

# CONCENTRAÇÃO DOS FINOS DE MINÉRIO DE FERRO DE SERRA AZUL<sup>1</sup>

Marly Carvalho<sup>2</sup>  
Michael Marques<sup>3</sup>  
Adriano Santos<sup>4</sup>  
Marcos Goossens<sup>5</sup>  
Camilo Silva<sup>6</sup>

## Redução

Os objetivos desse trabalho foram avaliar a concentração da fração <1,68mm de minério de ferro estocado na região de Serra Azul e otimizar o atual circuito de concentração, aumentando sua capacidade de produção. As amostras foram caracterizadas e processadas em três circuitos. O primeiro circuito testado foi a concentração magnética de alta intensidade de toda a fração <1,68mm, tal qual a operação atual. O segundo circuito foi a concentração da fração <1,68mm >0,15mm em WDRE + WHIMS, separada da fração <0,15mm, concentrada em WHIMS. O terceiro circuito consistiu de concentração da fração <1,68mm >0,15mm em espirais WW6 + WHIMS, sendo utilizado WHIMS para a fração <0,15 mm. Mostrou-se possível a obtenção de concentrado de alta qualidade tanto por concentração magnética, quanto por concentração gravítica com elevada recuperação metálica. Com a concentração gravítica foi obtido um aumento na capacidade do circuito de 40% e ganho de até 16% em recuperação metálica sem perda na qualidade dos produtos.

**Palavras-chave:** Concentração magnética; Concentração gravítica.

## SERRA AZUL IRON ORE FINES CONCENTRATION

The main objectives of this research were to analyze the concentration of <1.68mm iron ore fraction and to optimize the current circuit of Serra Azul concentration plant. Samples were tested in three different circuits. The first circuit was mainly composed by high intensity magnetic concentration of <1.68mm fraction, as in the current plant. In the second circuit the <1.68mm >0.15mm fraction was concentrated at WDRE followed by WHIMS, and the fraction <0.15mm were concentrated at WHIMS. The third circuit was composed by concentration of <1.68mm >0.15mm fraction at WW6 spiral followed by WHIMS, and magnetic concentration of <0.15 mm fraction at WHIMS. From <1.68mm fraction it was possible to obtain high quality concentrates and high iron metallurgical recoveries using both magnetic and gravity concentration. Using gravity concentration, the current circuit capacity can be increased up to 40% and a gain of 16% in the metallurgical recovery is expected.

**Key words:** Magnetic concentration; Gravity concentration.

1 *Contribuição técnica ao 39º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 10º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 22 a 26 de novembro de 2009, Ouro Preto, MG.*

2 *Eng<sup>a</sup> de Minas, MMX Mineração e Metálicos S/A.*

3 *Eng<sup>o</sup> Metalurgista, MMX Mineração e Metálicos S/A.*

4 *Eng<sup>o</sup> de Minas, M.Sc, MMX Mineração e Metálicos S/A.*

5 *Eng<sup>o</sup> de Minas, MMX Mineração e Metálicos S/A.*

6 *Eng<sup>o</sup> de Minas, D.Sc, MMX Mineração e Metálicos S/A.*

# 1 INTRODUÇÃO

A MMX Sudeste, localizada na região da Serra do Itatiaiuçu em Minas Gerais, entre os municípios de Igarapé, São Joaquim de Bicas e Brumadinho, possui em suas áreas cerca de 12 milhões de toneladas de finos estocados, com teor médio de 52,8% de Fe. O estoque foi feito ao longo dos anos de operação, pelos ex-proprietários dos direitos minerários na região. Nas antigas instalações não haviam equipamentos adequados para concentração dos finos. Após aquisição dos direitos minerários, a MMX construiu uma planta de concentração magnética de minério de ferro com capacidade de 1,5 Mta na Mina do Ipê, composta apenas por concentração magnética. Esse estudo sugere o beneficiamento dos finos estocados e otimização da atual planta de concentração, elevando a produção do complexo Ipê para cerca de 4,0 Mta.

Os objetivos deste trabalho foram:

- verificar a concentrabilidade da fração <1,68 mm do minério de ferro estocado nas minas da MMX, através de concentração magnética e/ou concentração gravítica; e
- propor alternativas para o aumento de capacidade da planta atual, utilizando concentração gravítica ou magnética de média intensidade antes da concentração magnética de alta intensidade.

