

MICROESFERAS MAGNÉTICAS DO CÓRREGO DA PEDRA BONITA (MG)

J.P. Cassedanne*

A. Baptista**

RESUME

Des microsphères ont été collectées dans les concentrés du minerai provenant de l'exploitation des alluvions anciennes et modernes du Córrego da Pedra Bonita près de Conselheiro Pena (Minas Gerais). Ces microsphères sont magnétiques, noires ou jaunes, associées à des gouttes piriformes et des éclats. Les microsphères noires sont constituées de magnétite (et parfois hématite) et les jaunes de siliciures de fer divers. Une étude métallographique montre fréquemment l'association de ces deux composants, qui sont dépourvus de nickel. En fonction de leur composition chimique et de leur localisation à la partie supérieure des alluvions, les microsphères sont considérées comme dûes à des pollutions industrielles.

INTRODUÇÃO

O campo pegmatítico do Itatiaia, ao SSE de Conselheiro Pena (MG), conhecido há mais de 60 anos, produziu magníficas turmalinas gemas, tendo sido lavrado para berilo e mica (associados com cassiterita e Nb-tantalita) durante a Segunda Guerra Mundial, e mais de uma década após aquela. De 1985 a 1987 a Itaval Ltda. explotou as aluviões do Córrego da Pedra Bonita que atravessa o campo pegmatítico. O presente trabalho tem como finalidade o estudo de componentes excepcionais do concentrado de minério obtido pela dita firma: pequenas esferas metálicas magnéticas.

*Professor Adjunto - Dept^o de Geologia, CCMN/UFRJ
**Químico - Instituto de Engenharia Nuclear, CNEN

AS MICROESFERAS MAGNÉTICAS

Microesferas, esferúlitos ou gotas magnéticas são assinaladas nos sedimentos por numerosos autores. São figuradas por Guigues & Devismes (1969) que acrescentam "pequenas esferas atraídas pelo imã, em forma de gotinhas e contendo frequentemente cavidades internas". Devismes (1978) figura também microesferas nas aluviões fluviais da Loire Atlantique e do Finistère.

Quase sempre opacas, essas microesferas são consideradas de origem variada: extraterrestre como produto de ablação de meteoritos de Fe-Ni (Schmidt & Kiel, 1966) ou formadas na superfície desses últimos (Krinov, 1960), vulcânica como quedas de cinzas (Hodge & Wright, 1964), devida a poluições atmosféricas de fontes industriais (Puffer et al., 1980) ou autigênica (McCa be et al., 1983).

As microesferas de origem meteórica são sempre ricas em níquel (Wright et al., 1963; Klöck et al., 1986), aquelas de origem vulcânica são ricas em titânio (Fredriksson & Martin, 1963) enquanto as de origem atmosférica são desprovidas desses dois elementos (Puffer et al., 1980). As esferas autigênicas apresentam um arranjo regular de microcristais.

Puffer et al. (1980) demonstraram que o aparecimento de microesferas relativamente abundantes, na parte superior de um sedimento, marca o início da ocupação humana industrializada da região circunvizinha.

Os silicietos são somente estáveis em pressões parciais extremamente baixas de oxigênio e consequentemente não se formam facilmente nas rochas da crosta terrestre. Duas jazidas de silicietos foram entretanto descritas. Na primeira, FeSi e FeSi₂ provêm de placers e testemunhos de sondagens de arenitos da Série Poltava (região do Donets - Gevork'yan, 1969; Gevork'yan et al., 1969). Essa descoberta foi questionada por Fleischer (1969 e 1986). Na segunda jazida, FeSi, Fe₄Si₉, Fe₂Si e Fe₃Si₂ foram descritos nos resíduos do ataque ácido de arenitos vermelhos carbonatados e de calcários do Rio Bazaikla (Cambriano inferior da parte Oeste do Sayan Oriental - Novoseleva, 1975; Novoseleva & Bagdasarov, 1979). Os autores atribuem os compostos à ablação de silicietos extraterrestres durante sua passagem na

atmosfera terrestre. Essa origem parece pouco provável devido a raridade dos silicetos em meteoritos (Keil et al., 1982).

