

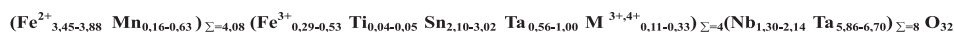
NOVA OCORRÊNCIA DE FERROWODGINITA EM ASSOCIAÇÃO COM CASSITERITA, STRÜVERITA E TAPIOLITA NA PROVÍNCIA PEGMATÍTICA DA BORBOREMA, NORDESTE DO BRASIL.

Hartmut Beurlen*¹
 Rainer Thomas²,
 Sandra Brito Barreto¹
 Marcelo R. R. da Silva¹

¹Departamento de Engenharia de Minas, UFPE.* beurlen@ufpe.br

²GeoForschungsZentrum, Telegrafenberg, B 120, D-14473 Potsdam, Alemanha

RESUMO Durante amostragem para estudos litogeoquímicos e de inclusões fluidas em minerais dos pegmatitos na Província Pegmatítica da Borborema, entre outras espécies raras de tantalatos como nióbio-rutilo, titano-ixiolita, fersmita e natrobistantita, em amostras dos pegmatitos Fortuna, Roncadeira e Corredor puderam ser identificadas três novas ocorrências de ferrowodginita. O intercrescimento ultra fino deste mineral com cassiterita no pegmatito Corredor simula composições consistentes do desacreditado mineral starin-gita (cassiterita com cerca de 15 mol% de tantalita), quando analisado por microsonda eletrônica. A fórmula química das exsoluções de ferrowodginita calculada para 32 oxigênios a partir de análises das microanálises é:



com M representando outros metais tri- ou tetravalentes.

Pequenos cristais de ferrowodginita sobrecrecidos nas faces do cristal de cassiterita são mais ricos em manganês do que as exsoluções e mostram enriquecimento neste elemento do núcleo para as bordas, de 0,75 para 1,76 átomos por unidade de fórmula, o que sugere uma origem tardia, porém primária, para estes cristais, ao invés de segregação e recristalização coalescente a partir das exsoluções.

Inclusões de strüverita encontradas na cassiterita, com a fórmula



são muito enriquecidas em Ta₂O₅ (45%peso) quando comparadas com dados da literatura.

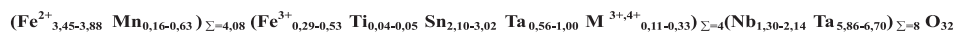
Uma única inclusão de ferrowodginita ou titano-ixiolita identificada por análise semi-quantitativa por microscópio eletrônico de varredura apresentou a fórmula:



Palavras-chave: ferrowodginita, “pseudo-staringita”, strüverita, Pegmatito Corredor, Província Pegmatítica da Borborema

ABSTRACT NEW OCCURRENCE OF FERROWODGINITE IN ASSOCIATION WITH CASSITERITE, STRÜVERITE AND TAPIOLITE IN THE PEGMATITIC PROVINCE OF BORBOREMA, NORTHEAST BRAZIL. During the sampling for fluid inclusion and litho-geochemical studies in the Borborema Pegmatitic Province, amongst some other rare tantalate species like titanian ixiolite, niobian rutile, natrobistantite, and fersmite, in samples

from the Fortuna, Roncadeira and Corredor pegmatites, two new occurrences of ferrowodginita, could be identified. The ultrafine, submicroscopic, intergrowths of this mineral with cassiterite in the Corredor pegmatite simulate consistent microprobe compositions matching those of the discredited mineral starringite (cassiterite with 15mol% tantalite). The formula of the ferrowodginita exsolutions obtained by microprobe, calculated for 32 oxygens, corresponds to:



with M standing for other tri- or tetravalent metals.

Small ferrowodginita crystals overgrown on the cassiterite crystal faces are richer in Mn than the exsolutions and the enrichment of Mn from the nucleus towards the rims (from 0.75 to 1.76 APFU) suggests a late primary origin instead of segregation and coalescent recrystallization from the exsolutions.

Strüverite inclusions in cassiterite are very enriched in Ta_2O_5 (45wt%) compared with literature data:



A single inclusion of ferrotitanowodginita or titanian ixiolite was identified only by a semiquantitative electron microscope analysis with the tentative formula:



Keywords: ferrowodginita, “pseudostaringite”, strüverite, Corredor pegmatite, Borborema Pegmatitic Province.

INTRODUÇÃO

O achado quase casual de vários tantalatos incomuns, como nióbio-rutilo, fersmita, natrobistantita, brannerita e titano-ixiolita, durante amostragem para um estudo de inclusões fluidas e geoquímica, no pegmatito dos Quintos (Beurlen et al. 2003), na Província Pegmatítica da Borborema (PPB), estimulou a realização de um re-exame mais minucioso de amostras de *minério preto* obtidas em projetos de pesquisa anteriores e em garimpos ativos em 2002, e que haviam sido incorporados ao acervo didático da disciplina de Geologia Econômica, inadvertidamente e sem estudo mais detalhado, como tantalitas e cassiteritas. O estudo difratométrico (método do pó) e petrográfico de algumas destas amostras em seções polidas permitiu selecionar aquelas em que outros minerais, além de/ou em vez de simples tantalitas ou cassiteritas, pareciam estar presentes. Análises preliminares de microsonda (MSE) e de microscópio eletrônico (MEV) realizadas em seguida, permitiram a

identificação de ferrowodginita na PPB, nos pegmatitos Fortuna (Frei Martinho-PB), Roncadeira e Corredor (Nova Palmeira-PB), somando-se à, até então única, ocorrência de Seridozinho registrada por Burke *et al.* (1970) e Adusumili (1970, 1976, 1978).

