

FOSFATOS E SILICATOS SECUNDÁRIOS DE URÂNIO DE PERUS, SÃO PAULO

DANIEL ATENCIO* & RAPHAEL HYPOLITO**

ABSTRACT SECONDARY URANIUM PHOSPHATES AND SILICATES FROM PERUS, SÃO PAULO. Secondary uranium phosphates and silicates occur as placoid crystals and crusts, colored green to yellow, filling fractures in the tourmaline-bearing granitic pegmatite of Perus, northwestern part of the city of São Paulo, southeastern Brazil. The following phosphates were identified by X-ray diffractometry, optical properties, EDS and wet chemical analyses: autunite, meta-autunite, meta-torbernite, chernikovite, meta-uranocircite and phurcalite. Chernikovite is a new mineral name, superseding "hydrogen autunite", whilst meta-uranocircite is described for the first time at Perus. Phurcalite was previously referred as "mineral X from Perus"; a new structural formula $[\text{Ca}_2(\text{UO}_2)_3\text{O}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}]$ is attributed to this species. Previous literature on Perus also mentions the occurrence of torbernite, bassettite and phosphuranylite, not yet identified by the authors. The presence of the following silicates has been verified: uranophane-alpha, uranophane-beta, haiweeite and barian weeksite. The last mineral, a first quotation for this locality, is the variety with the largest Ba content as yet described. The occurrence of meta-haiweeite needs confirmation. Opal (tridymite and cristobalite), secondary quartz, saponite and rhodochrosite occur associated to the uranium minerals.

Keywords: Chernikovite, meta-uranocircite, phurcalite, barian weeksite.

RESUMO Fosfatos e silicatos uraníferos secundários ocorrem como crostas ou cristais placóides, de cor verde a amarela, em fraturas do turmalina granito, localmente pegmatítico, de Perus, região noroeste do Município de São Paulo. Entre os fosfatos, foram verificados, por difratometria de raios X, propriedades ópticas e análises químicas por EDS e via úmida: autunite, meta-autunite, meta-torbernite, chernikovite, meta-uranocircite e furcalite. Chernikovite é um novo nome, utilizado em substituição a "hidrogênio autunite", enquanto meta-uranocircite é descrita pela primeira vez em Perus. Furcalite, referida em trabalhos anteriores como "mineral X de Perus", é aqui representada por uma nova fórmula estrutural, $\text{Ca}_2(\text{UO}_2)_3\text{O}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Não foram identificados os minerais torbernite, bassettite e fosfurânilita, apesar de existirem referências na literatura. Entre os silicatos, foram verificados uranofânio-alfa, uranofânio-beta, haiweeite e weeksita rica em bário, esta última constituindo-se na primeira citação da espécie em Perus e na variedade mais rica em bário já descrita. A ocorrência de meta-haiweeite carece de confirmação. Opala (tridimite e cristobalita), quartzo secundário, saponita e rodocrosita ocorrem associados aos minerais de urânio.

Palavras-chave: Chernikovite, meta-uranocircite, furcalite, weeksita rica em bário.

INTRODUÇÃO Existem, na literatura mineralógica, inúmeros minerais raros cuja descrição contém dados contraditórios ou incompletos. Em Perus, região noroeste do Município de São Paulo, ocorrem alguns minerais uraníferos que se enquadram nessa categoria. Esta ocorrência, apesar de já ter sido motivo de algumas pesquisas importantes (Knecht 1936, 1940, Mau 1957, Camargo & Coutinho 1960, Hasui 1963, Gabelman 1963, Camargo 1965, Camargo & Svisero 1966, 1969, Svisero 1976, Coelho *et al.* 1978, Coelho 1980, Madureira *et al.* 1986, entre outros), carece de estudos adicionais.

Desde a primeira metade do século, a região de Perus é conhecida pela variedade mineralógica contida em seu turmalina granito e pegmatites associados, bem como pelas feições texturais e estruturais destas rochas (cf. Coelho 1980). Os afloramentos de turmalina granito e pegmatites são hoje observáveis em área inferior a 2 km², limitada a E pela Avenida Raimundo Pereira de Magalhães e a W, N e S pela Estrada Di Sandro (Fig. 1). O primeiro mapa geológico da região (Knecht 1940) apresenta afloramentos adicionais destas rochas, muitos dos quais não mais acessíveis devido à intensa urbanização local. As cotas topográficas mais baixas, em torno de 750 m, correspondem ao turmalina granito e aos pegmatitos, mais facilmente alteráveis que as rochas encaixantes (Coelho 1980).

O turmalina granito foi estudado por Hasui (1963). Sua área de afloramentos é limitada lateralmente por dois sinclinais, aparentemente do tipo isoclinal, com plano axial E-W, mergulhando fortemente para N. Apresenta granulação de 1 a 5 mm e é constituído essencialmente de quartzo, plagioclásio sódico e micropertita, tendo como acessórios apatita, allanita, granada, raríssimas plaquetas de muscovita e, mais importante, turmalina. Esta, em porcentagens às vezes superiores a 10% da rocha, concentra-se em leitos macroscopicamente bem definidos, de espessura milimétrica a decimétrica, que confere aspecto bandado à rocha. As bandas claras têm composição variável de granito a granodiorito, enquanto as bandas escuras correspondem a turmalina granito. Por outro lado, Madureira *et al.* (1986) observaram a presença de tonalitos e granodioritos, de granulação fina a média, nas zonas marginais dos granitóides, e granodioritos e granitos no corpo granitóide principal.

Subordinadamente ao granito, ocupando o interior deste ou atravessando as rochas encaixantes regionais, observam-se corpos pegmatíticos. Conforme foi destacado por Hasui (1963) e Coelho (1980), distinguem-se dois tipos de pegmatitos: simples, com mineralogia representada por poucos minerais (quartzo, turmalina preta e feldspato caulinizado), não exibindo zoneamento; e complexos, com mineralogia variada (albita, microclínio, turmalina,

* Departamento de Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Caixa Postal 11348, CEP 05422-970, São Paulo, SP, Brasil, Fax (55-11) 210 4958, Fone (55-011) 818 4110. E-mail: datencio usp.br

** Departamento de Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Caixa Postal 11348, CEP 05422-970, São Paulo, SP, Brasil, Fax (55-11) 210-4958, Fone (55-011) 818-4145

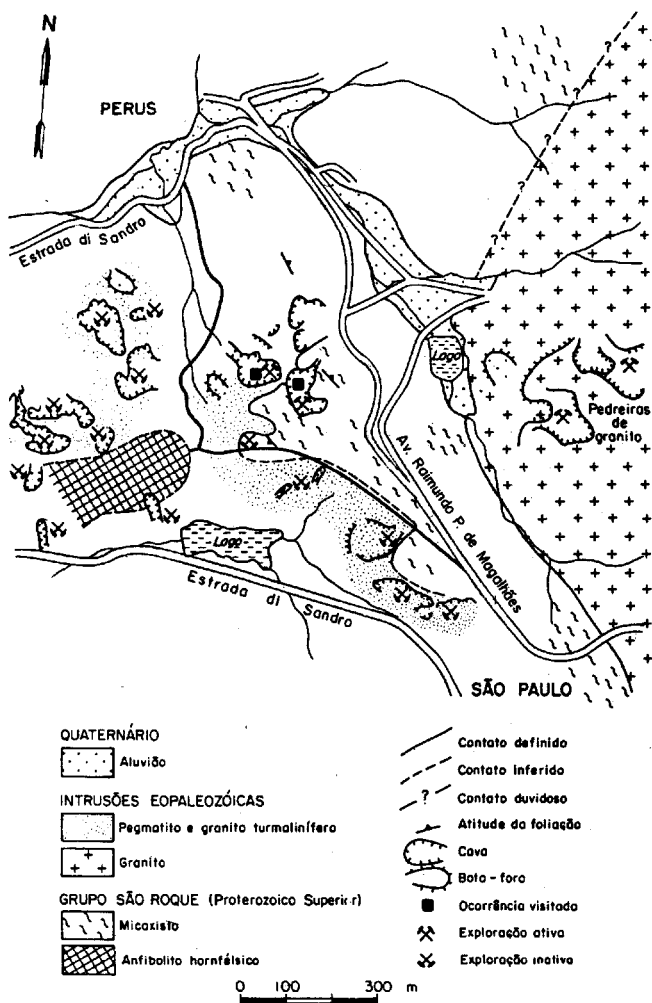


Figura 1 - Mapa de localização (modificado de IPT1984 e Etchebehere et al. 1985)

Figure 1 - Location map (modified from IPT 1984 and Etchebehere et al. 1985)

lepidolita, quartzo, apatita, berilo e granada) e zoneamento pouco pronunciado.

