NÃO CIRCULA

ESTUDO MINERALÓGICO DE ARGILAS DO MACIÇO ALCALINO DE
POÇOS DE CALDAS

ANTONIO CARLOS MONIZ

DEDALUS - Acervo - IGC

30900008941

Tese de Doutorado em Ciências apresentada à
Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da
Universidade de São Paulo
1964

AGRADECIMENTOS

Expressamos os nossos agradecimentos ao Prof. Rui Ribeiro Franco, pela valiosa orientação dada ao presente trabalho; ao Prof. Pérsio de Souza Santos, pelo apôio, estímulo e crítica ao manuscrito; à Dra. Helena Lopes de Souza Santos, pela microscopia eletrônica que muito auxiliou a elucidação de certos problemas; ao Geólogo Don Duane Williams, da Companhia Geral de Minas, e Eng.^o-Min. Ricardo Affonso Junqueira, pelo auxílio material aos trabalhos de campo, o que tornou possível o estudo de toda a área do planalto de Poços de Caldas, assim como a discussão de alguns problemas da Geologia da região; ao Eng.^o-Min. Resk Frahy e aos Geólogos da Comissão Nacional de Energia Nuclear, pelas sugestões apresentadas a respeito de problemas específicos surgidos durante os trabalhos de campo; à Cerâmica Togni Ltda., pelas análises químicas de depósitos de argila refratária, assim como pelas facilidades que nos proporcionou para o estudo de suas jazidas; ao Eng.^o-Quím. Alcyr Cesar do Nascimento, Chefe da Seção de Agrogeologia, cujo apoio foi essencial para levar a bom termo a elaboração deste trabalho.

Agradecemos, ainda, a todos os que nos ajudaram nesta tarefa, funcionários do Instituto Agrônomo e especialmente o Eng.^o-Agr.^o José Pereira de Queiroz Netto; o Geólogo Adolpho Melfi; os Srs. Jordão Nepote, pelas análises químicas; Raphael Pompêo de Camargo e Ferdinando Domingos, pela execução de numerosos desenhos; a Sra. Sancha de Lourdes Lopes De Marco pela datilografia; os Srs. Oswaldo Gentil de Macedo, pelas cópias fotográficas; Odhemar Teizen, pela leitura e correção do texto e Wilson Presence pela impressão.

Este trabalho foi desenvolvido na Seção de Agrogeologia, do Instituto Agrônomo de Campinas.

aos meus pais

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	1
Revisão de literatura sobre a formação de argilas-minerais na natureza	2
Argilo-minerais formadas pela ação hidrotermal	3
Argilo-minerais formados pela ação do intemperismo	3
Geologia da região	7
PARTE I - MATERIAIS E MÉTODOS	11
Difração de raios-X	13
Microscopia eletrônica	14
Lâminas petrográficas	15
Análise térmica diferencial	15
PARTE II - RESULTADOS	
CAPÍTULO I: Argilas formadas pela ação do intemperismo	16
Depósitos residuais (de regiões elevadas)	18
Depósito de argila refratária (em baixadas)	18
Difração de raios-X	20
Depósitos de argilas refratárias	24
Ocorrências estudadas	24
Microscopia eletrônica	28
Análise térmica diferencial	28
Cór das argilas	32
Outros depósitos de argilas	32
Conclusão do capítulo	34
CAPÍTULO II: BAUXITOS	35
Difração de raios-X	35
Conclusão do capítulo	36
CAPÍTULO III: ARGILAS FORMADAS POR RESSILICATIZAÇÃO	40
Bauxito branco	40
Argilas ocupando fendas de bauxito	41
Estrada velha Poços de Caldas-Caldas	41
Campo do Areão (PB-2)	43
Estrada de Poços de Caldas-Cascata	43
Corte de Estrada Poços de Caldas-Andradas	45
Morro do Serrote	45
Argilas ocupando fendas (material transportado	45
Conclusão do capítulo	45
CAPÍTULO IV: ARGILAS FORMADAS POR METASSOMATISMO HIDROTHERMAL.....	49
Morro do Taquari	49
Corte de estrada Poços de Caldas-Andradas	54
Tamanduá	58

Morro do Ferro	63
Morro do Serrote	68
Estação de Cascata	73
Campo do Barreiro	73
Campo do Saco	75
Rua dos Inconfidentes	75
Campo do Barro Branco	75
Estrada Poços de Caldas-Poginhos	77
Relação entre os depósitos de argilas formadas por metassomatismo hidrotermal	77
Conclusão do capítulo: Sequência de Formação	80
PARTE III - DISCUSSÃO	
Argilas formadas pela ação do intemperismo	84
Bauxitos	84
Argilas formadas por ressilicatização	85
Argilas formadas por metassomatismo hidrotermal	86
PARTE IV - CONCLUSÕES	90
BIBLIOGRAFIA CITADA	94
APÊNDICE 1A	95
APÊNDICE 1B	104

* * * * *

INTRODUÇÃO

A atenção com que pesquisadores dos vários setores da geologia voltam suas vistas para o maciço de Poços de Caldas prende-se a sua natureza geológica, que consiste, essencialmente, de rochas alcalinas; nêles se encontram depósitos minerais de valor econômico, provenientes; a) do estágio final de atividade hidrotermal, quando foram depositados, principalmente, minérios de zircônio (caldasito) contendo urânio, concentrações de terras raras e de tório; b) encontram-se também depósitos de argilo-minerais de natureza supérgena e hidrotermal e depósitos de bauxito, ambos os tipos provenientes da alteração das rochas alcalinas do planalto.

Inicialmente, o interesse pela região do planalto de Poços de Caldas foi de natureza mais acadêmica, por ser constituída por rochas alcalinas e, ainda, por ser a maior ocorrência desse tipo de rocha no Brasil, com cerca de 800 km² de área.

Atualmente, em face da grande atenção com que tem sido objeto os diferentes tipos de depósitos minerais de valor econômico, o planalto de Poços de Caldas tem sido estudado de maneira mais profunda, o que conduzirá, por certo, a um conhecimento mais detalhado sob vários pontos de vista, visando, assim, um melhor aproveitamento de seus recursos naturais. Sob o ponto de vista tecnológico, o maior interesse pelo planalto de Poços de Caldas se prende ao grande e variado número de depósitos, constituído, principalmente, por depósitos de zircônio contendo urânio, de terras raras e tório, depósito de bauxitos e de argilas refratárias. Com exceção desse último tipo de depósitos, todos os mais já foram estudados, existindo uma boa bibliografia a respeito.

O objetivo do presente trabalho é o estudo da composição mineralógica dos depósitos de argilas do planalto de Poços de Caldas e, nos casos em que foi possível, estabelecer o mecanismo da sua formação a partir das rochas alcalinas.

Trabalhos anteriores

Após Derby (1) ter reconhecido a natureza das rochas do planalto de Poços de Caldas, uma série de outros investigadores estudaram a região. Assim é que Barboza (2,3,4), Guimarães (5) prosseguiram no estudo da geologia do planalto. Ellert (6) depois de estudar a geologia, apresentou, conjuntamente, com Björnberg e Coutinho, o mapa

geológico do maciço. Björnberg (7) realizou estudos sobre as rochas clásticas da região; a petrografia foi estudada por Machado (8) e Branco (9), que também fez considerações sobre a geologia. Guimarães e Moraes (10) estudaram um mineral raro, que contém zircônio e terras raras, eudialita, encontrado num fioaíto do Morro do Serrote. Os depósitos de zircônio foram estudados por Teixeira (11), Franco (12), Guimarães (13); estudos sobre a utilização tecnológica desses minérios de zircônio foi feita por Angeleri (14), Bergström Lourenço e Souza Santos (15,16); os constituintes radioativos foram estudados por Tolbert (17 e 18), Guimarães, Campos e Figueiredo (19), Frahy (20); a extração do urânio foi estudada por Maffei, Pucci e Ferreira (21); os depósitos de bauxito foram estudados por Souza Santos (22), Teixeira (23), Harder (24), Weber (25); Souza Santos e Santini (26) estudaram a sua composição mineralógica por análise térmica diferencial; Guimarães e Dutra (27) estudaram a distribuição e a geoquímica de alguns elementos menores das rochas alcalinas do Brasil, ocasião em que estudaram rochas ao Planalto de Poços de Caldas.

Muito embora as rochas do planalto de Poços de Caldas se apresentem bastante decompostas, sendo comum pacotes até 40 metros de rocha alterada, além do grande minério de depósitos de argilas utilizadas para indústria de cerâmica branca e de refratários, há vários anos em exploração, não havia sido ainda publicados nenhum trabalho, sobre as mesmas, havendo apenas os estudos das propriedades cerâmicas das argilas refratárias feitas por Souza Santos e Ferron (28) e por análise térmica diferencial de Souza Santos e Santini (29). Ilchenko e Guimarães (30) estudaram a possibilidade de utilização agrícola, como fertilizante potássico, os sienitos decompostos, em que são encontrados teores apreciáveis de potássio. Os mesmos autores (31) estudaram o processo de decomposição das rochas do planalto, mas deixaram de lado o estudo de natureza dos argilo-minerais formados. Ashry (32) estudou 3 lâminas petrográficas de rochas decompostas coletadas por Correns, tendo encontrado caulinita, mica e metahalloysita ou halloysita - $2H_2O$ em uma lava aglomerática decomposta da localidade de Laranjeiras, Poços de Caldas.

Revisão de literatura sobre a formação de argilo-minerais na natureza

Numerosos trabalhos sobre a formação de argilo-minerais na natureza podem ser encontrados, sendo de ressaltar o livro de Grim (33) e a monografia de Keller (34); visando utilizar os conhecimentos atuais nesse campo, selecionou-se alguns trabalhos que melhor ilustram os diferentes processos de formação de argilo-minerais a par

tir de minerais e rochas e que servirão de base para a interpretação dos resultados obtidos para as argilas do planalto de Poços de Caldas.

Argilo-minerais formados pela ação hidrotermal

Sales e Mayer (35) estudando a alteração hidrotermal de quartzo-monzonito de Butte, Montana, U.S.A., encontraram um zoneamento na distribuição dos argilo-minerais formados pela ação de soluções mineralizadoras; a partir do meio responsável pela alteração, encontraram, inicialmente, uma zona de mica moscovita finamente dividida ou sericita (*) que continham além desse mineral, quartzo e pirita; todos os minerais primários estavam alterados; segue-se uma zona de caulinita, na qual o ortoclásio permanecia praticamente inalterado; nesta zona, a caulinita estava sempre acompanhada por montmorilonita, cuja concentração aumentava até se constituir numa zona bem definida; essa montmorilonita se originou da alteração do plagioclásio e está normalmente acompanhada por pequena quantidade de material amorfo; finalmente encontraram na região mais externa, a hornblenda e a biotita alterando-se em clorita.

Grim (33) cita exemplos de depósitos constituídos de um único mineral, como, por exemplo, o de Eureka, Utah, que é formado de halloysita; também faz menção de depósitos em que não apareceu o zoneamento encontrado por Sales e Meyer, mas uma superposição dos argilo-minerais. Grim (33) cita o conceito defendido por vários autores (Lovering, Kerr, Schwartz, Anderson), de ação hidrotermal desenvolvida em estágios por soluções diferentes aparecendo em diversos períodos de tempo se paradas por fases de relativa inatividade; em alguns casos os produtos desenvolvidos num dado estágio mostraram zoneamento, sendo o mais frequente o que produzia sericita junto ao veio; halloysita e caulinita e montmorilonita acham-se mais afastados e por último, encontram-se clorita e mica moscovita finamente dividida ou sericita; em outros casos, a halloysita e caulinita ocorreram junto com o veio.

Argilo-minerais formados pela ação do intemperismo

Goldman e Tracey (36) estudando depósitos de bauxito de Arkan-

(*) Não confundir com as micas hidratadas ou ilitas, ricas em ferro e de elevada capacidade de troca de cátions, que também apresentam espaçamento basal de 10 angstroms.

sas, proveniente de decomposição de nefelina-sienito mostraram que a ressilicatização do bauxito é mais comum do que tem sido reconhecido; estes autores não encontraram evidência da formação de bauxito a partir da caulinita; estas conclusões se baseiam em observações de campo.

Allen (37) estudando lâminas petrográficas de sienitos alterados de Arkansas, encontrou caulinita ou halloysita como produto inicial de decomposição feldspato ocupando o centro de um matação; à medida que se formaria à expensa dos argilo-minerais; o autor controlou os resultados dos exames petrográficos com difração dos raios-X.

Goldman (38), estudando petrograficamente rochas alteradas, das de o núcleo até as camadas concêntricas mais externas, de uma matação de exfoliação de nefelina sienito de Arkansas, encontrou o feldspato se transformando diretamente em gibbsita, com subsequente caulinitização daquele mineral; estes resultados confirmaram as conclusões apresentadas, no seu trabalho anterior, feito em colaboração com Tracey (36).

Bates (39) apresentou em gráfico o campo de estabilidade de halloysita- $4H_2O$ com a halloysita- $2H_2O$ ou caulinita, cuja separação dos campos é feita por uma curva muito próxima daquela da vaporização da água. O gráfico mostra que a halloysita- $4H_2O$ só é estável em baixas temperaturas e em contato com a água e a relação entre halloysita e caulinita encontrada sugere que a caulinita seria formada sob condições de maior umidade: outra evidência de natureza estrutural, a favor da relação obtida, é que devido insuficiência da pressão de vapor, as moléculas de água não serão incorporadas à estrutura, o que impedirá a formação de tubos, resultando, por isso, na formação de caulinita bem cristalizada. Nas condições em que a umidade não é constante, como nos casos de variação do lençol freático, a halloysita- $4H_2O$ e caulinita se formarão juntas.

A gênese dos argilo-minerais do grupo da montmorilonita está associada a ambientes úmidos alcalinos, ricos em ferro, cálcio e magnésio e a gênese do grupo da caulinita está associada a ambientes ácidos e boa drenagem das águas de lixiviação.

Harder (24), estudando depósitos de bauxito de Poços de Caldas, encontrou transição brusca entre a rocha alcalina não alterada e o bauxito: e o exame com microscópio petrográfico revelou a transformação direta da nefelina em gibbsita. Aquêl autor representou a estrutura do bauxito formado pela figura 1.

Bates (Ref.40, p. 207), discutindo o mecanismo de formação dos argilo-minerais, lembrou as seguintes questões que bem traduzem o problema: "em que extensão a estrutura do feldspato é destruída?"; "Em que extensão os géis de alumina ou sílica são formados na superfície?"; "E-

xiste alguma evidência de que a estrutura atômica dos argilo-minerais, é "herdada" dos feldspatos sem passar por uma fase de gel intermediária?" Estes problemas ainda estão pendentes, havendo divergência sobre os possíveis mecanismos de formação, por parte de vários autores que se dedicam a esse assunto.

Sand (41), em tese de doutoramento feita sob orientação de Bates, estudou a gênese de caulins residuais provenientes de rochas ácidas; mostrou que os feldspatos, ora produzem, por decomposição, mica moscovita finamente dividida ou sericita, que depois se altera para caulinita, ora formou diretamente, halloysita- $4H_2O$, constituída por partículas de formato tubular; ambos os casos podem se verificar concomitantemente na mesma ocorrência. Foi observado que a mica moscovita produz caulinita por alteração, e que a halloysita- $2H_2O$ só ocorre em locais expostos à irradiação solar direta, que eleva a temperatura.

Bates (42) estudando decomposição de rochas básicas das ilhas do Havai encontrou óxidos e hidróxidos de alumínio, ferro e titânio, como produtos finais, quando chuvas eram de intensidade moderada a alta e o terreno apresentava declives favoráveis para a lixiviação contínua. Contudo, o processo principal era a formação de produtos intermediários, em condições desfavoráveis para a transição completa, como, por exemplo, nos lados secos de cada ilha que compõe o arquipélago. Os produtos intermediários são constituídos de halloysita, formada a partir do plagioclásio, e que é o principal componente, e de montronita, serpentina e magmita todos formados a partir da olivina. A caulinita não foi encontrada, nem tampouco a mica moscovita permanente dividida ou sericita que é o mineral intermediário na transformação do feldspato e caulinita.

Garrels e Howard (43) estabeleceram o campo de estabilidade dos feldspatos potássico, mica moscovita e caulinita, em pressão e temperatura baixas, em função da atividade de K^+ e OH^- , como pode ser visto na figura 2, onde a mica aparece como produto intermediário, na sequência de transformação do feldspato para caulinita; e a linha pontilhada indica a reação metastável do feldspato em caulinita.

Grim (33) apresentou algumas generalizações possíveis sobre a formação de argilo-minerais a partir de rochas básicas e ácidas. No primeiro caso, sob condições de drenagem pobre ou pequena quantidade de chuva, forma-se montmorilonita; em condições de drenagem boa ou chuvas intensas, quando o magnésio é lixiviado forma-se caulinita. Illita e montmorilonita são formadas a partir de rochas ácidas que contêm potássio e magnésio; se o conteúdo de magnésio é baixo, forma-se illita; no caso de ser baixo o conteúdo de potássio, forma-se montmorilonita.

FIG. 1 - DETALHE DA ESTRUTURA DO BAUXITO DE POÇOS DE CALDAS, SEGUNDO HARDER.

FIG. 2 - CAMPO DE ESTABILIDADE DO FELDSPATO, MICA E CAULIM, SEGUNDO GARRELS E HOWARD.

Remoção rápida de potássio e magnésio conduz formação de caulinita. Com base nos trabalhos citados é possível esquematizar os mecanismos de transformação de um feldspato para se transformar em argilo-mineral por perda de sílica e de metais alcalinos ou alcalino-terrosos. Essas transformações acham-se esquematizadas na figura 3.

Geologia da região

O maciço alcalino de Poços de Caldas acha-se situado, geologicamente, nos limites da bacia sedimentar do Paraná e dos contrafortes da Serra da Mantiqueira. Segundo Ellert (6), a intrusão da rocha alcalina se verificou em rochas graníticas e gnaissicas do embasamento cristalino. Na borda interna do maciço, acompanhando o contato com o encaixante, ocorrem sedimentos, conservados entre rochas piroclásticas, lavas e tinguaitos. Esses sedimentos são folhelhos com intercalações arenosas na base e arenitos com estratificação cruzada no topo.

Derby (1) estudou esses sedimentos, que foram identificados posteriormente por Barbosa (3), Freitas (44), e Björnberg (7). Segundo Barbosa (3) os folhelhos seriam de idade Permiana, situados nas formações Estrada Nova e Rio do Rastro, enquanto que os arenitos foram identificados como Botucatu.

Geologicamente associados aos sedimentos e às lavas, ocorrem as brechas, tufo e aglomerados dispostos numa faixa contínua, com largura variável.

As rochas alcalinas do planalto de Poços de Caldas são de tipos afins; mineralogicamente apresentam ligeira variação, havendo, contudo, grandes variações texturais, ocorrendo desde rochas afaníticas até rochas cristalinas de gran grossa, nas quais os cristais se apresentam, por vezes, com tamanho que se aproxima dos de pegmatitos.

Como rochas efusivas e hipabissais, encontram-se:

- a) Fonolito - termo extrusivo ou intrusivo de pequena profundidade; forma pequenos derrames com ligeira inclinação para o interior do maciço, segundo Ellert (6). Essas rochas quando inalteradas, sua cor é castanho-escura com textura fluidal visível;
- b) Tinguaitos - grande parte do complexo é constituído de rochas afaníticas, porfiríticas, sacaróides ou granular, com coloração variando de preto a verde, sendo considerados como componentes hipabissais dos fonolitos. O dique anelar da área é formado pelo tinguaito.

Guimarães (13) determinou a seguinte frequência para os minerais que compõem os fonolitos e tinguaitos:

Figura 3 - Esquema de transformação.

—————> condições conhecidas
 - - - - -> condições desconhecidas

Feldspato alcalino	44,8 %
Nefelina	20,9 %
Piroxênio sódico	16,8 %
Zeólitas	12,4 %
Minerais de zircônio	3,3 %
(giannettita e pennaita)	

No grupo dos tinguaitos encontrados no planalto de Poços de Caldas, tem-se rochas com pequenas variações mineralógicas mineralógicas descritas por Ellert como os pseudo-leucitas tinguaitos, analcita-tinguaitos ou analcita fonolito e brecha de tinguaito.

Além das rochas efusivas e hipabissais, encontra-se um tço de rochas plutônicas formando o restante do maciço de Poços de Caldas; essas rochas são foiaito, foiaito traquitóide, lujauro e chibinito.

Harder (24) apresentou duas análises químicas de rochas alcalinas de Poços de Caldas, nas quais se pode notar a semelhança entre a composição do fonolito e o foiaito (tabela I).

-oOo-

As razões principais de natureza teórica de ter sido escolhido o planalto de Poços de Caldas como objetivo de estudo de argilas, prende-se aos dois fatos seguintes:

- a) ausência de mica nas rochas alcalinas, o que permitiu o estudo da transformação feldspato - mica - caulinita, que é difícil de ser seguida numa rocha que contém aquele mineral;
- b) a ausência de rochas encaixantes no topo do planalto tornou possível o estudo sem influência de contribuições trazidas por outros tipos de rochas, que não as alcalinas.

-oOo-

Tabela I - Análise química de rochas alcalinas de Poços de Caldas.

	Fonolito (*)	Foiáito (**)
SiO ₂	53,06	53,18
Al ₂ O ₃	20,85	21,18
Fe ₂ O ₃	4,47	3,39
FeO	0,79	0,76
MgO	0,61	1,60
CaO	1,29	1,01
Na ₂ O	7,18	7,34
K ₂ O	8,32	8,24
H ₂ O ⁺	1,67	1,44
H ₂ O ⁻	0,25	1,20
TiO	0,35	0,70
P ₂ O ₅	0,10	1,10
BaO	0,20	0,18

(*) Analisado no Departamento Nacional da Produção Mineral.

(**) Analisado no Aluminum Company of Canada, Ltd., Arvida, Quebec.