Segundo Tovar, Navarro e Pestana<sup>(1)</sup> vários fatores interferem na escolha entre concentração gravítica, magnética e flotação, para concentração do minério de Fe. São eles: liberação, teor da alimentação, mineralogia, teor no concentrado e efeito sobre a pelotização.

Carneiro, Touse e Baffa<sup>(2)</sup> descrevem: “a susceptibilidade magnética é uma característica intrínseca de cada material e sua identidade está relacionada com a estrutura atômica e molecular”. Para o sucesso da concentração magnética, é necessário que os minerais presentes na amostra possuam susceptibilidades magnéticas consideravelmente distintas. Nos minerais de ferro, a ordem de susceptibilidade magnética é: Magnetita>martita>hematita. O mineral quartzo possui susceptibilidade magnética praticamente nula, o que quando associado a algum mineral de Fe, faz da concentração magnética boa opção de concentração.

Lins<sup>(3)</sup> descreve: “a concentração gravítica pode ser definida como um processo no qual, partículas de diferentes densidades, tamanhos e formas são separadas uma das outras por ação da força de gravidade ou por forças centrífugas.” Segundo Dana,<sup>(4,5)</sup> a densidade da magnetita é 5,18 t/m<sup>3</sup>, da hematita é 5,26 t/m<sup>3</sup> e do quartzo é 2,65 t/m<sup>3</sup>.

As amostras utilizadas foram provenientes das pilhas Finos Secos Emicon e Rejeito Ipê Dinâmico.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Coleta das Amostras

As amostras foram coletadas em canaletas perpendiculares à estratificação e identificadas como:

- 1- Finos Secos Emicon: amostra proveniente das pilhas de material fino estocado ao longo dos anos na antiga Emicon e que não passou por nenhuma etapa de concentração.

- 2- Rejeito Ipê Dinâmico: Finos provenientes da produção da mina de Ipê, que foram estocados por falta de instalações de concentração.

## 2.2 Caracterização das Amostras

As amostras foram caracterizadas química, mineralógica e granulometricamente. Após a caracterização, as amostras foram peneiradas em 1,68mm, onde apenas o passante foi utilizado para os testes de concentração.

## 2.3 Fluxogramas de Processo

As amostras foram processadas em três circuitos:

- circuito atual: concentração magnética em alta intensidade;
- circuito 1: concentração magnética de média intensidade + alta intensidade; e
- circuito 2: concentração gravítica + concentração magnética de alta intensidade.

Para a concentração magnética de média intensidade foi utilizado o equipamento WDRE (Wet Drum Rare Earth) do fornecedor Inbras, com campo fixo de 7000 Gauss. Para a concentração magnética de alta intensidade foi utilizado o Minimag (tipo WHIMS – Wet High Intensity Magnetic Separator) do fornecedor Gaustec, com campo variável. A concentração gravítica foi feita em espirais concentradoras WW6 – Akaflex.

### 2.3.1 Circuito Atual

O circuito atual consistiu apenas na concentração magnética da fração <1,68mm. Representa a atual planta de concentração em Ipê.

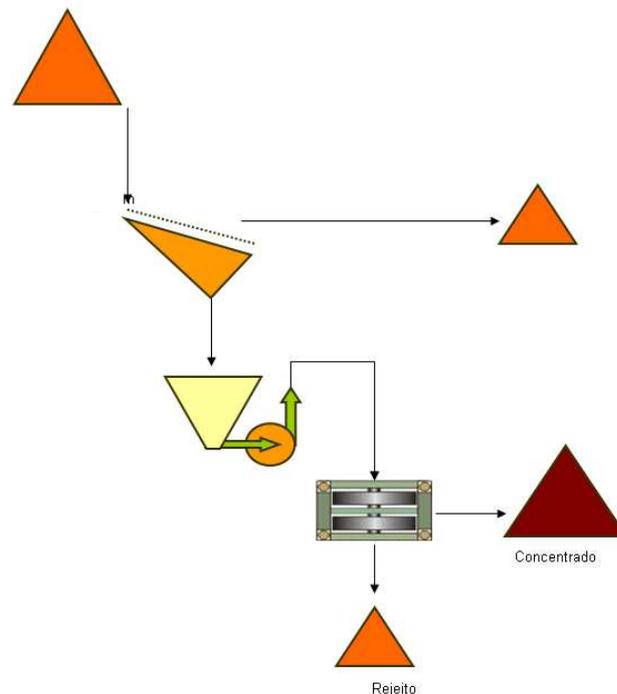


Figura 1 – Circuito atual.