Os pegmatites simples apresentam-se quase sempre muito alterados. Sua distinção dos complexos é imediata por meio de medidas radiométricas, constatando-se contagens baixas para os simples e elevadas para os complexos (Coelho 1980). São geralmente alongados e ocorrem nas proximidades de intrusões graníticas maiores, cortando os xistos.

De acordo com Coelho (1980), os pegmatitos complexos aparecem associados ao turmalina granito, imersos nestes, ou cortando as rochas encaixantes regionais. Podem-se distinguir intercrescimentos gráficos de quartzo e feldspato e pequenos corpos de pegmatitos laminados. Em alguns corpos, verificam-se pelo menos três zonas distintas: zona de borda, de espessura milimétrica a centimétrica, representada por associação de sericita e granada vermelha; zona de parede ou intermediária, constituída por ampla gama mineralógica, e a zona do núcleo, representada por cristais de dimensões até decimétricas de turmalina negra e rósea, microclínio, quartzo e berilo.

Cordani & Bittencourt (1967) apresentaram o resultado de datações, pelo método K-Ar, de duas amostras de lepidolita do pegmatite de Perus, obtendo idades de 640 ± 20 Ma. Cordani & Kawashita (1971), por outro lado, determinaram, pelo método Rb-Sr, idade de 565 ± 20 Ma. para uma amostra de turmalina granito (rocha total) de Perus. Dados

radiométricos da região de Perus foram obtidos por Argentièr (1953), Matzko (1960), Gabelman (1963), Coelho et al. (1978) e Coelho (1980).

Fosfatos e silicates uraníferos secundários ocorrem predominantemente em fraturas do turmalina granito e dos pegmatitos, estimando-se que 5% dessas fraturas contêm minerais uraníferos, não uniformemente distribuídos; sua presença persiste também no interior dos xistos encaixantes até distâncias ainda não determinadas (Gabelman 1963).

O objetivo deste trabalho consiste, essencialmente, na apresentação de novos dados para os minerais raros encontrados na ocorrência de Perus. Além dos resultados agora obtidos, este artigo inclui, ainda, um resumo das informações já existentes na literatura sobre Perus.

METODOLOGIA DE ESTUDOS Foram coletadas cerca de 550 amostras, a quase totalidade nas duas únicas pedreiras em atividade no momento, uma delas de propriedade de Domingas Dell'Antonia Tosold & Cia. Ltda., localizada à Avenida Raimundo Pereira de Magalhães n° 15.221, e a outra da Mineração Botuquara Ltda., situada a oeste da primeira, adjacente a esta (Fig. 1).

As amostras obtidas foram caracterizadas por microscopia óptica, difratometria de raios X e análises químicas (EDS e via úmida). Os resultados de EDS, para todas as amostras, estão reunidos na figura 2, enquanto dados de difratometria de raios X são apresentados apenas em alguns casos especiais. Outros métodos, descritos por Atencio (1991) e Atencio et al. (1991 b), foram aplicados especificamente para o mineral furcalita.

DESCRIÇÃO DOS MINERAIS URANÍFEROS SECUNDÁRIOS DE PERUS A seguir, é feita a descrição mineralógica dos fosfatos e silicates uraníferos secundários de Perus. Cabe ressaltar que os minerais torbernita, bassetita, fosfuranilita, meta-haiweeíta e meta-tyuyamunita não foram encontrados durante a presente pesquisa, seus dados sendo apenas bibliográficos.

Fosfatos AUTUNITA - $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ tetragonal A autunita de Perus ocorre, segundo Camargo (1965), como: **a.** cristais tabulares, com predominância do pinacóide basal e dimensões da ordem de milímetros ou micrometros, associados entre si, constituindo rosetas, agregados paralelos ou, ainda, agregados escamosos. De acordo com a presença de outras formas, podem ser classificados como quadrados, octogonais e "circulares"; **b.** cristais em barrilete, com predominância de $\{211\}$; **c.** cristais prismáticos; **d.** cristais pseudo-cúbicos; **e.** cristais almofadados.

A cor mais freqüente é o verde-limão, embora alguns cristais apresentem cor verde escura pela presença de inclusões pretas (provável óxido de ferro). Opticamente, apresenta $\epsilon = 1,556$ a $1,558$, $\omega = 1,580$ a $1,584$ e $2V = 5$ a 30° (Camargo 1965). A autunita de Perus pode apresentar inclusões orientadas ou não de chernikovita, fosfuranilita, de provável óxido de manganês e possível bassetita (Camargo 1965).

A autunita ocorre em fendas e diáclases, como agregados em forma de crostas, podendo, também, ser encontrada em planos de clivagem ou superfícies de fratura de feldspatos, mica, turmalina e apatita, formando vênulas no interior destes minerais. Nos feldspatos e micas, de clivagem fácil, a autunita pode se intercalar, como impregnações, entre os planos de clivagem. Nos cristais de turmalina e de apatita, a autunita preenche as fraturas, em geral perpendiculares ao eixo de maior desenvolvimento.

De acordo com Camargo (1965), a autunita está invariavelmente associada a outros minerais uraníferos: meta-autunita, chernikovita, fosfuranilita, furcalita, uranofânio-

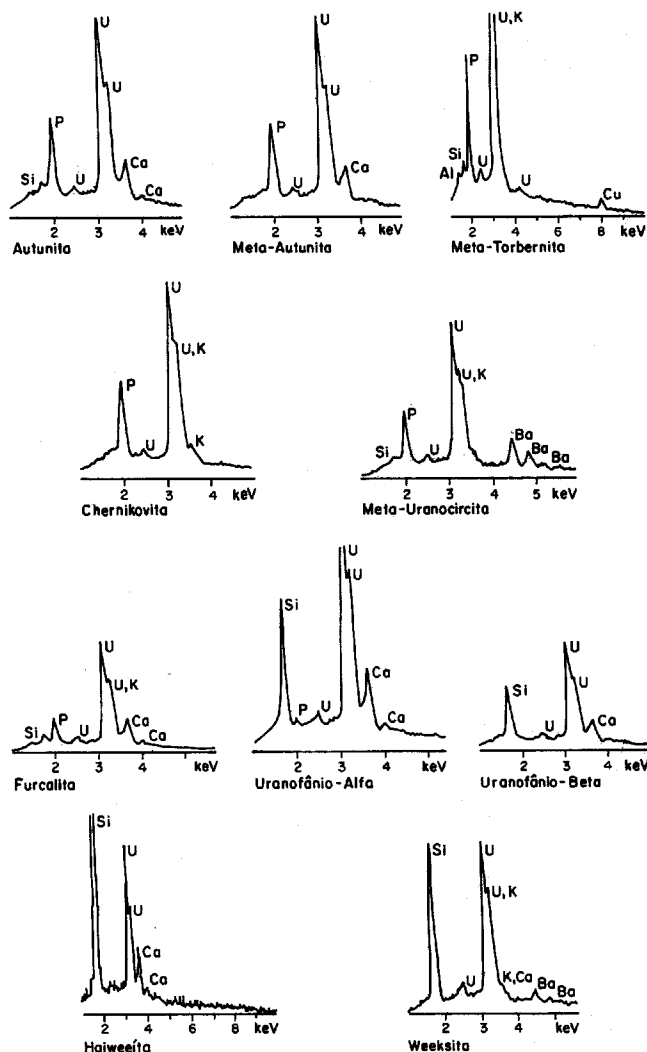


Figura 2 - Espectros de EDS de minerais de urânio de Perus
Figure 2 - EDS spectra of uranium minerals from Perus

beta e opala. Poucos cristais absolutamente isentos de inclusões foram encontrados por Camargo (1965) em Perus. Em geral, está total ou parcialmente transformada em meta-autunite, a qual mantém a mesma orientação cristalográfica que a autunite. A transformação em meta-autunite é pseudomórfica, não afetando o aspecto morfológico externo. A distinção entre uma e outra espécie só pode ser efetuada opticamente ou por difratometria de raios X.

Neste trabalho, a autunite foi identificada em seis amostras, sempre associada a meta-autunite e, às vezes, também a chernikovite.

TORBERNITA - $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ tetragonal
Mau (1957), Camargo & Coutinho (1960), Hasui (1963) e Gabelman (1963) notificaram a ocorrência de torbernite em Perus, cujos dados mineralógicos, no entanto, foram publicados por Camargo (1965).