PARTE I

MATERIAIS E MÉTODOS

Coleta das amostras - na figura 4, baseado no mapa Geológico de Ellert, Björnberg e Coutinho estão assinalados os locais da coleta do material proveniente de todos os tipos de rochas alcalinas que afloram no Planalto de Poços de Caldas. As amostras foram coletadas a distâncias regulares, praticamente cobrindo todo o planalto, a fim de se determinar, da melhor maneira possível, sua composição mineralógica e, com isso, obter-se uma idéia da distribuição das rochas alteradas, principalmente as resultantes da ação hidrotermal.

As amostras foram coletadas a pé ou de carro, ao longo de estradas de rodagem, caminhos carroçáveis etc., a fim de cobrir o maior número de pontos examinados, para um estudo mais minucioso. Foram visitados quase todos os depósitos de argilas em exploração para fins cerâmicos, depósitos de bauxito, assim como as principais ocorrências de rochas decompostas cortadas por veios de caldasito.

Em alguns cortes de estradas, principalmente a que liga a cidade de Poços de Caldas a Andradas, foi possível coletar material até a profundidade de 15 metros. Em profundidade semelhante, foi coletado material argiloso em locais de exploração de zircônio, onde existiam um grande número de trincheiras, o que facilitava o estudo do material de composto em profundidade e a possível ação hidrotermal, por ocasião da formação dos veios de caldasito, sobre as rochas encaixantes. Nos depósitos de argilas em exploração industrial, a profundidade máxima para coleta foi de 9 metros (Campo do Areão). O material estudado de maior profundidade que foi coletado no interior do Morro do Ferro, de onde foram retiradas amostras até 90 metros a partir da entrada de uma galeria horizontal, e que deve corresponder a uma profundidade de aproximadamente 50 metros.

Procurou-se coletar amostras, sempre que possível em diferentes alturas num mesmo barranco ou corte de estrada, a fim de verificar possíveis variações na composição mineralógica dos argilo-minerais. A variação da cor do material, assim como da textura, plasticidade, dureza etc., normalmente serviam de critério para a coleta de amostras. Nos casos dos depósitos de baixada, onde havia uma variação gradativa e mais ou menos constante da cor do material a partir da superfície até as partes mais profundas, foram coletadas amostras em linha vertical, dando-se uma numeração crescente a partir das amostras coletadas de cima para baixo.

LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS ESTUDADAS COM
DIFRAÇÃO DOS RAIOS-X E COLETADAS NO MACIÇO
ALCALINO DE POÇOS DE CALDAS.

MAPA GEOLÓGICO SEGUNDO ELLERT, BJÖRNBERG E COUTINHO

FIG. 4

ma para baixo, isto é, do solo para a rocha matriz. Todo o material coletado para esse estudo foi guardado em vidro ou em saco de polietileno, a fim de manter a amostra úmida e evitar a secagem e desidratação o que dificultaria a identificação da halloysita- $4H_2O$. Essas amostras foram em seguida examinadas por difração de raios-X, para a identificação dos argilo-minerais; uma vez feita a identificação, nos casos em que houve interesse, voltou-se a uma mesma região, área ou trecho de estrada, a fim de se fazer novas coletas de material argiloso, para certificar da extensão de cada uma daquelas ocorrências. Dêsse modo, foi possível mapear cada um dos tipos de ocorrências, com certa precisão; isto se fez, principalmente, porque, um mesmo processo de alteração pode ocorrer simultaneamente em diferentes tipos de rochas, e em topografias variáveis. Esse mapa se encontra na figura 5.

Difração de raios-X

O material antes de ser analisado por difração de raios-X foi moído completamente a fim de desfazer agregados e, em seguida, ainda úmido, foi colocado, sem orientação preferencial, no suporte do difratômetro Norelco, com tubo de cobre. As corridas ("scannings") em papel registrado das amostras que dão as reflexões basais foram realizadas entre ângulos 2θ , variando de 2° até 63° . Com isso, captava-se desde os espaçamentos ou distâncias interplanares largas até o espaçamento correspondente ao plano 060 dos grupos de caulinitas e montmorilonita, que é fundamental para a diferenciação entre argilo-minerais dioctaedrais e trioctaedrais.

Os argilo-minerais foram identificados pelo seu espaçamento basal, que podemos agrupar nos três tipos mais frequentes, que são os espaçamentos de 14, de 10, e de 7,2 angstroms. Como esses espaçamentos correspondem a mais de um mineral, foi necessário o emprego de técnicas auxiliares (Warshaw e Roy - ref.45) a fim de diferenciá-los. Essas técnicas baseiam-se na contração e expansão do espaçamento basal por meio de moléculas polares e pela ação da temperatura; foram empregadas na diferenciação entre halloysita- $4H_2O$ e minerais do grupo das micas, e na identificação do grupo da montmorilonita.

A diferenciação entre halloysita- $4H_2O$ e minerais do grupo das micas foi realizada da seguinte maneira: o mesmo material depois examinado por difração de raios-X entre 2° e 63° era aquecido a $100^\circ C$, a fim de verificar qualquer variação no espaçamento de 10 angstroms. A halloysita- $4H_2O$, que apresenta espaçamento de 10,0 angstroms, portanto semelhante aos minerais do grupo da mica, depois de aquecida. Foi esse espa-

çamento contraído para 7,2 angstroms que é o espaçamento basal do grupo da caulinita a mesma amostra úmida era embebida em etilêno-glicol, ou em glicerina, a fim de verificar a expansibilidade do espaçamento basal de 10,0 angstroms da halloysita- $4H_2O$, o qual se dilata para 11,0 angstroms. Na maioria das amostras estudadas que continham halloysita- $4H_2O$ o emprêgo de etilêno-glicol mostrou-se superior ao da glicerina: primeiro, porque dilatava tôdas as amostras; segundo, porque apresentava um pico bem definido correspondente ao espaçamento de 11,0 angstroms no difratograma, o mesmo não acontecia quando se utilizava a glicerina que normalmente formava um pico de pequena resolução, em forma de banda e de difícil interpretação de seu valor correto.

As amostras de halloysita- $2H_2O$ não foram expandidas quando submetidas ao mesmo tratamento. Nêsse caso, a irreversibilidade da reação é devida à possível contração do espaçamento basal da amostra devido ao aquecimento pelos raios solares; nas estações quentes a temperatura pode chegar acima de $30^{\circ}C$, o que impede a absorção de moléculas polares entre suas camadas estruturais no solo.

A montmorilonita quando submetida ao mesmo tratamento com substituição orgânica para expansão do espaçamento basal, ou mesmo somente embebida em água, apresenta uma dilatação da ordem de 3 a 4 angstroms.

Microscopia eletrônica

Depois de examinado com os raios-X todo o material coletado foram selecionadas amostras para serem fotografadas com o microscópio eletrônico. Com êsse dado completavam-se as informações obtidas com a difração dos raios-X e, com a combinação dêsses dois resultados, tinham-se dados valiosos para complementar as observações de campo e, ainda tornava possível a determinação da origem de certa ocorrência duvidosa, por meio puro e simples da análise mineralógica. A reunião dessas duas técnicas de análise permite um bom reconhecimento da decomposição mineralógica dos argilo-minerais do planalto, principalmente nos casos de misturas de caulinita e halloysita, como foi mostrado por Brindley, Souza e Souza Santos (46).

As amostras foram preparadas por dispersão em soluções aquosas de hidróxidos de amônio segundo a técnica de Souza Santos e Souza Santos (47); o exame das preparações, sem sombreamento metálico, foi feita no microscópio eletrônico Elmiskop II; as micrografias de campos representativos foram tomadas com aumentos de três a quatro mil vezes e am-

pliadas fotograficamente cinco vêzes.

Lâminas petrográficas

Para estudo da relação entre argilo-minerais formados a partir do material que lhe deu origem, foram estudadas cerca de 80 lâminas petrográficas.

Análise térmica diferencial

A análise térmica diferencial foi realizada num grande número de amostras, a fim de confirmar os resultados já obtidos pelos outros métodos, como também para estudar hidróxidos de alumínio amorfo (cliaquita) encontrados nos depósitos de bauxito. O equipamento de análise térmica diferencial utilizado foi o de registro manual, descrito por Kapel e Souza Santos (48) e calibrado da maneira descrita nesse trabalho com caulim do Sacomã e com mistura de quartzo, carbonato de bário e gibbsita; os termogramas obtidos são desenhados, colocando-se em abscissas as temperaturas e em ordenadas positivas as transformações exotérmicas e em ordenadas negativas as transformações endotérmicas.

-oOo-

PARTE II
RESULTADOS
CAPITULO I

ARGILAS FORMADAS PELA AÇÃO DO INTEMPERISMO

Observações de campo

A observação de campo com a identificação dos argilo-minerais no laboratório, principalmente pela difração de raios-X, permitiu a distinção de duas regiões do planalto de Poços de Caldas, segundo a natureza supergena ou hipógena dos processos que atuaram sobre as rochas alcalinas; dentro de cada região foi possível separar os vários produtos de alteração encontrados, o que permitiu sua divisão em áreas menores, as quais se acham assinaladas na figura 5.

Foi feita também a determinação da natureza e de frequência de ocorrência dos argilo-minerais encontrados e da sequência de sua formação. Nesse estudo foi necessário retornar às mesmas áreas já estudadas, após realizado as análises mineralógicas das amostras coletadas anteriormente, a fim de se verificar a extensão de cada ocorrência.

As principais evidências sobre a gênese dos argilo-minerais, obtidas a partir das observações de campo combinadas com o estudo mineralógico realizado pela difração dos raios-X, foram confirmadas com o estudo por microscopia eletrônica, como ocorreu, por exemplo, com as halloysitas formadas a partir de processos de hidrotermais, ressilicatização e intemperismo.

No presente capítulo são estudados os argilo-minerais provenientes da decomposição das rochas alcalinas pelo intemperismo, o que foi feito, inicialmente, por uma apreciação dos resultados obtidos com a difração dos raios-X de amostras de toda a área envolvida (figura 5). Posteriormente estudou-se um depósito de argila refratária do Campo do Areão com mais detalhe, a fim de se ilustrar, de maneira mais detalhada, os processos supérgenos encontrados no planalto de Poços de Caldas.

Três quartos da área do planalto 600 km² aproximadamente são constituídos por materiais de natureza supérgena e que podem ser classificados em três tipos diferentes, para facilitar seu estudo; a) depósitos de argilas residuais (regiões elevadas, acima das baixadas); b) depósitos de argilas refratárias de baixadas (praticamente só residuais); c) depósitos de bauxitos, que serão estudados em outro capítulo.

LOCALIZAÇÃO DOS DIFERENTES PROCESSOS DE ALTERAÇÃO DAS ROCHAS NO MACIÇO ALCALINO DE POÇOS DE CALDAS.

FIG. 5

Depósitos residuais (de regiões elevadas)

O que facilmente caracteriza esse tipo de depósito é a presença de diáclases reliquiais da rocha matriz (figura 30); ocorrem em grande número e podem ser facilmente observadas, nos cortes de estrada e barrancos, pode-se notar que, frequentemente, estão preenchidas as fendas, formadas pela diáclases, por material também argiloso, de cor mais clara, o que dá nítido contraste com o material que o suporta. Em muitos locais, as fendas, formadas pelas diáclases reliquiais, têm espessura da ordem de alguns milímetros e, mesmo assim, sua presença é ressaltada por um filme escuro, provavelmente de óxido de manganês, que delimita o veio.

Os depósitos residuais provenientes de foiaito apresentam diáclases em número bem menor do que o encontrado nos depósitos derivados de fonolito e tinguaíto; isso permitiu a formação de matações de exfoliação, de dimensões maiores do que aquelas encontradas nos matações de fonolito-tinguaíto, enquanto os tufos praticamente não apresentavam diáclases.

A coloração das argilas desses depósitos é variada, predominando, porém, cores escuras (devido a presença de ferro) cujo teor diminui à medida que esses depósitos se aproximavam das baixadas, quando se tornavam mais claros.

Depósitos de argila refratária (em baixadas)

Esses depósitos se localizam nas baixadas e encostas, (fig.7) principalmente na região norte do planalto; distribuem-se preferencialmente desde o alto de pequenas elevações e se prolongam acompanhando o curso de pequenos rios que banham a região. Na figura (6) estão assinaladas dentro da região dos materiais supérgenos, as áreas onde ocorrem depósitos de argilas refratárias e também de bauxitos; em qualquer das áreas assinaladas, tanto as ocorrências de argilas refratárias, como os depósitos de bauxito não são contínuos; a delimitação apresentada na figura não exclui a possibilidade da existência de depósitos menores fora dessas áreas disseminados pelo planalto. Nas áreas assinaladas na figura (6) os depósitos de bauxito do interior do planalto ocupam as partes mais altas e aqueles de argila refratária as partes mais baixas, sendo pequeno o desnível entre eles. Os depósitos de bauxito das bordas no norte do planalto avançam até as partes mais elevadas do dique anelar.

LOCALIZAÇÃO DOS DEPÓSITOS MINERAIS DO MACIÇO ALCALINO DE POÇOS DE CALDAS.

LEGENDA

- ARGILA REFRATÁRIA E BAUXITO
- CALDASITO (ZIRCONITA E BADDLEYITA) ASSOCIADO COM URÂNIO (*)
- ARGILA CONTENDO TERRAS RARAS E TÓRIO (*)

(*) SEGUNDO RESK FRAHYA

FIG. 6

Examinando-se um perfil típico de depósito de argilas refratárias de baixada (fig. 8), observou-se uma variação gradativa na coloração cinzenta das argilas. Verificou-se que os tons escuros predominavam nas partes superiores (maior teor de matéria orgânica), tomando tonalidades mais claras à medida que se aprofundavam no perfil, até desaparecerem por completo. Abaixo do material cinza encontrou-se uma camada de argila não mais considerada refratária e que tem sido utilizada com veículo inerte para inseticida; mais abaixo ainda dessa camada, encontrou-se a rocha em decomposição.

É comum se encontrar uma espessa camada de matéria orgânica no solo desses depósitos (fig.8), que devido à percolação das águas da superfície através do perfil, transporta essa matéria orgânica em profundidade, dando uma cor escura às camadas superiores.

Os depósitos de argila refratária que foram estudadas são provenientes na sua maioria, da decomposição de foliitos, que normalmente têm menor número de diáclases reliquiais e que devido à intensa decomposição e ao transporte de matéria orgânica em profundidade, torna a sua origem autóctona menos evidente do que os depósitos das partes elevadas.

A parte superior de muitos desses depósitos é constituída por material transportado, caracterizado pela presença de uma camada geralmente irregular e não contínua de bauxito de cor clara, devido a extração do ferro, que é realizada nas novas condições físico-químicas do meio onde se depositou. Esse bauxito apresenta evidências de pequeno transporte, devido ao seu tamanho bem irregular e grande número de arestas.

Difração de raios-X

Depois de realizado o estudo pela difração de raios-X das amostras coletadas no campo, obteve-se grande número de dados, que para mais fácil compreensão dos seus significados, foram colocados na tabela II, dividida em depósitos residuais (acima das baixadas) e depósitos de argila refratária (baixada). Cada depósito, está subdividido em quatro colunas, segundo a natureza da rocha que lhe deu origem; foi assinalada em porcentagem, a frequência da ocorrência de cada argilo-mineral ou de uma determinada associação de argilos-minerais encontrados. Convém assinalar que o número de amostras em cada perfil-barranco ou trincheira- é variável e que, portanto, as porcentagens apresentadas se referem apenas às amostras estudadas, e não devem, estatisticamente, ser considerada representativa da distribuição dos argilo-minerais.

Figura 7 - Vista de uma baixada, onde são encontrados, freqüentemente, depósitos de argila refratária. Foto tirada da margem da estrada velha Poços de Caldas-Caldas.

Figura 8 - Depósito de argila refratária do Campo do Meio, onde se observa camada de solo rico em matéria orgânica.

Os argilo-minerais encontrados foram caracterizados da seguinte maneira, através da interpretação dos difratogramas obtidos: a) Grupo da caulinita - Identificaram-se como argilo-minerais pertencentes a esse grupo, os materiais que apresentaram espaçamento basal de 7,2 angstroms e de 3,5 angstroms e cujas alturas dessas linhas foram superiores à altura da linha 020; podem ser constituídos somente por caulinita, que se apresentou desde bem cristalizada até mal cristalizada, isto é, com desordem ao longo do eixo b (Brindley e Robison (48)); podem ser constituídos também por mistura de caulinita com halloysita- $2H_2O$, o que impossibilita a identificação específica; apenas com a difração dos raios-X, devido ao mascaramento que a halloysita até na proporção de 75% pode estar sujeita, quando misturada com caulinita, conforme demonstrou Souza Santos e Brindley (46). Realizou-se exame, com microscópio eletrônico de várias dessas amostras, tendo sido evidenciada a presença de halloysita, como será visto mais adiante. b) Halloysita- $4H_2O$ - Foi assim classificado o material que apresentava espaçamento basal de 10 angstroms (halloysita- $4H_2O$) que, saturada com etilêno-glicol, teve dilatado o espaçamento basal para 11 angstroms e submetida a tratamento térmico por aquecimento a $100^\circ C$, aquele espaçamento contraiu para 7,2 angstroms. As amostras de halloysita- $2H_2O$ apresentaram espaçamento basal de 7,2 angstroms, com picos de forma abaulada no difratograma, não expansíveis com tratamento por etilêno-glicol, cuja altura era inferior à da banda 020 c) Grupo das micas - O material que apresentava espaçamento basal de 10 angstroms, e que não sofreu nenhuma alteração com etilêno-glicol e nem com aquecimento, foi identificado como sendo do grupo das micas d) Gibbssita - Esse mineral foi identificado pelo seu espaçamento basal de 4,85 angstroms, e) Montmorilonita - Esse mineral foi identificado pelo seu espaçamento basal de 14 angstroms; quando saturado com etilêno-glicol dilatou para 17-18 angstroms.

Como se pode observar na tabela II, qualquer que seja o tipo de rocha matriz, os argilo-minerais formados praticamente são os mesmos, quer se origine de fonolito, tinguaito, de foiaito, de tufo, ou de lava fonolítica.

Dentre as associações de minerais encontradas, predominam mica+caulinita (20-50%), e são frequentes (15-20%) mica+caulinita+gibbssita. A mica é o primeiro mineral a se formar dos feldspatos por depender do potássio que é encontrado disponível logo após a destruição dos minerais da rocha alcalina, enquanto as águas de lixiviação ainda não tiveram tempo de afastá-lo do ambiente. A transformação mica-caulinita foi confirmada inúmeras vezes quando se examinaram rochas em fase inicial de alteração, onde, invariavelmente, além dos minerais primários

Tabela II

Argilas residuais

Argilas de baixadas

	Tinguaíto e Fonolito	Nefelina Sienito e Foiáito	Tufo	Lava Fonolito	Tinguaíto e Fonolito	Nef.Sienito e Foiáito	Tufo	Brecha Tinguaíto
C	-	14%	3%	-	-	9%	-	-
H	1%	-	-	8%	-	-	-	-
M	6%	6%	-	-	-	-	16%	-
G	-	-	6%	-	-	-	-	-
C+H	12%	14%	4%	-	2%	-	-	-
C+M	18%	46%	30%	49%	14%	31%	16%	-
C+G	21%	-	12%	-	14%	5%	-	37%
H+M	-	-	6%	8%	-	-	-	-
H+G	1%	-	-	8%	-	-	-	-
MG	1%	-	-	-	-	-	-	-
C+H+M	9%	-	6%	-	4%	-	16%	-
C+H+G	-	-	-	-	2%	5%	-	-
C+M+G	21%	14%	24%	-	58%	50%	52%	63%
H+M+G	-	-	-	27%	-	-	-	-
CHMG	-	6%	9%	-	6%	6%	-	-

C = Caulinita, ou mistura de caulinita com halloysita $2H_2O$ H = Halloysita- $4H_2O$

M = Mica

G = Gibbsita

se encontrava mica secundária, já que as rochas alcalinas, com raras exceções, não apresentam mica primária.

A ocorrência freqüente (15-20%) de caulinita+gibbsita representa o estágio seguinte no processo de dessilicatização. Este se iniciou pelos minerais da rocha matriz e prosseguiu nos argilo-minerais, quando apareceu a gibbsita, representativa do produto final cristalino dessa transformação, proveniente da caulinita pela perda de sílica pela ação de água alcalinas, ricos em carbonatos alcalinos, especialmente de sódio, (Pedro ref. 50). Ao se estudar um corte de estrada com cerca de 400 metros de comprimento, próximo da fronteira de São Paulo e Minas Gerais, na estrada que une as cidades de Águas da Prata a Poços de Caldas, onde se estudaram 14 amostras de argilas provenientes da decomposição de tufo vulcânico, verificou-se que 8 amostras eram constituídas de caulinita bem cristalizada e mica, e que não continham gibbsita, enquanto nas restantes 6 amostras, que apresentavam cor escura devido ao maior teor de ferro presente, encontrou-se mistura de caulinita mal cristalizada com gibbsita, indício da desordem estrutural que a caulinita sofreria antes de sua transformação em gibbsita por dessilicatização.

Depósitos de argilas refratárias

As argilas refratárias do planalto de Poços de Caldas (contém acima de 46% de Al_2O_3 , após a calcinação, devido à presença de gibbsita) começaram a ser exploradas para fabricação de material refratário, há cerca de 10 anos, em substituição às argilas aluminosas do Triângulo Mineiro e de Moji-das-Cruzes. Essas argilas constituem matéria prima fundamental na fabricação dos refratários Togni e também são vendidas para o Estado de São Paulo para uso na fabricação de material refratário e de material cerâmico branco (sanitário e louça doméstica).

Ocorrências estudadas

As principais ocorrências estudadas de argila refratária de Poços de Caldas em exploração, cuja composição mineralógica foi estudada por difração de raios-X foram as seguintes, com a designação usual da região: Campo do Areão PB2, (1ª e 2ª frente); Campo do PBI; Barro Branco; Campo do José Massa; Campo do Saco; Campo Novo do Curimbaba. Esses campos acham-se assinalados na figura 6.