Em meteoritos foram descritas a perryita $(Ni,Fe)_5(Si,P)_2$ e a suessita Fe_3Si . A última, descoberta na ureilita de North Craig (Austrália), caracteriza-se, em média, pela presença de 2,5% em peso de níquel (Keil et al., 1982).

LOCALIZAÇÃO E NATUREZA DAS AMOSTRAS COM MICROESFERAS

O Córrego da Pedra Bonita (ou da Lava), afluente direto do Ribeirão Itatiaia, conflui com este último, 7 quilômetros ao SSE de Conselheiro Pena (Coordenadas da barra: $x = 242,5$ $y = 7871,2$ Mapa Conselheiro Pena SE-24.Y.C.II IBGE 1/100.000). A região vizinha é constituída por micaxistos intercalados de quartzitos (que formam o arcabouço da Serra do Itatiaia ao SE do Córrego), pertencendo ao Grupo Paraíba. Este foi intrudido por pegmatitos durante o ciclo tectônico Brasileiro. Vários corpos pegmatíticos afloram no vale do Córrego da Pedra Bonita.

A lavra se estendeu sobre 800 metros, ao longo do Córrego, iniciando-se a uns cinquenta metros de sua barra com o Ribeirão do Itatiaia. As aluviões, deslocadas com um trator, eram carregadas em um caminhão, sendo os matacões de quartzitos abandonados sobre o bedrock desnudado de micaxistos. Após a eliminação da argila, blocos, seixos de quartzo e quartzitos eram britados, a fim de fornecer cargas silicosas calibradas. O cascalho era manualmente catado sobre uma esteira transportadora para separar as gemas, a cassiterita, a Nb-tantalita e o bismuto. O rejeito fino era concentrado num sluice. Para obter um produto industrial, esse concentrado era apurado na bateia, sendo o ouro separado.

Proveniente da mistura irregular do cascalho antigo e de aluviões superficiais mais recentes, o concentrado do sluice não foi estudado quantitativamente. Nb-tantalita, cassiterita, microlita, magnetita e granada nele predominam, associadas com outros minerais em quantidades menores, e numerosas microesferas, na série de amostras coletadas durante várias visitas.

O CONCENTRADO DO SLUICE

É dada a seguir, por ordem alfabética, uma descrição abreviada dos minerais e grupos de minerais determinados nas amostras. Anfibólio: verde pálido em escamas com clivagens acetinadas e fragmentos brilhantes de prismas. Berilo: muito raro, incolor, leitoso ou apenas azulado, em pequenas escamas. Bismuto: bastante frequente, em grânulos cujo núcleo metálico é envolvido por produtos secundários, onde predomina a bismutinita. Cassiterita: geralmente em escamas, menos frequentemente em fragmentos de prismas ou bipirâmides, marrom com reflexos algumas vezes esverdeados, transparente a translúcida, raramente opaca. Cianita: pouco abundante, esbranquiçada, inclui numerosas pontuações escuras. Chumbo (evidência de atividade de caçadores na região): muito raro, em grânulos com superfície alterada. Estauroilita: muito abundante em pedaços angulosos e fragmentos de prismas muitas vezes geminados, caramelo, translúcida a sub-opaca com numerosas pontuações escuras. Gahnita: muito rara, em octaedros azul celeste pálido. Granada: em escamas e grãos arredondados, translúcidos, róseo pálido a escuro, também em cristais automórficos róseo vivo. Hematita: pouco abundante em plaquinhas e grãos arredondados. Ilmenita: bastante abundante, em escamas e fragmentos de cristais. Magnetita: fosca a brilhante, em fragmentos irregulares, agregados, pequenos octaedros e grupos de cristais com faces lisas ou com degraus, variavelmente martitizados. Microlita: octaedros angulosos ou pouco rolados, clivagens e escamas, amarelo pálido a ouro, transparentes a translúcidos, algumas vezes zonados (núcleo leitoso), frequentemente crescidos sobre a Nb-tantalita. Monazita: grãos marrom foscos, fragmentos de cristais arredondados e grânulos amarelo ceroso. Nb-tantalita: em escamas, fragmentos de prismas e tabletes estriadas longitudinalmente. Ouro: bastante raro, em pequenas pepitas arredondadas e palhetas. Pirita: rara, em cubos dourados ou pseudomorfoseados por limonita. Pisolitos: muito abundantes, com núcleo amarelado e cortex marrom, essencialmente de goethita. Rutilo: pouco frequente, em cristais pretos alongados e brilhantes, agulhas vermelhas translúcidas e agregados de pequenos cristais amarronzados. Sillimanita: rara, em agulhas e prismas incolores a leitosos. Turmalina: pouco