Os cristais de torbernite de Perus, em geral muito delgados, apresentam, de acordo com Camargo (1965), hábito tabular segundo (001) e as dimensões são, em geral, 2 por 0,2 mm. Opticamente, apresentam $\varepsilon = 1,580$, $\omega = 1,595$ e $2V = 0$ a 10° , com pleocroísmo em X = incolor a verde-claro e Z = verde-esmeralda (Camargo 1965). Normalmente, a torbernite encontra-se associada a meta-torbernite. Esta associação, que por vezes se verifica no mesmo

cristal, como pseudomorfose, foi revelada em diagramas de pó (Camargo 1965).

A torbernite de Perus apresenta, com frequência, segundo Camargo (1965), inclusões aciculares fibrorradiadas incolores não identificadas, com índice de refração de aproximadamente 1,620, e que não guardam qualquer orientação com respeito ao cristal hospedeiro. Esse autor ressaltou, entretanto, que o índice de refração observado não difere daqueles verificados para a meta-torbernite.

BASSETITA - $\text{Fe}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ monoclinico
Inclusões em autunite, com índices de refração mais elevados que os desta, e pleocroísmo verde-rosa, foram identificadas por Camargo (1965) e atribuídas a possível bassetita.

META-AUTUNITE - $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ tetragonal
A meta-autunite de Perus aparece em íntima associação com a autunite, sob forma de pseudomorfose, sendo possível distinguir entre as duas espécies pelas propriedades ópticas e por difratometria de raios X. Opticamente, apresenta $\varepsilon = 1,588$ a $1,603$, $\omega = 1,598$ a $1,613$ e $2V = 0$ a 5° (Camargo 1965). A meta-autunite pode exibir inclusões hieroglíficas de chernikovite, indicando a formação de fases diferentes durante o crescimento cristalino (Camargo 1965).

A identificação de meta-autunite foi positiva em catorze amostras, sempre em associação com autunite e/ou chernikovite.

META-TORBERNITA - $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ tetragonal
De acordo com Camargo (1965), a meta-torbernite ocorre, em Perus, em íntima associação com torbernite, como pseudomorfose total ou parcial, ou ainda como inclusões lenticulares, acompanhando a clivagem (001).

Meta-torbernite foi agora identificada por difratometria de raios X, EDS e propriedades ópticas, constituindo alguns poucos cristais placóides, de cor verde escura e até 2 mm de largura, preenchendo superfície de fratura de uma amostra, formada por feldspato, quartzo e turmalina preta. Nesta amostra, a meta-torbernite é o único mineral secundário presente.

A meta-torbernite é uniaxial positiva, com $\varepsilon = 1,626$ e $\omega = 1,627$.

CHERNIKOVITA - $(\text{H}_3\text{O})_2(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ tetragonal
A chernikovite de Perus ocorre como inclusões em autunite e meta-autunite, que preenchem cavidades do turmalina granito, localmente pegmatítico. Neste trabalho, chernikovite foi identificada por difratometria de raios X em doze amostras, nas quais está presente sempre em associação com autunite e/ou meta-autunite. A chernikovite predomina sobre estas somente em uma das amostras, na qual constitui material muito fino, de cor amarela-esverdeada, preenchendo superfície de fratura de rocha com quartzo, feldspato e turmalina. Nesta amostra, apenas meta-autunite acompanha, em proporção muito pequena, a chernikovite.

Camargo (1965) descreveu os principais hábitos da chernikovite de Perus (na época denominada "hidrogênio autunite"), a qual ocorre como inclusões orientadas e nitidamente zonadas, em autunite e meta-autunite. É comum as inclusões desenvolverem formas de bastonetes paralelos às faces do hospedeiro, exibindo, no conjunto, aspecto hieroglífico. Existem também pequenas placas com contornos irregulares ou geométricos, cujo tamanho não excede 10 μm . Inclusões de chernikovite são observadas em crescimento paralelo ao plano (001) da autunite. Para a chernikovite de Perus, estudada por Camargo (1965), a densidade calculada para a fórmula ideal é 3,264 g/cm. A chernikovite é uniaxial negativa. O material de Perus estudado por Camargo (1965) tem cor verde-limão e é ligeiramente pleo-

cróico. As placas maiores podem ser anormalmente biaxiais, com $2V = 5$ a 10° .

A chernikovita da amostra aqui descrita apresenta-se, ao microscópio petrográfico, como cristais placóides de cor amarela-clara, uniaxiais negativos. O mineral tem aspecto turvo ao microscópio. Os índices de refração registrados para o mineral desta amostra foram: $\epsilon = 1,567(2)$ e $\omega = 1,582(2)$. A chernikovita de Perus pode ser facilmente reconhecida pelos seus índices de refração, que são inferiores aos dos hospedeiros autunita e meta-autunita (Camargo 1965).

Os dados de difratometria de raios X obtidos para a chernikovita podem ser indexados em cela unitária tetragonal, provavelmente pertencente ao grupo espacial $P4/nmm$. O conteúdo atômico da cela é $(H_3O)_2(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 6H_2O$, com $Z = 1$. Os parâmetros de cela unitária podem, entretanto, representar uma pseudo-cela. Por analogia com os minerais do grupo da meta-autunita estudados por Ross & Evans (1964), a dimensão c pode ser duplicada e o grupo espacial seria, então, $P4/ncc$. Por outro lado, se as relações da cela da chernikovita forem as mesmas da meta-autunita-(I) (Ross 1963), a verdadeira cela será gerada pela rotação de 45° da pseudo-cela ao redor do eixo c . O grupo espacial seria, então, $P4_222$.

Os padrões de difratometria de raios X da chernikovita exibem, devido a fácil clivagem segundo (001), reflexão (001) muito forte, localizada entre o pico (002) da autunita e o pico (001) da meta-autunita. Quando os três minerais ocorrem associados, a identificação das fases é muito fácil (Camargo 1965). O pico de 9\AA , freqüentemente mencionado na literatura para a autunita, pode corresponder, na realidade, a chernikovita em mistura, conforme foi claramente descrito por Camargo (1965), no caso de amostras de Perus.

Cálculos de compatibilidade, usando-se as relações de Gladstone-Dale, foram efetuados para a fórmula ideal, a densidade calculada, os índices de refração medidos e as constantes registradas por Mandarine (1981), exceto a constante para $UO_3 = 0,134$, fornecida por Larsen (1921), e que apresenta melhor concordância para os fosfatos de uranila (Piret & Deliens 1989). Os resultados obtidos foram: $K_P = 0,177$ e $K_C = 0,179$ para a chernikovita de Perus. Como consequência $1 - (K_P/K_C) = 0,0112$, indicando, segundo os critérios estabelecidos por Mandarino (1979), compatibilidade superior.

A chernikovita apresenta padrão de difratometria de raios X similar àqueles dos minerais meta-ankoleíta $[K_2(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 6H_2O]$, uramphita $[(NH_4)_2(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 6H_2O]$ e abernathyita $K_2(UO_2)_2(AsO_4)_2 \cdot 6H_2O$ e dos produtos sintéticos $(NH_4)_2(UO_2)_2(AsO_4)_2 \cdot 6H_2O$ e $K(H_3O)_2(UO_2)_2(AsO_4)_2 \cdot 6H_2O$, estudados por Mrose (1953) e Ross & Evans (1964). Estes compostos são, provavelmente, isoestruturais com a chernikovita. Um mineral sem nome, citado como "análogo de fósforo da trögerita", e ao qual atribuiu-se a fórmula $(UO_2)_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$, foi registrado por Belova *et al.* (1963). O padrão de difratometria de raios X, representado na ficha PDF 26-887, é, aparentemente, resultante de mistura entre duas fases, uma das quais apresenta picos indexados, enquanto a outra apresenta picos que ainda não o foram. O material cujos picos foram indexados é, possivelmente, o análogo natural do composto sintético $(UO_2)_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$, citado por Belova *et al.* (1963), e o outro corresponde, provavelmente, à chernikovita (Atencio 1988).

META-URANOCIRCITA - $Ba(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ tetragonal Durante esta pesquisa, verificou-se, pela primeira vez, a presença de meta-uranocircita em Perus. Este mineral foi identificado por difratometria de raios X, EDS e propriedades ópticas em três amostras, nas quais é o único mineral secundário.

