

# CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA PRELIMINAR DO MINÉRIO DE FERRO RICO EM NIÓBIO DO COMPLEXO CARBONATÍFICO DE SEIS LAGOS, AM

**Luisa Helena de Oliveira Rodrigues**  
Bolsista de Inic. Científica, Geologia, UFRJ

**Arnaldo Alcover**  
Orientador, Geoquímico, D.Sc.

**Reiner Neumann**  
Co-orientador, Geólogo, D.Sc

## RESUMO

*Neste estudo foram caracterizadas por DRX e MEV/EDS quatro amostras da couraça ferruginosa do complexo carbonatítico de Seis Lagos (AM). Foram identificadas três texturas mais típicas, duas aparentemente fluidal, uma rica em ferro e titânio, com teores variados de nióbio e outra rica em manganês e bário, com teores variados*

*de chumbo, além de uma rica em pirocloro. Como principais fases carreadoras do nióbio, elemento de interesse nesse estudo, foram caracterizados o ilmenorutilo, com até 20% de Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, o pirocloro rico em chumbo e, mais raramente, pirocloro com titânio e cério.*

## 1. INTRODUÇÃO

O complexo de Seis Lagos está situado no município de São Gabriel da Cachoeira, noroeste do Estado do Amazonas, na região do Alto Rio Negro (Figura 1). É proveniente de uma chaminé vulcânica de filiação alcalino carbonatítica (CPRM, 1987). Depois de sofrer fortes ações de intemperismo formou-se uma cobertura laterítica que contém uma couraça ferruginosa rica em Nb com reservas estimadas da ordem de 2,89 bilhões de toneladas com teor médio de 2,81% de Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Apesar de já serem conhecidas jazidas de ferro e nióbio com potencial de suprir uma demanda por centenas de anos, o minério de Seis Lagos é o único no Brasil onde se encontra ferro com nióbio associado. Além disso, este estudo tem importância para o conhecimento dos depósitos minerais brasileiros numa área que pertence à Companhia de Pesquisa de Recursos minerais - CPRM.

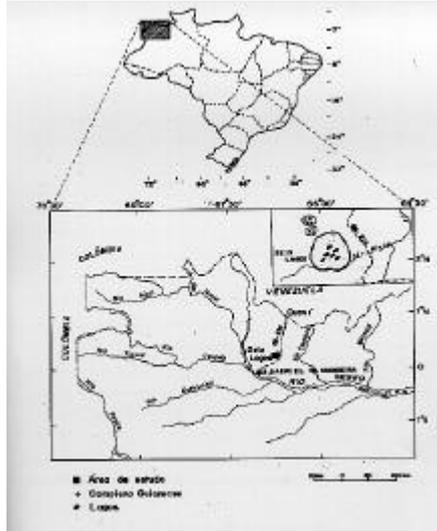


Figura 1-Localização do Complexo de Seis Lagos

## 2. OBJETIVO

Descrever as principais características químicas, mineralógicas e texturais observadas em amostras da couraça ferruginosa enriquecida em nióbio existente no complexo de Seis Lagos, com ênfase na localização do nióbio.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras analisadas, cedidas pela CPRM, foram coletadas em superfície e, segundo informações dos geólogos desta empresa, representam o fácies couraça ferruginosa. Foram estudadas quatro amostras, sendo três delas caracterizadas quimicamente para os elementos maiores e alguns menores e traços importantes, além da perda ao fogo (PF). Fragmentos representativos das quatro amostras foram embutidos em resina epoxy, desbastados, polidos com diamante de granulometrias até  $1\ \mu\text{m}$  e recobertos com carbono para os estudos por microscopia eletrônica de varredura com microanálise por dispersão de energia (MEV/EDS). Nas imagens apresentadas, de elétrons retroespalhados, os níveis de cinza são proporcionais ao número atômico médio da fase analisada, sendo os mais claros com Z médio maior. As

análises pontuais semiquantitativas foram obtidas após a calibração do equipamento com Co utilizando perfis para todos os elementos analisados obtidos previamente com padrões certificados. Outros fragmentos das mesmas quatro amostras foram cominuidos para granulometria inferior a 100 µm e caracterizados por difratometria de raio X (DRX).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos nas análises químicas das amostras estudadas, e também os de Corrêa (1996) referentes a 25 amostras de superfície da mesma couraça, podem ser observados na Tabela 1. De forma geral, as análises caracterizam uma crosta ferruginosa com altos teores de titânio e manganês, entre os elementos maiores, e nióbio, bário e tório entre os elementos menores. Dentro desse contexto, a amostra 1 estudada nesse trabalho representa fácies medianamente enriquecido em manganês e as amostras 2 e 3 representam fácies enriquecidos em titânio.