A ocorrência no pegmatito Corredor será objeto deste trabalho, pois é particularmente interessante pelo intercrescimento submicroscópico da ferrowodginita com cassiterita, cuja análise na MSE simula composição similar à da *staringita*, espécie de tantalato controversa, assim como pela associação com strüverita e provável ferrotitanowodginita, minerais novos na PPB. O interesse reside no fato de que a *staringita*, descoberta originalmente na PPB no pegmatito Seridozinho (Burke *et al.* 1969 e Adusumili 1970), inicialmente aceita como nova espécie pelo IMA, foi depois desacreditada como sendo um intercrescimento ultrafino de cassiterita e tapiolita resultante da exsolução a partir de tapiolita estanífera (Groat

et al. 1994). No presente caso tudo indica, no entanto, que a fase coexistente com a cassiterita é, na realidade, a ferrowodginita, exsolvida a partir de uma fase precursora de cassiterita, rica em Ta e que análises mistas destas duas fases resultam em composições aparentes de *staringita*, designadas a seguir de *pseudo-staringita*.

O pegmatito Corredor, situa-se no Município de Nova Palmeira, 100 metros a nordeste do km 4,7 da antiga estrada carroçável de Nova Palmeira a Parelhas(RN), próximo à divisa dos Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte (Fig. 1). O pegmatito é encaixado discordantemente, com atitude de 10° az / 70° SE, nos biotita xistos granadíferos da Formação Seridó (20-40° az / 70° SE) do Grupo Seridó (Proterozóico Superior).

O pegmatito, formado por três lentes em rosário com espessura máxima de 1,5 metros e extensão total de aproximadamente 500 metros, é aparentemente homogêneo, porém com esparsos bolsões de quartzo, talvez representando o início incipiente e descontínuo da formação de um núcleo. O restante do pegmatito (zona II) apresenta albita e quartzo, dominantes sobre feldspato potássico. Na zona de contato, com espessura de até 20cm, há um enriquecimento em mica branca e quartzo na qual também se concentra a cassiterita em grãos milimétricos, interpretada como resultado de greisenificação em fichário de cadastramento (ficha 327) da Missão Francesa junto à SUDENE. Raros cristais centimétricos de cassiterita encontram-se no corpo principal do pegmatito (zona II). A amostra do “*minério preto*”, fornecida por garimpeiro na boca da escavação durante a execução do projeto Garimpos-1983 e é formada por um desses cristais, supostamente de cassiterita, com pouco mais de 1 cm, idiomórfico em relação ao quartzo, albita e muscovita envolventes.

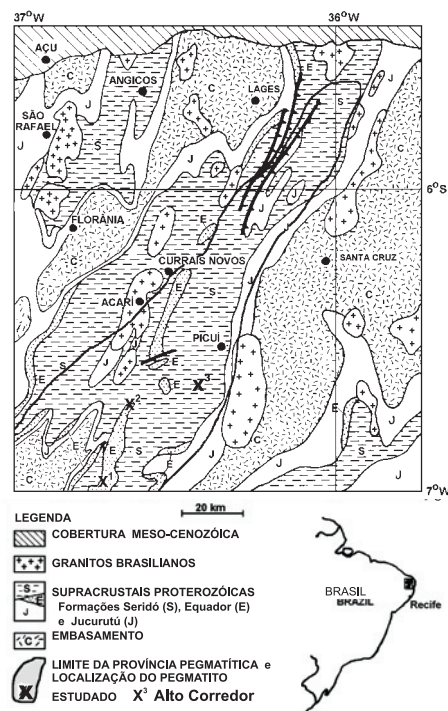


Fig. 1 Situação, em base geológica simplificada a partir de Brito Neves 1983 e Jardim de Sá et al. 1981, da Província Pegmatítica da Borborema e do pegmatito Corredor, portador de ferrowodginita.

TÉCNICAS ANALÍTICAS

Análises químicas pontuais semiquantitativas e imagens de elétrons retroespalhados foram obtidas no microscópio eletrônico de varredura (MEV) modelo LEO 430 i – Cambridge com espectrômetro EDS (Energy Dispersive System) modelo Cat B, utilizando os padrões Ta° (Ta Mα), Nb° (Nb Lα), Sn° (Sn Lα), Zr° (Zr Lα), U° (UMα), Hf° (Hf Mα), Ti° (Ti Kα), V° (V Kα), Sb° (Sb Lα), Bi° (Bi Mα) PbF₂ (Pb Mα), BCR2 (Fe Kα, Mn Kα, Al Kα, Ca Kα, Na Kα, Si Kα, K Kα) no Instituto de Geociências da UNICAMP.

Cerca de cento e vinte análises de microsonda eletrônica (MSE) foram realizadas no GeoForschungsZentrum Potsdam, na Alemanha, com equipamento Cameca SX 50 EMP

a 20 kV e 40 nA, usando os padrões albita, apatita (Durango), fluorita, ilmenita, cassiterita, ortoclásio, rutilo, titanita (Si,Ca,Ti), zircão, Nb, Ta, Th, U, BaSO₄, CePO₄, LaPO₄, YPO₄, ScPO₄, InSb, MgO, HfO₂, MnTiO₃ e tempos de aquisição de 20 a 40 segundos.