abundante em prismas translúcidos marrom esverdeados, raramente azulados ou róseos. Xenotimo: raro, em bipirâmides e escamas amarelo ceroso pálido. Zircão: bastante frequente em prismas achatados, translúcidos a opacos, esbranquiçados, beges, róseos, cor de vinho ou acinzentados.

As microesferas e fragmentos metálicos que serão descritos a seguir são os únicos constituintes estranhos desse concentrado, cujos todos os minerais podem ser relacionados com os pegmatitos vizinhos, os micaxistos encaixantes e os quartzitos que constituem as cristas próximas.

MICROESFERAS E FRAGMENTOS METÁLICOS MAGNÉTICOS

Podem ser separados segundo sua cor: cinza escuro a preto e amarelo bronze.

Microesferas pretas e formas derivadas

Predominantes, as esferas têm um diâmetro variando de alguns centésimos a 0,8 milímetro. Suas superfícies são lisas ou levemente picotadas, mais raramente rugosas, foscas ou muito brilhantes, raramente maculadas por hidróxidos de ferro; pequenos apêndices aderem, algumas vezes, a essas superfícies. As esferas são inteiras ou com uma única pequena cavidade superficial. Os indivíduos quebrados apresentam uma estrutura em camadas concêntricas, que pode envolver uma cavidade central, frequentemente importante, preenchida ou não, por hidróxidos de ferro pouco coerentes. Excepcionalmente duas ou três esferas coalescem. Raríssimos grãos ovóides correspondem a esferas deformadas. Um estudo difratométrico (Condições de operação: câmara Debye-Scherrer 114,7 mm ϕ , radiação $FeK\alpha$, filtro Mn, exposição de 49 h) comprova que as microesferas são unicamente de magnetita (Tabela I). Uma análise semi-quantitativa por fluorescência X mostra como elemento principal: Fe e , como traços: Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, S (?), P (?), Si (?) e Al (?).

As gotas, bastante abundantes, são ora piriformes, ora em forma de granada, incluindo um corpúsculo estranho na sua menor extremidade. A estrutura interna é idêntica àquela das microesferas. Um estudo difratométrico (Condições de operação:

câmara Gandolfi 57,4 mm ϕ , radiação FeK α , filtro Mn, exposição de 8 h) comprova que as gotas são predominantemente de magnetita associada a um pouco de hematita. Uma análise semi-quantitativa por fluorescência X mostra como elemento principal: Fe e, como traços: Mn, Cu e Zn.

Raras gotas em pastilha, preto fosco, de tamanho maior que as microesferas, lembram aquelas, porém são bastante achatadas. Um difratograma (mesmas condições de operação que precedentemente) comprova uma composição idêntica à das gotas piriformes, porém com melhor cristalinidade (Tabela II).

Em luz refletida, as secções polidas das microesferas pretas mostram-se maciças ou, algumas vezes, levemente porosas. São compactas ou incluem uma ou várias cavidades, frequentemente irregulares, não forçosamente centradas. Algumas esferas incluem glóbulos ou fragmentos de silicetos, concêntricos ou não. A estrutura da magnetita, com forte aumento, mostra-se homogênea, eutética (com ulvoespínélio ?, Ramdohr, 1980 - ou nucleação ?) ou, algumas vezes, com exsolução de hematita (Haggerty, 1981).

Microesferas e fragmentos amarelos

De morfologia idêntica, porém menos frequentes que as pretas, essas microesferas são creme amarelo a amarelo latão, brilhantes, raramente foscas. Suas superfícies são lisas, finamente picotadas ou muito rugosas e, nesse caso, algumas vezes salpicadas de cúpulas hemisféricas. Não foram observados indivíduos piriformes ou coalescência de esferas. Um difratograma (condições de operação idênticas aquelas usadas para as microesferas pretas) comprova que as esferas amarelas são unicamente de Fe₅Si₃, um composto artificial (Tabela III). Uma análise semi-quantitativa por fluorescência X mostra como elementos principais: Fe e Si e, como traços: Ti, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn e Al (?).