Na primeira amostra, a meta-uranocircita ocorre na forma de material verde claro muito fino, no interior de cavidades com l a 5 mm de diâmetro e contornos arredondados, geradas por cristais dissolvidos, que fariam parte, originalmente, de rocha composta por feldspato (agora caulinizado), quartzo e turmalina preta. Ao microscópio petrográfico, observa-se de boa a ótima clivagem basal, mas com desenvolvimento morfológico em alguns casos mais expressivo, em alguns cristais, perpendicularmente à mesma clivagem. Nesta circunstância, os cristais exibem tendência prismática em prejuízo do hábito placóide basal. O mineral é biaxial negativo, com a bissetriz aguda aproximadamente perpendicular à clivagem, $2V_X$ entre 20 e 30° , $\alpha = 1,638$ a $1,640$, $\beta \cong \gamma = 1,640$ a $1,642$. A cor ao microscópio petrográfico é, também, verde-clara, com pleocroísmo inexistente a muito fraco. Apresenta cores de interferência levemente anômalas.

Na segunda amostra, a meta-uranocircita está presente na forma de material pulverulento ou formando raros cristais placóides de, no máximo, 1 mm de largura e cor verde clara, preenchendo fraturas de rocha com quartzo, feldspato caulinizado e turmalina, tendo granada avermelhada como acessório. Ao microscópio, a meta-uranocircita é biaxial negativa, com $a = 1,615$ (calculado por determinação de atrasos), $p = 1,617$ e $y = 1,618$, ex 11 (001), $2V = 0$ a 30° , dispersão $r > v$. Apresenta geminação de contato a 45° das faces prismáticas, freqüentemente gerando setores com $y(Z)$ paralelo à linha de borda do tablete pseudo-tetragonal, e $P(Y)$ perpendicular a esta linha, como acontece com a meta-autunita.

Na terceira amostra, observam-se cristais placóides de meta-uranocircita de largura média de 1 mm e cor verde-clara, preenchendo plano de fratura de rocha composta por quartzo, feldspato e turmalina. Apresenta $2V$ entre $1,610$ e $1,611$, e $\gamma = 1,623$. É uniaxial negativa a biaxial negativa, com $2V$ entre 0 e 30° , variável por setores (zonas ou placas geminadas).

A meta-uranocircita de Perus apresenta fluorescência intensa de cor verde sob radiação ultravioleta de ondas curtas (254 nm) e longas (366 nm).

META-TYUYAMUNITA - $Ca(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$ ortorrômbico Gabelman (1963) citou a ocorrência de meta-tyuyamunita em Perus. Entretanto, como não existem pormenores sobre a determinação do mineral (constantes ópticas, diagramas de pó ou análises químicas), é provável que a meta-tyuyamunita, de cor amarela, tenha sido confundida macroscopicamente com fosfuranilita ou uranofânio-beta, minerais relativamente comuns em Perus (Camargo 1965).

FOSFURANILITA - $KCa(H_3O)_3(UO_2)_2O_4(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ ortorrômbico A fosfuranilita de Perus ocorre, segundo Camargo (1965), em íntima associação com autunita, na qual se apresenta sob a forma de inclusões orientadas ou não. Aparentemente, a fosfuranilita é produto de alteração da autunita. A fosfuranilita, de cor amarelo-canário, distingue-se macroscopicamente da autunita, verde-limão. Os agregados de fosfuranilita são, em geral, muito finos, sendo os cristais identificados somente ao microscópio. Ópticamente, apresenta $\alpha = 1,680$, $\beta = 1,715$, $\gamma = 1,720$ e $2V = 40$ a 50° , com pleocroísmo em $X =$ incolor, $Y =$ amarelo claro e $Z =$ verde oliva (Camargo 1965). Convém, entretanto, salientar que, pela cor, a fosfuranilita pode ser confundida com uranofânio-beta ou uranofânio-alfa, sendo distinguida destes por difratometria de raios X. Inclusões de fosfuranilita foram também registradas em meta-autunita por Camargo (1965).

FURCALITA - $Ca_2(UO_2)_3O_2(PO_4)_2 \cdot 7H_2O$ ortorrômbico Camargo (1965) descreveu e registrou dados morfológicos, ópticos e de difratometria de raios X de um mineral similar à

fosfuranilita, que ocorria como preenchimento de fratura em xisto encaixante do turmalina granito, localmente pegmatítico, de Perus. A pequena quantidade de material disponível, no entanto, impediu a realização de análises químicas quantitativas. Mesmo assim, aquele autor concluiu que se tratava de uma nova espécie e a denominou "mineral X". Fleischer (1974) e Fleischer *et al* (1984) referiram-se ao "mineral X" de Perus como *unnamed uranyl phosphate*.

A comparação entre os dados já publicados, para o "mineral X" de Perus e para a furcalita, sugere a identidade entre estes dois minerais. A coleta de nova amostra do "mineral X", agora em superfície de fratura do pegmatite, permitiu estudos suplementares para comprovar este fato. Perus é, na realidade, a primeira ocorrência descrita de furcalita e seus cristais são os mais bem formados entre todos os da espécie. Novos dados são apresentados a seguir para melhor definir as propriedades do mineral, incluindo, ao mesmo tempo, uma fórmula química que revela maior concordância com novas interpretações estruturais.

Apenas uma amostra de mão contendo o mineral foi coletada. Proveio da pedreira da Mineração Botuquara Ltda., e serviu de base para o este estudo. Nesta amostra, nenhum outro mineral uranífero associa-se diretamente com a furcalita, que ocorre como preenchimento de fraturas no pegmatite, constituindo agregados radiados de cristais eudrais de até 5 mm de comprimento. Os cristais apresentam cor amarela-viva, são transparentes e de brilho vítreo a adamantino. A cor do traço é amarela-clara. A furcalita é quebradiça e apresenta fratura conchoidal. O mineral não é fluorescente. Sua dureza VHN varia de 86 a 95 (média 90,5) kg/mm², o que corresponde a dureza de Mohs calculada de 2,4. D_{medida} 4,22(4), $D_{calculada}$ 4,220 g/cm³.

Opticamente, o mineral é biaxial (-), com $\alpha = 1,677(2)$, $\beta = 1,732(2)$, γ U66(2), $2V_x$ medido 75°, $2V_x$ calculado 74°. A fórmula pleocróica é X = amarelo claro, Y = amarelo, Z = amarelo-ouro, X = b, Y = a, Z = c, absorção X < Y < Z, dispersão $r > v$ média, elongação positiva. O mineral é ortorômbico, grupo espacial *Pbca*, a 17,415(2), b 16,035(3), c 13,598(3) Å, V 3797(2) Å³, $Z = 8$.

A fórmula analítica, derivada de análises por microsonda eletrônica, é $(Ca_{1,97}K_{0,05})_{\Sigma=2,02}(UO_2)_{2,87}O_{1,93}[(PO_4)_{1,90}(SiO_4)_{0,04}]_{\Sigma=1,94} \cdot 7,57H_2O$. A curva de DTA apresenta um pico endotérmico em 150°C, correspondente a perda de H₂O, confirmada por TGA, e fusão a 900°C. O espectro IR apresenta bandas de H₂O, PO₄ e UO₂. Furcalita é insolúvel em água e solúvel em HCl, HNO₃ e H₂SO₄, todos em concentração 1:1, a frio. A compatibilidade Gladstone-Dale é superior. Furcalita forma-se, provavelmente, a $T \leq 150^\circ C$.

A estrutura cristalina da furcalita foi previamente estudada por Piret & Declercq (1978), sendo a fórmula obtida $Ca_2(UO_2)_3(PO_4)_2(OH)_4 \cdot 4H_2O$, com índice residual final R de 12%, pouco favorável. Esse estudo apresenta algumas incorreções, que serão tratadas a seguir. Considerações sobre valências de ligação derivadas de distâncias de ligação determinadas por Piret & Declercq (1978) sugerem claramente que:

(i) O(14) e O(17) são O isolados e não constituintes de grupos OH⁻; (ii) O(24) a O(29) são todos pertencentes a grupos H₂O; (iii) deve existir um átomo adicional de oxigênio ligado a Ca(5).

Para solucionar esses problemas, novo estudo de estrutura cristalina da furcalita foi levado a efeito a partir de um cristal proveniente da ocorrência de Perus. Os resultados deste estudo foram incluídos nos trabalhos de Atencio *et al.* (1990), Silva (1990), Silva *et al* (1990), Atencio (1991) e Atencio *et al.* (1991b).

A estrutura cristalina da furcalita (Atencio *et al* 1991 b) foi resolvida por métodos de difratometria de raios X de cristal único e refinada até $R = 3,8\%$ usando 2065 reflexões observadas [$I > 3\sigma(I)$]. A estrutura consiste de camadas

$[(UO_2)_3O_2(PO_4)_2]_{4n}^{4n-}$, paralelas a (010), conectadas por íons Ca e H₂O. Os poliedros de coordenação são: para U(1) bipirâmide hexagonal; para U(2) e U(3) bipirâmides pentagonais; para Ca(4) e Ca(5) prisma trigonal mononcapuzado e dodecaedro triangulado, respectivamente; e para P(6) e P(7) tetraedros. Como consequência deste trabalho, a fórmula molecular da furcalita deve ser modificada para $Ca_2(UO_2)_3O_2(PO_4)_2 \cdot 7H_2O$.