**Tabela 1- Composição química parcial de amostras da superfície da crosta laterítica do complexo de Seis Lagos.**

	amostras deste trabalho			Corrêa, 1996		
	1	2	3	mínimo	máximo	médio
	(%)			(%)		
SiO <sub>2</sub>	0,38	0,36	0,27			nd
TiO <sub>2</sub>	0,77	10,50	8,20	0,60	12,54	3,84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,95	0,89	0,53	0,20	1,51	0,58
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	75,50	75,50	79,70	42,60	89,07	79,40
MgO	< 0,10	< 0,10	< 0,10	0,04	0,06	0,10
MnO	3,30	0,15	0,14	0,01	9,90	1,38
CaO	0,05	0,05	0,06	0,05	0,21	0,10
K <sub>2</sub> O	0,01	0,03	0,04	0,02	0,08	0,04
Na <sub>2</sub> O	< 0,10	< 0,10	< 0,10	0,06	0,14	0,09
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,40	0,29	0,31	0,01	1,90	0,42
P.F.	10,20	7,50	6,25	4,22	13,57	10,13
Total	91,56	95,27	95,50	88,63	101,99	
	ppm			ppm		
Nb	3.150	21.700	20.300	840	29.000	10.800
F	395	310	350	nd	nd	nd
Sr	13	11	17	< 5	1.339	< 120
Ba	> 5.000	1.337	1.127	71	11.400	7.100
Th	1.226	713	547	61	5.500	1.700
U	< 10	< 10	< 10	nd	nd	nd

Observa-se a heterogeneidade composicional das amostras de Seis Lagos; a amostra 2, por exemplo, tem alto teor de  $\text{TiO}_2$  (10,50%), se aproximando do valor máximo obtido por Corrêa (12,54%), enquanto a amostra 1 apresenta apenas 0,77%. Os constituintes principais das três amostras analisadas são o ferro e titânio, e manganês e nióbio também são constituintes importantes.

À difração de raios X foram identificados hematita, goethita, anatásio, brookita, rutilo, ilmenorutilo, hollandita e pirolusita, coerentemente minerais de Fe, Ti e Mn.

Ao MEV/EDS foram confirmadas as fases identificadas por DRX, e também identificados pirocloro, provavelmente cerianita, e fosfato de alumínio com elementos terras raras, predominantemente Ce e La, tipo florencita.

A imagem da Figura 2 mostra uma das texturas mais típicas das amostras de couraça ferruginosa de Seis Lagos, onde predominam óxidos/hidróxidos de ferro com teores variáveis de titânio e manganês associados a óxidos de titânio. As variações composicionais podem ser gradativas ou bruscas, na escala de poucos micrômetros.

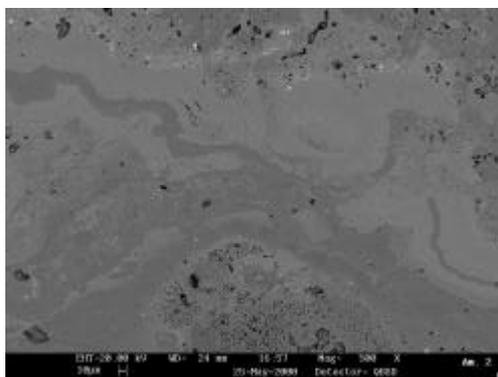


Figura 2 - Textura típica de amostra da couraça ferruginosa de Seis Lagos.

A imagem da Figura 3 mostra textura típica da fácies enriquecida em nióbio, onde cristais de pirocloro (cinza claro/branco) e de óxido de titânio (cinzas mais escuras - não é possível determinar qual a simetria cristalina e portanto se é anatásio, brookita ou rutilo, todos identificados a DRX) e óxido de titânio,

ferro e nióbio (provável ilmenorutilo), numa matriz ferruginosa porosa (cinza médio).

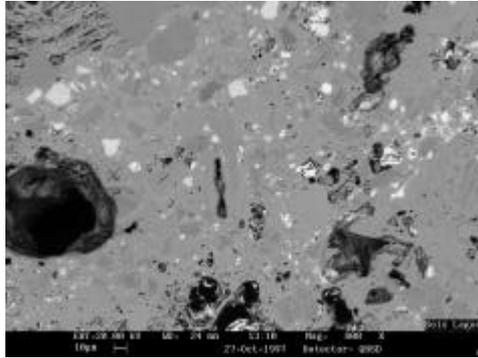


Figura 3 - Cristais de pirocloro (mais claros) e de óxido de titânio e ilmenorutilo (cinza escuro) numa matriz ferruginosa porosa (cinza médio).

A Tabela 2 mostra as análises químicas semiquantitativas, apontando as cinco fases constituintes das quatro amostras de seis Lagos.