O cálculo das fórmulas químicas foi efetuado conforme sugerido por Ercit *et al.* (1992) obtendo-se os teores de Fe³⁺ na wodginita necessários para completar a soma dos cátions nos sítios B+C para um total de 12 (para 32 oxigênios) ou de 9 (para 24 oxigênios). No caso da strüverita o teor de Fe³⁺ foi obtido na medida em que era necessário para compensar o excesso de cátions inicial (quando o Fe era todo considerado Fe²⁺ e ultrapassava 12 cátions, para 24 oxigênios) até que o total chegasse a 12. Para a realização dos cálculos foi elaborada uma planilha especial no EXCEL.

PETROGRAFIA

O estudo petromicrográfico da amostra macroscopicamente identificada como cassiterita, em luz refletida, revelou a presença de numerosas inclusões com refletividade e anisotropia maior que a da cassiterita hospedeira, com reflexos internos marrons, distribuídas, à primeira vista, aleatoriamente e com formas tabulares a poligonais (as maiores, com até 100µm). Ao tentar, com aumento maior, estabelecer o tamanho mínimo dessas inclusões, verificou-se que as inclusões com tamanhos médios (5 a 20µm) passavam a ser, predominantemente, tabulares a vermiformes, e alinhadas em direções cristalográficas da cassiterita hospedeira e que, algumas faixas antes aparentemente homogêneas e com refletividade maior, eram ricas em inclusões ainda menores (1 a 5µm) com formas góticas, similares a uma emulsão, claramente sugerindo uma origem por exsolução. Estas emulsões muitas vezes ocorrem em bandas, alternadas com bandas mais pobres ou sem exsoluções, e que ao microscópio óptico, com aumento menor, haviam sido, inicialmente interpretadas como zonas de cassiterita com refletividade variável devido ao pleocroísmo, segundo suposta geminação polissintética paralela. Este efeito resulta da orientação

cristalográfica idêntica de todas as inclusões em relação à cassiterita hospedeira. Em algumas faixas mais refletoras da cassiterita e, aparentemente homogêneas ao microscópio óptico, mesmo com o maior aumento, passou-se a suspeitar que pudessem representar emulsões ainda mais finas. Imagens de elétrons retro-espalhados no microscópio eletrônico de varredura (MEV) permitiram confirmar esta interpretação, revelando tratar-se na realidade, de zonas de crescimento da cassiterita, alternadamente mais ricas e mais pobres em exsoluções sub-microscópicas, e não de geminação (Fig. 2A, B e C).

Análises químicas semi-quantitativas das exsoluções maiores no MEV sugeriram tratar-se predominantemente de ferrowodginita, com algumas inclusões maiores, com refletividade aparentando ser um pouco mais elevada que a da ferrowodginita, revelando composições semelhantes às de ferrotitanowodginita, tapiolita e strüverita (o pleocroísmo de todos estes minerais, aliados a uma refletividade um pouco mais elevada – entre 14 e 17% – e ao reduzido tamanho, dificulta a distinção ao microscópio).

Mesmo no MEV, no entanto, não foi possível estabelecer o limite mínimo do tamanho das inclusões, já que em algumas faixas de crescimento da cassiterita era mantido o aspecto geral homogêneo com refletividade mais elevada, gradando nas bordas para faixas com exsoluções da ordem de 0,1 µm (correspondendo à resolução máxima no MEV, Fig. 2C), já discerníveis em matriz de cassiterita com refletividade mais baixa. Foi possível observar que, nestas mesmas faixas homogêneas, nos locais onde ocorre uma inclusão maior, esta geralmente é envolvida por uma auréola de cassiterita um pouco mais escura nas imagens de elétrons retro-espalhados no MEV (e menor refletividade no microscópio óptico) e que fica gradativamente mais clara com a distância da inclusão maior, até atingir o nível padrão da faixa (Fig. 2C).

As composições químicas semi-quantitativas obtidas no MEV indicam que as faixas mais escuras são formadas por cassiterita pura ou com traços mínimos de Ta (Ta-cassiterita), e

que as faixas homogêneas mais claras tem composição de cassiterita com alguns % peso de Ta e Fe (similares à de *staringita*), enquanto as inclusões tem composição dominante de Ta e Fe com alguns % de Sn (similares à de ferrowodginita).

As feições texturais acima aliadas aos dados de MEV sugerem que: 1) as inclusões maiores representam a recristalização coalescente de inúmeras gotículas sub-microscópicas por difusão catiônica sub-solidus, feição textural semelhante à que é observada, por exemplo, nas exsoluções de ilmenita no ulvospinelio (Haggerty 1976) e

comum nos processos de exsolução em geral, chamado de “*collection crystallization*” por Ramdohr (1969, p. 170-186); 2) análises nas faixas homogêneas mais refletoras, com composição semelhante à de *staringita* possam ser, na realidade, análises mistas entre a cassiterita e exsoluções sub-microscópicas de ferrowodginita (dominante), com alguma tapiolita, strüverita (Fig 3A) e ferrotitanowodginita; 3) em fraturas, cavidades e nas bordas do cristal de cassiterita hospedeiro estas mesmas fases exsolvidas podem formar cristais idiomórficos, aparentemente primários (Fig. 3B).