No circuito atual foram utilizadas matrizes de 3,0 mm e 3,8 mm numa varredura de campos de intensidades de 3.000 Gauss, 5.000 Gauss, 7.000 Gauss e 9.000 Gauss.

### 2.3.2 Circuito 1

O circuito 1 consistiu em concentrar separadamente as frações fina e grosseira de cada amostra. A fração grosseira ( $<1,68\text{mm} >0,15\text{mm}$ ) foi alimentada no separador magnético de média intensidade, WDRE, onde se obteve um primeiro concentrado. O rejeito do WDRE alimentou o separador de alta intensidade, onde se obteve o segundo concentrado. A fração fina ( $<0,15\text{ mm}$ ) foi deslamada e concentrada no separador de alta intensidade.

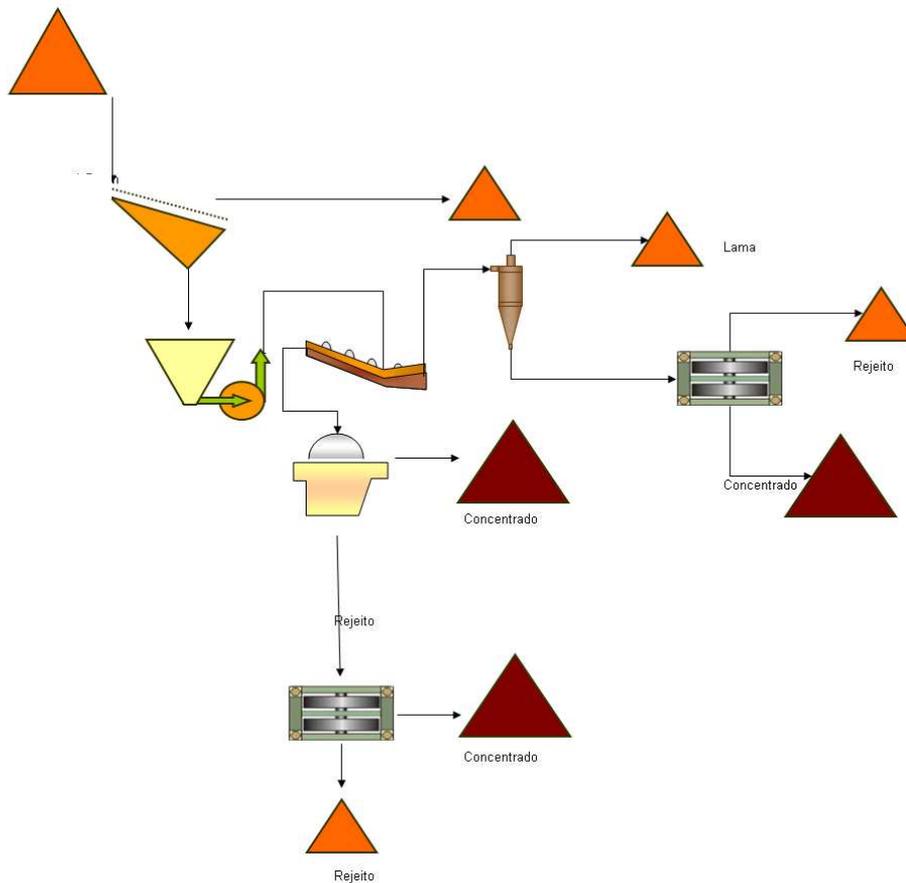


Figura 2 – Circuito 1: utilização do WDRE.

### 2.3.3 Circuito 2

No circuito 2, o WDRE foi substituído por espirais concentradoras WW6. O concentrado de espirais é produto final e o rejeito alimentou a concentração magnética de alta-intensidade. O circuito de finos permaneceu inalterado.

