, the low Al content leads us to consider these rocks as belonging to a specific *sifemic series*, whose composition is leaded by Si, Mg and Fe; surface weathering in this case is dominated by the dynamic properties of the pair Si-Mg instead of Si-Al. Here the purpose was to describe the main features of the initial stages of weathering of the serpentinized Barro Alto ultrabasic rocks, dominated by the properties of the original rocks. Following that line of reasoning residual phases of well drained and incipiently developed profiles have been studied.

Mineralogically, the saprolite in contact with the partially weathered rocks is heterogeneous. Olivine nuclei of the original rock have been completely removed and in their place we find either cavities or amorphous material. In due time this material may evolve with loss of silicon and goethite formation. Pyroxenes are almost completely weathered, giving rise to talc and releasing the iron which remains on the profile forming either amorphous products or goethite. Quartz and chlori-

te, though not occurring in the serpentinized rock, are abundant in this horizon, and are possibly derived from the action of hypogenic solutions.

In the higher horizons above the saprolite, chlorite slowly begins its weathering process giving rise to intergraded chlorite-smectites, with a slight expansion. Antigorites from the serpentine groups became practically absent, and talc remains as a stable surface product. Goethite becomes the main mineral in these horizons.

Chromite and the other ore minerals are almost intouched by weathering and occur as residual concentrates of the higher horizons.

Geochemically the profile evolves with iron (III) enrichment and concomitant loss of Si and most of the Mg, which is still, found only in the higher levels as magnesian chlorites.

A high Ni concentration is present throughout but never attains the structure of an autonomous mineral. It behaves, therefore, as a typical trace-element. Its occurrence in the lowest weathering horizons is related to the amorphous compounds that are in the saprolite and capture Ni by adsorption and do not release it on account of the prevailing physico-chemi-

cal conditions.

## RESUMO

As rochas ultrabásicas apresentam grande interesse no plano dos estudos dos fenômenos da alteração superficial, principalmente nos domínios da geoquímica e da metalogênia. Do ponto de vista geoquímico, a pobreza em alumínio apresentada por estas rochas, permite situá-las dentro de uma série geoquímica bem particular, a *série sífêmica*, onde os elementos essenciais são: silício, magnésio e ferro.

Neste caso, a alteração superficial deixa de ser regida como de hábito, pelo comportamento dinâmico da sílica e do alumínio, e passa a ser controlada, principalmente, pelo comportamento do silício e do magnésio.

O objetivo do presente trabalho, foi caracterizar os primeiros estádios de meteorização das rochas ultrabásicas serpentinizadas de Barro Alto, quando a influência da rocha original se faz sentir de maneira marcante.

Com esta finalidade foram estudadas as fases residuais de perfis de alteração bem drenados e pouco evoluídos, situados em posição de rupturas de encostas, onde os efeitos erosivos provocam o desenvolvimento de solos pouco espessos, que ocorrem diretamente sobre um manto de rocha alterada (saprolito) de espessura variável, devido ao desenvolvimento de superfícies tipo cársticas na meteorização da rocha.

Do ponto de vista mineralógico os perfis estudados apresentam em contato com a rocha parcialmente alterada um saprolito heterogêneo, onde os núcleos de olivina existentes na rocha original, desapareceram completamente, deixando cavidades vazias ou parcialmente preenchidas por materiais amorfos. Esses podem evoluir com o tempo, apresentando inten-

sa dessilicificação e formação de goethita. Os piroxênios foram alterados intensamente, dando origem ao talco e liberando o ferro, que permanece no perfil formando produtos amorfos ou goethita.

Quartzo e clorita, inexistentes na rocha serpentinizada, são abundantes neste horizonte, sendo sua origem talvez ligada, pelo menos parcialmente, a ação de soluções hipógenas.

Nos horizontes superiores, sobrejacentes ao saprolito, a clorita começa a se alterar muito lentamente, dando origem a interstratificados clorita-smectita, apresentando ligeira expansão. Os minerais do grupo das serpentinas (antigoritas) praticamente desaparecem do perfil, permanecendo o talco, que apresenta grande estabilidade nas condições superficiais. Goethita passa ser o principal mineral desses horizontes.

A cromita e os demais opacos quase não são atingidos pelos efeitos da meteorização, sofrendo concentrações residuais nos horizontes superiores.

Do ponto de vista geoquímico, a evolução do perfil em suas fases iniciais, se caracteriza por apresentar um enriquecimento de ferro trivalente, associado a uma eliminação marcante da sílica e quase total do magnésio. Este elemento ainda permanece nos horizontes superiores, ligado à presença de cloritas magnesianas.

O níquel apesar de apresentar elevados teores em todos os horizontes do perfil, não chega jamais a estruturar-se num mineral autônomo, continuando portanto, a exibir um comportamento típico de elemento-traço. Sua ligeira concentração nos horizontes inferiores de alteração está relacionada à grande porcentagem de produtos amorfos existentes no saprolito, que provocam a fixação do níquel por fenômenos de adsorção, e às condições físico-

químicas aí existentes, que permitem sua insolubilização.