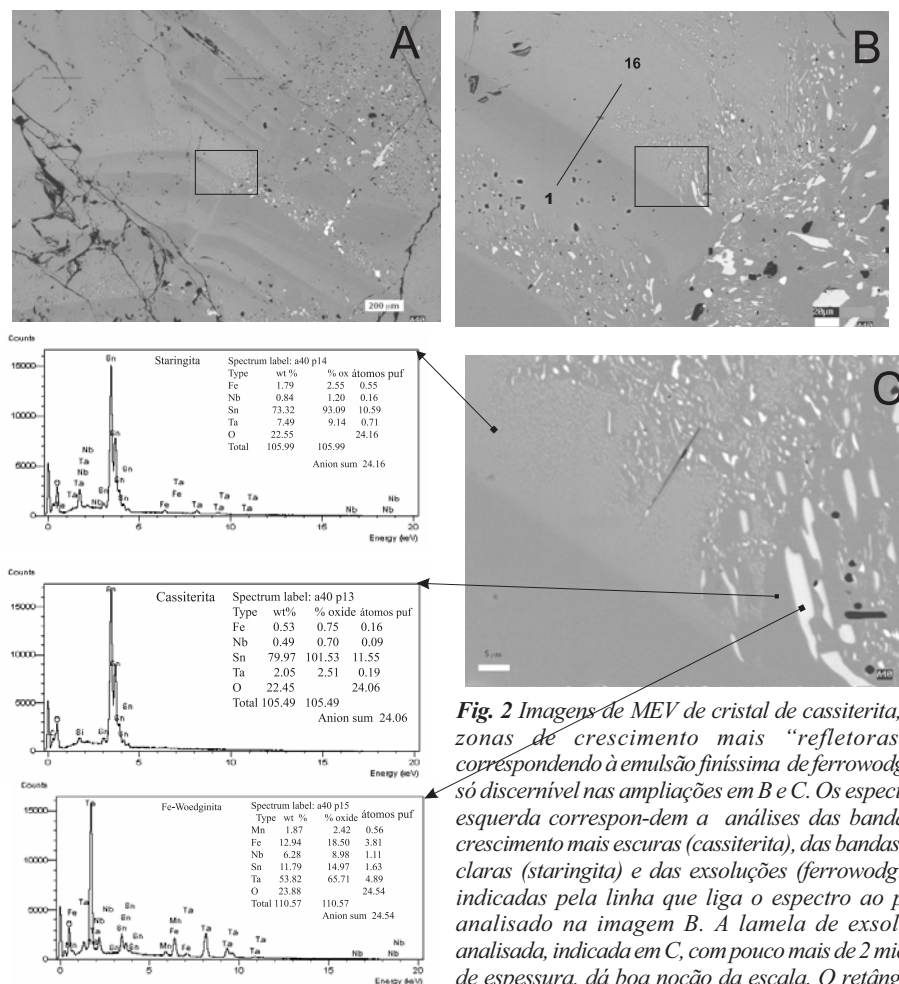


Fig. 2 Imagens de MEV de cristal de cassiterita, com zonas de crescimento mais “refletoras” (A) correspondendo à emulsão finíssima de ferrowodginita só discernível nas ampliações em B e C. Os espectros à esquerda correspondem a análises das bandas de crescimento mais escuras (cassiterita), das bandas mais claras (*staringita*) e das exsoluções (ferrowodginita) indicadas pela linha que liga o espectro ao ponto analisado na imagem B. A lamela de exsolução analisada, indicada em C, com pouco mais de 2 microns de espessura, dá boa noção da escala. O retângulo em A corresponde à imagem em B, e o de B ao campo da imagem C. O traço de 1 a 16 em 2B (com 100 mm), corresponde à seção analisada por MSE da Fig. 4.

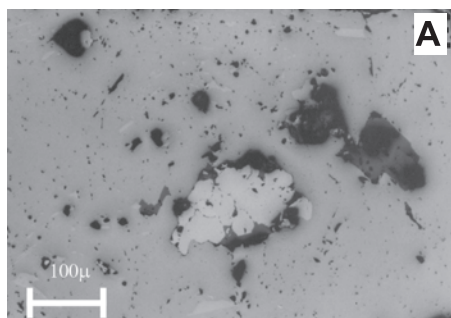


Fig. 3A Imagem de MEV de cassiterita com inclusões em agregado poligonal de strüverita (cinza claro) no centro. A identificação sugerida pelo espectro foi confirmada por 15 resultados de MSE (veja tabela 1). Exsoluções lamelares a vermiformes, ligeiramente mais refletoras que a cassiterita hospedeira, são de ferrowodginita e, uma delas, com espectro de ferrotitanowodginita não foi reencontrada para confirmação com MSE.