Silicatos URANOFÂNIO-ALFA - $Ca(UO_2)_2(SiO_3OH)_2 \cdot 5H_2O$ monoclinico De acordo com Camargo (1965), o uranofânio-alfa ocorre em Perus em alguns pontos muito esparsos, como diminutos cristais fibrosos, de cerca de 10 um na maior dimensão, estando associado a outros minerais secundários de urânio, como autunita, uranofânio-beta e fosfuranilita. O uranofânio-alfa ocorre também associado ao quartzo, capeando agregados coliformes deste mineral, que, dado o seu aspecto morfológico, é provavelmente de origem secundária, tendo se derivado por cristalização da opala.

A cor do mineral de Perus é amarela-alaranjada a olho nu e verde-oliva a microscópio. Camargo (1965) obteve somente uma amostra em que foi possível efetuar algumas medidas ópticas. As demais amostras foram identificadas por difratometria de raios X.

Neste trabalho, o uranofânio-alfa foi identificado em duas amostras, nas quais tem grande predomínio sobre o uranofânio-beta associado. Nestas amostras, constitui crostas pulverulentas de cor amarela. Apenas em uma das amostras, foi possível medir os índices $\beta = 1,667$ e $\gamma = 1,670$ em ripas alongadas de uranofânio-alfa. Na tabela I, são apresentados os dados de difratometria de raios X. As constantes da cela unitária calculadas para estes dados são: $a = 15,82(3)$, $b = 7,02(2)$, $c = 6,651(7)$ Å, $\beta = 97,5(1)^\circ$.

URANOFÂNIO-BETA - $Ca(UO_2)_2(SiO_3OH)_2 \cdot 5H_2O$ monoclinico A ocorrência de uranofânio-beta, em Perus, foi descrita primeiramente por Camargo & Coutinho (1960) em cavidades poliédricas, com 1 a 2 cm de diâmetro, lembrando moldes negativos de cristais que teriam se dissolvido. O mineral constituía agregados entrelaçados, crostas e tufos radiados isolados, implantados nas paredes da cavidade. Além do uranofânio-beta, podem ocorrer, em associação na mesma cavidade, opala e albita secundária, formando compartimentos que fornecem estrutura celular à cavidade. Apenas quatro pequenas drusas foram coletadas na amostra de rocha obtida. Em nenhuma delas, entretanto, encontrou-se, associado ao uranofânio-beta, qualquer vestígio de uraninita ou qualquer outro mineral uranífero primário. A cor dos cristais de Perus é amarelo-ovo. Seria provável, segundo Camargo & Coutinho (1960), que o uranofânio-beta tivesse se originado pela alteração hidrotermal de mineral uranífero primário, como, por exemplo, a uraninita.

Amostras adicionais de uranofânio-beta foram obtidas por Camargo (1965), nas quais se baseia a descrição que segue. Os cristais são, em geral, muito pequenos, somente distintos com lupa binocular ou microscópio. Possuem hábito acicular e fibrorradiado, com as agulhas apresentando comprimento que oscila de 200 a 100 um e largura de 10 a 50 um. Os agregados fibrorradiados formam rosetas de cerca de 1 mm de diâmetro e alguns cristais são mais ou menos lamelares segundo (010), de contorno irregular, constituindo agregados semelhantes a asas de borboleta. Ocorrem, subjacentes aos agregados fibrorradiados, agregados macroscopicamente compactos, que, ao microscópio, revelam-se constituídos por entrelaçamento de cristais aciculares.

São relativamente comuns, em Perus, agregados fibrorradiados de cristais em forma de ogiva ou ponta de agulha, com faces curvas, possivelmente resultantes de crescimento oscilatório. As cores mais frequentes do uranofânio-beta de

Tabela 1 - Padrão de difratometria de raios X do uranofânio-alfa de Perus

Table 1 - X-ray powder diffraction pattern for uranophane-alpha from Perus

$d_{\text{obs.}} (\text{\AA})$	I/I_0	$d_{\text{calc.}} (\text{\AA})$	h	k	l
7,865	100	7,842	2	0	0
6,563	35	6,595	0	0	1
5,394	25	5,406	-2	0	1
4,777	50	4,751	2	0	1
4,267	5	4,283	-2	1	1
3,924	60	3,921	4	0	0
3,584	20	3,582	-4	0	1
3,485	45	3,511	0	2	0
3,401	5	3,382	3	1	1
3,326	<5	3,297	0	0	2
3,186	50	3,190	-4	1	1
3,081	5	3,076	-1	2	1
2,976	55	2,985	0	1	2
2,901	35	2,906	-2	1	2
2,681	20	2,686	2	1	2
2,618	15	2,616	4	2	0
2,552	5	2,546	-6	0	1
2,520	5	2,523	-4	1	2
2,420	10	2,394	-6	1	1
2,262	5	2,250	4	1	2
2,192	15	2,198	0	0	3
2,092	20	2,098	0	1	3
2,046	5	2,048	2	0	3
1,966	10	1,961	7	1	1
1,901	15	1,903	-7	1	2
1,880	10	1,887	-2	3	2
1,861	10	1,863	0	2	3
1,819	5	1,819	4	0	3
1,761	10	1,761	4	1	3
1,745	10	1,745	-6	1	3
1,704	5	1,712	-8	2	0
1,656	5	1,657	-2	0	4
1,596	5	1,600	6	3	2
1,585	5	1,574	-3	3	3

Perus são amarela-clara e amarela-alaranjada ou amarela-ovo, podendo ser facilmente confundido macroscopicamente com uranofânio-alfa ou fosfuranilita. Entretanto, o uranofânio-beta pode ainda apresentar coloração verde-clara, verde-esbranquiçada ou verde quase incolor, principalmente nos agregados em asa de borboleta, que ocorrem preenchendo fraturas de turmalina preta.

Este mineral pode ser diferenciado do uranofânio-alfa por difratometria de raios X, devido a algumas raia características. As duas espécies podem ser também diferenciadas graças às suas propriedades ópticas, conforme ressaltou Camargo (1965). Sobre o plano (010), o uranofânio-beta apresenta elevado ângulo de extinção, até 45°, o que não acontece com o uranofânio-alfa, cuja extinção é praticamente reta nessa seção. Na seção (100), os dois minerais exibem extinção reta, mas podem ser diferenciados pelo índice de refração ao longo do comprimento maior do cristal. Efetua-se, então, ao microscópio, boa separação das duas espécies utilizando-se líquido de índice igual a 1,680. O uranofânio-alfa apresenta índice inferior e o uranofânio-beta, índice mais elevado ao longo da elongação. De acordo com Camargo & Coutinho (1960) e Camargo (1965), o uranofânio-beta de Perus apresenta índices de refração $\alpha = 1,657$ a 1,659, $\beta =$

1,680 a 1,682, $\gamma = 1,699$ a 1,703 e $2V_X = 57$, e pleocroísmo em X = incolor, Y = amarelo e Z = amarelo-limão.

Os diagramas de pó demonstraram que o uranofânio-beta de Perus encontra-se, em geral, raramente associado a outros minerais uraníferos secundários. É bem possível que isto indique condições de formação para o uranofânio-beta ligeiramente diferentes, em relação aos demais minerais uraníferos secundários (Camargo 1965). Contudo, segundo o mesmo autor, podem associar-se ao uranofânio-beta, o uranofânio-alfa e, mais raramente, a autunita e a meta-autunita. A associação com esses dois últimos minerais pode ser, entretanto, meramente casual. Com relativa frequência, a saponita associa-se também ao uranofânio-beta de Perus.

Durante a coleta de material para este trabalho, uranofânio-beta mostrou ser o mineral uranífero mais comum, identificado em 28 amostras. Nestas amostras, o uranofânio-beta constitui crostas de cor amarela, nas quais os cristais só são visíveis ao microscópio. Os minerais associados são: saponita, weeksita, uranofânio-alfa, meta-autunita, chernikovita e autunita.

HAIWEEÍTA - $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2\text{Si}_6\text{O}_{15} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ortorrômbico (?)
A haiweeíta, descrita em Perus por Camargo & Svisero (1966, 1969), ocorre como agregados fibrorradiados zonados, de cor amarela-clara, preenchendo superfícies de fratura em uma amostra de turmalina granito.