## INTRODUÇÃO

Apesar de não cobrirem grandes extensões na superfície da Terra, especialmente quando comparadas com as rochas da sequência aluminossilicáticas, os corpos ultrabásicos apresentam apreciável interesse no plano dos fenômenos da alteração superficial, sobretudo nos aspectos que dizem respeito à geoquímica, cristalquímica e metalogênia. Sua pobreza em alumínio permite caracterizá-los dentro de uma série geoquímica específica, denominada por Pedro (1964) *série sífêmica*, onde os elementos essenciais são silício, magnésio e ferro.

Em zonas tropicais a hidrólise dos silicatos aluminosos se traduz pela eliminação dos cátions básicos, saída parcial ou total da sílica e permanência do alumínio. A parte da sílica não eliminada ou trazida por soluções que percolam os perfis de alteração, pode se recombinar com o alumínio residual, dando origem a minerais argilosos secundários. Desta forma, fica evidente que a geoquímica da alteração é regida pelo comportamento dinâmico do silício e do alumínio (Millot, 1964 e Pedro, 1964).

No caso das rochas ultrabásicas, os dois elementos essenciais, silício e magnésio, são solubilizados nas condições superficiais, podendo ser eliminados completamente do perfil, ou se associarem para formar argilo-minerais magnesianos. O ferro tende principalmente, a se individualizar na forma de hidróxido (goethita), que pode em alguns materiais de alteração ser o único mineral presente.

O estudo de perfis bem evoluídos, em condições de climas tropicais úmidos a partir de rochas ultrabásicas, tem mostrado que, apesar do comportamento geoquímico específicos destas rochas ser muito diferente das rochas

mais comuns, o produto final da meteorização pode ser exatamente o mesmo, caracterizado por uma assembléia mineralógica constituída principalmente por caolinita, goethita e em casos extremos, até mesmo gibbsita, comum para os solos que recobrem as velhas superfícies aplainadas de regiões tropicais. (Schelmann, 1964; Wilson, 1969, Eswaran et Sys, 1972).

Nosso principal interesse no presente trabalho foi verificar os estádios iniciais de alteração, quando a influência da rocha original se faz sentir ainda de maneira marcante, isto é, onde a rocha ultrabásica, com sua mineralogia especial vai controlar a gênese dos minerais secundários.

Para atingir este objetivo, foram estudados perfis pouco desenvolvidos, autóctones, coletados no município de Barro Alto, Goiás, em posição de rupturas convexas de encostas, onde a erosão provoca o aparecimento de solos pouco espessos, que jazem diretamente sobre um saprolito ou material rochoso alterado, de espessura variável, devido à formação de uma superfície cárstica no limite da rocha sã.

Estes perfis pouco espessos apresentam, via de regra, numerosas analogias com a base de perfis profundos, bem desenvolvidos e que dominam os platôs aplainados da região.

Dentro de um quadro regional complexo, as rochas ultrabásicas de Barro Alto ocupam as partes mais elevadas do relevo, ressaltando topograficamente em relação às rochas circundantes e formando as altas superfícies que servem de divisor das águas das bacias do Paraná e Tocantins.

O relevo é fortemente acidentado, montanhoso, apresentando altitudes superiores a 1.000 m.

O clima se enquadra dentro do tipo AW da classificação de Koppen, possuindo verão

úmido e inverso seco. A temperatura média é da ordem de 26º C, exibindo amplitude térmica inferior a 5º C, enquanto que a precipitação anual média é de 1.700 mm.

A vegetação é tipicamente de cerrado, havendo gradação de cerrado fraco até cerradão, com algumas passagens para mata tropical do tipo ciliar, que acompanham os vales mais importantes.

## O PERFIL DE ALTERAÇÃO

Os perfis observados no campo e coletados para estudos pormenorizados de laboratório, ocupavam posições topográficas de rupturas convexas de encostas, em zonas onde a frente de erosão progride com a mesma intensidade que a alteração, o que resulta na formação de perfis pouco espessos e evoluídos em meios bem drenados, sob as condições climáticas atuais.

O perfil típico escolhido para representar analiticamente estas condições é pouco profundo, com espessura máxima de 80 cm. Sucintamente pode ser descrito da seguinte maneira:

BA 1 — rocha original — serpentinito constituído quase que exclusivamente, por olivina magnésiana (forsterita) altamente serpentinizada, associada a pequenas porcentagens de piroxênios (enstatita), também alterados, seja para serpentina, seja para talco. Minerais opacos estão presentes em porcentagem apreciáveis, podendo ser identificados a cromita e a magnetita. Calcita pode ocorrer esporadicamente.

A serpentinação da rocha deu origem a estreitas faixas de cristolita asbestiforme, que envolvem antigoritas fibrosas ou maciças. Cristais de olivinas persistem localmente, apresentando-se completamente ilhados pela antigorita. Este fenômeno, geral em todos os maciços

ultrabásicos, não será objeto de discussão, pois apesar das inúmeras controvérsias existentes a respeito de sua origem, é certa sua ligação com processos hipógenos que não dizem respeito ao objetivo do presente trabalho.