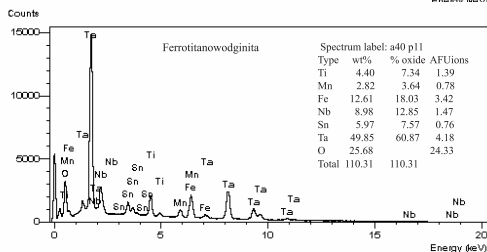
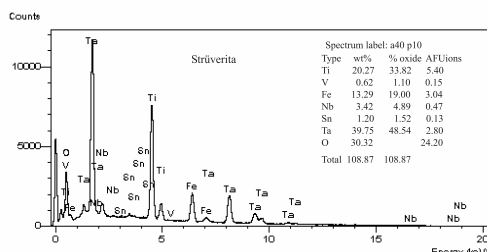
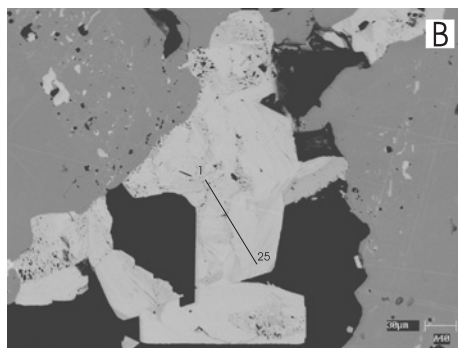


Fig. 3B Imagem MEV de cristais de ferrowodginita (cinza claro) sobrecrecidos às faces da cassiterita (cinza) com exsoluções de ferrowodginita um pouco menos “refle-toras” que os cristais. A sutil variação dos tons de cinza nos cristais entre os pontos 1 e 25 (= 100 mm) corresponde à variação composicional com Mn e Ta enriquecidos nas bordas, conforme análises na Tabela 1.



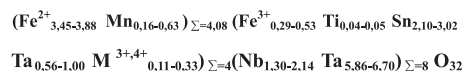
QUÍMICAMINERAL

Para checar a validade das suposições levantadas acima com base no exame petrográfico e via MEV, após algumas análises de MSE de reconhecimento na USP, com auxílio de cerca de cento e vinte análises adicionais de MSE no GeoForschungsZentrum Potsdam, na Alemanha, foi possível confirmar que as zonas de crescimento menos refletoras da cassiterita contém teores de Ta_2O_5 , Nb_2O_5 e FeO inferiores a 3% peso (Tabela 1). Esta é também a composição dos mantos de cassiterita com refletividade inferior e que envolvem os corpos maiores de exsolução, no interior das zonas de crescimento da cassiterita com refletividade um pouco maior e, aparentemente, homogênea ao microscópio óptico.

Já a composição destas faixas mais refletoras, mesmo nos locais onde com o MEV já é possível discernir o caráter de emulsão, segundo as microanálises quantitativas com microsonda resultam em valores consistentes entre 8 a 12 % peso de Ta_2O_5 , resultados que indicariam tratar-se de “staringita” e, por isto, distinguidos como “pseudostaringita” na Tabela 1. Na realidade a composição obtida com a MSE (assim como no MEV), obtida com um feixe de elétrons de 1 ou 2 mm de diâmetro, representa uma análise mista da matriz de cassiterita com um número mais ou menos constante de corpos de exsolução com diâmetros de até 0,2 mm. A Fig. 4 representa uma seção transversal com pontos analíticos com

espaçamento de 10mm, passando de uma zona de cassiterita “pura”, representada por um patamar com mais de 11,5 Sn *apuf* (átomos por unidade de fórmula), para uma destas faixas de *pseudostaringita*, correspondendo a um patamar mais baixo de 10,5 Sn *apuf*, compensadas por acréscimo dos valores de Ta, Fe e Nb somando aproximadamente 1,5 *apuf*. O perfil analítico em questão está indicado na Fig. 2B entre os pontos 1 e 16.

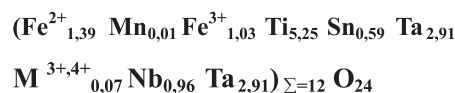
As análises de MSE de dois corpos lamelares de exsolução maiores confirmaram tratar-se realmente de ferrowodginita, com razão catiônica Mn/(Mn+Fe) entre 0,05 e 0,15, e com a fórmula química abaixo:



A identificação de ferrowodginita como principal fase exsolvida na cassiterita nas zonas de crescimento com composição de *pseudostaringita*, difere da observação de Groat *et al.* (1994) que identificou as exsoluções como sendo de ferrotapiolita. A exsolução de ferrowodginita é, no entanto, bem mais lógica, visto a posição intermediária da mesma sobre a linha que liga a cassiterita com a tapiolita e columbita (Fig. 5 A). Entretanto, exsoluções de ferrotapiolita também foram identificadas neste trabalho e caracterizadas com oito microanálises (Tabela 1), porém são bem menos frequentes conforme os resultados de MEV, e como pôde ser confirmado pela microscopia óptica entre as exsoluções maiores, onde a refletividade maior permite distingui-las da wodginita.

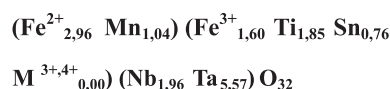
Composições semelhantes à strüverita e ferrotitanowodginita, conforme sugeridas no exame preliminar com MEV, não foram obtidas nas exsoluções analisadas por MSE. A identificação de strüverita, no entanto, foi confirmada inequivocamente por MSE em um agregado de grãos poligonais inclusos na cassiterita sem características texturais de exsolução (Fig. 3A), interpretados como resultado da recristalização tar-

dia a partir de exsoluções menores. A fórmula obtida para a strüverita com base nas 15 análises de microsonda é a seguinte:



Esta composição é uma das mais ricas em Ta para este mineral segundo dados da literatura (Cerný e Ercit 1989), e foi encontrada com composição semelhante, também inclusa em cassiterita e associada a inclusões de ferrotitanowodginita, por Tindle *et al.* (1998a) em pegmatito litinífero de Separation Rapids, Canadá.