Escamas e fragmentos irregulares, maciços, geralmente brilhantes, de cor amarelo bronze a dourado, algumas vezes com irisações superficiais, ou porosos, com cúpulas e cavidades esféricas, são associados às microesferas. Dois difratogramas dos fragmentos maciços e porosos (condições de operação idênticas àquelas usadas para as gotas piriformes) comprovam que eles são

constituídos de uma mistura de Fe_2Si e Fe_3Si (suessita - Tabela IV). Uma análise semi-quantitativa por fluorescência X das es-camas mostra, como elementos principais: Fe e Si e, como traços: Mn e Zn.

Em luz refletida natural, esferas e fragmentos, des-providos de magnetita, são amarelo brilhante, homogêneos, sem poros ou cavidades. Em luz polarizada, com forte aumento, apre-sentam-se frequentemente mirmequíticos ou formados por duas fa-ses sincristalizadas.

CONCENTRADOS DO CÓRREGO DA PEDRA BONITA

A fim de se obter termos de comparação, duas amostras de 50 litros foram coletadas em zonas virgens das aluviões anti-gas do Córrego da Pedra Bonita. A primeira, a montante da la-vra da Itaval, 40 metros antes de um pegmatito N130^OE cortando o córrego, numa trincheira, na altitude de 280 metros; a segun-da, a juzante da mesma lavra, a uns 20 metros da barra com o Ribeirão do Itatiaia, num poço, na altitude de 240 metros. São 900 metros entre as localidades amostradas, onde o cascalho ar-giloso, com raros seixos, possante de 0,4 a 0,6 metro, repousa sobre micaxistos decompostos subverticais. É recoberto por 1,5 metro de terra avermelhada com lentes de areia e silte, entre ma-tacões.

A fração pesada do primeiro concentrado inclui, em %: estaurolita (48,7), ilmenita (30,8), granada (7,7), turmalina (3,2), magnetita (3,0), zircão (2,3), cianita (2,1) e rutilo (1,5) com, em quantidade menor que 0,5%: anfibólio, cassiterita, gahnita, hematita, leucoxênio, magnetita martitizada, microlita, monazita, muscovita, sillimanita, Nb-tantalita, xenotimo e uma palheta de ouro.

A fração pesada do segundo concentrado inclui, em %: estaurolita (46,6), ilmenita (26,1), magnetita (14,7), zircão (7,7) e cianita (0,6) e, em quantidade menor que 0,5% os mesmos minerais que o concentrado precedente, sem ouro, porém com raro bismuto e pirita.

Tomando-se em conta a distância dos pontos amostrados e a vizinhança do Ribeirão do Itatiaia, que pode ter remanejado

as aluviões antigas perto de sua confluência, pode-se considerar os dois concentrados como sendo do mesmo tipo. Lembrem, desfalcando as condições de apuração e os volumes tratados, o da Itaval, exceção sendo feita das microesferas e dos fragmentos magnéticos ausentes. Estes localizam-se, em consequência, nos sedimentos superficiais recentes.

POLUIÇÕES INDUSTRIAIS

Os técnicos da Itaval asseguram a ausência de instalação industrial no Córrego da Pedra Bonita antes do estabelecimento dessa firma. As lavras anteriores eram, ora manuais, ora apenas mecanizadas, os eventuais consertos sendo efetuados em Conselheiro Pena.

Depois da instalação da Itaval, funcionou continuamente uma oficina mecânica, incluindo um posto de solda bastante ativo, onde os eletrodos usados foram sempre do mesmo tipo. Afim de se obter termos de comparação, difratogramas (Condições de operação: aparelho Norelco, radiação $CuK\alpha$, filtro Ni, velocidade $2^\circ\theta/\text{minuto}$ com contador proporcional acoplado a analisador de altura de pulsos) e análises semi-quantitativas por fluorescência X, foram realizados sobre as hastes dos eletrodos e seu envelope. Somente a fase rutilo foi identificada por difratometria no envelope. Neste foram determinados como elementos principais ($> 10\%$): Si, Ti, Mn e Fe, elementos entre 1 e 10%: Al, K, Ca e Na, 1% aproximadamente: Cl e como traços: Zr, Y, Sr, S e P. O Fe é o elemento principal das hastes, associado com pequena quantidade de Mn e traços de Si.