Tabela 2- Análises químicas semiquantitativas (EDS) das principais fases formadoras da couraça ferruginosa do complexo de Seis Lagos (continua).

	fase ferruginosa, provável hematita			fase ferruginosa, provável goethita aluminosa/limonita		
	min	max	média	min	max	média
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,53	2,24	0,83	5,43	6,07	5,64
SiO <sub>2</sub>	0,17	0,94	0,66	0,21	0,32	0,28
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	1,18	0,33	2,80	3,43	3,18
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,33	0,07	0,00	0,08	0,02
MnO	0,02	0,11	0,07	0,00	0,00	0,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	96,21	98,35	97,41	89,97	90,58	90,32
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,31	0,13	0,00	0,55	0,18
BaO	0,00	0,39	0,16	0,00	0,39	0,17
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,36	0,13	0,00	0,10	0,02
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,17	0,03	0,00	0,00	0,00
PbO	0,00	0,32	0,06	0,00	0,09	0,02
ThO <sub>2</sub>	0,00	0,24	0,11	0,00	0,35	0,17

Tabela 2A - Continuação da Tabela 2.

	ilmenorutilo			Pb-pirocloro			hollandita		
	min	max	média	min	max	média	min	max	média
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	0,25	0,11	0,00	0,30	0,17	1,17	4,17	2,25
SiO <sub>2</sub>	0,11	0,70	0,45	0,95	3,21	1,97	0,24	0,76	0,42
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,19	0,02	0,00	0,83	0,24	0,00	0,35	0,09
TiO <sub>2</sub>	67,10	88,88	75,77	1,65	4,64	3,15	0,00	0,06	0,01
MnO	0,00	0,12	0,04	0,00	0,06	0,01	50,21	80,31	68,88
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,35	11,18	8,09	4,28	11,75	7,24	1,14	32,60	10,46
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	7,02	19,84	14,28	55,57	59,48	56,64	0,00	0,57	0,22
BaO	0,00	2,67	0,75	0,07	0,36	0,32	6,17	14,96	11,58
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,68	0,20	0,00	5,32	2,75	0,00	0,00	0,00
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,29	0,09	1,90	4,24	3,25	0,28	2,29	0,99
PbO	0,00	0,28	0,14	17,44	24,63	21,37	1,34	12,55	4,76
ThO <sub>2</sub>	0,00	0,25	0,06	0,08	5,69	2,87	0,00	0,93	0,35

A imagem da Figura 4 mostra detalhe de feição típica de cristal de pirocloro encontrado nas amostras estudadas. É comumente zonado, estruturas metamícticas são freqüentes e geralmente apresentam-se parcialmente preenchidos por fosfatos aluminosos ricos em Ce e La tipo florentita. Sua composição é predominantemente enriquecida em chumbo, podendo, mais raramente, contêr teores significativos em titânio e cério. A Tabela 3 mostra algumas análises obtidas ao EDS.

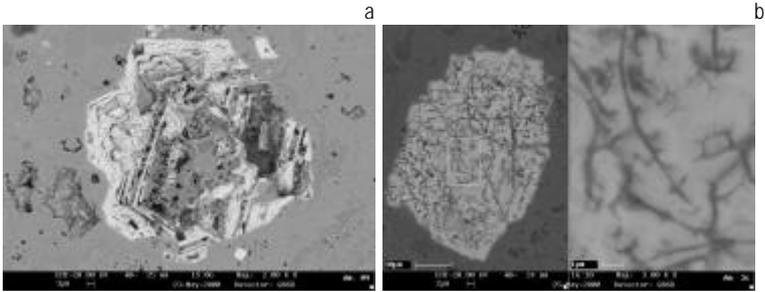


Figura 4 - Texturas típicas dos pirocloros da couraça ferruginosa de Seis Lagos: a) Pb-pirocloro zonado e preenchido por fosfato tipo florencita; b) Pb-pirocloro metamórfico.

Tabela 3 - Composição química pontual (EDS) de alguns pirocloros da couraça ferruginosa do complexo de Seis Lagos.

	1	2	3	4	5	6	min	max	média
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2	0,3	0,3	0,0	0,3	0,0	0,0	0,3	0,2
SiO <sub>2</sub>	0,9	1,6	3,2	2,2	1,5	2,4	0,9	3,2	2,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,0	0,5	0,0	0,8	0,0	0,1	0,0	0,8	0,2
TiO <sub>2</sub>	1,9	3,4	3,2	4,1	1,6	4,6	1,6	4,6	3,1
MnO	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,3	11,7	6,9	4,9	8,8	6,9	4,3	11,7	7,2
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	59,5	56,4	56,3	56,0	56,0	55,6	55,6	59,5	56,6
BaO	0,1	0,4	1,0	0,1	0,3	0,1	0,1	0,4	0,3
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0	2,1	2,2	5,3	1,6	5,3	0,0	5,3	2,8
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,3	2,6	4,0	1,9	4,2	3,5	1,9	4,2	3,3
PbO	24,1	17,4	19,1	24,6	22,5	20,4	17,4	24,6	21,4
ThO <sub>2</sub>	5,7	3,6	3,8	0,1	3,1	1,0	0,1	5,7	2,9

A imagem da Figura 5 mostra zona enriquecida em manganês e bário comumente observada nas amostras de Seis Lagos. Associam-se a este fácies elementos como chumbo e cério, e óxidos de cério (cerianita). A Tabela 4 mostra alguns análises pontuais EDS na fase rica em manganês deste fácies.