A composição semi-quantitativa obtida para outra inclusão com o MEV, sugere tratar-se de ferrotitanowodginita (Tabela 1, Fig. 5) mas distingue-se tanto das outras wodginitas como das titano-ixiolitas relacionadas na literatura e das identificadas no pegmatito dos Quintos por Beurlen *et al.* (2003). A fórmula química calculada para o modelo de uma wodginita, quando apresentaria um déficit no site C (Ta + Nb teoricamente = 8), que teria que ser compensado por uma transferência de Ti do site B:



A identificação deste mineral como ferrotitanowodginita, nova espécie do grupo das wodginitas, (Ercit *et al.* 1992, Galliski *et al.* 1999) é, pois, provisória e depende de confirmação por estudos adicionais (e.g. análises quantitativas por MSE).

As análises de MSE de alguns cristais de wodginita sobrecrecidos a inclusões nas bordas do cristal de cassiterita, supostamente formados também por recristalização coalescente de exsoluções, revelaram tratar-se ainda de ferrowodginita, mas com teores de Mn um pouco mais elevados que nas exsoluções e com zonação composicional elevando a razão Mn/(Mn+Fe^{total}) do núcleo para a borda de 0,25 a 0,38, acom-

panhado de pequeno aumento dos teores de Ta e redução dos de Ti. Este *trend* de zonação é o normal nos tantalatos e utilizado como indicador do grau de fracionamento dos pegmatitos (Tindle *et al.* 1998b). A distinção nos teores de Mn nestes cristais, aliada a valores de Ti mais elevados que os das exsoluções típicas, indica uma origem tardia, mas primária, para os mesmos, nucleados sobre corpos de exsolução marginais, posteriores ao processo de exsolução.

Os parâmetros composicionais mais utilizados para a distinção e caracterização dos tantalatos de todas as análises obtidas neste trabalho foram representadas na Fig. 5, onde são comparadas com os dados obtidos para a titano-ixiolita do pegmatito Quintos (Beurlen *et al.* 2003).

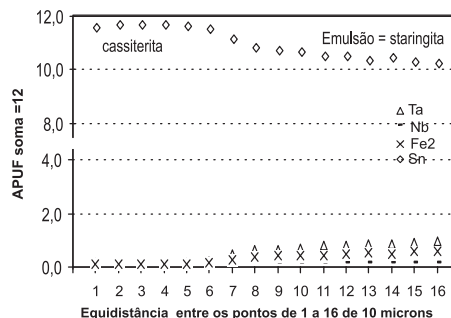
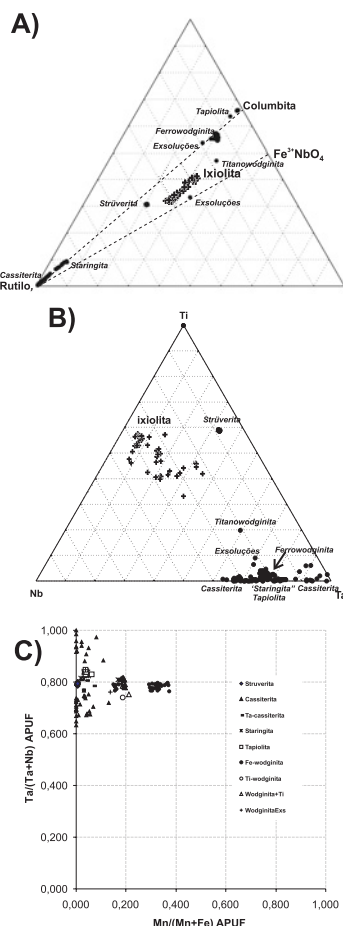


Fig. 4 Perfil de análises de MSE de duas zonas de crescimento da cassiterita, mostrando composições de cassiterita quase pura (refletividade menor; pontos 1 a 6), uma transição para uma zona com cerca de 1,8 APUF de Ta+Fe (pontos 11 a 16) correspondendo à fina emulsão de ferrowodginita na cassiterita. O perfil foi realizado entre os pontos 1 e 16 mostrados na imagem 2B.

Fig. 5 Representação gráfica dos parâmetros químico-cristalográficos mais importantes dos tantalatos (e cassiterita) analisados, sempre em APUF ou razões APUF. Nos diagramas triangulares foram também plotados os resultados obtidos para titano-ixiolita do pegmatito Alto dos Quintos (Beurlen *et al.* 2003), com composição nitidamente distinta da ferrowodginita, titano.wodginita e strüverita descritas neste trabalho. Ressalta-se em A, a distribuição das análises de cassiterita e starringita sobre a linha que liga os polos Sn,Ti com a columbita e as posições intermediárias, muito próximas a esta linha, da strüverita, das exsoluções e do cristal de ferrowodginita. Já a inclusão de titanowodginita se destaca deste *trend* para se alinhar com o *trend* das ixiolitas, neste diagrama, enquanto em B ela se alinha com o *trend* das wodginitas. No clássico “quadrilátero das columbitas” em C, nota-se a correlação Mn/Ta nas wodginitas ao longo de um *trend* com origem próxima de 0,7 do eixo vertical, onde se concentra um subgrupo dos resultados para a cassiterita. Esta tendência de fracionamento é paralela à usualmente observada nos tantalatos de pegmatitos (Cerni e Ercit 1989) com o seu grau de evolução.