A rocha serpentinizada mostra-se altamente fraturada, apresentando juntas preenchidas por quartzo secundário, geneticamente relacionados ao processo de serpentinação.

BA 2 — Serpentinito parcialmente alterado — apresentando características semelhantes às do BA 1.

BA 3 — Saprolito fino — constitui uma camada heterogênea de rocha alterada, possuindo fragmentos de serpentinito mais ou menos intemperizados, que se encontram esparsos em uma matriz fina, de textura limo-argilosa e de coloração 2,5 YR 3/6. Sua espessura é variável entre 10 e 40 cm.

BA 4 e BA 5 — Horizontes inferior e superior do solo — Camadas relativamente homogêneas, exibindo nitidamente os efeitos dos processos pedogenéticos. A espessura máxima é de 40 cm. Sua textura é barrenta a limo-argilosa, apresenta estrutura fraca poliédrica e a coloração é 2,5 YR 3/4. Nestes dois horizontes são frequentes os nódulos de argilas.

## EVOLUÇÃO MINERALÓGICA DO PERFIL

A evolução mineralógica do perfil foi acompanhada por meio de análises efetuadas com o auxílio de raios X, métodos térmicos (ATD e ATG), e microscópio polarizante. Estas técnicas foram aplicadas não somente no estudo do material global e das diferentes frações granulométricas, como também no estudo dos minerais individualizados, separados dos diferentes horizontes de alteração com o auxílio de placas vibradoras e ou separador magnético.

A tabela 1 apresenta os resultados semi-quantitativos dos diferentes níveis analisados.

TABELA 1  
ANÁLISES MINERALÓGICAS DO  
PERFIL BA

	BA-1 serpen- tinito	BA-2 serpen- tinito alterado	BA-3 sapro- lito	BA-4 solo- hori- zonte infer- ior	BA-5 solo- hori- zonte super- ior
Serpentina	+++	+++	++	+	tr
Olivina	++	+	-	-	-
Talco	+	+	++	++	++
Calcita	tr	-	-	-	-
Cromita	+	+	+	++	++
Magnetita e Ilmenita	+	+	+	+	+
Goethita	-	-	++	+++	+++
Quartzo	-	-	+	++	++
Clorita	-	+	+++	++	++
Amorfos	-	+++	++	++	+

+++ abundante  
++ frequente  
+ escasso  
tr traços  
- ausente

**Olivina** — Este material que deveria constituir a quase totalidade da rocha ultrabásica original, sofreu intensa serpentização, restando no serpentinito uma porcentagem relativamente reduzida de cristais de olivina, que se apresentam como núcleos isolados, envolvidos por um reticulado de antigorita.

Sua alteração é extremamente rápida, e o estudo das secções delgadas permitiu seguir sua evolução, que corresponde a uma dissolução congruente, que envolvendo suas bordas, deixa restos inalterados de olivina cercados por um material amorfo, fortemente colorido de vermelho, devido à presença de ferro. Provavel-

mente, trata-se de um gel amorfo de ferro e silício, semelhantes aos encontrados por Bonifas (1959), Delvigne (1965) e Trescasses (1973) no estudo das alterações processadas em clima tropical e aos obtidos experimentalmente por Pedro e Melfi (1971). Finalmente, o próprio gel evolui, sofrendo intensa dessilicificação e possibilitando a individualização do ferro com a cristalização da goethita.

Nestas condições verifica-se que a hidrólise da olivina conduz, única e exclusivamente, à cristalização de hidróxidos de ferro, não tendo sido constatada a neo-formação de silicatos secundários, tipo serpentina. Na realidade, sua gênese no processo de alteração superficial é praticamente impossível, considerando que os valores da energia livre de formação da antigorita, apresentados por Garrels and Christ (1965), sugerem o inverso, isto é, sua meteorização na superfície do Globo.

**Serpentinas** — Na rocha serpentizada, antigorita constitui o mineral essencial, ocorrendo associado a pequenas quantidades de crisotila. Ambas apresentam uma certa estabilidade face aos processos intempéricos, sobretudo no início da alteração, sofrendo posteriormente uma marcada degradação e praticamente desaparecendo do perfil.

Nestes estádios iniciais o reticulado estrutural formado pelas serpentinas, passa a exibir uma forte coloração amarelada, devido à absorção de parte do ferro liberado pela hidrólise da olivina, que já se apresenta totalmente alterada.

As análises térmicas diferenciais realizadas nos diferentes níveis de alteração, permitiu seguir a evolução das serpentinas. O pico endotérmico, situado entre 600 e 700°C, diminui de intensidade, ao mesmo tempo que sofre um alargamento e uma certa dissemetria (Fig. 1). À medida que a alteração progride há o aparecimento de um pico duplo, verificado também por Trescasses (1973) no estudo da alteração