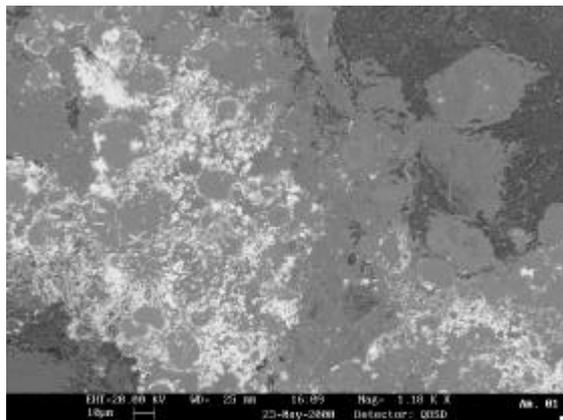


Figura 5 - Textura típica do fácies rico em Mn e Ba da couraça ferruginosa de Seis Lagos.

Tabela 4 - Composição química pontual (EDS) do fácies rico em Mn e Ba da couraça ferruginosa do complexo de Seis Lagos.

	1	2	3	4	5	6	7	min.	max.	média
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,9	1,8	1,9	4,2	1,4	1,2	1,5	1,2	4,2	2,0
SiO <sub>2</sub>	0,2	0,3	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4	0,2	0,5	0,4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1
TiO <sub>2</sub>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0
MnO	80,3	79,7	79,3	69,1	67,5	64,4	60,6	60,6	80,3	71,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,1	1,0	1,8	10,6	9,5	12,2	14,8	1,1	14,8	7,3
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,0	0,6	0,0	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,6	0,2
BaO	15,0	14,1	14,1	12,3	16,3	6,2	7,7	6,2	15,0	12,2
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1	0,7	0,5	1,1	0,3	2,3	1,7	0,3	2,3	1,0
PbO	1,3	1,5	1,6	1,9	4,2	12,5	12,4	1,3	12,5	5,1
ThO <sub>2</sub>	0,0	0,1	0,1	0,2	0,4	0,6	0,9	0,0	0,9	0,3

## 5. CONCLUSÕES

As amostras da couraça ferruginosa do complexo de Seis Lagos estudadas nesse trabalho assemelham-se quimicamente àquelas estudadas por Corrêa (1996), representando seus fácies enriquecidos em titânio e medianamente enriquecidos em manganês.

As análises por DRX e MEV/EDS caracterizaram como principais fases formadoras da couraça ferruginosa de Seis Lagos os minerais: **1)** hemetita; **2)** goethita rica em alumínio (até 6% de  $Al_2O_3$ ) e fósforo (até 3,4% de  $P_2O_5$ ); **3)** óxidos de titânio nos seus três polimorfos, ou seja, como anatásio, rutilo e brookita; **4)** ilmenorutilo com composição média de 76% de  $TiO_2$ , 8% de  $Fe_2O_3$  e 14% de  $Nb_2O_5$ ; **5)** óxido de manganês e bário, tipo hollandita, com até 12% de  $PbO$  e altos teores em Fe (devem ser melhor estudados, devido a possível contaminação da fase ferruginosa que predomina na couraça); **6)** pirolusita e **7)** pirocloros com duas composições básicas, ricos em chumbo e com menores teores em chumbo mas com titânio e cério.

O níobio contido da couraça ferruginosa estudada concentra-se no ilmenorutilo e nos pirocloros. Os pirocloros mostraram-se extremamente alterados, substituídos predominantemente por fases tipo gorceixita. Mostram-se também zonados e com estruturas metamícticas, típicas de fases com alto teor em elementos radioativos como o tório e eventualmente urânio, já lixiviado.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- Corrêa, S.L.A (1996) "Evolução geoquímica das crostas lateríticas e dos sedimentos sobrepostos na estrutura de Seis Lagos (Amazonas)". Tese de doutorado UFPA 204 pp.
- CPRM (1987) "Projeto UAUPEs- Jazida de níobio no Estado do Amazonas". Informe sintético Superintendência de patrimônio mineral - CPRM. I nérito