As temperaturas elevadas da soldagem, em presença do ar, geram facilmente, a partir dos eletrodos, partículas de magnetita e, muito provavelmente, alguns silicetos quando as condições tornam-se favoráveis (passagem esporádica a um ambiente redutor por exemplo). Algumas microesferas foram coletadas sobre o chão da oficina, misturadas com fragmentos metálicos magnéticos.

ORIGEM DAS MICROESFERAS

Na ausência de vulcanismo recente tendo afetado a região estudada, ora diretamente, ora pela queda de cinzas, permanece a definir a origem das microesferas: extraterrestre ou industrial?

A ausência generalizada de níquel parece infirmar uma origem extraterrestre, assim como a presença de diversos silicetos (Devismes, 1988), também desprovidos desse elemento (e cuja origem meteorítica foi contestada na sua maioria). Além disso, as microesferas estão ausentes nas aluviões antigas. A associação magnetita-silicetos em glóbulos, com limites nítidos, bem documentada microscopicamente, supõe uma mudança instantânea das condições de formação, seguida de uma têmpera conservando a estrutura de nucleação de alta temperatura, da magnetita (Mondolfo & Zmeskal, 1955). Essas limitações parecem incompatíveis com a penetração progressiva na atmosfera de um grânulo em fusão.

A presença de numerosas microesferas somente na parte superior das aluviões do Córrego da Pedra Bonita, nas quais elas podem facilmente ser provenientes das instalações industriais vizinhas, parece justificar as conclusões de Puffer et al. (1980) que associam as esferas ao início da ocupação humana industrializada. Os mesmos autores assinalam, também, a presença de hematita associada à magnetita nas microesferas recentes.

EM CONCLUSÃO: O estudo precedente demonstra que as microesferas magnéticas que existem nos concentrados mecânicos obtidos a partir das aluviões (antigas e recentes) do Córrego da Pedra Bonita, são, segundo todas as probabilidades, derivadas de poluições de origem industrial.

BIBLIOGRAFIA

DEVISMES, P. (1978) - Atlas photographique des minéraux d'alluvions. Mém. BRGM 95, Paris, 203 p.

- DEVISMES, P. (1988) - Détermination rapide des minéraux lourds des alluvions et des roches: utilisation pour l'inventaire minéralogique et la recherche minière. Doc. BRGM 106, Paris, 83 p.
- FLEISCHER, M. (1969) - New mineral names. Am. Min., 54: 1737.
- FLEISCHER, M. (1986) - Glossary of mineral species. Min. Record, Tucson, p. 55 e 59.
- FREDRIKSSON, K. & MARTIN, L.R. (1963) - The origin of black spherules found in Pacific islands, deep sea sediments, and Antarctic ice. Geochem. & Cosmoch. Acta, 27: 245-248.
- GEVORK'YAN, V. Kh. (1969) - The occurrence of natural ferrosilicon in the Northern Azov Region (em russo). Doklady Akademia Nauk SSSR, 185: 416-418.
- GEVORK'YAN, V. Kh.; LITVIN, A.L. & POVARENENYKH, A.S. (1969) - Occurrence of the new minerals fersilicite and ferdissilicite (em russo). Geologicheskoe Zurnal Akademia Nauk Ukrain SSSR, 29: 62-71.
- GUIGUES, J. & DEVISMES, P. (1969) - La prospection minière à la batée dans le Massif Armoricaïn. Mém. BRGM 71, Paris, 171 p.
- HAGGERTY, S.E. (1981) - Oxidation of opaque mineral oxides in basalts in "Oxide minerals". D. Rumble III Ed. Reviews in Mineralogy, vol. III, MSA: Hg 1-98.
- HODGE, P.W. & WRIGHT, F.W. (1964) - Studies of particles for extraterrestrial origin. 2 - A comparison of microscopic spherules of meteoritic and volcanic origin. Journ. Geoph. Research, 69: 2449-2454.
- KEIL, K.; BERKLEY, J.L. & FUCHS, L.H. (1982) - Suessite, Fe₃Si: a new mineral in the North Craig ureillite. Am. Min., 67: 126-131.
- KLOCK, W.; PALME, H. & TOBSCHALL, H.J. (1986) - Trace elements in natural metallic iron from Disko Island, Greenland. Contrib. Miner. Petr., 93: 273-282.
- KRINOV, E. (1960) - Principles of meteoritics. Pergamon, New York.