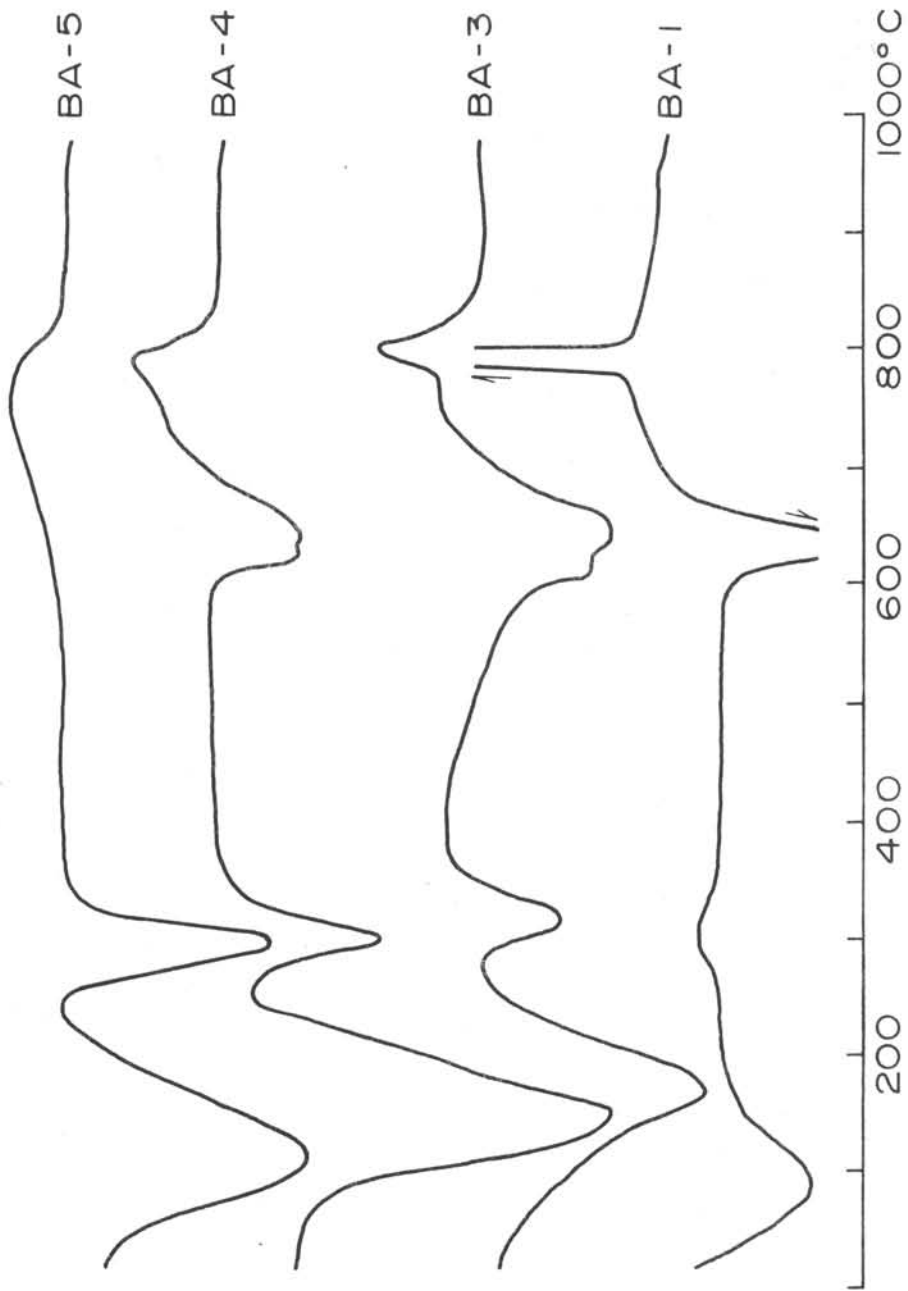


Fig.1-Análise térmica diferencial das amostras totais nos diferentes níveis de alteração.



das rochas ultrabásicas da Nova Caledônia. De acordo com Caillère (1939) este fato talvez estivesse ligado à formação de uma segunda geração de antigorita, mais níquelífera, e portanto apresentando temperatura de desidratação mais baixa. Se esta assertiva fosse válida no presente estudo, deveríamos ter observado uma maior estabilidade da serpentina no perfil de alteração, o que não foi verificado.

**Clorita** — Este material apresenta problemas genéticos que não puderam ser perfeitamente caracterizados. Ele não aparece na rocha original, porém torna-se o mineral mais importante no saprolito, diminuindo posteriormente em direção aos horizontes superiores, sem contudo desaparecer do perfil.

Apesar de poder formar-se em condições supergênicas, sobretudo nos primeiros estádios de alteração de rochas ultrabásicas, quando as condições físico-químicas do meio, são compatíveis com sua cristalização, parece não ter sido este o caso no perfil estudado pois o tamanho e a composição química de seus cristais não justificam esta hipótese. As cloritas observadas são demasiadamente grandes para que possam ser consideradas como formadas por processos meteóricos, encontrando-se concentradas nas frações areia grossa e areia fina. Em segundo lugar, a análise térmica gravimétrica deste mineral (Fig. 2), permitiu a caracterização química das camadas de brucita e mica, que constituem seu edifício cristalino, ficando evidenciada sua natureza magnésiana, com perdas de água por volta de 600 e 800°C (Caillère et Henin, 1960). Se realmente sua gênese estivesse ligada a processos superficiais, seria mais lógico esperar a entrada de ferro nas camadas de brucita e mica, ao invés do magnésio.