Tabela 1 Resumo dos resultados analíticos obtidos para a cassiterita, ferrowodginita e struverita do pegmatito Corredor e cálculos de composições catiônicas para um total de 24 oxigênios, para todos os minerais para facilidade de comparação.

Cassiterita			pseudostaringita		ferrowodginita		ferrowodginita (cristal)			Ti-wodginita (MEV)	Fe-tapiollita	Struverita	
%peso	média 10	desvio	média 7	desvio	exsoluções	média 25	borda	núcleo	(MEV)	média 8	média 15	desvio	
Ta2O5	2,77	1,22	10,00	1,10	61,16	63,47	62,96	61,68	60,87	75,29	44,90	0,29	
Nb2O5	0,58	0,10	1,21	0,07	11,50	6,82	10,47	10,74	12,85	8,88	7,05	0,16	
TiO2	0,01	0,00	0,02	0,01	0,17	0,14	0,75	0,66	7,34	0,17	29,28	0,20	
MnO	0,02	0,02	0,08	0,02	1,81	0,46	3,96	5,17	3,64	0,59	0,06	0,01	
Fe O corrl	0,62	0,21	2,01	0,22	11,57	11,86	10,24	8,93	18,03	13,80	12,25	0,10	
SnO2corrl	96,06	1,56	86,84	1,32	12,76	17,97	11,81	11,86	7,57	1,79	6,21	0,13	
MgO	0,13	0,02	0,14	0,01	0,48	0,24	0,19	0,11	110,30	0,26	0,05	0,01	
Al2O3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,10	0,01	0,07	0,04	0,02	0,08	0,01		
ZrO2	0,05	0,03	0,15	0,03	0,99	0,13	0,45	0,21	0,67	0,23	0,21	0,03	
HfO2	0,12	0,17	0,11	0,15	0,08	0,00	0,06	0,03	0,11	0,00	0,03	0,05	
ThO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	
Sc2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,09	0,11	0,12	0,11	0,15	0,09	0,01	
Ce2O3	0,03	0,05	0,02	0,03	0,24	0,13	0,18	0,05	0,22	0,20	0,15	0,05	
Total*	100,39	0,25	100,60	0,28	100,94	101,31	101,55	101,78	110,30	101,41	100,36		
APUF													
Ta (C)	0,23	0,10	0,82	0,09	4,39	5,03	4,57	4,53	4,58	4,18	6,51	2,91	
Ta (B)					0,75	0,42	0,62	0,70	0,46				
Nb	0,08	0,01	0,17	0,01	1,61	0,97	1,43	1,47	1,42	1,47	1,28	0,76	
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03	0,17	0,15	0,24	1,39	0,04	5,25	
Mn	0,01	0,01	0,02	0,00	0,47	0,12	1,02	1,32	0,56	0,78	0,16	0,01	
F3+	0,00	0,01	0,01	0,03	0,40	0,22	0,64	0,64	0,70	1,20	0,00	1,06	
Fe2	0,15	0,05	0,49	0,06	2,59	2,91	1,95	1,62	2,47	2,22	3,67	1,39	
Sn	11,51	0,18	10,46	0,16	1,57	2,26	1,42	1,43	1,40	0,76	0,23	0,59	
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,05	0,14	0,00	0,00	0,00	
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,03	0,01	0,04	0,00	0,01	0,02	
Zr	0,01	0,00	0,02	0,00	0,15	0,02	0,07	0,03	0,10	0,00	0,04	0,02	
Hf	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	
Th	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Sc	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,00	0,04	0,02	
Ce	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,00	0,02	0,01	
Total*	11,98	0,02	11,98	0,02	12,07	12,03	12,05	11,99	12,17	12,00	11,89	12,00	
soma A					3,06	3,03	3,05	2,99	3,17				
soma B+C					9,00	9,00	9,00	9,00	9,00				

* Quando do excesso de cátions, este foi compensado pela transformação da parte necessária do Fe para Fe3. No caso das wodgi para totalizar em 9 a soma de cátions nos sites B+C.

CONCLUSÕES

Além do mero interesse mineralógico da identificação de nova ocorrência de ferrowodginita e de uma inédita ocorrência de strüverita na PPB, a presença destes tantalatos “exóticos” (Černý e Ercit 1985) é indicativa de um elevado grau de fracionamento do magma gerador dos pegmatitos, peculiar aos pegmatitos litiníferos, mais evoluídos e com potencial metalogenético mais elevado para Ta e Li. A sua ocorrência em pegmatito homogêneo na maior parte de sua extensão obriga a encarar a clássica e usual correlação - estrutura heterogênea / grau de evolução / potencial em metais raros / morfologia elevada (Rolff 1946, Johnston Jr. 1945, Da Silva *et al.* (1995) - de forma menos dogmática. A ocorrência de exceções como esta, inclusive em área já distante dos exemplos, tidos como excepcionais ou exclusivos de uma maior evolução, como os pegmatitos Seridozinho e Giz, abre novas perspectivas a serem consideradas em novas pesquisas para o aproveitamento integral de pegmatitos da PPB. Outrossim, a inserção de pegmatitos excepcionais como este, lado a lado com casos perfeitamente encaixados nos modelos clássicos, obriga também a admitir, pelo menos como hipótese, a possibilidade de formação de pegmatitos mineralizados em diferentes estágios de diferenciação, idades e/ou rochas fonte.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado através de auxílio CNPq proc.470199/01-6. Para as análises de MSE no Laboratório de Microsonda do IG-USP contou-se com o inestimável auxílio de Marcos Mansueto e Excelso Rupperti. Pela permissão de uso gratuito do laboratório de MSE, pelo segundo autor, no GeoForschungsZentrum Potsdam, Alemanha, os autores externam a sua gratidão ao Prof. Dr. W. Heinrich. Pelas análises MEV no laboratório da IG-UNICAMP contou-se com a inestimável colaboração de Dailto Silva, Roberto Xavier e