Desses depósitos, o mais detalhadamente estudado neste traba-

lho foi o do Campo do Areão, cujas amostras estudadas foram coletadas pelo Dr. Pêrsio de Souza Santos e pelo autor; os campos do PBl e do Saco por serem constituídos de materiais provenientes de ação hidrotermal, serão estudados em outro capítulo.

Os depósitos de baixada provenientes de rochas situadas a pouca profundidade apresentam um desenvolvimento do perfil, onde se pode notar a seqüência completa de todos os argilo-minerais formados numa mesma frente de exploração ou furo de sondagem. O mesmo, contudo, não ocorreu nos depósitos das partes elevadas, onde a rocha matriz se encontrava em profundidades maiores. Por isso os diferentes estágios em que aparecem os argilo-minerais se apresentavam mais espaçados, o que tornava difícil se captar uma seqüência completa de transformação.

Os depósitos do Campo do Areão são provenientes da decomposição supérgena de foidaitos de textura pegmatética, que chegam a aflorar em alguns locais escavados por rios que drenam a região, onde são facilmente observados pseudomorfos de leucita até 6 cm de largura; a rocha que ainda conserva a sua textura primitiva encontra-se em estágio avançado de decomposição. Analisada pela difração dos raios-X revelou a presença de montmorilonita.

Num furo efetuado nesse campo (PB2 - 2ª frente) coletaram-se 9 amostras da superfície até a profundidade de 9 metros, em cujas camadas mais profundas encontraram-se teores altos de potássio proveniente do feldspato ainda presente da rocha matriz. As amostras desse furo foram coletadas nas seguintes profundidades: I (0,3 - 0,5m); II (0,5 - 0,7m); III (0,7 - 1m); IV (1 - 3 m); V (3 - 4m); VI (4 - 5m); VII (5 - 6m); VIII (6 - 7,5m); IX (7,5 - 9m).

Os difratogramas obtidos com as análises das amostras desse perfil se encontram na figura 9, onde estão assinalados os principais picos da caulinita, mica, gibbsita e feldspato alcalino. Examinando-se esses resultados, observa-se nas amostras VIII e IX, a presença de feldspato, representante dos últimos minerais primários não decompostos da rocha matriz. O feldspato, nas amostras de níveis superiores deixa de aparecer, o que pode ser notado claramente através do comprimento do potássio (tabela III), que apresenta mudança abrupta de seu teor numa pequena zona do perfil, entre as amostras VII e VIII. A mica, que aparece em todas as amostras, forma-se principalmente nas camadas mais inferiores, onde ainda existe potássio disponível. Com o decréscimo constante daquele elemento nas camadas superiores, ocorre diminuição correspondente da quantidade de mica formada, que ainda sofre processos de dessilicatização que a vai transformar em caulinita. O comportamento da

Figura 9 - Difractogramas de um perfil do Campo do Areão, onde se podem notar o aparecimento de gibbsita (G) nas camadas superiores; o aumento do teor de Mica (Mi) em profundidade; a caulinita (C) não varia significativamente ao longo do perfil. O feldspato (F) só é observado nas camadas mais profundas e a montmorilonita (Mt) só foi observada junto da rocha, ainda em decomposição.

Tabela III - Análise química de um perfil do campo do Areão (*)

Amostras	Profundidade (m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O (**)	TiO ₂	P. Fogo
I	0,3-0,50	23,60	50,00	3,15	1,30	1,10	21,18
II	0,5-0,7	26,08	49,00	2,05	1,13	1,00	20,24
III	0,7-1,0	28,10	48,50	2,20	1,30	1,00	19,26
IV	1-3	39,00	41,00	2,20	1,87	0,80	15,84
V	3-4	44,70	38,70	2,30	1,70	0,80	12,20
VI	4-5	46,60	38,10	1,80	2,17	0,70	11,30
VII	5-6	45,00	39,00	1,95	1,63	0,70	11,76
VIII	6-7,5	51,10	31,60	2,00	6,20	0,60	6,42
IX	7,5-9	52,00	28,90	4,75	7,45	0,50	5,84

(*) Análise fornecida pela Cerâmica Togni Ltda..

(**) Análise determinada no Instituto de Pesquisas tecnológicas.

mica pode ser analisado observando-se a figura 9, onde se nota um ~~de~~créscimo constante da quantidade de material presente, a partir da amostra IX até a I, através da diminuição da intensidade do espaçamento basal assinalado. Tão logo a mica seja formada, os mesmos processos de lixiviação ou solubilização que estão atuando sobre a rocha matriz nas camadas mais profundas, também começam a atuar sobre esse mineral que se transforma em caulinita pela liberação de sílica e potássio. Esse processo se intensifica à medida que se aproxima do solo (Tabela III). A gibbsita representa o último estágio (cristalino) do processo de dessilicatização, no depósito residual vindo a aparecer na amostra IV, a partir da qual tem sua quantidade sempre aumentada até o solo, que representa a camada do perfil onde a sílica foi mais lixiviada; a formação desse mineral se fez a partir da caulinita pela perda de sílica e só ocorreu nas camadas mais superiores (IV até I), o que é uma evidência da maior estabilidade da caulinita se comparada com a mica, que desde a amostra IX se transformou continuamente em caulinita, enquanto esse mineral só foi alterado quando as condições de lixiviação e acidez foram mais acentuadas.

Microscopia eletrônica

O exame das fotografias obtidas revelou uma diminuição gradativa do tamanho das partículas à medida que as amostras estudadas se aproximavam do solo (Figs. 10-11-12). Essa diminuição corresponde à intensificação do processo de dessilicatização. Foram encontrados tubos de halloysita nas amostras mais profundas.

Análise térmica diferencial

Examinando-se os termogramas obtidos (Fig. 13 A) no sentido das amostras de maior profundidade para a superfície, encontram-se nas amostras VIII e IX picos de caulinita com intensidade relativamente pequena; entre as amostras V e VII tem-se termograma de caulinita bem nítido, com pico endotérmico 110°C e 120°C que pode ser considerado de halloysita. A partir da amostra IV, o pico exotérmico de 970°C da caulinita começa a desaparecer, quando aparece a gibbsita, cujo teor vai aumentando gradativamente até a superfície.

Figura 10 - Micrografia eletrônica da amostra IX (7,5 - 9M) do Campo do Areão, observando-se dois tipos de materiais: a) placas muito pequenas de caulinita, algumas de perfil ligeiramente hexagonal; b) aglomerados grandes, lamelares que podem ser de feldspato finamente dividido, ou de feldspato se transformando em mica e caulinita.

Figura 11 - Microscopia eletrônica da amostra VI (5-6m) do Campo do Areão
observando-se a) restos de aglomerados e placas hexagonais muito
finas de caulinita e b) pequena quantidade de tubos curtos de halloysita.

Figura 12 - Micrografia eletrônica da amostra II (0,5 - 0,7m) do Campo do Areão, constituída de: a) partículas muito finas de perfil irregular; b) lâminas grandes de perfil irregular. Neste tipo de material não é possível distinguir caulinita da gibbsita. Também não foi possível observar nenhuma partícula de mica.

Côr das argilas

A amostra IX apresenta côr amarelada devido a maior quantidade de ferro presente, que já foi lixiviado em maior quantidade nas camadas superiores; a amostra VIII tem côr ligeiramente amarelada, pela diminuição do ferro presente, que na amostra VII se acentua, quando passa à côr creme-claro; as amostras IV até VI tem côr clara, e correspondem à zona de baixo teor em ferro; a partir da amostra IV até I o material apresenta côr cinza, que no início tem tonalidade muito clara, mas que vai escurecendo até a superfície, à medida que o teor de gibbsita aumenta; as amostras superiores são enriquecidas por matéria orgânica transportada pelas águas em profundidade; o ferro das camadas superiores e média foi retirado pela ação do ácido úmico transportado por essas águas.

A camada de bauxito branco encontrado nas partes mais altas dêsses depósitos, vai ser tratada no capítulo de ressilicatização.

Outros depósitos de argilas refratárias

Os demais depósitos de argila refratária, referidos no início dêste capítulo, também foram estudados mineralógicamente com difração dos raios-X. Êsses depósitos têm características topográficas bem semelhantes às do Campo do Areão, inclusive o Campo PBl, de origem hidrotermal, estudado no capítulo correspondente; as amostras estudadas dêsses depósitos foram coletadas de furos, quando se examinaram materiais até profundidade de 8 metros (Campo Barro Branco) e de poços, onde as amostras foram coletadas a profundidade bem menores devido a posição alta do lençol freático. Também foi coletado material das frentes de exploração industrial de argilas. Como base nas observações de campo, onde se pôde constatar a pequena variação do aspecto do material e pelas análises efetuadas com difração dos raios-X, foi possível verificar a homogeneidade dessas argilas. As variações locais não afetavam o esquema geral de sua formação, como foi o caso do Campo do Barro Branco, que apresentava maior teor em gibbsita, devido a maior contribuição que êsse local recebeu de depósitos de bauxito da encosta do dique anelar, onde êle se acha encostado. A maioria dêsses depósitos se achava em região onde ocorria bauxito nas proximidades, o que foi responsável pelos bauxitos brancos encontrados no seu interior.

Examinando-se os resultados obtidos de tôdas as análises efetuadas com difração dos raios-X nos depósitos residuais de baixada, en-

Figura 13-A — Termogramas do perfil do Campo do areão.
 " 13-B — " da fração argila do bauxita
 da Fazenda Teixeira.

controu-se mais freqüentemente a associação de argilo-minerais (50-60%) a mica + caulinita + gibbsita, que é uma evidência da maior velocidade do processo de dessilicatização que ocorre nas baixadas, pelo maior movimento das águas. Como associação freqüente (15-40%) encontrou-se: a) mica + caulinita, cujo significado já foi estudado; e b) caulinita + gibbsita, que é mais uma evidência da seqüência de transformação encontrada. Nenhuma amostra que tivesse somente mica + gibbsita foi encontrada em todo o planalto, o que é evidência adicional de que a seqüência de transformação é feldspato - mica - caulinita - gibbsita e que é necessária a existência de uma certa fase cristalina, antes do aparecimento de uma outra, nesse tipo de depósitos. (Tabela II).

Uma verificação dos resultados obtidos pela difração dos raios-X pode ser verificada no apêndice e para melhor facilitar a compreensão desses resultados, está apresentada a localização das diversas amostras, em profundidade bem como o local de onde foram coletadas.

CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

A seqüência de argilas formadas pela ação do intemperismo a partir das rochas alcalinas encontradas no planalto de Poços de Caldas foi mica - caulinita - gibbsita. Mais próximo da rocha em alteração, achou-se halloysita, tendo sido verificado também, a presença de montmorilonita junto da rocha em alteração do Campo do Areão.

A intensidade do processo de dessilicatização nas baixadas foi superior ao das partes elevadas.

Encontraram-se argilo-minerais semelhantes a partir dos diferentes tipos de rochas alcalinas. A formação de mica finamente dividida pela ação do intemperismo sobre as rochas alcalinas pode ser bem caracterizada por faltar aquele mineral nas rochas que o originaram.

Quimicamente a ação do intemperismo causou perda de silício e potássio, tendo havido concentração do alumínio.

Uma diminuição do tamanho das partículas das argilas correspondeu ao aumento da intensidade do processo de dessilicatização.

* * * * *

CAPÍTULO II

BAUXITOS

Os depósitos de bauxitos se localizam, principalmente, ao norte do planalto de Poços de Caldas, numa área mais ou menos contínua no dique anelar, e no interior do planalto distribuídos esparsamente numa região de argilas residuais (Fig. 6).

Estudaram-se tanto depósitos de bauxitos em exploração (Fazenda Teixeira, Colina, Campo do Meio e Campo do Areão) como pequenas ocorrências encontradas ao longo da estrada velha Poços de Caldas-Caldas e Poços de Caldas-Andradas. Foram estudadas, dessa maneira, os bauxitos, formados a partir de lujauro, chibinito, fonolito, tinguaíto e foiaíto.

Os bauxitos provenientes dos vários tipos de rochas alcalinas do planalto de Poços de Caldas, tinham de comum uma estrutura concêntrica, (Fig. 1), que representa as fases de decomposição que sofreu a rocha a partir das partes mais externas em direção do núcleo. Em bauxitos provenientes de fonolito ou tinguaíto é muito frequente a preservação de diáclases reliquiais, como pode ser observada na figura 14.

Difração dos raios-X

Os bauxitos da Fazenda Teixeira (derivados de lujauro e chibinito) estudados com difração dos raios-X, revelaram a presença de gibbsita, goetita, cliaquita, boemita e litioforita; a boemita foi encontrada em algumas amostras, em quantidade muito pequena (Fig. 17-IV) e a litioforita só foi encontrada num material de um furo de sondagem. Devido à pequena intensidade do espaçamento interplanar 4,85 angstroms da gibbsita, suspeitou-se da presença de material amorfo (cliaquita), cuja presença foi confirmada com análise térmica diferencial (Fig. 13 A), onde aparece um pico endotérmico a 150°C daquele hidróxido de alumínio amorfo.

Provavelmente a cliaquita é o componente principal de algumas amostras dessa área, se tomarmos como referência a pequena intensidade do espaçamento interplanar principal da gibbsita registrado nos difratogramas obtidos. A maior concentração de cliaquita foi encontrada na fração argila (inferior a 0,002 mm), onde praticamente não se encontrou gibbsita (Fig. 17-III). Nas frações mais grosseiras predominou a gibbsita.

Os bauxitos coletados na Colina, formados a partir de fonolito

preservaram praticamente todas as diáclases reliquiais da rocha, que apresentaram nitidamente de composição esferoidal, tendo-se encontrado em algumas amostras a rocha inalterada no núcleo do bauxito. Estudou-se, com difração dos raios-X, o material da pequena fase de transição entre a rocha e o bauxito, tendo-se encontrado uma diminuição gradativa da gibbsita à medida que o material se aproximava da rocha inalterada, até um ponto onde só foi encontrado mineral primário da rocha. Não se encontrou qualquer outro mineral secundário, além da gibbsita.

A evidência da transformação direta da rocha em bauxito encontrada no estudo daquele material, veio confirmar as observações da campo, onde sempre se encontrou transição brusca entre aqueles dois materiais.

As amostras de bauxito coletadas ao longo da estrada velha Poços de Caldas-Caldas, que foram examinadas com difração dos raios-X, revelaram ser constituídas, principalmente, de gibbsita, tendo-se encontrado, também, cliaquita nesses materiais.

Numa lâmina petrográfica de bauxito dessa região, encontrou-se pequeno veio de gibbsita, os cristais alongados desse mineral se apresentavam ligeiramente orientados normalmente à parede do veio e tinham tamanhos superiores aos cristais da massa do bauxito. A presença desse veio é um indício de que a gibbsita pode ser solubilizada e transportada, sendo posteriormente depositada em fendas, em condições próprias para um bom crescimento dos cristais (Fig. 15).

Os bauxitos coletados na estrada Poços de Caldas-Andradas eram constituídos, principalmente, de gibbsita e cliaquita, tendo-se encontrado num pequeno depósito exposto num corte de estrada, uma grande quantidade de hidróxido de alumínio, que foi solubilizado e depositado, praticamente, em todas as fendas formadas pelas diáclases reliquiais. Por ocasião dessa deposição, o ferro foi lixiviado, tendo-se depositado um material muito branco. Encontraram-se cristais de gibbsita bem desenvolvidos, tanto nos veios como no interior dos blocos de bauxito, evidência de recristalização desse material.

CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

A gibbsita é o principal mineral encontrado nos bauxitos da borda e do interior do planalto, proveniente de todos os tipos de rocha alcalina. Aquêles mineral estava normalmente acompanhado de hidróxido de alumínio amorfo (cliaquita), que predominava na fração argila, inferior a 0,002 mm.

Encontrou-se, também goetita, responsável pelo teor de ferro

Figura 14 - Pequeno depósito de bauxito na margem da estrada Poços de Caldas-Andradas, próximo ao morro do Tamanduá, onde se observa, claramente, a conservação das diáclases reliquiais do fonolito. O martelo está fincado num bloco de bauxito.

Figura 15 - Micrografia de um bauxito, coletado na estrada velha Poços de Caldas-Caldas, observando-se um pequeno veio de gibbsita, formado localmente, a partir de soluções.

Figura 16 - Micrografia de um bauxito branco ressilicatizado, do Campo do Areão, formado de gibbsita, mica e caulinita. A porosidade (P) do bauxito foi aparentemente conservada.

Figura 17 - Difractogramas

- I - Córrego do Meio - Bauxito branco composto de Mica (Mi);
Caulinita, (C) e Gibbsita (G)
- II - Campo do Areão - Bauxito branco composto de mica (Mi),
caulinita (C) e gibbsita (G)
- III - Fazenda Teixeira - Fração argila (inferior a 0,002 mm) do
bauxito, composto de pequena quantidade de gibbsita (G).
O material amorfo (cliaquita) foi identificado com análise
térmica diferencial.
- IV - Fazenda Teixeira - Bauxito composto de Gibbsita (G), boemita
(B) goetita (goe)

17

presente nos bauxitos. Pequenas quantidades de boemita e litioforita foram encontrados em bauxitos provenientes de lujauro e chibinito, além daqueles minerais.

A gibbsita pode se solubilizar vindo a se depositar formando cristais bem desenvolvidos; esse mineral ao se depositar não é acompanhado pelo hidróxido de ferro, que é encontrado, praticamente, em todos os bauxitos do planalto de Poços de Caldas.

Os depósitos de bauxitos do interior do planalto estão localizados numa área onde o tipo de decomposição mais freqüentemente encontrado, foi o que conduziu a formação de argilo-minerais.

Os bauxitos, provavelmente se originaram por transformação direta da rocha alcalina, sendo indícios: a) o fato de não se ter encontrado uma camada de argila intermediária; b) a presença de uma estrutura concêntrica praticamente em todos os bauxitos estudados (Fig. 1); c) e de um sistema de fendas que representam as diáclases da rocha alcalina (Fig. 14).

Os bauxitos do planalto de Poços de Caldas, provavelmente não se formaram a partir de argilas, devido as seguintes razões: a) não foi observada textura concêntrica em qualquer dos depósitos de argila examinada, sendo pouco provável, portanto, a sua preservação posteriormente nos bauxitos; b) os depósitos de argila refratária, são os que estão em fase mais avançada no processo de dessilicatização. Esses depósitos, que ainda estão longe de poder ser considerados bauxitos, já não conservam as diáclases reliquiais (Fig. 8), que dessa maneira não poderiam ser preservadas, como podem ser observadas no bauxito.

Por não se ter encontrado indícios que evidenciassem a formação do bauxito a partir de argilas no planalto de Poços de Caldas, é provável, portanto, que esses dois materiais tenham se formado em condições diversas, devido a uma possível mudança climática que teria afetado essa região.

* * * * *

CAPÍTULO III

ARGILAS FORMADAS POR RESSILICATIZAÇÃO

A ressilicatização parcial de bauxitos é freqüente no planalto de Póços de Caldas e foi observado: a) nos fragmentos de bauxitos transportados e depositados nas baixadas (bauxito branco); b) e a partir das fendas do bauxito formadas pelas diáclases reliquiais da rocha, onde se encontraram argilo-minerais formados possivelmente por ressilicatização assinalados na figura 5, tendo se deixado de registrar as ocorrências de bauxito branco, que praticamente ocorrem em todos os depósitos de argila refratária (Campo do Areão, Córrego do Meio, Campo do Barro Branco, Campo Novo do Corimbaba etc.).

Bauxito branco

Os fragmentos de bauxitos, depois de transportados e depositados nas baixadas, foram recobertos por sedimentos. Esses fragmentos, como foi visto no Capítulo I, perderam parte do ferro devido às novas condições físico-químicas do meio onde se depositaram, o que explica a sua cor clara.

O exame com difração dos raios-X de materiais do Córrego do Meio e do Campo do Areão, revelou a presença de mica e caulinita (Fig. 17-I e II), além da gibbsita. A presença dos argilo-minerais, mica e caulinita, é um indício de ressilicatização do bauxito; os fragmentos de bauxitos, depois da deposição, sofreram, provavelmente, ataque de soluções ricas em silício e potássio, provenientes do processo de dessilicatização.

Encontrou-se teor de 27,6% de sílica num bauxito branco do Campo do Areão, o que é um indício da intensidade do processo de ressilicatização a que estão sujeitos esses materiais.

A estrutura porosa do bauxito ficou preservada, o que é o maior indício do processo de ressilicatização, como pode ser observado em lâmina petrográfica de material do Campo do Areão (Fig. 16); não foi possível diferenciar, com o microscópio petrográfico, a caulinita, mica e gibbsita, componentes desse material, e que foram identificados com difração dos raios-X.

Argilas ocupando fendas de bauxito

Estudaram-se cinco ocorrências de bauxitos contendo argilas formadas, possivelmente, por ressilicatização. Essas argilas ocupavam, principalmente as fendas, provenientes das diáclases reliquiais da rocha alcalina.

Estrada Velha Poços de Caldas-Caldas

Numa pequena ocorrência de bauxitos, no início da estrada que vai para o Morro do Ferro, encontrou-se halloysita- $4H_2O$, formada provavelmente por ressilicatização do bauxito. Verificaram-se nessa ocorrência, filmes de material preto (Fig. 18a) que ocupavam fendas primitivas do bauxito. Esses filmes se formaram, provavelmente, quando os blocos de bauxito ainda estavam em contato, antes do início do processo de ressilicatização; depois da deposição desse material, o bauxito, provavelmente, foi atacada, a partir das fendas, por soluções contendo silício, resultando, com isso, na formação de halloysita- $4H_2O$ (18 b); a cor clara da argila formada nesse processo é indício de que as soluções que provocaram a ressilicatização eram, provavelmente, ácidas, tendo retirado o ferro do bauxito. Mais internamente formou-se uma zona intermediária, constituída de halloysita- $4H_2O$ e gibbsita, fisicamente muito semelhante ao bauxito (Fig. 18 c); a presença de um limite irregular entre camadas b e c, e de uma zona de transição c, são indícios de que a alteração do bauxito se deu, provavelmente, a partir das suas paredes externas. Segue-se, internamente, o bauxito que não foi alterado (Fig. 18 d); encontraram-se amostras contendo rocha inalterada (fonolito), no núcleo do bauxito (Fig. 18 e).