A ocorrência, na região, de veios hidrotermais de clorita poderia explicar presença deste mineral no perfil estudado, se bem que não notamos qualquer evidência de sua existência no local.

Sua evolução no perfil, seguida por meio de análises aos Raios X, mostra que a clorita (Fig. 3) é um mineral relativamente resistente e sua alteração se processa lentamente, através da formação, nos horizontes superiores, de edifícios cristalinos interestratificados clorita-smectita, ligeiramente expansivos, mais ainda de caráter essencialmente cloríticos.

**Opacos** — Dentre os minerais opacos, a cromita aluminosa é o mineral mais resistente, sofrendo acumulação relativa nos horizontes superficiais. Na rocha original a cromita se apresenta normalmente como pequenos cristais automórficos, intimamente associados aos minerais essenciais do serpentinito. No solo, a cromita aparece liberada e concentrada. Em alguns grãos puderam ser notadas nítidas evidências de corrosão.

**Goethita** — Constitui um dos principais minerais de neogênese do perfil. Sua formação não é imediata, havendo uma certa defasagem entre a rápida liberação do ferro dos silicatos primários e sua oxidação, com os primeiros indícios de cristalização da goethita.

A liberação do ferro observada em lâminas delgadas, quer pela coloração das antigoritas, quer pelo preenchimento de fissuras, dá origem a grande quantidade de material amorfo, que pode ser constatado nas análises térmicas do perfil (Fig. 1). Nesta primeira fase, a forte concentração em sílica e cátions básicos apresentada pelas soluções percolantes parecem inibir a cristalização do ferro, que se individualiza como hidratos de ferro amorfos, comumente encontrados nas alterações em climas tropicais. Na figura 1 podemos notar que o pico exotérmico a 275°C, característicos da goethita somente vai aparecer bem mais tarde no saprolito, quando certamente as soluções de percolação são bem mais diluídas, tendo permitido a dessilicificação e dessalcalinização dos geles. Pedro et Melfi (1971) em pesquisa realizada sobre o comportamento de geles sintéticos, de composi-