Bernardino Figueiredo, aos quais os autores expressam os seus agradecimentos. Aos revisores J. Adauto de Souza Neto e Cristiane Castañeda os autores agradecem pelas críticas e correções construtivas que permitiram aperfeiçoar o trabalho.

REFERÊNCIAS

- Adusumili, M.P.S. 1970. Minerais de estanho do pegmatito Seridosinho, Paraíba. In: Congr. Bras. Geol., 24, Brasília, SBG, Anais, p. 237-243.
- Adusumili, M.P.S. 1978. Nióbio-tantalatos do Nordeste do Brasil: a série columbita tantalita. *Jornal de Mineralogia*, 7 : 195-213.
- Adusumili, M.P.S. 1976. Contribuição à mineralogia dos nióbio-tantalatos da Província Pegmatítica Nordestina. UFMG. Belo Horizonte, Brasília. Tese p. Livre Docência em Mineralogia. 212p.
- Beurlen, H., Soares, D.R., Borges, L.E.P., Villaroel, H.S., Da Silva, M.R.R. 2003. Análise dos mecanismos de substituição em tantalato exótico: provável titanio-ixiolita na Província Pegmatítica da Borborema. *Rev. Geologia UFC*, 16(2): 7-18.
- Brito Neves, B.B. 1983. O Mapa Geológico do Nordeste Oriental do Brasil, Escala 1:1.000.000. Tese p. Livre Docência, Univ. São Paulo (USP), 177 pp.
- Burke, E.A.J., Kieft, C., Ofelius R., Adusumili, M.P.S. 1969. Staringite, a new Sn-Ta mineral from north-eastern Brazil. *Mineral. Mag.*, 37: 447-452.
- Burke, E.A.J., Kieft, C., Ofelius, R., Adusumili, M.P.S. 1970. Wodginita from Northeastern Brazil. *Geol. Mijnbouw*, 49: 235-240.
- Černý, P. e Ercit, T. S. 1985. Some recent advances in the mineralogy and geochemistry of Nb and Ta in rare-element granitic pegmatites. *Bull. Mineral.*, 108: 499-532.
- Černý, P. e Ercit, T. S. 1989. Mineralogy of Niobium and tantalum: crystal chemical relationships paragenetic aspects and

- their economic implications. In: Moeller, P., Èerný, P., Saupé, F. eds. *Lanthanides, tantalum and niobium*. Springer-Verlag, Berlin, p. 27-79.
- Da Silva, M.R.R., Höll, R., Beurlen, H. 1995. Borborema Pegmatitic Province: geological and geochemical characteristics. *Journ. South Am. Earth Scienc.*, 8: 355-364.
- Ercit, T.S., Cerný, P., Hawthorne, F.C. 1992. The wodginite group III: classification and new species. *Can. Mineral.*, 30: 633-638.
- Galleski, M.A., Cerný, P., Marquez-Zavalia, M.F., Chapman, R. 1999. Ferrotitanowodginite, $\text{Fe}^{2+}\text{TiTa}_2\text{O}_8$, a new mineral of the wodginite group from the San Elias pegmatite, San Luis, Argentina. *Am. Mineral.*, 84: 773-777.
- Groat, L.E., Putnis, A., Kissin, S.A., Ercit, T.S., Hawthorne, F.C., Gaines, R.V. 1994. Staringite discredited. *Mineral. Mag.*, 58: 271-277.
- Haggerty, S. 1976. Opaque mineral oxides in terrestrial igneous rocks. In: Rumble III, D. (ed.), *Reviews in Mineralogy*, 3: SH101-175.
- Jardim de Sá, E.F., Legrand, J., McReath, I. 1981. Estratigrafia de rochas granitóides na Região do Seridó (RN-PB) com base em critérios estruturais. *Rev. Bras. Geoc.*, 11: 50-57.
- Johnston Jr., W.D. 1945. Beryl-tantalite pegmatites of Northeastern Brazil. *Geol. Soc. Amer. Bul.*, 56: 1015-1070.
- Ramdohr, P. 1969. The ore minerals and their intergrowths. Pergamon Press, London, 1174p.
- Rolff, P.M.A., 1946. Minerais dos pegmatitos da Borborema. Rio de Janeiro, DNPM Div. Fom. Prod. Min. Bol., 78: 23-76.
- Tindle, A.G., Breaks, F.W., Webb, P.C. 1998a. Oxide minerals from the Separation Rapids rare-element granitic pegmatite group, Northwestern Ontario. *Can. Mineral.*, 36: 613-636.
- Tindle, A.G., Breaks, F.W., Webb, P. C. 1998b. Wodginite-group minerals from the Separation Rapids rare-element granitic pegmatite group, Northwestern Ontario. *Can. Mineral.*, 36: 637-658.