- McCABE, C.; VAN DER VOO, A.; PEACOR, D.R.; SCOTESE, C.R. & FREEMAN, R. (1983) - Diagenetic magnetite carries ancient yet secondary remanence in some Paleozoic sedimentary carbonates. Geology, 11: 221-223.
- MONDOLFO, L.F. & ZMESKAL, O. (1955) - Engineering metallurgy. MacGraw-Hill, New York, 397 p.
- NOVOSELEVA, L.N. (1975) - Iron silicides in Lower Cambrian limestones on the Bazaikla River (tributary of the Jenisei), Krasnoyarsk region (em russo). Zapiski Vsesoyvnogo Mineralogicheskogo Obshchestva, 104: 228-234.
- NOVOSELEVA, L.N. & BAGDASAROV, E.A. (1979) - New data on iron silicides (em russo). Zapiski Vsesoyvnogo Mineralogicheskogo Obshchestva, 108: 326-333.
- PUFFER, J.H.; RUSSELL, E.W. & RAMPINO, M.R. (1980) - Distribution and origin of magnetite spherules in air, waters and sediments of the greater New York City area and the North Atlantic Ocean. Journ. Sed. Petr., 50(1): 247-256.
- RAMDOHR, P. (1980) - The ore minerals and their intergrowths. 2nd Ed., Pergamon, New York, p. 929.
- SCHMIDT, R.A. & KEIL, K. (1966) - Electron microprobe study of spherules from Atlantic Ocean sediments. Geochem. & Cosmoch. Acta, 30: 471-488.
- WRIGHT, F.W.; HODGE, P.W. & LANGWAY, C.C.J^r. (1963) - Studies of particles for extraterrestrial origin. 1 - Chemical analyses of 118 particles. Journ. Geoph. Research, 68: 5575-5587.

TABELA I

microesferas pretas		magnetita JCPDS 19-629		
d _{hkl}	l	d _{hkl}	l/ _o	hkl
4,825	mf	4,85	8	111
3,797	mmf			
2,963	i	2,967	30	220
2,693	dif			
2,520	mmi	2,532	100	311
2,468	dif			
2,419	mmf	2,424	8	222
2,141	f			
2,101	i	2,099	20	400
1,714	md	1,715	10	422
1,616	mi	1,616	30	511
1,517	mmf			
1,484	mmi	1,485	40	440
1,421	dif	1,419	2	531
1,328	f	1,328	4	620
1,280	md	1,281	10	533
1,268	mf	1,266	4	622
1,214	mf	1,212	2	444
1,129	f	1,122	4	642
1,095	i	1,093	12	731
1,050	f	1,050	6	800
0,9898	mmf	0,9896	2	822
		mais 9 linhas até 0,8080		

TABELA II

gotas em pastilha		magnetita JCPDS 19-629			hematita JCPDS 33-664		
d _{hkl}	l	d _{hkl}	l/l _o	hkl	d _{hkl}	l/l _o	hkl
4,78	f	4,85	8	111			
3,673	f				3,684	30	012
2,954	i	2,967	30	220			
2,692	md				3,700	100	104
2,522	mmi	2,532	100	311	2,519	70	110
2,419	mmf	2,424	8	222			
2,206	mf				2,207	20	113
2,091	i	2,099	20	400			
1,834					1,8406	40	024
1,711	md	1,715	10	422			
1,689	md				1,6941	45	116
1,612	mi	1,616	30	511	1,5992	10	018
1,483	mi	1,485	40	440	1,4859	30	214
1,451	mf				1,4538	30	300
1,418	dif	1,419	2	531			
1,325	f	1,328	4	620			
1,308	mmf				1,3115	10	1.0.10
1,276	md	1,281	10	533			
1,262	mf	1,266	4	622	1,2592	8	220
1,209	f	1,212	2	444			
1,187	dif				1,1896	5	128
1,160	dif				1,1632	5	0.2.10
1,139	dif				1,1411	7	134
1,121	md	1,122	4	642			
1,092	mi	1,093	12	731			
1,049	i	1,050	6	800			
0,9887	f	0,9896	2	822			
		mais 9 linhas até 0,8080					
					mais 22 linhas até 0,8014		