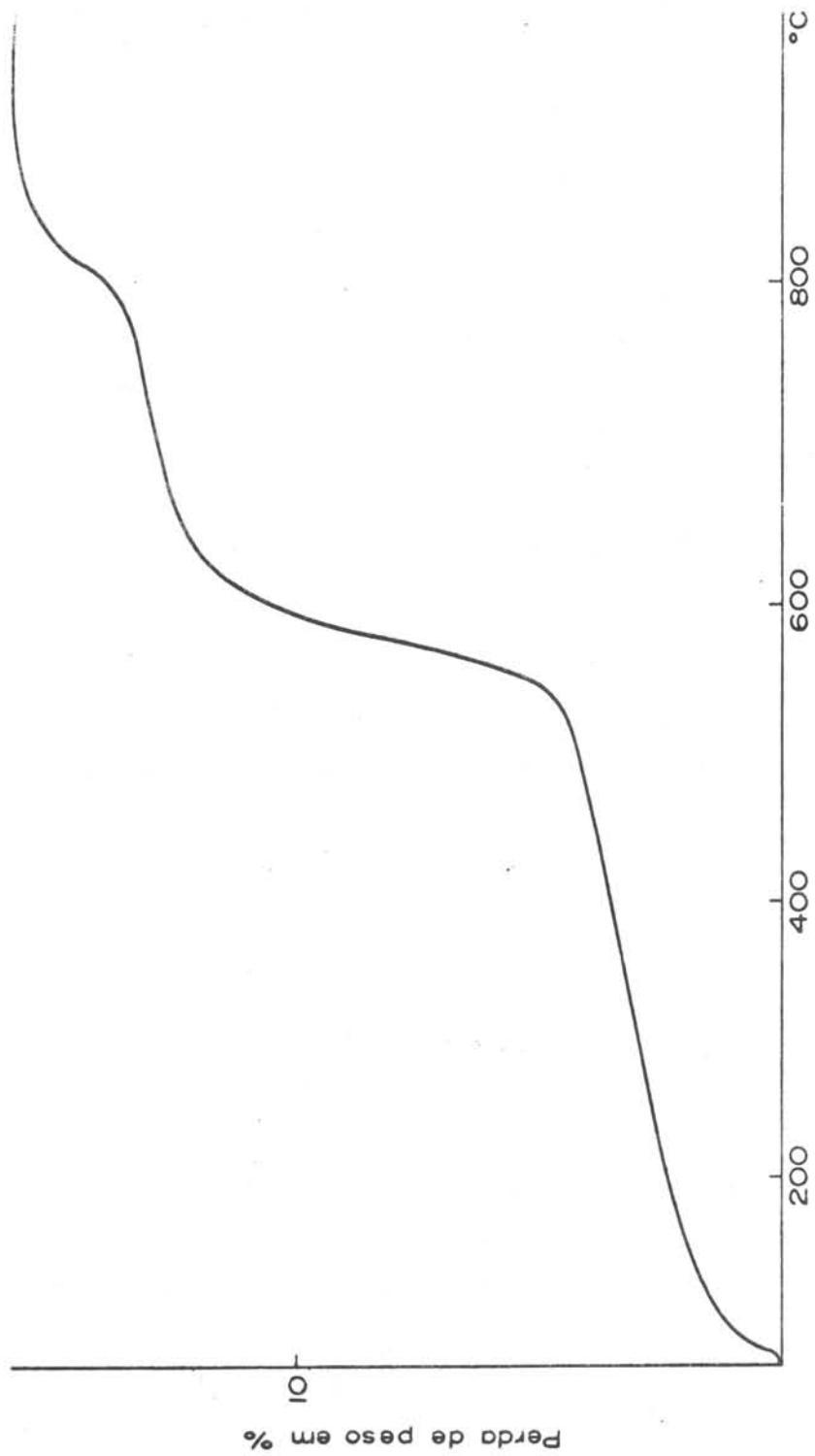


Fig. 2 - Análise térmica gravimétrica da clorita separada do horizonte BA-(saprolita)



ção sílico-férricos, demonstraram a importância da sílica na inibição da cristalização destes compostos amorfos.

**Quartzo** — Este material sofre no perfil uma forte concentração residual, que resulta de sua alta estabilidade no meio superficial.

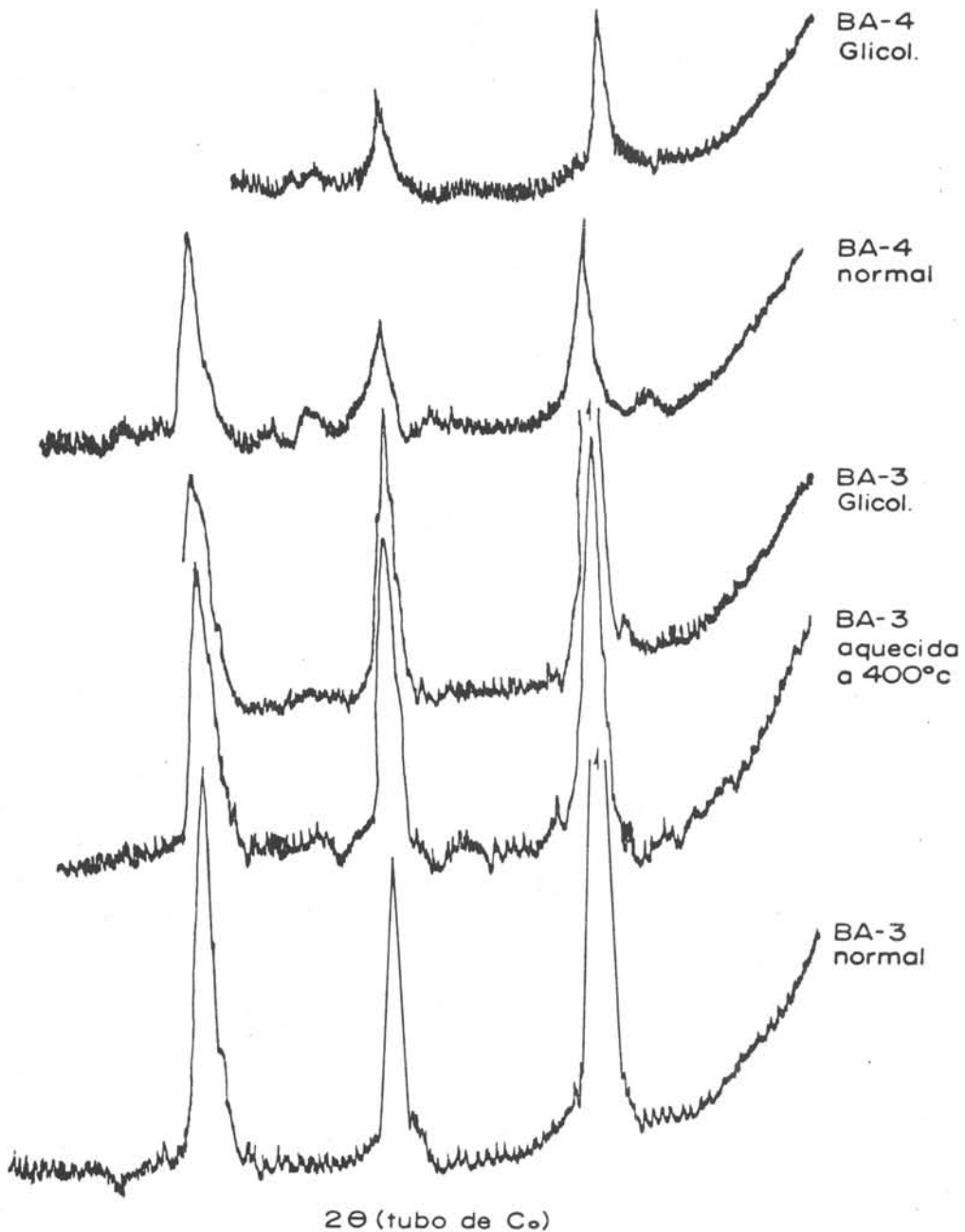


Fig. 3-Difratogramas de raios X das cloritas extraídas dos horizontes BA-3 e BA-4. A amostra BA-4 tratada com etileno-glicol apresenta uma ligeira expansão.