O material da figura 18 b, examinado com difração de raios-X, revelou ser constituído de halloysita- $4H_2O$, identificada pelo espaçamento basal de 10 angstroms, que dilatou para 11,0 angstroms depois de tratada com etilêno-glicol, e contraiu para 7,2 angstroms após o tratamento térmico.

O exame, por microscopia eletrônica, revelou ser a halloysita- $4H_2O$ constituída de tubos bem curtos (Fig. 19), o que permitiu distingui-la, dos outros tipos de halloysita encontradas no planalto de Poços de Caldas, provenientes: a) da ação do intemperismo (Fig. 11); b) ação hidrotermal de alta temperatura (Fig. 44); c) hidrotermal de temperatura média (Fig. 29); d) hidrotermal de baixa temperatura (Figs. 40 e 41).

ARGILA OCUPANDO FENDAS DO BAUXITO (RESSILICATIZAÇÃO) - ESTRADA POÇOS DE CALDAS - CALDAS.

a - FILME ESCURO c - HALLOYSITA $4H_2O$ + GIBBSITA
b - HALLOYSITA $4H_2O$ d - BAUXITO
e - FONOLITO INALTERADO

FIG. 18

Campo do Areão (PB2)

Num pequeno depósito de bauxito desse campo, encontrou-se halloysita- $4H_2O$ formada, provavelmente, por ressilicatização; esse argilo-mineral tem cor clara e apresenta aspecto porcelânico, além de grande consistência, como pode ser avaliado na figura 20; os veios de halloysita- $4H_2O$ apresentam formato reticular devido ter-se formado nas fendas do bauxito, que foi posteriormente carregado pelas águas superficiais. Os veios de halloysita apresentam, frequentemente, ramificações muito finas, com poucos milímetros de espessura, como pode ser observado na figura 21.

A erosão do bauxito, se deve, possivelmente, à transformação (em halloysita- $4H_2O$) de suas camadas mais externas (Fig. 1), que são as mais consistentes e que mantêm a forma dos blocos de bauxitos. Devido a alteração daquela camada externa, o núcleo teria ficado sem proteção, sendo posteriormente carregado pelas águas.

O material de aspecto porcelânico, examinado com difração dos raios-X, revelou ser constituído de halloysita- $4H_2O$ (Fig. 23-I); quando submetido à tratamento térmico (Fig. 23-Ia) ou saturado com etilêno-glicol (Fig. 23-Ib) apresentou o mesmo comportamento do material estudado anteriormente, isto é, contraiu e dilatou o espaçamento basal.

O exame com microscopia eletrônica revelou ser a halloysita- $4H_2O$ constituída de tubos bem curtos, semelhantes ao material da estrada velha Poços de Caldas-Caldas estudado anteriormente, evidência da sua natureza comum.

Estrada Poços de Caldas-Cascata (em frente Posto Fiscal)

Encontrou-se halloysita- $2H_2O$ branca, consistente e com aspecto porcelânico; em alguns pontos esse argilo-mineral estava acompanhado de nódulos escuros, identificados com difração dos raios-X, como litioforita. A halloysita- $2H_2O$ ocupava as fendas do bauxito e formava um reticulado que se estendia por todo o depósito de bauxito.

A halloysita- $2H_2O$ examinada com difração dos raios-X, apresentou espaçamento interplanar de 7,2 angstroms com intensidade semelhante ao plano 020; quando saturado com etilêno-glicol não expandiu.

A large, rectangular area of the page is covered by a faded, yellowish-brown micrograph. The texture is grainy and lacks distinct features, appearing as a uniform wash of color. The text is printed over this area.

Figura 19 - Micrografia eletrônica de argilas do Campo do Areão, formadas provavelmente, por ressilicatização. Esse material é constituído de: a) tubos muito finos curtos de halloysita e b) partículas de perfil aproximadamente triangular, bastante espessos provavelmente de gibbsita.

Corte de Estrada Poços de Caldas-Andradas

Encontrou-se um bauxito com grande número de fendas preenchidas parcialmente com material claro, que examinado com difração dos raios-X, revelou ser constituído de gibbsita e halloysita- $4H_2O$. A gibbsita, em algumas amostras, se apresentava formada de cristais visíveis a olho nu, indício de que se cristalizou nas fendas, a partir de uma solução. Em contáto íntimo com a gibbsita, foi encontrada halloysita- $4H_2O$, que possivelmente se formou devido à reação de geis de alumina e sílica.

Normalmente, a grande maioria dos materiais ocupando fendas que se examinou com difração dos raios-X, era constituída por argilo-minerais, tendo sido esse um dos poucos casos onde se encontrou gibbsita.

Morro do Serrote

Numa pequena ocorrência de bauxito, nesse Morro, encontrou-se, material branco de pequena consistência ocupando as fendas do bauxito. Esse material, identificado com difração dos raios-X, revelou ser formado de caulinita; a pequena consistência desse material comparada com a das outras ocorrências, talvez seja explicada por ser formado de caulinita, enquanto os outros veios eram formados por halloysita.

Argilas ocupando fendas (material transportado)

Num outro corte da estrada Poços de Caldas-Andradas, encontraram-se veios, de pequena consistência, praticamente verticais, e de espessura bem superior aos estudados anteriormente (Fig. 22); a sua argila, examinada com difração dos raios-X, revelou ser constituída de caulinita e mica.

Esse material foi, provavelmente, transportado e depositado nas fendas do bauxito; encontrou-se uma transição brusca entre o veio e o bauxito.

CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Os fragmentos de bauxito depositados nas baixadas apresentam um grande teor em sílica, tendo sido encontradas caulinita e mi-

Figura 20 - Campo do Areão - São vistas veios de halloysita- $4H_2O$, formados provavelmente, por ressilicatização do bauxito, que foi quase completamente cariado pelas águas superficiais. Esses veios ocupam diáclases reliquiais do bauxito.

Figura 21 - Campo do Areão -- Detalhe dos veios de halloysita da fig. 20. Vê-se uma série de veios paralelos de espessura muito pequena, que se entrecruzam, quase normalmente. Esses veios se caracterizam pela sua dureza e composição mineralógica.

Figura 22 - Corte de estrada Poços de Caldas-Andradas: Veios de argila provavelmente transportada e depositada em fendas de bauxito formado a partir de folialito. A argila é composta de caulinita e mica.

20

21

22

Figura 23 I - Halloysita- $4H_2O$ ocupando fendas de bauxito,
Ia- Aquecido a $100^{\circ}C$; Ib- Saturado com etilêno-
-glicol. A halloysita é formada de tubos muito
finos e curtos.

II - Halloysita- $4H_2O$ e $2H_2O$ de origem hidrotermal
do Morro do Serrote; IIa - aquecido a $100^{\circ}C$; a
halloysita é formada de tubos longos.

III - Halloysita- $4H_2O$ e $2H_2O$ de origem hidrotermal
da Estação de Cascata, formada de placas.

- 47 -

23

ca formadas, provavelmente, por ressilicatização! A estrutura porosa do bauxito ficou preservada durante o processo de ressilicatização.

Várias ocorrências de bauxito do interior do planalto apresentaram as fendas, formadas pelas diáclases reliquiais da rocha alcalina, preenchidas por argilo-minerais formados, possivelmente, por ressilicatização; o argilo-mineral encontrado mais frequentemente foi a halloysita- $4H_2O$, tendo sido encontrado, também, a halloysita- $2H_2O$ e caulinita.

Encontrou-se sensível diferença na composição mineralógica entre o material de fenda de bauxito (principalmente halloysita e os formados pela ação do intemperismo; este último, proveniente quer das fendas que cortam os depósitos de argila residual (formados principalmente de caulinita), quer do restante dos argilo-minerais formados pela ação do intemperismo a partir dos minerais primários da rocha alcalina. Essa diferença vem a favor da hipótese de ressilicatização que teriam sofrido esses depósitos.

As principais características do material formado nas fendas do bauxito foram; a) pequeno tamanho dos tubos de halloysita; b) a grande consistência e aspecto porcelânico (da halloysita) que não são encontrados nas argilas supérgenas do planalto de Poços de Caldas; c) a presença de um filme preto, depositado, possivelmente, antes do início do processo de ressilicatização, indício de que a halloysita- $4H_2O$ não foi transportada, tendo se formado localmente pela reação do silício com o hidróxido de alumínio.

Os indícios encontrados em bauxitos do interior do planalto que teriam sofrido processo de ressilicatização vêm a favor da hipótese de que teria havido mudança nas condições ambientais que resultaram na formação do bauxito; essas mudanças teriam interrompido o processo de formação do bauxito, dando lugar a um processo, provavelmente atual, onde são formados argilo-minerais a partir das rochas alcalinas. O silício, liberado durante o processo de formação de argilo-minerais, veio a atacar os bauxitos anteriormente formados, produzindo nessa reação, principalmente halloysita- $4H_2O$, composta de tubos muito curtos (Fig. 19).

* * * * *

CAPÍTULO IV

ARGILAS FORMADAS POR METASSOMATISMO HIDROTHERMAL

O planalto de Poços de Caldas apresenta, aproximadamente, um quarto de sua área constituída de rochas alteradas por soluções hidrotermais (Fig.5) que agiram, principalmente, sobre os fonolitos e tinguaitos da parte central do planalto, onde grandes massas de rochas foram profundamente alteradas, resultando na formação de argilo-minerais por metassomatismo hidrotermal, como pode ser observado no Tamanduá e Morro do Ferro, este último proveniente de um foiaíto. O foiaíto da zona de contato com o fonolito e tinguaito alterado, também sofreu os efeitos dessas soluções, em pelo menos dois lugares: Morro do Taquari, e num trecho da estrada de rodagem Poços de Caldas-Andradas. Pequenas áreas isoladas, fora da região central, também sofreram metassomatismo hidrotermal, como por exemplo: Estação de Cascata, parte do Morro do Serrote, Campo do Barreiro etc..

Morro do Taquari

O Morro do Taquari apresenta altitude semelhante às partes mais altas da borda do planalto, elevando-se 280 metros acima de sua base; é constituído, principalmente, por foiaíto, encontrando-se, porém, próximo do seu ponto mais alto uma massa de fonolito ou tinguaito. Esse morro parece ter sido alterado completamente, tendo-se encontrado, na sua base material, que pareceu ter sofrido ação hipógena (ligeira coloração esverdeada), que ficou mascarado pela intensa ação do intemperismo, que se fez sentir, principalmente, sobre o material de superfície que se examinou. No topo desse morro foi aberta uma trincheira, na base de um pequeno platô, onde foi retirado o material superficial, que dessa forma permitiu o exame da rocha praticamente não afetada pelo intemperismo.

O Morro do Taquari sofreu um tipo de alteração, que embora não sendo o mais importante sob o ponto de vista da extensão geográfica da área afetada, serviu para mostrar a variação dos efeitos das soluções hidrotermais sobre uma massa rochosa, a partir das diaclases por onde penetraram até o ponto onde seus efeitos não mais foram sentidos (fig. 24).

DIFRAÇÃO DOS RAIOS-X - No alto do Morro do Taquari, foi encontrado um mineral de cor roxa-escura (Fig. 27 a), cuja análise com difração dos raios-X revelou pertencer ao grupo da fluorita. A análise com espectrografia dos raios-X de duas amostras revelou, na primeira a presença de estrôncio e ferro; ítrio, tântalo e manganês, em pequenas quantidades, e traços de urânio, tório e cromo; na outra amostra coletada no mesmo veio revelou a presença de lantânio, háfnio e cério. A fluorita roxa apresentou íntima relação com o processo hidrotermal, que pode ser aquilatada considerando-se a extensa área afetada pelas soluções hidrotermais, onde se tem referência de ocorrência desse mineral em grandes profundidades, como foi assinalado por Frahy (20) nos campos de Cercado, Três Barras, Tamanduá, Mourões e Dona Tita, e por Branco (ref. 9, Fig. 19) no Morro do Ferro. A fluorita roxa, do morro do Taquari, apareceu associada a pequenas quantidades de zircônita e baddeleyta (Fig. 25).

Examinando-se verticalmente a partir da base do platô escavado no topo do morro, onde aflorou o veio de fluorita radioativa, até a superfície a uns seis metros de altura, observou-se um zoneamento na distribuição dos minerais formados. Inicialmente acompanhando o veio de fluorita radioativa, encontrou-se um material verde, formado de partículas muito pequenas, cujo tamanho estão fora do poder de resolução do microscópio petrográfico, e que se apresentaram orientadas paralelamente ao veio (Fig. 27 b). Esse mineral verde estudado com difração dos raios-X revelou ter estrutura da mica, e seu difratograma (Fig. 28B- IV) apresentou valores de espaçamento interplanar que não se ajustavam completamente aos padrões conhecidos para os diferentes polimorfos do grupo (Yoder e Eugster, ref. 51). A espectrografia dos raios-X desse material revelou conter zircônio, manganês e tório, e traços de lantânio, e que denominaremos por mica de cor verde, devido à sua cor característica. Na zona da mica de cor verde, cuja espessura não passou de 5 cm de cada lado da fluorita radioativa, o foliário foi completamente alterado, não restando nenhum mineral primário da rocha matriz; depois dessa zona, apareceu uma zona bem maior (Fig. 27 C), onde foi preservada a textura da rocha, o que permitiu a identificação de alguns dos seus componentes: a) a nefelina estava completamente alterada num material de cor verde, que examinado com difração dos raios-X apresentou espaçamentos de 15 a 10 angstroms, característicos da montmorilonita e mica (Fig. 28 B-II). A montmorilonita tratada com etilêno-glicol apresentou expansão do seu espaçamento basal, e a mica submetida a tratamento térmico (100°C) manteve-se inalterada; b) o feldspato que aparentemente estava inalterado, estudado com difração dos raios-X, apre-

Figura 24 - Morro do Taquari - Observam-se as diáclases por onde penetraram as soluções ricas em potássio; o material mais próximo das diáclases da rocha se apresenta ligeiramente orientado; junto da caneta encontra-se camada de mica de côr verde, que não é distinguivel na foto.

Figura 25 - Morro do Taquari - Micrografia da fluorita (F) associada com zirconita (Z) e baddeleyta (B).

Figura 26 - Morro do Taquari - Micrografia do feldspato alcalino, ligeiramente alterado em mica ao longo das clivagens.

ARGILAS FORMADAS POR METASSOMATISMO HIDROTHERMAL NO TÔPO DO MORRO DO TAQUARI

FIG. 27

sentou-se acompanhado de mica (fig. 28 B-III), que se formou a partir desse mineral. Lâminas petrográficas desse material mostrou: a) a nefelina alterada é opaca à luz, característica essa que também foi observada nos materiais da mesma natureza coletados num corte de estrada (Poços de Caldas-Andradas) e nos pseudomorfos de leucita coletados na Estação de Cascata: b) o feldspato está ligeiramente alterado em mica ao longo das clivagens do cristal (Fig. 26). Finalmente, foram encontradas amostras, próximo à superfície (Fig. 27 d) contendo halloysita- $4H_2O$, que não chegavam a formar uma zona definida, provavelmente devido a proximidade da superfície, onde predomina ação supérgena. A halloysita apresentou espaçamento basal de 10 angstroms, (Fig. 28B-I), dilatava para 11 angstroms quando tratada com etilêno-glicol, e contráia para 7,2 angstroms após o tratamento térmico ($100^{\circ}C$), (Fig. 28B-Ia).

Examinando-se horizontalmente o material da base do platô, observou-se que a zona da montmorilonita (Fig. 27C) se prolongava até a borda do morro, onde houve superposição dos fenômenos hipógenos e supérgenos, com predominância do último (Fig. 27 e). Um pouco abaixo desse local (Fig. 27-f), apareceu afloramento de fonolito ou tinguaito, que estava alterado homogeneamente num material de cor verde, cuja análise pelos raios-X revelou a presença de montmorilonita e de halloysita; examinada por microscopia eletrônica, a halloysita revelou ser constituída de tubos de tamanhos variados, enquanto a montmorilonita era constituída de placas bem irregulares e de espessuras variáveis (Fig. 29). Mais abaixo desse material (Fig. 27g) encontrou-se fonolito ou tinguaito alterado, de cor clara, que examinado com difração dos raios-X revelou a presença de mica e feldspato. Não foi possível estabelecer o contato entre esses dois tipos de materiais.

Mais ao norte do Morro do Taquari, encontrou-se outras áreas que continham minério de zircônio, cortadas por várias trincheiras abertas para exploração do minério. Numa dessas ocorrências, conhecida pelo nome de Rita (Fig. 6), ocupando uma pequena elevação ao lado da estrada velha Poços de Caldas-Pocinhos, onde se podia notar um grande número de diáclases reliquias, preenchidas por argilas de cor mais clara. Tanto o material da parede da trincheira como de outros pontos dessa pequena elevação, foram estudados com difração dos raios-X, e se revelaram constituídos homogeneamente de caulinita e mica, produtos típicos de ação supérgena.

CONCLUSÃO - Os produtos da ação hidrotermal encontrados no morro do Taquari se caracterizaram por um conjunto de argilo-minerais que se apresentaram distribuídos em zonas, tendo sido encontrado flu-

orita radioativa associada a esse fenômeno, que provocou metassomatismo hidrotermal em todo o Morro do Taquari. A sequência encontrada, a partir das diaclases por onde penetraram as soluções foi fluorita radiativa-mica - verde montmorilonita - halloysita- $4H_2O$. Não foi possível estabelecer uma relação entre o fonolito ou tinguaito, de cor clara, composto de mica e feldspato com o resto do material. O único mineral primário encontrado nessa sequência foi o feldspato alcalino, que se apresentava ligeiramente alterado em mica; os restantes foram completamente alterados.

Os argilo-minerais encontrados no campo da Rita, caulinita e mica, são os mesmos encontrados nos argilos provenientes do intemperismo, indício de que o zircônio se depositou em baixa temperatura, não tendo alterado as rochas encaixantes de maneira significativa.

Corte de estrada Poços de Caldas - Andradas

Os argilo-minerais encontrados nesse local são resultantes da decomposição de foiaito pela ação hidrotermal. Esse corte de estrada apresentou um grande número de diaclases entrecruzadas e preenchidas por material muito claro (Fig. 30 e 31).

DIFRAÇÃO DOS RAIOS-X - O material, que constituía a maioria dessas diaclases, examinado por difração dos raios-X, revelou ser constituído de montmorilonita e halloysita- $2H_2O$ (Fig. 28A-II). Foi encontrado, também, nesse corte um pequeno veio de material de cor preta, que, analisado com difração dos raios-X revelou ser constituído por litioforita e de um mineral do grupo dos feldspatos e a espectrografia dos raios-X revelou a presença de manganês, seu principal constituinte, além de zircônio e traços de háfnio, indícios da sua natureza hidrotermal. Encontrou-se, também, um pequeno veio, com três centímetros de espessura, de cor verde, onde a nefelina alterada de cor verde, era constituída por montmorilonita e mica, identificados com difração dos raios-X, enquanto o feldspato estava apenas parcialmente alterado. Em lâmina petrográfica desse material, a nefelina se apresentou opaca, como já havia sido assinalado no Morro do Taquari. Ao lado desse veio de cor verde, encontrou-se uma camada bem mais larga de halloysita- $2H_2O$, (Fig. 25 A-I). A exemplo do que ocorreu no Morro do Taquari, também não apresentou feldspato.

A rocha desse corte, inteiramente diaclasada, em alguns lugares permaneceu inalterada (Fig. 31) com formato semelhante a um matacão, como consequência do ataque por todos os lados pelas soluções hi-

Figura 28 A - Difractogramas de argilas do corte de estrada Poços de
Caldas-Andradas.

I - Halloysita- $2H_2O$

II - Montmorilonita (Mt) e halloysita- $2H_2O$

28 B - Difractogramas de argilas do Morro do Serrote

I - Halloysita- $4H_2O$ e $2H_2O$; Ia - aquecido a $100^\circ C$

II - Montmorilonita e mica (Mi)

III - Feldspato alcalino (F) e mica

IV - Mica de cor verde

Figura 29 - Micrografia eletrônica de argilas do Morro do Taquari, onde se observa:

- a) tubos longos e curtos, isolados ou em feixe, de halloysita;
- b) pequena quantidade de placas finas de perfil irregulas de montmorilonita;
- c) pequeno teor de placas hexagonais de caulinita

29

u

Figura 30 - Corte de estrada Poços de Caldas-Andradas. Observa-se alteração do foiaíto, por soluções hidrotermais, a partir das diáclases. A cor escura dos veios é devida a uma pequena chuva que caiu alguns instantes antes de ser tirada a fotografia, o que é indício de fácil circulação das águas.

Figura 31 - Corte de estrada Poços de Caldas-Andradas. Mesmo local da figura anterior, podendo-se observar a rocha inalterada, semelhante a um matacão, circundada por veios claros de halloysita- $2H_2O$ e montmorilonita. Esse material oferece uma boa idéia de como as soluções hidrotermais alteram grandes massas de rochas a partir das diáclases.

30

31

drotermais. Entre o material claro, montmorilonita e halloysita- $2H_2O$, das diáclases e a rocha inalterada, encontra-se uma faixa de material mais escuro, onde foi possível identificar halloysita e feldspato da rocha matriz.

Em dois veios afastados, mais próximos do final do corte de estrada, situados no prolongamento à direita e à esquerda da figura 30, os difratogramas registraram a presença de um mineral, com espaçamento interplanar de 3,36 angstroms, que, provavelmente, pertence ao quartzo, além da montmorilonita e halloysita- $2H_2O$.

CONCLUSÃO - Os argilo-minerais, produtos do metassomatismo hidrotermal, encontrados nesse corte de estrada se apresentaram distribuídos em zonas de montmorilonita e halloysita- $2H_2O$, esta última em contato com a rocha não afetada pelas soluções hidrotermais.