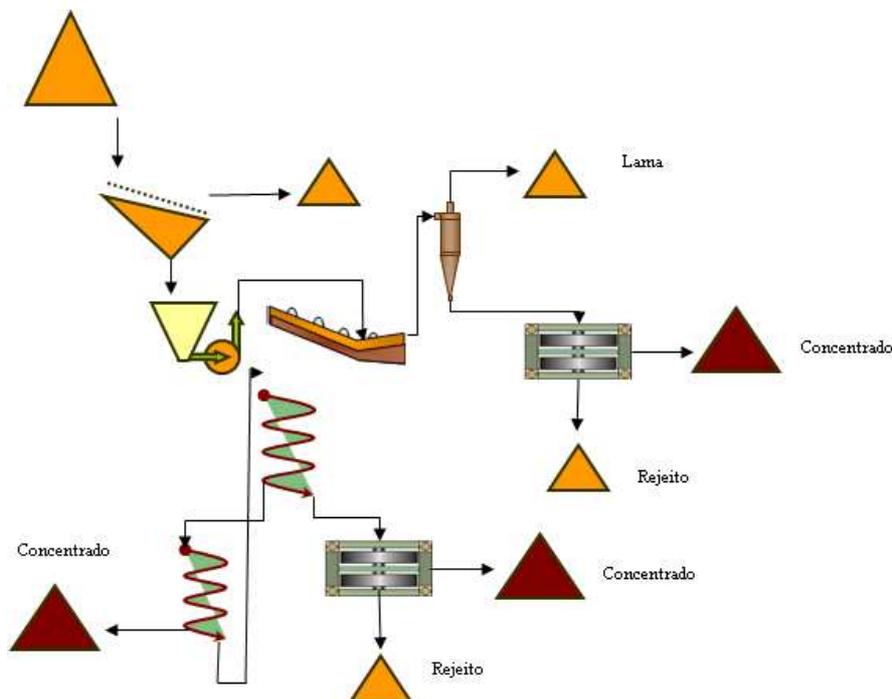


Figura 3– Circuito 2: utilização de espirais concentradoras.

Para o circuito 1 e 2, na concentração magnética de grossos foram testadas matrizes com aberturas de 3,0 mm e 3,8 mm, já na concentração de finos as aberturas testadas foram de 2,5 mm e 3,0 mm. Em todos os testes variou-se a intensidade do campo magnético em 9.000 Gauss, 7.000 Gauss, 5.000 Gauss e 3.000 Gauss.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Caracterização: Mineralogia e Liberação, Análise Química e Granulométrica

A Tabela 1, mostra os resultados do estudo de mineralogia e liberação feito com a fração que alimentou os testes de concentração:

Tabela 1 – Mineralogia e Liberação

Amostra	Hematita especular (% volume)	Hematita Lobular / Recristalizada (% volume)	Hematita Martítica (% volume)	Magnetita (% volume)	Goethita (% volume)	Quartzo (% volume)	Minerais argilosos/ Caulinita (% volume)	Grau liberação (%)
Finos Secos Emicon <1,68mm	0,6	57,8	9,7	0,2	1,1	29,7	0,4	99,6
Rejeito Ipê Dinâmico <1,68mm	0,4	53,5	3,6	0,0	7,4	34,8	0,3	99,7