Apesar de não estar presente na massa do serpentinito fresco ou alterado, já nestes estádios notamos sua presença preenchendo fissuras da rocha. Quando ocorre a formação do saprolito e a desorganização total da estrutura da rocha original, o quartzo passa a fazer parte da massa do material alterado, exibindo entretanto, as características típicas de um mineral secundário.

**Talco e calcita** — Encontrados em pequenas quantidades, na rocha serpentinizada original, tiveram no decorrer do intemperismo, um comportamento totalmente diferente: o talco, geneticamente ligado ao processo de serpentinação é um mineral estável nas condições superficiais, permanecendo no perfil, enquanto que a calcita é altamente instável, desaparecendo por completo já nos primeiros estádios de alteração da rocha.

#### EVOLUÇÃO GEOQUÍMICA DO PERFIL

A tabela 2 reúne os dados das análises químicas efetuadas nos diferentes horizontes de alteração do perfil de Barro Alto.

Para o estudo do comportamento dinâmico dos elementos no decorrer da evolução do processo meteórico foi aplicado o cálculo isocrômico, tendo em vista a pequena ou quase nula mobilidade desse elemento nos diferentes níveis de alteração do perfil, ligada à alta estabilidade da cromita.

Desde os primeiros estádios de meteorização da rocha, a sílica é fortemente evacuada, sendo que já no saprolito, cerca de 70% da sílica inicial foi eliminada. À medida que a alteração progride esta porcentagem aumenta, alcançando valores por volta de 85%. A eliminação do magnésio é comparável, porém, mais marcante. O saprolito acusa uma evacuação de 89% do magnésio inicial, porcentagem esta que aumenta para 94% nos estádios seguintes.

TABELA 2  
ANÁLISES QUÍMICAS DOS DIFERENTES NÍVEIS DE ALTERAÇÃO E CÁLCULOS A CRÔMIO CONSTANTE

	Ba-1	Ba-3	BA-4	BA-5
SiO <sub>2</sub>	38,00	25,17	20,37	21,42
TiO <sub>2</sub>	0,02	0,07	0,10	0,09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,44	4,67	5,92	4,55
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,21	2,95	4,50	3,55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,86	40,47	41,30	38,26
FeO	1,36	1,27	1,90	1,73
MnO	0,15	0,67	0,82	0,78
MgO	31,67	8,40	7,13	8,11
NiO	2,55	3,40	2,21	2,33
CaO	0,70	1,45	1,90	1,65
H <sub>2</sub> O total	12,85	10,80	15,00	16,38
<b>TOTAL</b>	<b>98,54</b>	<b>99,32</b>	<b>101,14</b>	<b>98,85</b>
SiO <sub>2</sub>	—	-73%	-86%	-81%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	-68%	-12%	-32%
FeO	—	-62%	-63%	-57%
MgO	—	-89%	-94%	-91%
NiO	—	-45%	-77%	-66%
CaO	—	-15%	-28%	-20%

A eliminação mais fraca da sílica em relação ao magnésio está ligada à presença de quartzo no perfil, proveniente do processo de serpentinação. A sílica, liberada da alteração dos silicatos, foi evacuada juntamente com o magnésio, não permanecendo nem para formar estruturas de minerais de neo-formação, nem como constituintes de produtos amorfos, excessão feita ao início da alteração. A aplicação do método de Segalen (1968) na caracterização dos produtos amorfos do perfil BA, evidenciou única e exclusivamente a presença de ferro, associada pequenas quantidades de níquel.

O ferro é o único elemento essencial da rocha original a sofrer concentração no decorrer da meteorização, passando a formar o principal constituinte do perfil de alteração. No saprolito sua concentração real atinge cerca de 70%.

O níquel apresenta certa mobilidade, sendo parcialmente eliminado do perfil. Nos primeiros estádios de alteração sua evacuação é pouco importante, pois o níquel liberado dos minerais primários por hidrólise pode ser parcialmente precipitado na forma de  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ . As condições de pH existentes no meio favorecem sua imobilização. Posteriormente, o pH atingindo valores menos alcalinos (7,2 no saprolito e 6,1 no solo) favorece a mobilização do elemento, que passa ser evacuado com uma maior velocidade. Parte do níquel pode permanecer ainda no perfil, seja migrando para a sua base, onde as condições físico-químicas favorecem sua permanência, seja associado aos produtos amorfos ou ainda à goethita (Trescases, 1973)

### CONCLUSÕES

As rochas ultrabásicas de Barro Alto, antes de sofrerem os efeitos da alteração superficial, foram afetadas por uma fase de alteração hipógena, que resultou na transformação parcial ou total de seus silicatos primários (olivinas e piroxênios) em minerais do grupo da serpentina e talco.