O estudo desse corte de estrada permitiu fornecer uma idéia da importância das diáclases na alteração das rochas, em condições hidrotermais. Devido à forte pressão, as soluções procuram escapar e penetram pelas diáclases, por onde atacam a rocha praticamente por todos os lados, destruindo seus minerais, que dão lugar à formação de argilo-minerais. A coloração clara do material formado é um indício de que a remoção do ferro ocorre nesses processos pelas soluções hidrotermais.

Tamanduá

A área conhecida pelo nome de Tamanduá, no centro do planalto de Poços de Caldas, compreende uma pequena elevação e um campo, onde é explorado minério de zircônio; ambos são constituídos de fonolito ou tinguaito totalmente alterado pela ação hidrotermal, e apresentam cor clara bem característica, devido à destruição dos minerais máficos; em trechos limitados passam rapidamente para a cor cinza, sem, contudo, apresentar cariação na composição mineralógica.

DIFRAÇÃO DOS RAIOS-X - O Rio das Antas divide a área em duas partes: a) do lado onde se encontra o Morro do Tamanduá e o campo do mesmo nome, onde o material tem grande consistência, tendo sido encontrado feldspato em todas as amostras examinadas com difração dos raios-X; b) do outro lado do Rio das Antas, onde as rochas alteradas são bem friáveis, o feldspato aparece raramente nos difratogramas obtidos desse material.

Na parte superior do Morro do Tamanduá, encontrou-se uma camada de mica de cor verde (Fig. 32), identificada com difração dos raios-X (Fig. 35 III), semelhante à encontrada no Morro do Taquari, com es-

grossura bem maior (mais de um metro), indício da maior intensidade desse processo; as partículas de mica apresentando boa orientação (Fig.33), provavelmente paralelas à diáclase por onde penetrou as soluções, como foi observado no Morro do Taquari; nesta ocorrência não foi encontrado fluorita radioativa. Próximo à camada de mica verde, encontrou-se um veio preto, cuja análise por espectrografia dos raios-X, revelou ser constituído de manganês, com quantidades menores de zircônio e traços de tório, indício de sua origem hidrotermal. Esse veio é semelhante, em composição química, ao encontrado anteriormente no corte de estrada Poços de Caldas - Andradas.

Depois da camada de mica de cor verde seguiu-se uma zona bem extensa de rocha clara e bem consistente, que vai até o Rio das Antas, e que compreende uma grande parte das rochas afetadas pelas soluções hidrotermais que podem ser encontradas no planalto de Poços de Caldas. Examinando-se por difração dos raios-X essas rochas, verificou-se serem constituídas por feldspato e mica (Fig. 35-II); esse último mineral produto de metassomatismo hidrotermal, já que não é encontrado nos fonolitos e tinguaítos. Em lâminas petrográficas verificou-se que a mica apresenta granulação muito fina, provavelmente responsável pela pequena intensidade do espaçamento basal que esse material apresentou em todos os difratogramas obtidos. Devido às pequenas dimensões dos cristais de feldspato, não foi possível distingui-los da mica nas lâminas petrográficas (fig.34) e sua presença só foi determinada com difração dos raios-X.

O pequeno tamanho dos cristais de feldspato é indício possível de que, pelo menos em parte foi transformado em mica; contudo não foi encontrado nenhum esqueleto desse mineral transformado em mica, ao contrário do que aconteceu com os fenocristais de nefelina que, nas amostras estudadas (Fig. 34), conservaram o seu contorno. Os fenocristais de nefelina encontrados na área do Tamanduá, quando examinados microscopicamente, tinham cor verde semelhante aos encontrados no Morro do Taquari, contudo, eram constituídos só por mica de cor verde, não contendo montmorilonita, que parece ter sido formada em condições onde a ação hidrotermal foi menos intensa.

O exame dessas rochas, mesmo com o maior aumento do microscópio petrográfico, não permitiu encontrar vestígios de minerais máficos, que foram destruídos, observação essa confirmada com a análise química desse material, como pode ser visto na tabela IV. As três primeiras colunas apresentam resultados da análise de dois fonolitos inalterados da região de Tamanduá e de um coletado na estrada Poços de Caldas-Pocinhos, que serviram de termo de comparação para os materiais alterados. A análise da

Figura 32 - Morro do Tamanduá - Camada de mica de cor verde, que se apresenta orientada, provavelmente paralela às diáclases da rocha por onde penetraram as soluções ricas em potássio.

Figura 33 - Morro do Tamanduá - Micrografia da mica de cor verde, notando-se a orientação das partículas.

Figura 34 - Morro do Tamanduá - Micrografia, fenocristais de nefelina alterados em mica, imersos numa massa fundamental afanítica de feldspato potássico e mica; os fenocristais são parcialmente opacos, o que é característico da alteração hidrotermal da nefelina nessa zona.

32

33

0,20 mm

34

0,24 mm

rocha consistente (feldspato e mica) permitiu verificar que o sódio foi completamente carregado, o mesmo acontecendo com o ferro, embora em menor escala, tendo havido, em compensação, aumento do teor, de alumínio e de potássio. A eliminação do sódio e do ferro explica a ausência dos minerais máficos, e o aumento do teor potássio (o dôbro), permitiu a formação de mica a partir dos minerais destruídos, o feldspato potássico encontrado, provavelmente, se formou a partir do feldspato sódico por metassomatismo hidrotermal. O alto teor de potássio é a maior evidência da natureza alcalina das soluções hidrotermais, que afetaram extensas áreas do planalto de Poços de Caldas.

Estudou-se longitudinalmente, o Morro do Tamanduá na direção leste-oeste, a fim de verificar a presença de montmorilonita. Em todo o percurso seguido, foi encontrado a mesma composição mineralógica, isto é, feldspato e mica, e a montmorilonita só foi encontrada numa única amostra, próximo ao veio de mica verde. A ausência de montmorilonita foi a única diferença constatada, ao se comparar este material com o semelhante do Morro do Taquari.

Em algumas amostras consistentes dessa área, encontraram-se cavidades e fendas preenchidas por materiais de cor clara. Examinados com difração dos raios-X apresentaram difratogramas idênticos ao das halloysitas- $4H_2O$. Esse material, tratado com etilêno-glicol, dilatou seu espaçamento basal para 11 angstroms e, submetido a tratamento térmico, contraiu para 7,2 angstroms.

O exame com microscopia eletrônica de materiais contendo halloysita- $4H_2O$ (identificada com difração dos raios-X) da área do Tamanduá, revelou serem constituídos de placas de perfil irregular, não tendo sido encontrados argilo-minerais com formato tubular tanto nesta área, como em outras formadas pelo mesmo material, examinados por microscopia eletrônica (Fig. 44). Devido à natureza desse material, não citado na literatura, reproduziu-se difratograma obtido (Fig. 35-I); esse material aquecido a $100^{\circ}C$ ou tratado com etilêno-glicol apresentou o mesmo comportamento da halloysitas formadas por tubos.

Esse mineral ocupando pequenas fendas nessa área é indício do aparecimento da zona seguinte, do outro lado do Rio das Antas, onde o feldspato praticamente está ausente, tendo ocorrido aumento correspondente de halloysita- $4H_2O$ (em placas), que provavelmente se originou da aquele mineral. Foi encontrada também halloysita- $2H_2O$ (em placas) e mica, aparecendo, esporadicamente, a gibbsita. A análise química desse material (Tabela IV), revela em relação ao material estudado anteriormente, uma grande diminuição de potássio, tendo havido uma concen-

Figura 35 - Difrátogramas de argilas do Tamandua

I - Halloysita- $4H_2O$ (em placas) (H); Ia - saturado com etilêno-
-glicol; IB - aquecido a $100^{\circ}C$; Gibbsita (G)

II - Feldspato (F) e Mica (Mi)

III - Mica de cor verde

- 62 -

35

tração de alumínio. Nesta área de rochas friáveis, encontram-se em dois cortes de estrada, veios de mica verde, de espessura muito pequena, indício da possibilidade desse mineral ter se formado em outras áreas, possibilidade essa reforçada pelas referências de ocorrências de fluorita roxa em profundidade, como nos campos de Cercado, Três Barras, Tamanduá, Mourões, Dona Tita e Morro do Ferro.

Ao norte de Andradas (Fig. 5) foi encontrado o mesmo tipo de material descrito para a área do Tamanduá: uma rocha friável branca, que, em alguns lugares passava rapidamente para cinza, e em outros se apresentava consistente, quando possuía cavidades preenchidas por material que apresentava difratograma de halloysita- $4H_2O$ (em placas).

CONCLUSÃO - Como consequência da ação de soluções ricas em potássio formaram-se, nessa área, três zonas, a partir das diáclases por onde penetraram essas soluções: mica de cor verde; mica + feldspato; halloysita- $4H_2O$ (em placas) + halloysita- $2H_2O$ (em placas) + mica + gibbsita. Nesta fase todos os minerais máficos foram destruídos resultando na saída de sódio, ferro, zircônio etc., das rochas alteradas pelas soluções.

A zona de mica + feldspato é a mais extensa de todas, abrangendo uma grande área que sofreu metassomatismo hidrotermal; o feldspato potássio se formou provavelmente, por metassomatismo hidrotermal a partir do feldspato sódico.

A presença dos argilo-minerais halloysita- $4H_2O$ (em placas) e halloysita $2H_2O$ (em placas), se constituiu numa novidade mineralógica, havendo apenas uma referência a material semelhante, proveniente da Ilha da Trindade e Itatiaia, feita por Souza Santos, Souza Santos e Moniz (52).

Morro do Ferro

O Morro do Ferro apresenta em profundidade foiaíto (Branco, ref. 9) onde ainda está preservada a rocha original, e é cortado por um veio de magnetita, não se tendo encontrado, em nenhuma amostra estudada, por difração dos raios-X, mineral primário da rocha alcalina até uma profundidade de 50 metros.

Ocorre, nesse morro, uma concentração de terras raras e tório, estando esses elementos disseminados dentro da massa de argilo-minerais que compõe essa elevação (Frahya, ref. 20).

DIFRAÇÃO DOS RAIOS-X - O material empregado neste estudo foi

Tabela IV - Análise química de rochas alcalinas inalteradas e alteradas por metassomatismo hidrotermal

	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	52,00	52,80	52,40	43,00	52,50	38,80	27,00
Al ₂ O ₃	22,50	23,30	22,80	36,50	27,10	35,10	42,30
Fe ₂ O ₃	3,60	3,35	3,10	3,80	1,00	4,00	2,60
FeO	1,40	1,30	1,20		0,57	0,71	0,57
K ₂ O	7,33	7,05	6,23	8,09	12,69	4,37	2,12
Na ₂ O	7,44	8,37	8,37	0,20	0,44	0,16	0,12
MgO	0,74	0,50	0,72	0,80	0,28	0,57	0,28
MnO	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02
CaO	2,30	1,57	2,00	0,50	0,22	0,22	0,28
TiO ₂	0,80	0,54	0,60	1,00	0,80	2,10	1,00
P ₂ O ₅	0,16	0,15	0,16	0,08	0,09	0,14	0,20
H ₂ O ⁻	0,16	0,08	0,14	0,75	1,20	4,80	6,86
H ₂ O ⁺	1,14	0,50	1,14	4,90	2,90	8,82	14,90

1 - fonolito inalterado da região do Tamandua

2 - fonolito inalterado da região do Tamandua

3 - fonolito inalterado da estrada velha Poços de Caldas - Caldas

4 - mica de cor verde do Tamandua

5 - zona de mica e feldspato da região do Tamandua

6 - zona de halloysita-4H₂O (em placas) + halloysita-2H₂O (em placas) + mica + gibbsita da região do Tamandua

7 - argila (caulinita, mica e gibbsita) do Morro do Ferro.

* * * * *

retirado dentro de uma galeria, com 90 metros de extensão, onde se coletaram sete amostras retiradas a espaços regulares; as últimas correspondem a uma profundidade mínima de 50 metros.

A análise por difração dos raios-X revelou a presença de caulinita, mica e gibbsita, na maioria das amostras estudadas, sendo os dois primeiros constantes. A principal característica desses minerais, revelada pela análise dos difratogramas, é a intensidade dos espaçamentos basais da caulinita e da mica, e a do espaçamento 4,85 angstroms da gibbsita (Fig. 36-III); no exame por microscopia eletrônica, a caulinita se apresentou inteiramente constituída por placas hexagonais, e muito finas o que explica as intensidades obtidas nos difratogramas, devido à boa cristalinidade desse mineral e a facilidade de orientação preferencial (Fig. 37).

O largo veio de magnetita é cortado pela galeria. Coletou-se uma amostra de argila em contato com esse veio, que examinada com difração dos raios-X não revelou qualquer diferença na composição mineralógica, em relação aos outros materiais estudados.

A ocorrência do material coletado no Morro do Ferro é limitada à leste pela estrada que dá acesso a essa região. Aí se encontrou um fonolito ou tinguaito de cor clara, composto de feldspato e mica, contendo, também alguns fenocristais hexagonais, provavelmente de nefelina, alterados num material de cor verde (Fig. 28), que examinado por difração dos raios-X, revelou as presenças de montmorilonita e mica como no Morro do Taquari, estrada Poços de Caldas-Andradas.

Aquela estrada, em direção norte, corta um fonolito ou tinguaito de cor clara, muito semelhante aos materiais que sofreram metassomatismo hidrotermal. Os difratogramas obtidos de amostras ao longo dessa estrada, apresentaram valores de espaçamento interplanar da caulinita, mica e gibbsita, este último só em algumas amostras. Tanto o espaçamento basal da caulinita (7,2 angstroms) como o da mica (10 angstroms) apresentaram intensidade muito grande, semelhante aos mesmos minerais encontrados no Morro do Ferro; os mesmos argilo-minerais formados pela ação do intemperismo, que se examinou com difração dos raios-X, apresentaram intensidade dos espaçamentos basais bem menor, o que tornou possível a distinção da natureza dos dois materiais. O exame, por microscopia eletrônica, de uma amostra desse material revelou ser constituído de: a) placas hexagonais bem formadas de caulinita, semelhante ao do Morro do Ferro; e b) tubos grossos de halloysita (Fig. 40).

CONCLUSÃO - A caulinita, mica e gibbsita que compõem o Morro do Ferro apresentaram-se distribuídas homogeneamente, não tendo sido

Figura 36 - Difractogramas

- I - Halloysita- $4H_2O$ (em placas) (H) Halloysita- $2H_2O$ (em placas) (H')
Gibbsita (G) e feldspato do campo PBl (Campo do Barreiro); Ia-
aquecido a $100^{\circ}C$.
- II - Morro do Serrote - Gibbsita hidrotermal (G). Observa-se a peque
na intensidade do espaçamento principal.
- III - Morro do Ferro - Mica (Mi), caulinita (C); gibbsita (G)

36

Figura 37 - Micrografia eletrônica de argilas do Morro do Ferro, contidas essencialmente de partículas lamelares de caulinita de perfil hexagonal, sendo as placas muito finas. A grande finura das placas, que facilita a orientação preferencial é, provavelmente, responsável pela grande intensidade dos espaçamentos interplanares nos difratogramas obtidos.

encontrado zoneamento dentro da galeria, que cortou o veio de magnetita, por onde, provavelmente teriam penetrado as soluções. A presença de caulinita muito bem cristalizada, em vez de seus polimorfos (nacrita e dickita) formados em alta temperatura é um indício de que esse mineral se formou em temperatura mais baixa, que teria ocorrido no final do processo hidrotermal.

Praticamente a mesma composição mineralógica de argilo-minerais determinada no Morro do Ferro foi encontrada ao longo da estrada que corta aquela área. A única diferença observada foi na presença de halloysita, na estrada Poços de Caldas-Morro do Ferro. Esses dois locais correspondem, provavelmente, a duas fases muito próximas do mesmo processo hidrotermal.

A composição mineralógica do Campo do Cercado (Fig. 6), provavelmente é a mesma do Morro do Ferro, devido estar próximo daquele Morro e ainda estar associado a uma concentração de terras raras e tório.

Morro do Serrote

Uma das principais ocorrências de caldasito do planalto de Poços de Caldas encontra-se no Morro do Serrote, constituído de analcita-tinguaíta e foiaíta profundamente alterados num material argiloso, restando ainda pequenas ocorrências de tinguaito inalterado nas partes laterais dessa elevação. Devido à intensa exploração do minério de zircônio nesse local, encontra-se um grande número de trincheiras, algumas das quais atingindo profundidades de 15 metros, o que facilitou o estudo das argilas. Esse estudo foi realizado com difração dos raios-X e mostraram ser constituídos predominantemente de caulinita e mica, tendo sido encontrado halloysita- $4H_2O$ em algumas amostras estudadas.

Numa ocorrência de analcita-tinguaíta praticamente inalterada, situada na borda do morro, encontraram-se veios de caldasito preenchendo diáclases, com espessura de um centímetro, que não causaram alteração na rocha encaixante. Numa outra ocorrência da mesma rocha encontraram-se: a) um veio quase vertical de gibbsita e possivelmente cliaquita, intimamente associados, de coloração muito clara, tendo espessura de um centímetro, que ao se depositar nas diáclases da rocha provocaram alteração completa do analcita-tinguaíta em mica de cor verde (Fig. 39), semelhante à encontrada nos Morros do Taquari e Tamanduá; b) veios de halloysita hidrotermal, de cor branca, também em posição quase vertical, em ângulo reto, com o veio de gibbsita, que se encontrava próximo. Um dos veios de halloysita- $4H_2O$ estava separado lateralmente da

rocha por uma camada contínua de caldasito de cinco milímetros; não foi encontrada alteração ao longo da parede do analcita-tinguaíto em contato com o caldasito, a exemplo do que ocorreu com o outro veio, há pouco mencionado.

DIFRAÇÃO DOS RAIOS-X - A halloysita- $4H_2O$ apresentou nos difratogramas obtidos, espaçamento de 10 angstroms. Tratada com etilêno-glicol, dilatou aquele espaçamento para 11 angstroms, e contraiu para 7,2 angstroms depois do tratamento térmico (Fig. 23-II). Estudado com microscopia eletrônica, esse mineral foi identificado pelos tubos longos, tendo sido encontradas partículas de forma esférica, bastante opacas aos eletrons (Fig. 41), que podem ser identificadas como alofana, por causa da morfologia que foi assinalada por Sudo (53) em alofanas do Japão.

O material do veio branco com gibbsita, foi identificado por difração dos raios-X, tendo apresentado pequena intensidade para o espaçamento de 4,35 angstroms (Fig. 36-II), devido, possivelmente, a presença do hidróxido amorfo (cliaquita). Lâmina petrográfica desse material permitiu avaliar a pequena quantidade de gibbsita presente (Fig. 42), sendo o restante do material óticamente isotrópico.

Próximo do Morro do Serrote, encontra-se o Campo de Brígidas (Fig. 6), que se apresenta cortado por veios de caldasito explorados intensamente. Estudou-se por difração dos raios-X os argilo-minerais coletados dentro da trincheira, utilizada para exploração do minério de zircônio, assim como as argilas mais afastadas do local onde se depositou o minério, tendo sido identificados, principalmente, a caulinita e a mica; em umas poucas amostras encontrou-se halloysita- $4H_2O$. A associação de argilo-minerais encontrados nesse campo é semelhante aos materiais da mesma origem do Morro do Serrote.

CONCLUSÃO - Os argilo-minerais encontrados junto com o minério de zircônio, caulinita e mica, principalmente, tanto no Morro do Serrote como no Campo de Brígidas, são semelhantes aos produtos da ação do intemperismo (Capítulo I). Encontrou-se halloysita- $4H_2O$ em poucas amostras, nesses dois locais, mineral que tanto poderia ter natureza hipógena como supérgena, mas que, em qualquer dos casos, é formado em temperaturas baixas. Outros indícios da formação do caldasito a baixa temperatura, foram encontrados nos casos: a) em que se encontrou minério de zircônio, cortando analcita-tinguaíto praticamente inalterado, que não teria sofrido alteração mineralógica por ocasião da deposição do minério; b) no veio onde o caldasito está associado a halloysita- $4H_2O$; o minério de zircônio, que penetrou junto com a halloysita- $4H_2O$ pelas diáclases da rocha se depositou primeiro junto da rocha encaixen

Figura 38 - A leste do Morro do Ferro - (Estrada de Poços de Caldas - Morro do Ferro) - Micrografia, fenocristais de nefelina alterados em montmorilonita e mica, imersos numa massa fundamental de feldspato e mica.

hidro nefel

Figura 39 - Morro do Serrote - Veio de gibbsita hidrotermal cortando analcita-tinguaíto, que foi alterado em mica de cor verde.

Figura 40 - Microscopia eletrônica de argilas da estrada Poços de Caldas-
Morro do Ferro (na região do Morro do Ferro), formados de placas
hexagonais bem formadas de caulinita, e tubos longos e grossos,
bastante espessos, de halloysita, alguns deles com aspecto de
folha enrolada.

Figura 41 - Micrografia eletrônica de argilas do Morro do Serrote constitui
dos de: a) halloysita de tubos curtos e longos; b) nota-se a presença de partículas de forma esférica bastante opacas aos elétrons, que podem ser identificados como alofana; c) pequena quantidade de material lamelar.

te. Por essa razão a halloysita- $4H_2O$ conservou sua cor branca, que não é encontrada em nenhum outro material do planalto de Poços de Caldas. Os outros veios não contando com essa proteção, foram invadidos por óxidos de ferro, que coloriram o material intensamente em alguns pontos.

Estação de Cascata

Num corte junto à Estação de Cascata, ocorre uma rocha de cor clara, constituída por um grande número de pseudomorfos de leucita, com poucos milímetros de espessura, e que são facilmente destacáveis da massa da rocha. Em duas lâminas petrográficas desse material pôde-se observar que a maioria dos núcleos dos pseudomorfos de leucita era opaca, semelhante ao material do Morro do Taquari e do corte de estrada Poços de Caldas-Andradas. Os pseudomorfos de leucita, examinados com difração dos raios-X, revelaram ser constituídos por mica, na figura 43 aparece um dos poucos pseudomorfos de leucita transparentes.