O mineral haiweeíta ainda se constitui numa espécie problemática (Atencio 1992a), inexistindo estudos de estrutura cristalina. Atualmente são disponíveis quatro padrões de difratometria de raios X (PDF 12-721, 13-118, 17-462 e 22-160). Desses, os materiais correspondentes às fichas 12-721, proveniente do reservatório de Haiwee, Montanhas Coso, Califórnia, Estados Unidos, e 22-160, proveniente de Perus, estudado por Camargo & Svisero (1969), são bastante semelhantes entre si e foram indexados no sistema monoclinico. Entretanto, não foram indexadas as raia correspondentes à intensidade de 100%, além de algumas outras, o que sugere que não se trata de apenas um mineral ou que houve erro de indexação.

O mineral representado na ficha 13-118, originalmente denominado "ranquilita", foi estudado por Abeledo *et al.* (1960). Apesar de praticamente idêntico aos padrões das fichas 12-721 e 22-160, este material foi indexado no sistema ortorrômbico e os resultados obtidos foram melhores que aqueles para o sistema monoclinico. Já, a substância da ficha 17-462, originalmente denominada "ursilita" e cujo padrão não foi indexado, é muito diferente das outras três, devendo tratar-se de espécie diferente.

Presentemente, teve-se acesso à amostra estudada por Camargo & Svisero (1966, 1969). Nesta amostra, ainda restam alguns dos esferulitos, associados a abundante opala de cor verde-clara. Nestes esferulitos, por EDS, foram obtidos, pela primeira vez, dados químicos da haiweeíta de Perus, confirmando-se qualitativamente a composição originalmente atribuída à haiweeíta.

A análise óptica do material confirmou os índices atribuídos por Camargo & Svisero (1969), verificando-se, entretanto, nos esferulitos, a presença adicional de outro mineral, com propriedades semelhantes à haiweeíta (biaxial negativo, $\beta \approx \gamma$ 1,573, $2V = 15$ a 30°), mas com diferentes orientação óptica (γ paralelo ao alongamento) e dispersão ($v > r$).

Estas observações sugerem que os padrões de difratometria de raios X registrados na literatura podem, realmente, corresponder a misturas. A tabela 2 apresenta, para esta amostra, dados de difratometria de raios X, tentativamente indexados no sistema ortorrômbico. Os parâmetros de cela unitária, segundo esta indexação, são: $a = 17,63(4)$, $b = 14,20(4)$ e $c = 18,49(3)$.

Tabela 2 - Padrão de difratometria de raios X da haiweeíta de Perus

Table 2 - X-ray powder diffraction pattern for haiweeíta from Perus

$d_{\text{obs.}} (\text{\AA})$	I/I_0	$d_{\text{calc.}} (\text{\AA})$	h	k	l
9,148	100	9,248	0	0	2
8,051	35	7,958	2	0	1
6,320	25	6,585	1	2	0
5,401	0	5,364	1	2	2
5,069	15	5,052	2	0	3
4,940	60	4,960	3	0	2
4,567	20	4,624	0	0	4
4,423	45	4,473	1	0	4
3,648	5	3,670	4	2	1
3,542	<5	3,549	0	4	0
3,304	50	3,314	0	4	2
3,245	5	3,210	5	1	2
3,011	55	3,037	1	0	6
2,829	35	2,811	5	2	3
2,614	20	2,632	4	2	5
2,399	15	2,397	1	5	4
2,216	5	2,209	0	6	3
2,181	5	2,186	7	1	4
2,067	10	2,063	1	3	8
1,971	5	1,982	2	1	9
1,927	15	1,931	6	4	5
1,881	20	1,887	4	5	6
1,848	5	1,839	1	0	10
1,813	10	1,810	9	3	0
1,785	15	1,778	0	4	9
1,740	10	1,743	2	4	9

META-HAIWEEÍTA - $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2\text{Si}_5\text{O}_{13} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ortorrômbico Camargo & Svisero (1966) observaram, na parte central dos esferulitos da amostra em que foi descrita a haiweeíta, a presença de um mineral com índices de refração mais elevados, devendo corresponder a fase menos hidratada, supostamente, segundo os autores mencionados, meta-haiweeíta.

O nome meta-haiweeíta foi proposto por McBurney & Murdoch (1959), para designar um mineral associado a haiweeíta, que ocorre em superfícies de fratura de granito, no reservatório de Haiwee, montanhas Coso, Califórnia, Estados Unidos. McBurney & Murdoch (1959) também obtiveram um produto sintético análogo, a partir do aquecimento de haiweeíta coletada em depósitos lacustres adjacentes ao granito. Walenta (1960) sintetizou o mesmo produto a 300 e 400°C, mas sugeriu que o termo meta-haiweeíta fosse mais apropriadamente reservado para uma fase formada pela desidratação a 100°C de haiweeíta, a qual ocorre naturalmente, tendo sido descrita por Haberlandt & Schiener (1951) como "gastunita I". A Comissão de Novos Minerais e Nomes de Minerais da Associação Mineralógica Internacional (CNMNM - IMA) nunca se pronunciou a respeito do nome meta-haiweeíta (Atencio 1992b).

Novas investigações da amostra que contém haiweeíta, em que Camargo & Svisero (1966) sugeriram também a presença de meta-haiweeíta, resultaram infrutíferas no sentido de localizá-la.

WEEKSITA RICA EM BÁRIO - $(\text{K},\text{Ba})_{241}(\text{UO}_2)_2\text{Si}_5\text{O}_{13} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ortorrômbico O mineral weeksita originalmente denominado "gastunita" por Honea (1959), foi descrito por Outerbridge *et al.* (1960). O nome weeksita foi mantido após muitas descrições discordantes de "gastunita" (Haberlandt & Schiener 1951, Walenta 1960). A weeksita de

Perus apresenta substituição de potássio por bário em maior proporção que a verificada nas demais amostras citadas na literatura. Dados preliminares sobre este mineral foram divulgados por Atencio *et al.* (1991a).

A weeksita constitui crostas pulverulentas de cor amarela que preenchem fraturas do turmalina granito e do pegmatito de Perus. Todavia, esta forma de ocorrência é comum a diversos minerais uraníferos do local; entre todas as amostras estudadas que apresentavam estas características, apenas sete eram portadoras de weeksita. Verificou-se íntima associação entre weeksita, uranofânio-beta, autunita e saponita, sendo que somente uma das amostras era constituída exclusivamente por weeksita.

A weeksita rica em bário de Perus não apresenta fluorescência sob luz ultravioleta de ondas longas (366 nm) ou curtas (254 nm).

Ao microscópio petrográfico, a weeksita rica em bário de Perus apresenta-se como agregados fibrosos muito finos, de cor amarela, nos quais apenas algumas das propriedades ópticas puderam ser avaliadas. O mineral é aparentemente biaxial negativo, com 3 (medido em quatro amostras) variando de 1,603 a 1,605, (medido unicamente em uma amostra) 1,609, birrefringência 0,010 a 0,020, $2V_X = 70$ a 85° , $Y_a c = O$ a 20° , dispersão $r > v$, forte. Estas características ópticas coincidem com as das demais amostras de weeksita descritas na literatura.

Uma alíquota de 2,9 mg do material foi dissolvida por H_2SO_4 e HF, avolumando-se a solução para 25 ml. Análises efetuadas em fotômetro de chama forneceram como resultados 3,22% K_2O e 0,81% Na_2O . A partir de 2,6 mg de material, foi realizada uma segunda preparação, com HNO_3 e HF, avolumando-se a solução para 25 ml, o que possibilitou a análise de bário e cálcio em espectrofotômetro de absorção atômica, verificando-se a presença de 4,88% BaO e 0,60% CaO. A fórmula química do mineral de Perus, com base nos teores ideais de UO_3 , SiO_2 e H_2O , é $(\text{K}_{0,76}\text{Ba}_{0,03}\text{Na}_{0,20}\text{Ca}_{0,12})_{241}(\text{UO}_2)_2\text{Si}_5\text{O}_{13} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

A weeksita cristaliza-se no sistema ortorrômbico, grupo espacial $Pnnb$. Foi obtido um difratograma de raios X (Tab. 3), que é virtualmente idêntico ao da weeksita (PDF 12-462) e também ao do mineral meta-haiweeíta, $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2\text{Si}_5\text{O}_{13} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (PDF 12-722) e ao do composto sintético $\text{Na}_2(\text{UO}_2)_2\text{Si}_5\text{O}_{13} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (PDF 12-461), todos isoestruturais. Os parâmetros da cela unitária calculados para o mineral de Perus são: $a = 14,23(2) \text{\AA}$, $b = 35,78(5) \text{\AA}$ e $c = 14,17(3) \text{\AA}$.