Amostra: Finos Emicon

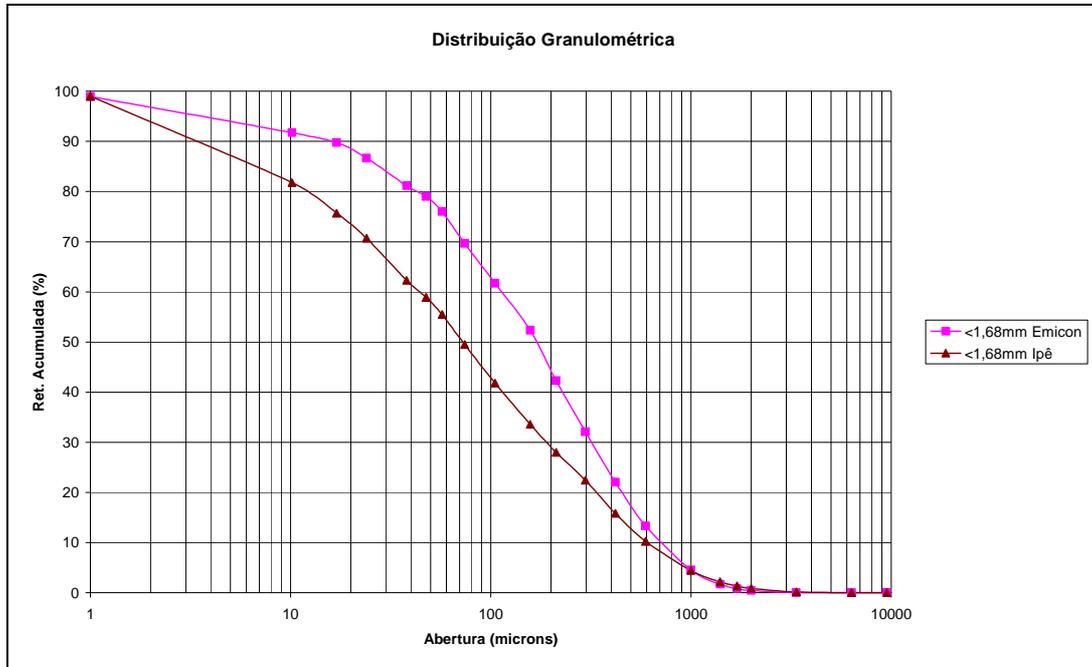
Tabela 2 – Característica química da pilha finos Emicon

Amostra	Fluxo	Recuperação ROM	Fe (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	P (%)	Mn (%)	PPC (%)	Distribuição Fe
Finos Emicon	Pilha	100%	55,22	17,93	1,25	0,036	0,01	1,65	100%
Finos Emicon	>1,68mm	33%	61,40	10,06	0,84	0,034	0,02	1,26	36%
Finos Emicon	<1,68mm	67%	53,95	19,77	1,24	0,036	0,02	1,74	64%

## Amostra: Rejeito Ipê Dinâmico

**Tabela 3** – Característica química da Pilha Rejeito Ipê

Amostra	Fluxo	Recuperação ROM	Fe (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	P (%)	Mn (%)	PPC (%)	Distribuição Fe
Rejeito Ipê Dinâmico	Pilha	100%	50,72	21,82	2,27	0,074	0,02	3,21	100%
Rejeito Ipê Dinâmico	>1,68 mm	37%	59,85	9,83	1,24	0,082	0,02	3,22	41%
Rejeito Ipê Dinâmico	<1,68 mm	63%	50,16	23,43	1,82	0,074	0,02	2,81	59%



**Figura 4** – Distribuição granulométrica.

### 3.2 Circuitos Testados

A Tabela 4 apresenta a síntese dos melhores resultados obtidos nos testes executados.

**Tabela 4** – Síntese dos melhores resultados obtidos

Circuito	Fluxo	Finos Emicon				Finos Ipê			
		Rec. Mássica	Rec. Fe	Fe	SiO <sub>2</sub>	Rec. Mássica	Rec. Fe	Fe	SiO <sub>2</sub>
Circuito Atual: Separação Mag. Alta-intensidade	Alimentação	100%		56,0	17,3	100%		50,9	22,8
	<i>CONCENTRADO FINAL</i>	65%	77%	66,7	3,5	57%	75%	66,3	3,3
	<i>REJEITO FINAL</i>	35%		36,1	43,0	43%		30,3	48,9
Circuito 1: Separação Mag. De Alta + Baixa intensidade	Alimentação	100%		56,0	17,3	100%		51,3	21,8
	<i>Conc. Magnético WDRE</i>	11%		66,6	1,8	11%		68,3	2,1
	<i>Conc. Magnético WHC</i>	58%		67,9	2,8	28%		65,1	3,5
	<i>Conc. Magnético de Finos WHC</i>	7%		66,4	3,6	25%		66,0	3,8
	<i>CONCENTRADO FINAL</i>	76%	91%	67,6	2,7	64%	83%	66,0	3,4
<i>REJEITO FINAL</i>	24%		19,7	63,0	36%		25,0	54,6	
Circuito 2: Separação Gravimétrica + Magnética de Alta-Intensidade	Alimentação	100%		56,1	17,8	100%		51,3	21,8
	<i>Concentrado Espirais</i>	40%		66,5	4,1	26%		67,0	3,0
	<i>Concentrado Magnético WHC</i>	29%		67,2	2,5	11%		66,4	3,7
	<i>Conc. Magnético de</i>	7%		66,4	3,6	25%		66,0	3,8
	<i>CONCENTRADO FINAL</i>	75%	89%	66,8	3,4	62%	80%	66,5	3,5
<i>REJEITO FINAL</i>	25%		24,6	60,0	38%		26,7	50,3	