Sua origem hidrotermal foi confirmada quando se examinou o material contido numa única fenda desse corte que no difratograma revelou a presença de halloysita- $4H_2O$, halloysita- $2H_2O$ e um pouco de mica (Fig. 23-III); com o microscópio eletrônico, a halloysita mostrou ser constituída de placas de perfil irregular (Fig. 44), tratando-se, portanto, de um material semelhante ao da região do Tamandua.

Campo do Barreiro

Dentro do Campo do Barreiro existe um depósito de argila-refratária (PBI) (Fig. 6) em exploração, localizado numa baixada drenada pelo Ribeirão Poços de Caldas, que banha a cidade do mesmo nome.

O material desse depósito, coletado pelo Dr. Pêrsio de Souza Santos, foi estudado com difração dos raios-X e microscopia eletrônica. Suas argilas refratárias apresentavam na superfície cor cinza, que clareava um pouco em profundidade. A análise com difração dos raios-X revelou ser o material constituído de mistura de halloysita- $4H_2O$ (em placas halloysita $2H_2O$ (em placas), gibbsita e feldspato, (Fig. 36-I), não tendo sido encontrada variação significativa em profundidade. A microscopia eletrônica do material revelou ser constituído de placas de perfil irregular, semelhantes às encontradas na área do Tamandua, Estação de Cascata etc..

Figura 42 - Morro do Serrote - Micrografia do veio da Fig. 39.
Composto de gibbsita (G) contida numa massa amorfa,
formada, provavelmente, por cliaquita.

Figura 43 - Estação de Cascata - Pseudomorfos de leucita altera-
dos, provavelmente em mica, pelas soluções hidroter-
mais.

Este tipo de depósito de argila refratária (PBL) em exploração, é bem singular por provir de material formado por metassomatismo hidrotermal, o que poderá vir a ampliar as reservas conhecidas de argila refratária do planalto de Poços de Caldas, antes praticamente limitado aos materiais de origem supérgena.

Campo do Saco

Encontrou-se halloysita- $4H_2O$ junto do lençol freático numa amostra desse campo. Esse material examinado com microscopia eletrônica revelou ser constituído de placas de perfil irregular, semelhantes ao material da Estação de Cascata, indício de sua origem hidrotermal. A proximidade desse local com o campo do Barreiro e com a Rua dos Inconfidentes (próximo da estação rodoviária), cujo material vai ser estudado em seguida, é indício de que, provavelmente, toda essa área deve ser constituída de material semelhante, que estaria mascarada devido a ação do intemperismo que se fez sentir sobre esse material.

Rua dos Inconfidentes

Encontrou-se halloysita- $4H_2O$ em várias amostras coletadas num pequeno corte nessa rua. Muito embora não se tenha examinado esse material com microscopia eletrônica, a fim de se verificar o formato das partículas, é provável que ele seja de origem hidrotermal, devido não se ter encontrado halloysita que fôsse detectável com difração dos raios-X, em todo o material examinado, proveniente da ação do intemperismo e que ocupava fenda de argila residual.

Numa das amostras estudadas encontrou-se halloysita- $4H_2O$, halloysita- $2H_2O$, mica e gibbsita, associação aparentemente semelhante ao material do Tamanduá, outro indício da natureza hidrotermal de material coletado nessa rua.

Campo do Barro Branco

Uma amostra desse campo, coletada a 7 metros de profundidade, examinada com difração dos raios-X revelou ser constituída de halloysita- $4H_2O$. Esse material examinado com microscopia eletrônica se apresentou formado de tubos longos e de um material provavelmente alofana em forma de bolas opacas. Essa associação é semelhante, portanto, ao

Figura 44 - Micrografia eletrônica de halloysita da Estação de Cascata,
constituída de placas de perfil irregular, isoladas ou em
aglomerados (Halloysita- $4\text{H}_2\text{O}$ (em placas)).

material hidrotermal do Morro do Serrote. A presença de alofana formada no processo hidrotermal, permitiu verificar que essa halloysita, anteriormente classificada como de origem supérgena, pelas observações de campo e resultado da análise com difração dos raios-X, também seria de natureza hidrotermal.

Estrada Poços de Caldas - Pocinhos

Nessa estrada, pouco depois da entrada para o Morro do Ferro, encontrou-se um pequeno corte material de cor bem clara, que examinado com difração dos raios-X revelou ser constituído homogeneamente de montmorilonita e halloysita- $4H_2O$. Este tipo de associação já havia sido encontrado anteriormente nos materiais do Morro do Taquari, e corte de estrada Poços de Caldas-Andradas. Em face desses resultados, conclui-se pela provável origem hidrotermal desse material. Essa hipótese é reforçada pela sua localização, nas proximidades da grande massa central do planalto, que foi intensamente alterada pelas soluções hidrotermais e cujos reflexos se fizeram sentir em algumas rochas circunvizinhas, como ocorreu no Morro do Taquari e num corte de estrada Poços de Caldas-Andradas.

Relações entre os depósitos de argilas formados por metassomatismo hidrotermal

Foram encontradas duas seqüências principais de argilo-minerais formadas pela ação das soluções hidrotermais ricas em potássio; uma de caráter local (Morro do Taquari), e outra que abrangeu uma área bem maior (Tamanduá). As duas seqüências apresentaram como característica comum; a) o comportamento químico; b) a presença de zonas de mica de cor verde e de mica + feldspato.

As análises químicas de materiais da área do Tamanduá (Tabela IV) mostraram que a partir da zona de mica de cor verde, por onde penetraram as soluções hidrotermais, existe um empobrecimento de potássio e silício, e um aumento de alumínio. Comportamento semelhante foi encontrado no Morro do Taquari, onde as zonas de mica de cor verde; feldspato + mica; montmorilonita; e halloysita- $4H_2O$, quimicamente representam diminuição de potássio e de silício (relação de silício para alumínio, nos argilo-minerais passa de 2:1 para 1:1) e aumento do alumínio (relação alumínio para silício passa de 1:2 para 1:1). Este comportamento é válido para o material do corte de estrada Poços de Caldas -Andradas, que apresenta composição mineralógica semelhante ao

do Morro do Taquari. Os argilo-minerais formados nas zonas mais afastadas da mica de cor verde (Figura 45) apresentam uma variação mineralógica constante, provavelmente função da intensidade dos fenômenos, que foi mais intensa do Tamanduá, podendo ser avaliada pela espessura de mica verde formada (mais de um metro); no Morro do Taquari, essa camada não ultrapassa cinco centímetros; no corte da estrada Poços de Caldas-Andradas não se encontra a zona de mica de cor verde e a seguinte, (feldspato + mica), foi reduzida a três centímetros de espessura, bem inferior às zonas correspondentes, encontradas no Tamanduá e Morro do Taquari.

Encontraram-se vários indícios de natureza química e mineralógica que levam a crer que o Morro do Ferro representa a fase seguinte do processo hidrotermal iniciado no Tamanduá e prosseguido no Taquari, quando as soluções já continham menos potássio. Esses indícios são: a) o comportamento químico dos principais elementos (silício, potássio e alumínio) se acentuam nesse material, onde prosseguiu a queda do teor de silício e potássio, havendo em compensação, aumento de alumínio (Tabela IV); o comportamento químico desses elementos é muito semelhante ao encontrado no Tamanduá, Morro do Taquari e corte de estrada Poços de Caldas-Andradas, e corresponde às zonas mais afastadas da camada de mica de cor verde.

b) No Morro do Ferro não foram encontrados minerais das zonas iniciais (mica de cor verde e feldspato + mica), correspondendo assim seu material ao encontrado nas zonas mais afastadas, onde o feldspato foi destruído;

c) a presença de caulinita bem cristalizada, em vez de seus polimorfos (nacrita e dickita) formados em temperaturas mais altas, é uma evidência de que esse mineral se formou no final do processo hidrotermal, quando as temperaturas estavam mais baixas;

d) A presença de gibbsita é uma evidência de final de processo, considerando-se a grande semelhança que esse material apresenta com os produtos da ação do intemperismo, que quimicamente apresentam a mesma característica, isto é, a dessilicatização (perda de silício) e perda de potássio e concentração de alumínio;

e) A presença de um veio de magnetita, representa, provavelmente, a deposição do ferro retirado dos minerais máficos destruídos pela ação hidrotermal.

Material muito semelhante ao do Morro do Ferro foi encontrado ao longo de um trecho da estrada Poços de Caldas-Morro do Ferro, onde além da mica, caulinita e gibbsita, foi encontrada halloysita; esses argilo-minerais, provavelmente, se formaram em condições semelhantes,

OCORRÊNCIAS	Z O N A S			
TAMANDUÁ	Mica de côr verde espessura: superior 1 m	feldspato e mica espessura: superior 1 km	halloysita-4H ₂ O (em placas) halloysita-2H ₂ O (em placas) mica gibbsita	
MORRO DO TAQUARI	Mica de côr verde espessura 5 cm	feldspato e mica espessura superior 100 m	montmorilonita	halloysita-4H ₂ O
CORTE DE ESTRADA DE POÇOS DE CALDAS ANDRADAS	-	feldspato e mica 3 cm	montmorilonita	halloysita-2H ₂ O
MORRO DO FERRO	-	-	caulinita mica gibbsita	

Figura 45 - Seqüência de argilo-minerais formados a partir das diáclases por onde penetraram as soluções hidrotermais.

sendo representantes de fases muito próximas no processo de metassomatismo hidrotermal que afetou o planalto de Poços de Caldas.

Na fase final dessa sequência houve deposição do minério de zircônio rico em urânio, quando as soluções praticamente não mais afetaram as rochas encaixantes, como foi visto dos materiais do Campo da Rita, Morro do Serrote e Campo de Brígidas. Embora não fossem encontrados pelo autor, tem-se referência da ocorrência de veios contendo manganês e ferro (localmente denominados "veios queimados"), próximo dos veios de caldasito; associado aqueles veios encontra-se algumas vezes, urânio.

CONCLUSÃO DO CAPÍTULO SEQUÊNCIA DE FORMAÇÃO

As soluções hidrotermais ricas em potássio, penetraram nas rochas inicialmente em alta temperatura, e provocaram alterações em grandes áreas do planalto de Poços de Caldas, tendo sido encontrado uma associação de argilo-minerais característica para cada fase do processo. Algumas vezes, as fases se apresentaram subdivididas em zonas, de acordo com a composição físico-química das soluções hidrotermais. A divisão em fases e zonas foi devida principalmente a quantidade de potássio presente; enquanto as soluções traziam potássio externo, de natureza hidrotermal, formou-se mica e o feldspato não se transformou em argilo-mineral; quando as soluções hidrotermais já não mais continham aquele elemento, ela o retirava em parte da rocha que se alterava completamente em argilo-mineral, a exemplo do que acontecia no intemperismo.

A primeira associação de argilo-minerais a se formar era constituída de halloysita- $4H_2O$ (em placas), halloysita- $2H_2O$ (em placas), mica e gibbsita (Fig. 46 A), quando o feldspato e os máficos foram destruídos, estes últimos tendo sido alterados em todas as zonas e fases do processo hidrotermal; segue-se (Fig. 46 B) uma zona de grande extensão geográfica, onde todos os máficos se alteraram em mica e o feldspato sódico se transformou em potássico; junto às diáclases por onde penetraram as soluções formou-se mica verde (Fig. 46 C), a partir de todos os minerais primários em temperatura superior às zonas restantes, formadas anteriormente. Durante o metassomatismo hidrotermal das rochas dessa fase, sódio, ferro, zircônio, etc., e pequena quantidade do silício foram carreados na direção das diáclases por onde penetraram as soluções, que ficaram enriquecidas naqueles elementos e empobrecidas em potássio. As soluções hidrotermais quando atingiram a zona A, já não mais continham potássio; a mica encontrada se formou a par-

tir do feldspato da rocha alcalina, semelhantemente ao que aconteceu no intemperismo; o excesso de potássio, resultante daquela transformação, migrou para a fase B, tendo enriquecido ainda mais as soluções hidrotermais naquele elemento.

Numa fase mais adiante (segunda fase), onde houve decréscimo da temperatura, as soluções hidrotermais estavam menos ricas em potássio e apresentavam composição química diferente das soluções que inicialmente penetraram nas rochas alcalinas, devido a adição de novos elementos; nessas condições de temperatura mais baixa e composição química diferente, os efeitos das soluções se fizeram sentir numa área menor; encontrou-se também, uma subdivisão dessa fase em zonas, onde se podia estabelecer uma relação com as formadas anteriormente. O primeiro argilo-mineral a se formar foi halloysita ($4H_2O$ e $2H_2O$) (Fig. 46 D), numa zona onde os minerais máficos e o feldspato haviam sido destruídos, a exemplo da fase anterior (Fig. 46 A); segue-se a zona de montmorilonita (Fig. 46 E), formada a partir da nefelina devido à presença de magnésio, que havia sido concentrado, depois que as soluções hidrotermais retiraram esse elemento dos minerais máficos, que foram destruídos anteriormente; segue-se a zona de mica e feldspato (Fig. 46 F), semelhante, porém de espessura bem menor, a encontrada anteriormente; finalmente se encontra uma zona de mica verde (Fig. 46 G) ao lado de um veio de fluorita radiativa, que ocupava diáclase das rochas. Encontrou-se junto com algumas amostras de fluorita radiativa, zirconita e baddeleyta, indício de uma deposição, que ocorreu mais tarde, já no último estágio da ação hidrotermal. A fluorita apresenta traços de urânio, tório e terras raras, elementos esses que, com a evolução das deposições, são classificados. Nesta fase ocorreu a saída, praticamente dos mesmos elementos da fase anterior; as soluções que atingiram as zonas D e E já não mais continham potássio, a exemplo do que havia ocorrido na fase anterior.

Numa fase posterior (terceira fase), de menor temperatura, quando as soluções já não continham potássio, encontrou-se uma massa homogênea de argilo-minerais (Fig. 46 I). Junto com os argilo-minerais, que já não mais apresentam subdivisões em fases, depositou-se terras raras e tório. Nesta fase ocorreu deposição do ferro (sob a forma de magnetita) (Fig. 46 J), retirado, provavelmente, dos máficos destruídos nas fases anteriores. As soluções hidrotermais que alteraram o foliamento desse morro, carregam o sódio, silício, zircônio, potássio etc..

Finalmente, na última fase (quarta) da atividade hidrotermal as soluções estavam ricas em sódio, silício, zircônio, e continham em menor quantidade manganês e ferro, tendo-se depositado silicato e óxido de

ESQUEMA DO METASSOMATISMO HIDROTHERMAL
NO PLANALTO DE POÇOS DE CALDAS.

FIG 46

zircônio (zirconita e baddeleyta), óxidos de ferro e manganês. Nesta fase também se depositou urânio, principalmente junto com minério de zircônio, não chegando no entretanto a formar nenhum mineral em que entrasse como elemento principal, limitando-se, provavelmente a substituições isomorfas nos minerais de zircônio.

* * * * *

PARTE III

DISCUSSÃO

Argilas formadas pela ação do intemperismo

Os resultados obtidos no estudo dos argilo-minerais do planalto de Poços de Caldas, formados pela ação do intemperismo, estão de acordo com os dados de literatura mais recentes, como pode ser observado no breve resumo apresentado na introdução deste trabalho.

A determinação da mica, como elemento intermediário entre a rocha e a caulinita, pode ser estabelecida com segurança: a) devido a rocha não conter aquele mineral; b) pelas análises com difração dos raios-X de inúmeras rochas, em fase inicial de decomposição, que estavam invariavelmente acompanhadas daquele mineral e ainda não continham caulinita.

A presença de montmorilonita, no Campo do Areão, junto da rocha ainda em decomposição, está de acordo com as observações de Grim (33) e Bates (39), e sua formação ocorreu em ambiente úmido, alcalino e rico em ferro, cálcio e magnésio; a presença de halloysita era presisível em face dos estudos de Sand (41) e Bates (42), que haviam mostrado que aquele mineral se forma nas condições ambientais, pela ação do intemperismo.

A presença de halloysita, nas camadas mais profundas dos depósitos de argila residual, sugere a possibilidade de que aquele argilo-mineral possa ter-se formado a partir dos minerais, que são os mais rapidamente, decompostos. Essa possibilidade, contudo, requer melhor investigação, já que os dados obtidos são insuficientes para provar aquele tipo de transformação.

Bauxitos

Weber (25) admitiu serem atuais os processos que resultaram na formação de bauxitos e na de argilas, tendo concluído, com base no resultado de análise de testemunhas de sondagem, que 65% dos bauxitos do planalto de Poços de Caldas se originaram de argila, e os restantes 35% se formaram diretamente da rocha.

O estudo das argilas formadas pela ação do intemperismo, em todo o planalto de Poços de Caldas, permitiu verificar que nenhum depósito de argila estava em processo de dessilicatização tão avançado que

pudesse ser considerado bauxito. Os depósitos de argila de baixada eram os mais ricos em gibbsita, mas o que ainda predominava em sua composição eram os argilo-minerais. Por outro lado, a estrutura concêntrica do bauxito assim como a presença de fendas formadas pelas diáclases reliquiais da rocha, eram os elementos mais seguros a favor da transformação direta, como podia ser observado, praticamente, em todos os bauxitos do planalto de Poços de Caldas que se examinaram.

A observação de Weber (25), de ocorrência de argila em baixo do bauxito, pode ser assim explicada. Inicialmente formou-se bauxito, a partir da rocha alcalina por transformação direta, em certas condições ambientais que foram posteriormente alteradas; devido a essa mudança, as rochas alcalinas começaram a se alterar em argilo-minerais. Graças à grande porosidade do bauxito, foi possível que as águas superficiais atingissem a rocha em profundidade, que não havia sido alterada em bauxito tendo se iniciado um novo tipo de alteração. Dessa maneira, a camada de argila encontrada sob o bauxito não representa a fase inicial do processo de bauxitização, mas sim, um outro processo de decomposição. Nos casos, em que o bauxito está em contato lateral com depósitos de argila, como é encontrado no interior do planalto, esta explicação é mais evidente.

Goldman e Tracey (36) estudando bauxitos de Arkansas explicaram não ter encontrado indícios de formação de bauxito a partir de caulim. Essa observação, feita em materiais provenientes de rochas, semelhantes às encontradas em Poços de Caldas, vem a favor das conclusões apresentadas nesse trabalho.

Argilas formadas por ressilicatização

Weber (25) admitiu ser a ressilicatização do bauxito sugerida por vênulas de argila cortando o bauxito. Provavelmente, aquele autor se referiu a materiais da mesma natureza que se estudaram.

Goldman e Tracey (36) afirmaram que a caulinição ou silicatização dos bauxitos de Arkansas era muito mais comum do que tem sido reconhecido. Aquêles autores, encontraram argilas ocupando fendas formadas por diáclases reliquiais, e por outras, que cortavam irregularmente o bauxito. Em ambos os casos, a espessura do material formado era bem superior ao encontrado em Poços de Caldas. O material argiloso não foi examinado com difração dos raios-X, o que impediu uma comparação daqueles materiais com os do planalto de Poços de Caldas.

Allen (37) admite ser a caulinita celular a prova mais convincente de ressilicatização. Essa caulinita conservaria a estrutura porosa do bauxito, do qual se originou por ressilicatização. Os bauxitos brancos encontrados no interior dos depósitos de argila refratária, ainda conservam a porosidade primitiva, o que seria uma prova de que o alto teor de sílica encontrado é devido à transformação da gibbsita em caulinita e mica. O mesmo autor, cita uma variedade de argila denominada "Chimney rock" denominada por Shearer (54), que ocorre em associação com o bauxito em Wilkinson Country, Georgia. Este material é opaco, duro e maciço e apresenta relações com o bauxito que sugere ser alguns "Chimney rock" formados por ressilicatização. Muito embora, aquele autor, não faça menção da composição mineralógica daquele material, existe alguma semelhança com as halloysitas que se estudaram, devido ser aquela argila dura e maciça, o que seria um indício, de que poderiam ter origem semelhante.

O formato bem curto dos tubos da halloysita, parece ser o fato mais importante que se encontrou a favor da determinação de materiais formados, provavelmente, por ressilicatização.

Argilas formadas por metassomatismo hidrotermal

O caldasito foi um dos produtos mais estudados formados pela ação hidrotermal sobre as rochas alcalinas de Poços de Caldas. Sua natureza hidrotermal foi assinalada por Franco (12) e Guimarães (55), tendo este, inclusive, afirmado serem os depósitos de zircônio formados à baixa temperatura.

Segundo Guimarães, Campos e Figueiredo (19) os protominerais de zircônio seriam os minerais zirconíferos, como a euridallita, ghangettita, catapleita etc.; a ação de soluções hidrotermais sobre aqueles minerais teria provocado a mobilização do zircônio, que foi levado em solução, vindo a se depositar em fenda da própria rocha.

Segundo Branco (9) a origem do urânio associado ao zircônio e das terras raras e tório seria idêntica à do zircônio, como foi concluído por Guimarães, Campos e Figueiredo.

Análise química de duas amostras de fonolito da região do Tamanduá, efetuada no laboratório da Comissão Nacional de Energia Nuclear, permitiu verificar que a rocha inalterada contém 3,3 ppm de urânio, enquanto a mesma rocha alterada pelas soluções hidrotermais reduziu o conteúdo de urânio para 0,5 ppm. Esse resultado demonstra a mobilização do urânio, a exemplo do que havia acontecido com sódio, ferro, zir-

cônio e outros elementos menores.

Branco (9) observou que o alto grau de alteração está ligado à mineralizações fluoradas e sulfuradas sofridas pelas rochas, que produziram, principalmente, fluorita, purita e pirrotita. Este resultado está de acordo com o que foi verificado no Morro do Taquari, onde foi possível determinar a relação entre os veios de fluorita e o processo hidrotermal.