Esta nova rocha, constituída por olivina, serpentina, talco e minerais opacos (cromita, magnetita e ilmenita) foi submetida à ação dos agentes meteóricos reagindo da maneira seguinte:

— A olivina é o primeiro mineral a se alterar, desaparecendo do perfil antes mesmo da rocha se apresentar totalmente alterada. Sua hidrólise se traduz pela liberação e lixiviação do magnésio e de parte do silício e formação de um resíduo amorfo sílico-ferruginoso. Este material, no decorrer da alteração, sofre intensa dessilicificação, cristalizando-se na forma de goethita.

— A serpentina começa a se alterar bem

mais tarde. Sua dissolução pode ser congruente, deixando como no caso anterior, somente um resíduo amorfo ferruginoso que evolui para goethita.

— A goethita é o único mineral de neoformação presente. Todo o ferro liberado dos edifícios cristalinos primários se concentra praticamente na forma de goethita. Os teores elevados de sílica nas soluções que percolam o perfil, impedem a ligação sílica-ferro para a formação de silicatos de ferro (nontronita).

— O quartzo e a clorita, minerais que não aparecem na rocha original, mas formados na fase de serpentinização das rochas ultrabásicas, se concentram no perfil de alteração, sofrendo a clorita um certo processo de degradação nos horizontes superiores com a formação de edifícios cristalinos interestratificados clorita-smectita

Do ponto de vista geoquímico a alteração provocou a eliminação quase total do magnésio, devido a alta solubilidade de seus compostos. A sílica apresenta acentuada lixiviação, em especial na passagem para o saprolito. As condições de alcalinidade apresentadas pelo perfil nas fases iniciais da alteração permitem sua maior solubilidade, sendo atingida a saturação, havendo a formação transitória de produtos amorfos.

— O ferro é o único elemento a se concentrar no perfil. Sua rápida oxidação, para o estado de ferro trivalente, que ocorre logo após a liberação dos edifícios cristalinos primários, possibilita sua imobilização, inicialmente na forma de gel amorfo, e posteriormente na de goethita.

— O níquel é rapidamente liberado dos silicatos, permanecendo momentaneamente no perfil devido ao fato de que as condições de pH são francamente alcalinas. Com o decorrer da evolução, o pH torna-se ligeiramente ácido

e o Ni é colocado em solução, sendo eliminado parcialmente do perfil. Parte do níquel perma-

nente no perfil ligado aos produtos amorfos e goethita.

---

## BIBLIOGRAFIA

- BONIFAS, M. (1959) – *Contribution à l'étude géochimique de l'altération latéritique (Thèse)*. Mem.Serv.Carte Géol.Als.Lorr., Strasbourg, n° 17, 159p.
- CAILLÈRE, S. (1936) – *Les antigorites nichéli-fères de Nouvelle-Calédonie*. in: "Contribution à l'étude des minéraux des serpentines" (Thèse). Bull.Soc.Fr.Miner., Paris, 59: 286-298.
- CAILLÈRE, S. et HENIN, S. (1960) – *Etude minéralogique de certains minerais de Nickels "minerai chocolat"*. Silicates industriels, Bruxelles, Belg. 25, n° 6, p. 293-296.
- DELVIGNE, J. (1965) – *Pédogenèse en zone tropicale. La formation des minéraux secondaires en milieu ferrallitique (Thèse)*. Mém. ORSTOM, n° 13, Dunod, édit. Paris, 177p.
- ESWARAN, H et SYS, C. (1972) – *Clay mineralogy of soils on ultrabasic rocks from Sabah. Bornéo*. Int. Clay. Conf. Madrid, 1972, 1 Preprints: 271-282.
- GARRELS, R.M. et CHRIST, C.L. (1965) – *Solutions, Minerals and Equilibria* Harper and Row. New York, 450 p.
- MILLOT, G. (1964) – *Géologie des Argiles*. Masson, Paris, 499p.
- PEDRO, G. (1964) – *Contribution à l'étude expérimentale de l'altération géochimique des roches cristallines (Thèse)*. INRA Paris, Ann. Agron. 15, (2) 85-191; (3) 243-333; (4) 339-456.
- PEDRO, G et MELFI, A.J. (1970) – *Recherches expérimentales sur le comportement des hydrates ferriques et des constituants silico-ferriques amorphes en milieu lessivé. Influence de la présence de silicate dans les solutions d'altération sur le développement des phénomènes évolutifs*. Pédologie; GENT B., 20 (1) 5-33.
- SHELLMANN, W. (1964) – *Zur Lateritischen Verwitterung von Serpentin*. Geol. Jahrb. Hannover, 81, 645-677.
- SEGALIN, P. (1968) – *Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols à hydroxydes tropicaux*. Cah. ORSTOM, Sér. Pédologie, Bondy, 6 (1): 105-126.
- TRESCASES, J.J. (1973) – *L'évolution géochimique supergène des roches ultrabasiques en zone tropicale et la formation des gisements nickélifères de Nouvelle-Calédonie (Thèse)*. L'Université Louis Pasteur de Strasbourg. C.N.R.S., édit. Paris, 347p.
- WILSON, M.J. (1969) – *A gibbsite soil derived from the weathering of on ultrabasic rocks on the island of Rhum*. Scott. J. Geol. S. 81-89.