TABELA III

microesferas amarelas		Fe ₅ Si ₃ JCPDS 11-615		
d _{hkl}	l	d _{hkl}	l/l _o	hkl
3,363	dif			
3,241	dif			
2,914	mmf	2,92	30	200
2,817	mmf			
2,742	dif	2,74	20	112
2,355	mf	2,35	50	004
2,207	md			
2,179	md	2,18	60	104
1,996	mmi	2,00	100	212
1,945	md	1,94	80	300
1,931	md	1,92	90	114
1,831	mmf	1,83	30	204
1,624	dif	1,62	30	310
1,588	dif	1,58	40	205
1,409	md			
1,374	f	1,37	60	224
1,291	dif	1,28	40	322
1,279	mf	1,27	90	216
1,243	mf	1,235	80	404
1,201	mmf			
1,179	mmf	1,175	60	008
1,168	dif	1,165	50	500
1,150	l	1,150	60	226
1,1055	dif	1,100	60	420
1,0954	mmf	1,095	80	502
1,0487	mmf	1,050	10	127
1,0408	mmf	1,035 ?	80	423
1,0171	dif	1,015	60	334
1,0102	dif	1,010	80	308

TABELA IV

fragmentos metálicos		Fe ₂ Si JCPDS 26-1141			Fe ₃ Si JCPDS 35-519		
d _{hkl}	l	d _{hkl}	l/l _o	hkl	d _{hkl}	l/l _o	hkl
3,22	mf						
2,791	mf	2,821	40	100			
2,463	mmf						
1,979	mmi	1,988	100	110	2,005	100	110
1,699	mf						
1,408	i	1,406	60	200	1,420	10	200
1,263	dif	1,256	20	210			
1,152	mi	1,149	100	211	1,160	30	211
1,000	mi	0,9953	100	220			



Figura 1 - Microesfe-
ras magnéticas. Escala:
0,2 milímetro.

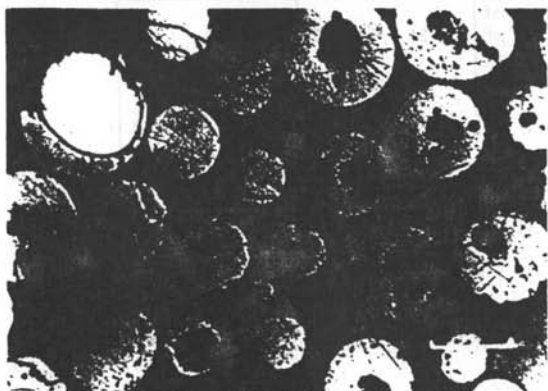


Figura 2 - Microesfe-
ras magnéticas com
cavidades internas e
núcleo de silicetos
(canto superior es-
querdo). Secção poli-
da luz polarizada
Escala: 0,2 milíme-
tro.

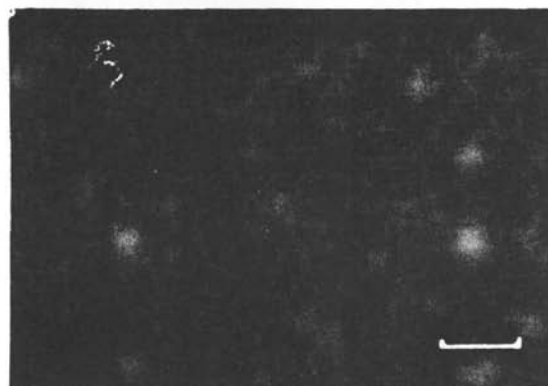


Figura 3 - Microesfe-
ras magnéticas com
núcleos claros de
silicetos. Secção
polida luz polariza-
da. Escala: 0,2 mí-
límetro.