A temperatura de transformação da halloysita- $4H_2O$ em halloysita $2H_2O$ é variável, dependendo da pressão, conforme mostraram Roy e Osborn (56); nas condições ambientais ou vácuo, a transformação se dá a $30^\circ C$; em condições hidrotermais, a halloysita- $4H_2O$ se mantém inalterada até $125^\circ C$ em pressão de 34 libras por polegada quadrada. Com esses dados é possível prever em que intervalo de temperatura, teria se depositado os pequenos veios de caldasito do Morro do Serrote, que estavam associados a halloysita- $4H_2O$. Esse intervalo teria sido possivelmente entre 30 e $125^\circ C$.

Guimarães, Campos e Figueiredo, afirmam que a formação de caldasito está ligada à dos veios e lentes de zeolitas; esse fato, segundo aqueles autores, confirmava a hipótese de que os veios de caldasito se formaram por metassomatismo hidrotermal.

Sobre aquela afirmação convém lembrar que o processo hidrotermal se caracterizou por uma extração, quase que completa do sódio das rochas, durante todas as fases do processo hidrotermal, como foi observado em análises químicas de materiais da área do Tamandua (formados a alta temperatura) e Morro do Ferro (formados a temperatura mais baixa). Os veios que se examinaram com difração dos raios-X, situados próximos do minério de zircônio eram constituídos de argilo-minerais, não se tendo encontrado zeolitos.

Têm sido encontrado, frequentemente nas rochas alcalinas do planalto de Poços de Caldas, zeolitas formadas a partir de nefelina e feldspato; o processo de formação desses minerais não pode ser confundido com o processo hidrotermal de soluções ricas em potássio), já que as zeolitas, analcita e narolita, encontradas nessas rochas, necessitam de sódio para sua formação.

Segundo esquema da figura 46, teria se concentrado uma grande quantidade de sódio no final do processo hidrotermal; não foi encontrado, contudo, nenhum mineral em que aquele elemento fizesse parte obrigatória da sua estrutura.

As zeolitas referidas por Guimarães, Campos e Figueiredo (19)

que estariam associadas ao caldasito, teriam se formado: ou no final do processo hidrotermal, quando havia uma grande concentração de sódio embora não fôsse encontrado pelo autor nenhuma zeolita que se pudesse atribuir uma origem hidrotermal; ou então teria a mesma origem das outras zeolitas encontradas praticamente em todas as rochas de Poços de Caldas. Neste caso, a baddeleyta, possivelmente, seria um acessório da rocha alcalina, a exemplo de que se encontrou no Campo do Areão, contidos dentro de argilas residuais, o que se sugeriu serem os grãos encontrados (zircônita + baddeleyta) formados junto com o foidita.

Frahya (20) atribuiu a alteração dos microfoititos do Morro do Taquari e do Morro do Ferro, assim como, do restante da área de fonolito e tinguaitos ricos em potássio, aos efeitos da ação hidrotermal. Uma observação, desse autor, vem a favor da conclusão apresentada neste trabalho sobre a deposição do minério de zircônio, quando fez menção das ocorrências de caldasito ocupando fendas de arenitos da Agua da Prata, Ozório e da represa de Bortolan. Na ocasião em que o minério de zircônio se depositou, esses arenitos, encontrados sobre as rochas alcalinas, poderiam ter sido atingidos próximo da superfície, já no final da atividade hidrotermal.

O alto teor de potássio de certas rochas alteradas por metamorfismo hidrotermal chamou a atenção de vários pesquisadores (Ilchenko e Guimarães, (30) Frahya (57)) para a possibilidade de seu aproveitamento como fertilizante de potássio sem, contudo, ter sido dada atenção à sua composição mineralógica (feldspato + mica), o que desaconselharia qualquer tentativa naquele sentido, devido ao potássio estar fortemente retido nas estruturas daqueles minerais.

Andreatta (58) (cit. Grim ref. 33 p. 328) estudou a ação de soluções hidrotermais ricas em potássio, tendo determinado a sequência veio - mica - montmorilonita - caulinita, que é similar à que ocorre no Taquari e na estrada Poços de Caldas-Andradas, onde se encontraram, no lugar da caulinita, a halloysita- $4H_2O$ (Taquari) e halloysita- $2H_2O$ (no corte de estrada Poços de Caldas-Andradas). A sequência encontrada por Andreatta, provavelmente, representa uma fase muito próxima daquelas duas que se estudaram. Segundo aquele autor, as soluções seriam inicialmente alcalinas; em seguida neutras e, finalmente, ácidas.

Oliveira (59) e Branco (9) fazem referência à presença de bastnaesita que foi encontrada no Morro do Ferro, mineral esse que seria responsável pelo teor de terras raras e tório daquele morro. Semenov, Khomyakov e Bykova (60) encontraram bastnaesita num depósito encontrado na zona de intemperismo, estando aquele mineral finamente disperso

numa massa argilosa, formada de limonita, pirolusita e ferrihalloysita, além de outros minerais supérgenos. Aquêles autores atribuíram a formação desse depósito à ação do intemperismo. Muito embora não se tenha maiores detalhes sobre o material encontrado por Semenov, Khomyakov e Bykova, observa-se uma grande semelhança entre aquêles depósitos e o do Morro do Ferro, principalmente devido à presença de terras raras, além de limonita e pirolusita, cujos elementos principais, ferro e manganês, se depositaram no final do processo hidrotermal, que ocorreu no planalto de Poços de Caldas. A semelhança encontrada vem a favor da hipótese de que aquêles depósitos teriam se formado por um processo semelhante ao encontrado no planalto de Poços de Caldas. A presença de ferrihalloysita, naquele depósito, é indício de que se formou, provavelmente, numa fase intermediária entre a que resultou na formação dos materiais do Morro do Ferro e dos materiais cortados pela estrada Poços de Caldas-Morro do Ferro, onde foi observada a presença de halloysita.

Encontrou-se no planalto de Poços de Caldas, uma variação constante de natureza mineralógica nos argilo-minerais formados pelas soluções hidrotermais empobrecidas em potássio. Essa variação, foi função, provavelmente, da variação de temperatura, assim como da variação da composição química dessas soluções. A sequência encontrada por Andreatta e o depósito descrito por Semenov, Khomyakov e Bykova, foram, provavelmente, outros exemplos daquele tipo de variação. Dessa maneira, a presença no planalto de Poços de Caldas de halloysita- $4H_2O$ (em placas) e halloysita- $2H_2O$ (em placas), minerais que se constituíram numa novidade mineralógica, poderia ser previsível teoricamente, em face da constatação da variação mineralógica dos argilo-minerais resultantes do metassomatismo hidrotermal de rochas alcalinas de Poços de Caldas.

* * * * *

PARTE IV CONCLUSÕES

- Observações de campo associadas ao estudo dos argilo-minerais com difração dos raios-X, coletados em todo o planalto de Poços de Caldas, permitiram dividi-lo em: a) numa região maior (três quartos de toda a área) de argilo-minerais formados pela ação do intemperismo; b) e numa região menor (um quarto) de argilo-minerais formados por metasomatismo hidrotermal.

- Os argilo-minerais formados pela ação do intemperismo a partir de todos os tipos de rochas alcalinas mostraram-se semelhantes.

- Encontrou-se uma pequena camada de material transportado nos depósitos de baixada; os restantes, são depósitos de argila residual.

- Depois de estudada toda a área do planalto de Poços de Caldas, que sofreu ação do intemperismo, selecionou-se um depósito de argila refratária (Campo do Areão), que melhor representava o processo de alteração encontrado no planalto de Poços de Caldas. Este depósito foi estudado com difração dos raios-X, a análise química, térmica diferencial e microscopia eletrônica.

- Encontrou-se a seguinte sequência de argilo-minerais formados: rocha - mica - caulinita - gibbsita, tendo-se encontrado, também, próximo a rocha em decomposição, montmorilonita e halloysita, este último determinado com microscopia eletrônica. A rocha alcalina não contém mica, o que é uma evidência de que todo aquele mineral encontrado é secundário.

- Examinando-se quimicamente um perfil verificou-se um aumento de teores de silício e potássio, e diminuição do alumínio, em profundidade.

- A cristalinidade da mica e caulinita aumentou em profundidade, principalmente próximo da rocha ainda em decomposição; diminuiu a medida que aumentou a intensidade do processo de dessilicatização, como foi observado pelas análises com difração dos raios-X e térmica diferencial. A diminuição da cristalinidade está relacionada com a diminuição do tamanho das partículas dos argilo-minerais, como foi observado no exame por microscopia eletrônica, onde se encontrou aumento do tamanho das partículas em profundidade.

- Após a destruição completa do feldspato, pela ação do intemperismo, o teor de potássio decresceu rapidamente. Essa destruição se deu em profundidade, próximo da rocha ainda em decomposição.

- Num perfil de baixada, de argila refratária, o maior teor de óxido de ferro (Fe_2O_3) foi encontrado próximo da rocha em decomposição;

nas camadas superiores o ferro depois de complexado com a matéria orgânica foi lixiviado, o que tornou possível a utilização dessas argilas como material refratário. O mesmo não aconteceu nos depósitos das partes altas, onde o ferro permaneceu no perfil, devido a falta de matéria orgânica.

- A análise com difração dos raios-X e térmica diferencial de bauxitos provenientes do bordo e do interior do planalto, revelou ser aqueles materiais constituídos, principalmente, de gibbsita, cliaquita e goetita. Em amostras provenientes de lujauro e chibinito encontrou-se pequena quantidade de boemita e litioforita. Além daqueles minerais.

- As características principais dos bauxitos formados diretamente das rochas são: a) a sua estrutura concêntrica; b) e a presença de um sistema de diáclases reliquiais da rocha alcalina.

- Os bauxitos, provavelmente, não são formados a partir de argilo-minerais devido não se ter encontrado aquelas duas características (estrutura concêntrica e sistema de fendas) nos depósitos de argila refratária, que estão em fase mais adiantada no processo de dessilicatação. A ausência daqueles dois elementos nas argilas refratária impediria, naturalmente, a sua preservação no bauxito que delas viesse a se originar.

- Os indícios encontrados de ressilicatação de bauxitos do interior do planalto vem a favor da hipótese de que aquele material se formou antes das argilas, e que posteriormente sofreram ataque de soluções contendo silício, resultando na formação, principalmente de halloysita nas fendas do bauxito, formadas pelas diáclases reliquiais.

- A halloysita ocupando fendas de bauxito, formada de tubos bem curtos, revelou ter formato de partículas diferentes de todos os outros tipos de halloysita encontradas no planalto de Póços de Caldas; a halloysita formava em reticulado que cortava os bauxitos e apresentava aspecto porcelânico e grande consistência. Esse material de fenda, mineralogicamente era diferente de outros que ocupavam fendas de argila residual, onde predominava a caulinita. Também não foi encontrado nenhuma argila formada pela ação do intemperismo, residual ou transportada, que fosse constituída só de halloysita. Aquele mineral, formado pela ação do intemperismo, só teve sua presença revelada por microscopia eletrônica. Encontrou-se, no morro do Serrote, caulinita ocupando fendas de bauxito formada, possivelmente, pelo mesmo processo.

- Encontrou-se fragmentos de bauxitos (bauxitos brancos) que fo-

ram transportados e depositados nos depósitos de argila refratária, sendo posteriormente recobertos por sedimentos. Esses fragmentos sofreram ataque de soluções contendo silício e potássio, tendo formado nessa reação, caulinita e mica; a estrutura porosa desse materiais ficou preservada, o que é o maior indício da ressilicatização desses bauxitos.

- As soluções hidrotermais que alteraram as rochas alcalinas do planalto de Poços de Caldas eram inicialmente, ricas em potássio e foram se empobrecendo naquele elemento, que era substituído por outros que compunham a rocha alcalina. Devido principalmente a variação na composição química das soluções formou-se várias fases, que chegaram a ser subdivididas em zonas.

- Na primeira fase, de temperatura alta, formou-se inicialmente, halloysita- $4H_2O$ (em placas), halloysita- $2H_2O$ (em placas), mica e gibbsita, minerais esses formados a partir de todos os minerais da rocha alcalina. Na zona seguinte, a presença de potássio introduzido pelas soluções se fez sentir intensamente; formou-se mica por metassomatismo hidrotermal de todos os minerais máficos, e o feldspato sódico foi alterado em potássico. Na zona seguinte, em condições de maior temperatura, se formou mica de cor verde, a partir de todos os minerais primários. Durante essa fase, o sódio, ferro, zircônio e elementos menores foram carreados pelas soluções hidrotermais.

- Na fase posterior a essa, de menor temperatura, o efeito do potássio das soluções hidrotermais se fez sentir numa área menor, devido ao empobrecimento daquele elemento. A halloysita ($4H_2O$ e $2H_2O$) foi o primeiro argilo-mineral a se formar, numa zona, onde o feldspato foi totalmente destruído, assim como, os minerais máficos; segue-se a zona de montmorilonita formada principalmente a partir da nefelina, devido a presença de magnésio retirado provavelmente das rochas alcalinas nas fases anteriores; a nefelina, também se alterou em mica, além de montmorilonita; segue-se zona de feldspato e mica, formada numa região onde as soluções hidrotermais ainda continham potássio, e finalmente, encontra-se uma zona de mica de cor verde, formada a partir de todos os minerais da rocha alcalina. A mica de cor verde acompanhava lateralmente veios de fluorita radioativa, que ocupava as diáclases por onde teriam penetrado as soluções hidrotermais. Pequena quantidade de zircônita e baddeleyta estavam associados a fluorita. Nesta fase foram retirados das rochas que sofreram metassomatismo hidrotermal praticamente, os mesmos elementos da fase anterior.

- Na fase seguinte não ocorreu zoneamento devido as soluções

hidrotermais já não mais conterem potássio, que havia sido consumido nas fases anteriores. Formou-se, nessa fase, uma massa homogênea de mica, caulinita e gibbsita, tendo sido depositado alguns elementos retirados das rochas alteradas nas fases anteriores. Terras raras e tório se depositaram disseminados na massa argilosa e o ferro, sob a forma de magnetita se depositou numa fenda, por onde provavelmente penetraram as soluções hidrotermais. Durante essa fase foram retirados sódio, silício, zircônio e elementos menores.

- Finalmente, na última fase de alteração hidrotermal, não houve, praticamente alteração das rochas alcalinas, tendo ocorrido deposição de outros elementos retirados das rochas alcalinas, sob a forma de zirconita e baddeleyta, contendo urânio e pequena quantidade de óxidos de ferro e manganês.

- Os primeiros argilo-minerais a se formar pela ação das soluções hidrotermais foram a halloysita- $4H_2O$ (em placas) e halloysita- $2H_2O$ (em placas). Esses minerais se constituíram numa novidade mineralógica, devido serem formados de placas, enquanto as halloysitas normalmente, são formadas de tubos.

- Na fase se formou uma massa homogênea de caulinita, mica e gibbsita, os argilo-minerais eram semelhantes aos formados pela ação do intemperismo; a boa cristalinidade da caulinita, formada em temperatura superior a ambiental foi a principal diferença encontrada.

- A distribuição dos argilo-minerais em fases e zonas foi devida principalmente ao potássio introduzido pelas soluções hidrotermais; enquanto as soluções continham aquele elemento, aumentava o teor de potássio das rochas sofriam metassomatismo hidrotermal; quando as soluções já não mais o continham, aquele elemento era parcialmente carregado da rocha em alteração, semelhantemente ao que aconteceu no intemperismo.

* * * * *

ÍNDICE DAS FIGURAS

Figura		Página
1	Detalhe da estrutura do bauxito de Poços de Caldas, segundo Hardes.	6
2	Campo de estabilidade do feldspato, mica e caulim, segundo Garrels e Haward.	6
3	Esquema de transformação.	8
4	Localização das amostras estudadas com difração dos raios-X e coletadas no maciço alcalino de Poços de Caldas.	12
5	Localização dos diferentes processos de alteração das rochas no maciço alcalino de Poços de Caldas.	17
6	Localização dos depósitos minerais do maciço alcalino de Poços de Caldas.	19
7	Vista de uma baixada com depósito de argila refratária.	21
8	Depósito de argila refratária do Campo do Meio.	21
9	Difratogramas de um perfil do Campo do Areão.	26
10	Micrografia eletrônica da amostra IX de Campo do Areão.	29
11	Micrografia eletrônica da amostra VI do Campo do Areão.	30
12	Micrografia eletrônica da amostra II do Campo do Areão.	31
13-A	Termograma do perfil do Campo do Areão.	33
13-B	Termograma da fração argila do bauxito da Fazenda Teixeira.	33
14	Pequeno depósito de bauxito na margem da estrada Poços de Caldas-Andradas, próximo ao morro do Tamanduá.	37
15	Micrografia de um bauxito da estrada velha Poços de Caldas-Caldas.	37
16	Micrografia de um bauxito branco ressilicatizado do Campo do Areão.	37
17	Difratogramas de bauxitos do Córrego do Meio, Campo do Areão e Fazenda Teixeira.	38
18	Argila ocupando fendas de bauxito.	42
19	Micrografia eletrônica de argilas do Campo do Areão formadas provavelmente por ressilicatização.	44
20	Veios de halloysita-4H ₂ O do Campo do Areão.	46
21	Detalhe da figura anterior.	46
22	Veios de caulinita e mica em fendas de bauxito na estrada Poços de Caldas-Andradas.	46
23	Difratogramas de halloysita-4H ₂ O.	47
24	Diáclases por onde penetraram as soluções ricas em potássio, no morro do Taquari.	51
25	Micrografia da fluorita associada com zirconita e baddeleyita, no morro do Taquari.	51

Figura		Página
26	Micrografia do feldspato alcalino ligeiramente alterado em mica, no Morro do Taquari.	51
27	Argilas formadas por metassomatismo hidrotermal no topo do Morro do Taquari.	52
28-A	Difratogramas de argilas da estrada Poços de Caldas-Andradas.	55
28-B	Difratogramas de argilas do Morro do Serrote.	55
29	Micrografia eletrônica de argilas do Morro do Taquari.	56
30	Alteração do foiaito por soluções hidrotermais na estrada Poços de Caldas-Andradas.	57
31	Outro aspecto do mesmo local da figura anterior.	57
32	Morro do Tamanduá-camada de mica verde orientada.	60
33	Micrografia da mica verde do Morro do Tamanduá.	60
34	Micrografia dos fenocristais de nefelina alteradas em mica do Morro do Tamanduá.	60
35	Difratogramas de argilas do Tamanduá	62
36	Difratogramas de amostras do Campo do Barreiro, Morro do Serrote e Morro do Ferro.	66
37	Micrografia eletrônica de argilas do Morro do Ferro.	67
38	Micrografia de nefelina alterada em montmorilonita e mica, da estrada Poços de Caldas-Morro do Ferro.	70
39	Veio de gibbsita hidrotermal contendo analcita-tin-guaíto do Morro do Serrote.	70
40	Micrografia eletrônica de argilas da estrada Poços de Caldas-Morro do Ferro.	71
41	Micrografia eletrônica de argilas do Morro do Serrote	72
42	Micrografia do veio da figura 39.	74
43	Pseudomorfos de leucita alteradas da estação de Cascata.	74
44	Micrografia eletrônica de halloysita da estação de Cascata	76
45	Seqüência de argilo-minerais formados a partir de diá-clases por onde penetraram as soluções hidrotermais.	79
46	Esquema do metassomatismo hidrotermal no planalto de Poços de Caldas.	82

* * * *

BIBLIOGRAFIA CITADA

1. DERBY, O.A. On nepheline rocks in Brazil, with special reference to the association of phonolite and foyaite. *Quart. Journ. Geol. Soc.* vol. 43, pp. 457-473, 1887.
2. BARBOSA, O. Notas sobre algumas rochas da região de Poços de Caldas. *Acad. Bras. Ciên.* Ano 6, pp. 211-219 Rio de Janeiro, 1934.
3. _____ Notas preliminares sobre o planalto de Poços de Caldas e suas possibilidades econômicas. *Dep. Nac. Prod. Min., Serv. Fom. Prod. Min., Avulso 8* 33 pp. Rio de Janeiro, 1936.
4. _____ Sobre a idade das rochas alcalinas e a origem do planalto de Poços de Caldas. *Min. Met.*, vol. 13, nº 76 pp. 235-237, Rio de Janeiro. 1948.
5. GUIMARÃES, D. Origem das rochas alcalinas. *Inst. Tec. Ind. Minas Gerais, Bol.* nº 5, 103 pp. Belo Horizonte. 1947.
6. ELLERT, R. Contribuição à geologia do maciço alcalino de Poços de Caldas. *Bol. Fac. Fil. Ciên. Letr. Univ. São Paulo*, nº 237, *Geologia* nº 18, pp. 1-63, São Paulo. 1959.
7. BJÖRNBERG, A.J.S. Rochas clásticas do planalto de Poços de Caldas. *Bol. Fac. Fil. Ciên. Letr. Univ. São Paulo*. nº 237, *Geologia* 18 pp. 65-123. São Paulo. 1959
8. MACHADO, J. Beitrag zur Petrographie der Südwestlichen Grenze zwischen Minas Gerais und São Paulo. *Tscher Min. u Petr. Mitt Bd.* 9 pp. 329-360. 1888.
9. BRANCO, J.J.R. Notas sobre a geologia e petrologia do planalto de Poços de Caldas, Mg. *Escola de Engenharia, Univ. Minas Gerais, Inst. Pesq. Radioativas, pub.* nº 5, 72 pp. Belo Horizonte. 1956.
10. GUIMARÃES, D. e Moraes, L.J. Um mineral raro dos foyaítes do Serrote, Cascata, Mun. de Águas da Prata, S.P. *Inst. Tec. Ind. Avulso* nº 19, 10 pp. Belo Horizonte. 1955.
11. TEIXEIRA, E.A. Zircônio no planalto de Poços de Caldas, Est. de São Paulo e Minas Gerais. *Min. Met.* vol. 1 nº 4 pp. 159-168. Rio de Janeiro. 1937.
12. FRANCO, R.R. Minerais de zircônio na região de Poços de Caldas, Minas Gerais. *Bol. Fac. Fil. Ciên. Letr. Univ. São Paulo* nº 99, *mineralogia* nº 7 pp. 7-28 São Paulo. 1947.
13. GUIMARÃES, D. The zirconium ore deposits of the Poços de Caldas, Plateau, Brazil, and zirconium geochemistry. *Inst. Tec. Ind.* nº 6

79 pp. Belo Horizonte. 1948.