O grupo da weeksita é constituído pelos minerais weeksita e meta-haiweeíta, ambos incompletamente estudados. Dados estruturais parciais são disponíveis somente para a weeksita (Stohl & Smith 1981), tendo sido verificada a presença de cadeias silicáticas com UO_2 . A posição dos átomos de potássio e das moléculas de água não foi revelada.

Análogos sintéticos de potássio, potássio + sódio, sódio, amônio e oxônio foram cristalizados em laboratório e apresentaram padrões de difratometria de raios X essencialmente idênticos (Honea 1959), não tendo sido, entretanto, obtidos cristais de dimensões suficientes para estudos estruturais.

A introdução de bário na posição do potássio já foi observada em amostras de weeksita de outras localidades: 1,4% em peso de BaO, na amostra de Thomas Range (Outerbridge *et al.* 1960); 1,90 e 0,19% em peso de BaO, em duas amostras do Afeganistão (Yeremenko *et al.* 1977). Na amostra proveniente de Perus, porém, esta substituição é consideravelmente mais extensa.

Recentemente, Adusumilli & Castro (1990) registraram a ocorrência de weeksita com bário no pegmatito Mamões, Rio Grande do Norte, sem, entretanto, apresentarem resultados químicos quantitativos. A possibilidade de substituição

Tabela 3 — Padrão de difratometria de raios X da weeksita rica em bário de Perus

Table 3 - X-ray powder diffraction pattern for barian weeksite from Perus

$d_{obs.}(\text{\AA})$	I/I_0	$d_{calc.}(\text{\AA})$	h	k	l
8,931	15	8,945	0	4	0
7,082	100	7,085	0	0	2
5,569	23	5,554	0	4	2
4,843	10	4,808	0	7	1
4,563	12	4,570	2	6	0
3,842	17	3,828	0	9	1
3,544	65	3,542	0	0	4
3,298	39	3,294	0	4	4
3,183	26	3,194	0	10	2
2,986	16	2,982	0	12	0
2,912	25	2,905	4	5	2
2,506	6	2,504	4	1	4
2,405	8	2,404	0	14	2
2,365	15	2,366	6	1	0
2,282	14	2,274	5	8	2
2,237	7	2,233	2	15	1
2,196	6	2,195	1	10	5
2,132	6	2,125	5	10	2
2,099	9	2,105	6	2	3
1,988	6	1,988	0	18	0
1,970	8	1,968	6	1	4
1,919	6	1,916	6	1	0
1,897	8	1,894	1	11	6
1,867	4	1,867	0	19	1
1,828	4	1,826	3	15	4
1,773	12	1,774	2	18	3

de diversos cations na weeksita, sem modificações estruturais significativas, implica na eventual descoberta, no futuro, de novas espécies.

OUTROS MINERAIS SECUNDÁRIOS O PA LA URANÍFERA- $\text{SiO}_2.n\text{H}_2\text{O}$ A opala de Perus apresenta-se geralmente com hábito botrioidal, preenchendo rendas do turmalina granito, localmente pegmatítico. Os mantos de opala uranífera podem ser relativamente extensos, atingindo até 0,5 m, porém de espessura reduzida que não supera 0,5 cm (Camargo 1965).

A opala uranífera de Perus apresenta-se incolor, branca leitosa, amarelada e verde-clara, mostrando reações ligeiramente diferentes quanto a fluorescência e quanto ao comportamento radioativo. Sob ação de radiação ultravioleta de ondas curtas ou longas, os diversos tipos de opala mostram fluorescência verde, mais intensa nas amostras de cor amarelada e verde, e mais fraca nas demais (Camargo 1965).

Os difratogramas de raios X da opala de Perus, um material de baixo grau de cristalinidade, apresentam, como esperado, uma banda difusa. Cristobalita, tridimita e quartzo estão representados por picos nos mesmos difratogramas, sendo cristobalita e tridimita o resultado de empilhamentos locais e caótico de tetraedros SiO_4 , na ordem adequada, e quartzo ocorrendo na forma de calcedônia. Estas substâncias podem aparecer associados ou não entre si, e independem da coloração da amostra.

Camargo (1965) já havia detectado os minerais cristobalita e quartzo (variedade calcedônia) nestas crostas. Ainda, segundo o mesmo autor, é freqüente a ocorrência, em associação a opala, de pequenos cristais de quartzo bem formados nas fendas e cavidades das rochas encaixantes. Este quartzo teria origem secundária, a partir da cristalização da opala, ou mesmo por cristalização direta de soluções carregadas de sílica.

Segundo Camargo (1965), depois da autunita, a opala constitui o mineral uranífero mais abundante em Perus, onde é encontrada em fendas e cavidades dos pegmatitos, granitos turmaliníferos e mesmo dos xistos encaixantes.

SAPONITA - $(\text{Ca}, \text{Na})_{0,3}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2.4\text{H}_2\text{O}$ monoclinico Nas fendas e fraturas do turmalina granito, localmente pegmatítico, de Perus, ocorre, freqüentemente, um mineral de cor rósea, microcristalino, identificado como saponita, tanto por difratometria de raios X, como por microscopia óptica. A saponita associa-se normalmente ao uranofânio-beta. Camargo (1965) atribuiu a formação da saponita à alteração de turmalina (principalmente a rosa), e da lepidolita, minerais dos pegmatitos que poderiam constituir a fonte de magnésio, ferro e manganês.

RODOCROSITA - MnCO_3 trigonal Camargo (1965) observou, com relativa freqüência, outro mineral róseo associado à saponita, porém melhor cristalizado e de dureza mais elevada. Suas características ópticas permitiram a identificação como rodocrosita.

CONSIDERAÇÕES FINAIS A associação de minerais uraníferos secundários de preenchimento de fraturas do turmalina granito, localmente pegmatítico, de Perus, é a seguinte: autunita, torbernita, meta-autunita, meta-torbernita, chernikovita, meta-uranocircita, fosforanilita, furcalita, uranofânio-alfa, uranofânio-beta, haiweeita e weeksita rica em bário. Carecem de confirmação: bassetita, meta-haiweeita e meta-tyuyamunita. Opala uranífera contendo tridimita e cristobalita, quartzo secundário, saponita e rodocrosita ocorrem associados aos minerais de urânio.

Agradecimentos Os autores são gratos a FAPESP e ao CNPq, pelos auxílios recebidos e aos professores José M.V. Coutinho e José V. Valarelli pela revisão do texto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABELED, M. J.; BENYACAR, M.R.; GALLONI, E.E. 1960. Ranquillite, a calcium uranyl silicate. *Am. Mineral.*, 45:1078-1086.
- ADUSUMILLI, M.S. & CASTRO, C. 1990. Minerais de urânio dos Pegmatitos Boqueirão e Mamões, Rio Grande do Norte. In: CONGR. BRAS. GEOL., 36. Natal, 1990. *Boletim de Resumos...* Natal, SBG. p. 227.
- ARGENTIÈRE, R. 1953 *Urânio e Tório no Brasil*. São Paulo, Edição LEP Ltda.
- ATENCIO, D. 1988. Chernikpivite, a new mineral name for $(\text{H}_3\text{p})_2(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2.6\text{H}_2\text{O}$ superseding "hydrogen autunita". *Min. Rec.*, 19: 249-252.
- ATENCIO, D. 1991. *Furcalita e Outros Minerais Uraníferos Secundários de Perus, São Paulo*. São Paulo. 147 p. (Tese de Doutorado, IG/USP).
- ATENCIO, D. 1992a. Dados cristalográficos da haiweeita de Perus, São Paulo. In: REUNIÃO DA SOC. BRAS. DE CRISTALOGRAFIA, 12. São Paulo, 1992. *Boletim de Programa e Resumos...* São Paulo, SBGr. p. 9-12.
- ATENCIO, D. 1992b. Cela unitária e compatibilidade Gladstone-Dale para meta-haiweeita. In: CONGR. IBERO/AMER. CRISTALOGRAFIA, 12. Toledo, Espanha, 1992. *Libro de Resúmenes...* Toledo, Espanha, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, p. 79.