## 4 DISCUSSÃO

A mineralogia (Tabela 1), mostrou que as amostras são compostas basicamente por hematita e quartzo. A pilha Rejeito Ipê Dinâmico apresentou quantidade de goethita e quartzo superior a dos Finos Emicon, o que justifica os teores de P e SiO<sub>2</sub> serem mais elevados nessa pilha. O estudo de liberação mostrou que ambas as amostras possuem aproximadamente 100% de liberação dos minerais de Fe, característica fundamental para o sucesso na etapa de concentração.

A pilha de Finos Emicon possui teor médio de aproximadamente 55% de Fe e 18% de SiO<sub>2</sub> (Tabela II). A amostra que alimentou os testes foi à fração <1,68mm, que representa 67% da pilha, com teor médio de 54% de Fe e 20% de SiO<sub>2</sub>.

A pilha Rejeito Ipê Dinâmico possui teor médio de 51% de Fe e 22% de SiO<sub>2</sub>. A fração < 1,68mm, representa 63% da massa da pilha. O teor médio dessa fração é de aproximadamente 51% de Fe e 23% de SiO<sub>2</sub> (Tabela 3).

Para o circuito atual, não houve grandes variações nas químicas dos concentrados magnéticos gerados entre as duas amostras estudadas. A alimentação mais rica proporcionou maior recuperação mássica e metalúrgica.

No circuito 1, na concentração com o WDRE, foi obtido apenas 11% de recuperação em massa contra 40% (Emicon) e 26% (Ipê) na concentração com espirais concentradoras no circuito 2. Tais resultados indicam as espirais concentradoras como melhor opção para o aumento da capacidade de produção da planta.

O uso das espirais concentradoras ou do WDRE não interferiu na qualidade do produto gerado na etapa seguinte, WHIMS.

O rejeito gerado na planta atual, para a amostra Fina Emicon, representa 35% da massa alimentada. Os circuitos propostos reduziram essa massa para 24%, além de reduzir o teor de Fe de 35% para 20%-25%.

O rejeito gerado na planta atual, para a amostra Ipê, representa 43% da massa alimentada. Os circuitos propostos reduziram essa massa para 36% e reduziu o teor de Fe de 30% para 25%.

Não houve grandes variações entre os concentrados finais dos circuitos propostos.

## **5 CONCLUSÃO**

Ambos os circuitos sugeridos, apresentaram resultados positivos. Obteve-se concentrado tanto por concentração magnética de média intensidade como por concentração gravítica, sendo que a segunda proporcionou um maior aumento de capacidade da planta.

## **Agradecimentos**

Agradecemos à equipe da MMX, PCM, Akaflex, Inbras e Gaustec.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 TOVAR, P. E., NAVARRO, J., PASTRANA, J. M. Flotation of low-grade iron ore. In: FLORES, S. H. C., MOISAN, J. A. (Ed.) 2nd Latin-American Congress on Froth Flotation, 1975, Concepcion, Chile. FrothFlotation. Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo: 1988. p.215-231.
- 2 CARNEIRO, A.A.O., TOUSO, A.T., BAFFA, O., Avaliação da susceptibilidade magnética usando uma balança analítica. Química Nova, vol.26 no.6 São Paulo Nov./Dec. 2003.
- 3 LINS, F. A. F., Concentração Gravítica , cap. 6 Rio de Janeiro, Dezembro 2004. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2004-184-00.pdf> Acesso em: 27 jul.2009.
- 4 DANA, J. D., Manual de Mineralogia, vol. 1, p.313, 1929.
- 5 DANA, J. D., Manual de Mineralogia, vol. 2, p.529, 1969.