14. ANGELERI, F. B. Anais Ass. Brs. Quim. vol. 1, nº 3. 1942.
15. BERGSTROM Lourenço, O. e Souza Santos, P. Propriedades cerâmicas minerais de zircônio brasileiros. Cerâmica vol. 8 nº 29 pp.2-40. São Paulo 1962.
16. _____ Contribuição ao estudo do ataque alcalino de minerais de zircônio brasileiros. Boletim do Depto. Eng. Quím. da Escola Politécnica São Paulo nº 17 pp. 14-56 São Paulo. 1963.
17. TOLBERT, G. Preliminary report of the zirconium ore deposits of the Poços de Caldas Plateau. Part I Eng. Min. Met. vol. 27. nº 161. pp. 265-269. Rio de Janeiro 1958.
18. _____ Preliminary report of the zirconium ore deposits of the Poços de Caldas Plateau. Part II Eng. Min. Met. vol. 27 nº 161. pp. 253-260. Rio de Janeiro 1958.
19. GUIMARÃES, D., Campos, M. e Figueiredo, D.G. Algumas rochas alcalinas de Poços de Caldas relacionadas com as jazidas de Caldasito uranífero. Escola de Engenharia da Univ. de Minas Gerais, Inst. Pesq. Radioativas, pub. nº2, pp. 1-34. Belo Horizonte 1953.
20. FRAHYA, R. Urânio e tório no planalto de Poços de Caldas. Bol. Dep. Nac. Prod. Min. Div. Fom. Prod. Min., Nº 116, 75 pp. Rio de Janeiro 1962.
2. MAFFEI, F.J.H., Pucci, J.R. e Ferreira, W. Proceedings of the international conference of the peaceful uses of atomic energy, vol. 8 pp. 116. Genebra 1956.
22. SOUZA SANTOS, T. Contribuição para o estudo da bauxita do planalto de Poços de Caldas. Bol. Inst. Pesq. Tecn. de São Paulo nº 17, pp. 109-134. São Paulo 1937.
23. TEIXEIRA, E.A. Bauxita no planalto de Poços de Caldas, Estado de Minas Gerais. Min. Met. vol. 1, nº 4. pp. 159-168. Rio de Janeiro 1937.
24. HARDER, E.C. Examples of bauxite deposits illustrating variation in origin. Problems of clay and laterite genesis, Publicado pela The American Institut of Mining and Metallurgical Engineers, pp. 35-63. New York 1952.
25. WEBER, B.N. Bauxitização no distrito de Poços de Caldas, Minas Gerais Brasil. Bol. da Soc. Bras. Geol. vol.8, nº1 pp.17-30 São Paulo 1959.

26. SOUZA SANTOS, P. e Santini, P. Análise térmica diferencial de bauxitos, de argilas aluminosas e de lateritos. *Cerâmica*, vol.9, nº 33, pp. 3-32 São Paulo 1963.
27. GUIMARÃES, D. e Dutra, C.V. Contribuição à geoquímica das rochas alcalinas no Brasil. Dep. Nac. Prod. Min. Div. Fom. Prod. Min. Bol. 112, 26 pp. Rio de Janeiro 1962.
28. SOUZA SANTOS, P. e Ferron, O.J. Estudos sobre as propriedades cerâmicas de argilas refratárias do planalto de Poços de Caldas. No prelo.
29. SOUZA SANTOS, P. e Santini, P. Análise térmica diferencial de bauxitos, de argilas luminosas e lateritos. *Cerâmica*, vol.9 nº 33 pp. 3-32 São Paulo 1963.
30. ILCHENKO, V. e Guimarães, D. Sobre a possibilidade de utilização agrícola dos sienitos nefelinos do planalto de Poços de Caldas, Estado de Minas Gerais. Inst. Tec. Ind. Avulso nº 15, 15 pp. 1953.
31. _____ O processo de decomposição das rochas alcalinas do planalto de Poços de Caldas, Estado de Minas Gerais. Escola de Engenharia, Univ. de Minas Gerais, Inst. de Pesq. Radioativas, pub. nº3, 50 pp. Belo Horizonte 1954.
32. ASHRY, M.M. Studies of three rock samples from Brazil. *Bol. Soc. Bras. Geol.* Vol. 11, nº1, pp. 89-116. São Paulo 1962.
33. GRIM, R.E. *Clay Mineralogy*. McGraw-Hill Book Co., Inc. 342pp. 1953.
34. KELLER, W.D. *The principles of chemical weathering*. Revised Edition, Lucas Brothers Publishers, Columbia, Missouri 111pp. 1957.
35. SALES, R. e Meyers, C. Wall rock alteration at Butte, Montana. *Am. Inst. Mining Met. Engrs. Tech. Pub.* 2400 1948.
36. GOLDMAN, M.I. e Tracey, J.I. Relations of bauxite and kaolin in the Arkansas bauxite deposits. *Econ. Geol.* vol. 41 pp. 567-575, 1946.
37. ALLEN, V.T. Petrographic relations in some typical bauxite and diasporite deposits. *Bol. Geol. Soc. Am.*, vol. 63 pp. 649-688 1952.
38. GOLDMAN, M.I. Petrography of bauxite surrounding a core of kaolinized nepheline syenite in Arkansas. *Econ. Geol.* vol. 50, pp. 586-609 1950.
39. BATES, T.F. Interrelationships of structure and genesis in the bauxite group. *Problems of clay and laterite genesis*, Published

by the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, New York, pp. 144-153 1952.

40. EILERS, K. Problems of clay and laterite genesis. Published by the American Engineers, New York 1952.
41. SAND, L.B. On the genesis of residual kaolins. Am. Min., vol.41 pp. 28-40 1956.
42. BATES, T.F. Rock weathering and clay formation in Hawaii. The Penn. State University, USA, Min. Ind. vol.29, nº8 pp.1-6 1960
43. GARRELS, R.M. e Howard, P. Reactions of feldspar and mica with water at low temperature and pressure. Clays and Clay minerals, Proceedings of 6th National Conference on clays and clay minerals, Pergman Press. pp. 68-88 1959.
44. FREITAS, R.O. As estruturas fósseis do sistema de Santa Catarina no planalto de Poços de Caldas. Bol.Assoc.Geog.Bras. nº3, pp. 25-36 1943.
45. WARSGAW, C.M. e Roy R. Classification and sheme for identification of layers silicates. Bol. Geol. Soc. Am., vol.72, nº10 pp 1455-1492 1961.
46. BRINDLEY, G.W., Souza Santos, P. e Souza Santos, H.L. Mineralogical studies of kaolinite-halloysite clays; Part I - Identification problems. Am. Min. vol. 48, pp.897-910 1963.
47. SOUZA SANTOS, P. e Souza Santos, H.L. Preparação de argila para microscopia eletrônica. Cerâmica, vol.3 nº11 pp.132-138 1957.
48. KAPEL, I.B. e Souza Santos P. Análise térmica diferencial de talcos brasileiros. Cerâmica, vol.10 nº 37, pp.10-23. São Paulo 1963.
49. BRINDLEY, G.H. e Robinson, K. Randomness in the struture of kaolinitic clay minerals. Trans. Faraday Soc. 42B, pp. 198-205 1946.
50. PETRO, G. Genèse des minéraux argileux par lessivage des rocks cristallines au laboratoire. Genèse e synthèse des argiles. Edition du Centre National de La Recherche Scientifique pp.99- 107 Paris 1962.
51. YONDER, H.S. e Eugster, H.P. Synthetic and natural muscovites. Geochem. Cosmochim. Acta, vol.8 pp.225-280 1955.
52. SOUZA SANTOS, P. e Souza Santos, H.L. e Moniz, A.C. Estudo de algumas argilas e caulins de diversos estados do Brasil. Cerâmica vol. 8 nº30 pp.2-21 São Paulo 1962.

53. SUDO, T. Mineralogical Study on clay of Japan. Maruzen Co.Ltd. Tokyo. 328 pp. 1959.
54. SHEARER, H.K. A report on the bauxite and fullers earth of the coastal plain of Georgia, Ga.Geol Survey Bull. 31. pp.19- 40 1917.
55. GUIMARÃES, D. Fundamentos da metalogênese e depósitos minerais do Brasil. Bol.Dep. Nac. Prod. Min., Div. Fom. Prod. Min. nº 109, pp.258-259. Rio de Janeiro 1961.
56. ROY, R. e Osborn, E.F. The system $Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O$. Am. Min. vol. 39, pp. 853-885 1954.
57. FRAHYA, R. Rocha potássica. Eng. Min. Met. Vol. 15 nº87 pp.85-86 Rio de Janeiro 1950.
58. ANDREATTA, C. Study of the Hydrothermal stratum of the clay minerals of Capalbia, Italy Ind. Ceram. e Silicati, vol.2, pp. 17-21 1949.
59. OLIVEIRA, A.L. Reservas brasileiras de tório. Eng. Min. Met. vol. 24 nº 164. Rio de Janeiro 1956.
60. SEMENOV, E.I., Khomyakov, A.P. e Bykova, A.V.. Supergene bastnaesite in the erosion zone of an alkaline massif. Trudy mineral Muzeya, Akad. Nauk SSSR nº11 pp. 202-204 e Chem. Abs. nº 55, 20799 i 1961.

* * * * *

APÊNDICE

Amostra	Localidade	Composição mineralógica
40		C + Mi
41		C + Mi
42		C + Mi + Gib
43		C + Mi
44		H-2H ₂ O + M + Gib + Q?
45		C + Mi + Gib
46		H ₂ H ₂ O + Gib
47		C + Mi + Gib
48		C + Mi + Gib
49	Estrada Pogos de Caldas-Andradas	C + Mi + Gib
50		F + Mi + H-2H ₂ O
51		F + Mi + H-2H ₂ O
52		F + Mi + C/H
53		C + Mi + Gib
54		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + Mi
55		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + Mi + Gib
56		Mi + H-2H ₂ O + Gib
57		Mi + H-2H ₂ O + Q
58		óxido de manganês
59		H-4H ₂ O + Mi + H-2H ₂ O
60		Mi + H-2H ₂ O
61		Mi + H-2H ₂ O
62		H-4H ₂ O + Mi + H-2H ₂ O
63		H-4H ₂ O + Mi + H-2H ₂ O + Gib
64		C + Mi
65		C + Mi
66		C + Mi
67		C + Mi + Gib
68		C + Mi + Gib
69		C + Mi + Gib
70		F + Mi
71		F + Mi
72		Mi + H-2H ₂ O + Gib
73		H-4H ₂ O + Mi
74		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + F
75		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + Mi + Gib
76		C + Mi
77	Morro do Tamanduá	F + C + Mi
78		C
79		F + Gib
80		H-4H ₂ O + Mi

Amostra	Localidade	Composição mineralógica
81		H-2H ₂) + Mi + F
82		C + H-4H ₂ O
83		Mi (côr verde)
84		C
85		C
86		Mi + H-2H ₂ O + Q + F + H-4H ₂ O?
87		F + Mi
88		Mi (côr verde)
89		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + Mi
90		Mi + C + F + Gib
91		Mi + H-2H ₂ O + Gib + F?
92		Mi + H-2H ₂ O + Gib
93		H-4H ₂ O + Mi + H-2H ₂ O + Gib + F?
94		H-4H ₂ O + Mi + H-2H ₂ O + Gib
95	Estrada Poços de Caldas-Andradas	C + Mi
96		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + Mi
97		H-4H ₂ O + Gib + Q
98		C/H + Mi
99		C + Mi
100		C + Mi
101		C + Mi
102		H-2H ₂ O + Mi + Gib
103		H-2H ₂ O + Mi + Gib
104		F + Mi
105		Mont + H-4H ₂ O + Mi + F
106		F + H-4H ₂ O
107		M + H-2H ₂ O + Gib
108	Estrada Poços de Caldas-Caldas	H-4H ₂ O + Gib
109		Gib + H-2H ₂ O + M?
110		H-2H ₂ O + Gib
111		C
112		Gib + Gib + C + Q?
113		C + Gib + Mi? + H-4H ₂ O
114		H-2H ₂ O
115		H-4H ₂ O + Mi + H-2H ₂ O + Gib
116		Mont + H-4H ₂ O + H-2H ₂ O
117		Mont + H-4H ₂ O + H-2H ₂ O
118		C + Mi + Gib + F
119		C + Mi
120		C + Mi

Amostra	Localidade	Composição mineralógica
121	Morro do Taquari	C + Mi + Gib
122		Mi + Gib
123		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O
124		Amorfo?
125		C
126		C + Mi
127		C + Mi + Gib
128		C
129		C + Mi
130		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + M + F
131		F + Mi
132		Mi (verde
133		Mont + Mi
134		F + Mi
135		Mi + H-2H ₂ O + F
136		Mi
137		Mi + Mont
138		Mi + Q?
139		Mi + F
140		Mi + C
141		C + Mi
142		C + Mi + Gib
143	Estrada P. de Caldas-Morro do Ferro	C + Mi + Gib
144		C + Mi
145		C + Mi + Gib
146		C + Mi + Gib
147		C + Mi + Gib
148		C + Mi + Gib
149		C + Mi
150		C + Mi + Gib
151		C + Mi + Gib
152		C + Mi + Gib
153		C + Mi + Gib
154		Mi + C/H + F
155	Morro do Ferro	Mi + F + C ?
156		C + Mi + Gib
157		C + Mi + Gib
158		C + Mi + Gib
159		C + Mi + Gib
160		C + Mi + Gib

Amostra	Localidade	Composição mineralógica
161	Estrada P. de Caldas-Morro do Ferro Campo do Areão	C + Mi + Gib
162		C + Mi
163		C + Mi + Gib
164		Mi + G
165		F + C + Mi
166		C + Mi + Gib
167		H-4H ₂ O
168		C + Mi + Gib
169		C + Mi + Gib
170		C + Mi + Gib
171		C + Mi + Gib
172		C + Mi
173		C + Mi
174		C + Mi
175		C + Mi + F
176		C + Mi + F
177	Campo Novo do Carimbaba	C + Mi + Gib
178		C + Gib + Mi? + H?
179		C + Mi + Gib
180		C + Mi + Gib
181		Mi + C/H + Goe?
182		C + Mi
183		Mi + Ci
184		C + Mi
185		C + Mi + Gib
186		C + Gib + Mi
187	Campo do Barro Branco	C + Gib + Mi
188		C + Gib + Mi
189		C + Gib
190		C + Mi + Gib
191		H-2H ₂ O + Gib
192		C + Mi + Gib
193		Mi + C + Gib
194		C + Mi
195		C + ^u ib
196		C + ^u ib + Mi
197		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + Gib
198		H-2H ₂ O + Gib
199		C + Mi + Gib
200		C + Mi + Gib

Amostra	Localidade	Composição mineralógica
201	Campo do José Massa	C + Mi + Gib
202		H-4H ₂ O + Mi + H-2H ₂ O + Gib + Goe
203		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O
204		H-2H ₂ O + Gib
205		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + Gib + Mi
206		C + Gib + Mi
207		H-4H ₂ O + Mi + H-2H ₂ O
208		F + Mi + H-2H ₂ O
209		C + Mi + Gib
210		C + Mi
211		C + Mi + Gib
212		C + Mi + Gib
213		Mi + C/H + Gib
214		Mi + C/H
215	Campo da Galinha	H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + Gib
216	Fazenda Teixeira	H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + Mi + Gib
217		H-2H ₂ O + Mi + Gib
218		Gib + Goe + Cli
219		Gib + Goe + Cli
220		Gib + Goe + Cli
221		Gib + Goe + Cli
222		Gib + Goe + Gib
223		Gib + Goe + Gli
224		C + Mi + Gib
225		C + Mi + Gib
226	Campo do Sérgio	C + Mi + Gib
227		C + Mi
228		C
229		C + Mi + Gib + F
230		C + Mi + Gib + F
231		C + H-2H ₂ O + Mi + Gib + F
232		C + H-4H ₂ O + Mi + Gib + F
233		C + H-4H ₂ O + Mi + Gib + F
234		C + Mi + Gib + F
235		C + Mi + Gib
236	Campo do Saco	H-2H ₂ O + Mi + Gib
237		H-2H ₂ O + Mi + Gib
238		C + Mi + Gib
239		H-4H ₂ O + Mi + H-2H ₂ O
240		C + Gib + Goe?
	Estrada Poços de Caldas-Cascata	

Amostra	Localidade	Composição Mineralógica
241	Campo do Gebara	C + Mi + Gib
242		Gib + C
243		Gib
244		Q + H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + C?
245		H-2H ₂ O + H-4H ₂ O + Q + Gib
246		Gib + Q + H-2H ₂ O
247		C + M + Q + Gib
248		Q + H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + Mi
249		H-2H ₂ O + Q + Gib
250		C + Mi + Gib
251		H-2H ₂ O + Gib + Q
252	Colina	Gib + Cli
253		Gib + Cli + Goe
254		Gib + Cli
255		Gib + Cli + Goe
256	Estrada Poços de Caldas-Cascata	C + Mi + Gib
257		C + Mi + Gib
258		C + Mi
259		C/H + Gib + (Hem) + Goe?
260		C/H + Gib + Hem
261		C + Mi
262		C + Mi
263		C + Mi
264		Gib + (Hem)
265		C + Gib + (Hem) + Goe?
266		C + Gib + (Hem)
267		C + (Hem) + Gib
268		C + Mi
269		C + Mi
270		C + Gib + Mi?
271		C + Mi + Gib
272		C + Mi + Goe?
273		C + (hem)
274		C + Mi
275		C + Gib
276		C + Mi
277		C + Mi
278		C + Mi
279	Estação da Cascata	H-2H ₂ O + Mi + F
280		H-2H ₂ O + Mi

Amostra	Localidade	Composição mineralógica
281	Morro do Serrote	H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + Mi
282		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + Mi
283		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O
284		C + Mi + Gib
285		C + Mi + Gib
286		C + Mi
287		C + Mi
288		C + Mi
289		C + Mi
290		Bad + Zir
291		H-4H ₂ O
292		Gib
293		C
294		C + Mi
295		C + Mi + F
296		C + Mi
297		H-4H ₂ O ? + Mi
298		C + Gib
299		Gib
300		C + Gib + Mi
301		C + Mi + Gib
302	Próximo Brígidas	H-4H ₂ O
303		Gib + Cli?
304		Gib + Cli
305		Mi + Gib
306		C
307		Lit
308		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + F?
309		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + F?
310		H-4H ₂ O + H-2H ₂ O + F
311		H-2H ₂ O + H-4H ₂ O? + F + Mont?
312	Brígidas	Bad + Zir
313		Mi + C/H + Gib
314		C + Mi
315		Mi + C/H
316		C/H + Mi
317	Sobradinho	C/H + Gib + Q
318		C + Gib + Mi
319		C + Gib + Mi
320	Chapadão	C/H + Gib + Q + Mi?

Amostra	Localidade	Composição mineralógica
321	Chapadão	H-2H ₂ O + Gib + Q?
322		H-2H ₂ O + Mi + Gib + F
323		C + Mi + Gib
324		C/H + Mi + Gib + F

* * * * *

APÊNDICE 1B

Depósitos de argilas refratárias

CAMPO DO PIÃO: Poço nº1 (7 metros de profundidade), amostras 39 (parte superior); 40 (parte intermediária); 41 (parte inferior). Poço nº2 (3 metros de profundidade), amostras 42 (1,5 m); 43 (3m). Poço nº3 (3 metros de profundidade), amostras 44 (superior); 45 (inferior). Poço nº4 (2,5 m profundidade), amostra 46 (superior); 47 (inferior). Poço nº5 amostra 48.

EM FRENTE DA USINA DA COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR: material coletado num perfil, amostras 49,50,51,52 e 53.

CAMPO NOVO DO CURIMBABA: material coletado em várias frentes de exploração - Frente nº1, amostras 177 e 178. Frente nº2, amostras 179 e 180. Frente nº3, amostras 181 e 182. Frente nº4, amostras 183 e 184.

CAMPO DO BARRO BRANCO: a) material coletado em frentes de exploração Frente nº1, amostras 185,186,187,188 e 189. Frente nº2, amostras 190 e 191;

b) Amostras de furo de sondagem - Furo nº1, amostras 192 (0-1 m); 193 (3-4 m); 194 (7-8 m). Furo nº2, amostras 195 (0-1 m); 196 (3-4 m); 197 (7-8 m). Furo nº3, amostras 198 (0-1 m); 199 (3-3,65 m). Furo nº4, amostras nº 200 (0-1 m); 201 (3-4 m); 202 (7-8 m); Furo nº5, amostra 203 (7-8 m); Furo nº6, amostras 204 (0-1 m); 205 (3-4 m). Furo nº7, amostras 206 (0-1 m); 207 (3-4 m); 208 (7-8 m).

CAMPO DO JOSÉ MASSA: Poço nº1, amostras 209 (parte superior); 210 (parte inferior). Poço nº2, amostra 211. Poço nº3, amostra 212. Poço nº4, amostras 213 (parte superior); 214 (parte inferior).

CAMPO DO SÉRGIO: amostras coletadas num perfil - 224,225,226,227,e 228.

OUTRAS OCORRÊNCIAS: A sudoeste do planalto de Poços de Caldas está assinalado uma área onde ocorre um grande depósito de argila refratária (Fig. 6). Essa área se estende desde a localidade de Sobradinho até a de Chapadão, formando um único depósito, que pode ser observado facilmente em fotografias aéreas. As amostras estudadas com difração dos raios-X, dessa região, foram as seguintes : a) Sobradinho, coletadas num barranco natural, amostras 317,318 e 319; b) Chapadão, amostras 320, 321,322,323 e 324.