- ATENCIO, D.; COUTINHO, J.M.V.; ANDRADE, S.; MISHIMA, E.H.; MAENAKA, M.L. 1991a. Weeksite rica em bário de Perus, Município de São Paulo. *Boi IG/USP, Publ. Esp.*, 9:1-17.
- ATENCIO, D.; NEUMANN, R.; CARMO, J.A., Jr.; MISHIMA, E.H. 1990. Novos dados sobre minerais uraníferos secundários do pegmatito de Perus, Município de São Paulo. *Rev. Bras. Geol.*, 20:338.
- ATENCIO, D.; NEUMANN, R.; SILVA, A.J.G.C.; MASCARENHAS, Y.P. 1991b. Phurcalite from Perus, São Paulo, Brazil, and redetermination of its crystal structure. *Can. Mineral.*, 29(1):95-105.
- BELOVA, L.N.; LITENKOVA, V.I.; NOVOROSOVA, L.E. 1963. Phosphorus analogue of troegerite. *Voprosy Prikladnoi Radiogeologii, Sbornik*, p. 174-177.
- CAMARGO, W.G.R. 1965. *Minerais Uraníferos de Perus*. São Paulo, p. 216. (Tese de Livre Docência, FFLCH-USP). [Publicado no *Boi. IGA-USP*, 2:83-201 (1971)].
- CAMARGO, W.G.R. & COUTINHO, J.M.V. 1960. Beta-uranofânio de Perus, São Paulo, SP. *Boi. Soe. Brás. Geol.*, 9(2):5-12.
- CAMARGO, W.G.R. & SVISERO, D.P. 1966. Haiweeite, mineral uranífero de Perus, São Paulo. *Ciência e Cultura*, 18(2):213.
- CAMARGO, W.G.R. & SVISERO, D.P. 1969. Haiweeite, a new occurrence in Brazil. *Am. Mineral.*, 54:966-969.
- COELHO, P.E.F.P. 1980. *Reconhecimento Radiológico da Região de Perus (SP)*. São Paulo. p. 104. (Tese de Mestrado, IG/USP).
- COELHO, P.E.F.P.; BARBOUR, A.P.; FUJIMORI, K.; MOHRIAK, W.U. 1978. Minerais radioativos de alguns pegmatites de Perus, SP. In: CONOR. BRAS. GEOL., 30. Recife, 1978. *Anais...* Recife, SBG. v. 3, p. 1110-1122.
- CORDANI, U.G. & BITTENCOURT, I. 1967. Determinações de idade potássio-argônio em rochas do Grupo Acungui. In: CONOR. BRAS. GEOL., 21. Curitiba, 1967. *Anais...* Curitiba, SBG. p. 218-233.
- CORDANI, U.G. & KAWASHITA, K. 1971. Estudo geocronológico pelo método Rb/Sr de rochas graníticas intrusivas no Grupo Acungui. In: CONOR. BRAS. GEOL., 25. São Paulo, 1971. *Anais...* São Paulo, SBG. v. 1, p. 105-110.
- ETCHEBEHERE, M.L.C.; MAYEAMA, O.; SILVA, R.B. 1985. Pegmatites do Estado de São Paulo: características geológicas e aspectos econômicos. In: SIMP. REG. GEOL., 5. São Paulo, 1985. *Atas...* São Paulo, SBG. p. 411-425.
- FLEISCHER, M. 1974. New mineral names. *Am. Mineral.*, 59:208-212.
- FLEISCHER, M.; WILCOX, R.E.; MATZKO, J.J. 1984. Microscopic determination of the nonopaque minerals. Washington, U.S. Geol. Surv. 453 p. (Prof. Paper 1627).
- GABELMAN, J.W. 1963. Reconnaissance for uranium in the Perus area, São Paulo, Brazil. *U. S. Atomic Energy Comm. RME-4546*. 7 p.
- HABERLANDT, H. & SCHIENER, A. 1951. Die Mineral und Elementvergesellschaftung des Zentralgneisgebietes von Badgastein (Hohe Tauern). *Tscherm. Min. Petr.*, 2:307-313. (3ª série).
- HASUI, Y. 1963. Sobre os granites turmaliníferos de Perus, SP. *Boi. Soe. Brás. Geol.*, 12:87-108.
- HONEA, R.M. 1959. New data on gastunite, an alkali uranyl silicate. *Am. Mineral.*, 44:1047-1056.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1984. *Pegmatitos do Estado de São Paulo - Potencialidade Geológica*. São Paulo, IPT/DMGA. 151 p. (Relatório 21.548).
- KNECHT, T. 1936. Sobre algumas novas Decorrências de minerais no Estado de São Paulo. *Boletim da Agricultura, Secretaria da Agricultura, Indústria e Comércio do Estado de São Paulo, São Paulo*, (único): 411-433. (Série 35).
- KNECHT, T. 1940. Os minérios não metálicos do Estado de São Paulo. *Boi. Inst. Geogr. Geol.*, 27:1-291.
- LARSEN, E.S. 1921. The microscopic determination of the nonopaque minerals. Washington, U.S. Geol. Surv. 249 p. (Prof. Paper 679).
- MADUREIRA, J.B., P.; SZABO, G.A.J.; VLACH, S.R.F. 1986. Grana-das dos turmalina-granitóides de Perus, SP: variações morfológicas e químicas. In: CONOR. BRAS. GEOL., 34. Goiânia, 1986. *Boletim de Resumos e Breves Comunicações...* Goiânia, SBG. p. 175-176.
- MANDARINO, J.A. 1979. The Gladstone-Dale relationship. III. Some general applications. *Can. Mineral.*, 17:71-76.
- MANDARINO, J.A. 1981. The Gladstone-Dale relationship. IV. The compatibility concept and its application. *Can. Mineral.*, 19:441-450.
- MATZKO, J.J. 1960. *Radiometric Reconnaissance Rio de Janeiro, São Paulo and Perus Area, Brazil*. CNEN. 6 p. (Relatório Interno IUBR 64).
- MAU, H. 1957. Minerais de Urânio em Perus, Município de São Paulo, SP. CNEN. 2 p. (Relatório Interno IUBR 31).
- McBURNEY, T.C. & MURDOCH, J. 1959. Haiweeite, a new uranium mineral from California. *Am. Mineral.*, 44: 839-843.
- MROSE, M.E. 1953. Studies of uranium minerals (XIII): Synthetic uranospinites. *Am. Mineral.*, 38:159-168.
- OUTERBRIDGE, W.F.; STAATZ, M.H.; MEYROWITZ, R.; POMMER, A.M. 1960. Weeksite, a new uranium silicate from the Thomas Range, Juab County, Utah. *Am. Mineral.*, 45:39-52.
- PIRET, P. & DECLERCQ, J.P. 1978. Phurcalite. *Acta Cryst.*, 34(B): 1677-1679.
- PIRET, P. & DELIENS, M. 1989. The Gladstone-Dale constant K(UO₃) for uranyl phosphates and arsenates. *Can. Mineral.*, 27:533-534.
- ROSS, M. 1963. The crystallography of meta-autunite (I). *Am. Mineral.*, 48:1389-1393.
- ROSS, M. & EVANS, H.T., Jr. 1964. Studies of the torbernite minerals (I): The crystal structure of abernathyite and the structurally related compounds NH₄(UO₂AsO₄).3H₂O and K(H₃O)(UO₂AsO₄).6H₂O. *Am. Mineral.*, 49:1578-1602.
- SILVA, A.J.G.C. 1990. *Determinação da Estrutura Cristalina do Mineral de Urânio Furcalita e do (EJ - 1 - (3', 4', 5' - trimetoxifenil) - 2 - nitropropeno por Difração de Raios X*. São Carlos, p. 184. (Dissertação de Mestrado, IFQ/São Carlos/USP).
- SILVA, A.J.G.C.; MASCARENHAS, Y.P.; ATENCIO, D.; NEUMANN, R. 1990. Estrutura cristalina da furcalita, Ca₂(UO₂)₃O₂(PO₄)₂.7H₂O. In: REUNIÃO ANUAL DA SOC. BRAS. DE CRISTALOGRAFIA, 11. Campinas, 1990. *Boletim de Resumos...* Campinas, SBCr. p. 39.
- STOLL, F.V. & SMITH, D.K. 1981. The crystal chemistry of the uranyl silicate minerals. *Am. Mineral.*, 66:610-625.
- SVISERO, D.P. 1976. Um novo hábito em berilo. *Ciência e Cultura*, 28:212.
- WALENTA, K. 1960. Haiweeit (Gastunit) von Badgastein. *M.Jh. Mineral. Monats.*, p. 37-47.
- YEREMENKO, G.K.; IUMENOV, Y.E.S.; AZIMI, N.A. 1977. Find of weeksite-group minerals in Afghanistan. *Dokl Akad. Nauk SSSR*, 237:226-228.

MANUSCRITO A825

Recebido em 28 de dezembro de 1994

Revisão do autor em 2 de maio de 1995

Revisão aceita em 5 de maio de 1995