

CORRELAÇÃO ENTRE BATEIA MECÂNICA, ESPIRAIS CONCENTRADORA E JIGUE¹

Alysson Antônio Borges²
Jonathan Alves Gomes Ferreira Melo³
Nilson Nedes de Paula⁴
Rodrigo Fina Ferreira⁴
Guilherme Dalalio Rodrigues Cunha⁵

Resumo

O presente trabalho visa estudar e estabelecer correlações entre bateia mecânica, espirais concentradoras e jigue em caracterizações tecnológicas aplicadas a minério de ferro. Para desenvolvimento deste estudo, foram escolhidas amostras de várias localidades/minas de minério de ferro da Vale, segundo suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas. Os testes de bateia foram realizados no laboratório de caracterização do Centro de Pesquisas Tecnológicas da Vale, localizado a 35 Km de Mariana-MG na Mina de Alegria. Para aferir e calibrar a bateia, utilizaram-se informações oriundas de amostragem industrial. Os resultados obtidos até o momento são satisfatórios, mostrando ser possível estabelecer correlação direta entre bateia mecânica e espirais concentradoras/jigagem. Testes complementares serão realizados com o objetivo de validar os resultados alcançados.

Palavras-chave: Correlação; Bateia mecânica; Espirais concentradoras; Jigue.

CORRELATION BETWEEN MECHANICAL PAN, CONCENTRATOR SPIRAL AND JIG

Abstract

The present work aims at establishing the correlation between mechanical pan, spiral concentrator and jig in technological characterization applied to an iron ore. For the development of this study, it was chosen samples of from iron ore sites of Vale. according their physical, chemical and mineralogical properties. The tests were performed at the characterization laboratory from Technological Survey Center of Vale, located 35 km away from the town of Mariana, in the Alegria Mine. To calibrate the mechanical pan, it was used data from industrial sampling. The results obtained so far are satisfactory, showing a real possibility to establish a direct correlation between mechanical pan and spiral concentrator/jig. Additional tests will be performed aiming at validating the results.

Key words: Mechanical pan; Concentrator spiral assessment; Gravimetric characterization.

¹ Contribuição técnica ao 41º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 12º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 12 a 26 de setembro de 2011, Vila Velha, ES.

² Msc. Engenheiro de Processo, Gerência Desenvolvimento Processo, Mina Alegria, Vale, Brasil.

³ Técnico de Processo, Gerência Desenvolvimento Processo, Mina Alegria, Vale, Brasil.

⁴ Engenheiro de Processo, Gerência Desenvolvimento Processo, Mina Alegria, Vale, Brasil.

⁵ Estagiário de Engenharia, Gerência Desenvolvimento Processo, Mina Alegria, Vale, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Revisão da Literatura

1.1.1 Concentração gravítica

A concentração gravítica⁽¹⁾ 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. É uma das mais antigas formas de processamento mineral e, apesar de tantos séculos de utilização, seus mecanismos ainda não são perfeitamente compreendidos. Os principais mecanismos atuantes no processo de concentração gravítica são os seguintes: aceleração diferencial, sedimentação retardada, velocidade diferencial em escoamento laminar, consolidação intersticial e ação de forças cisalhantes.

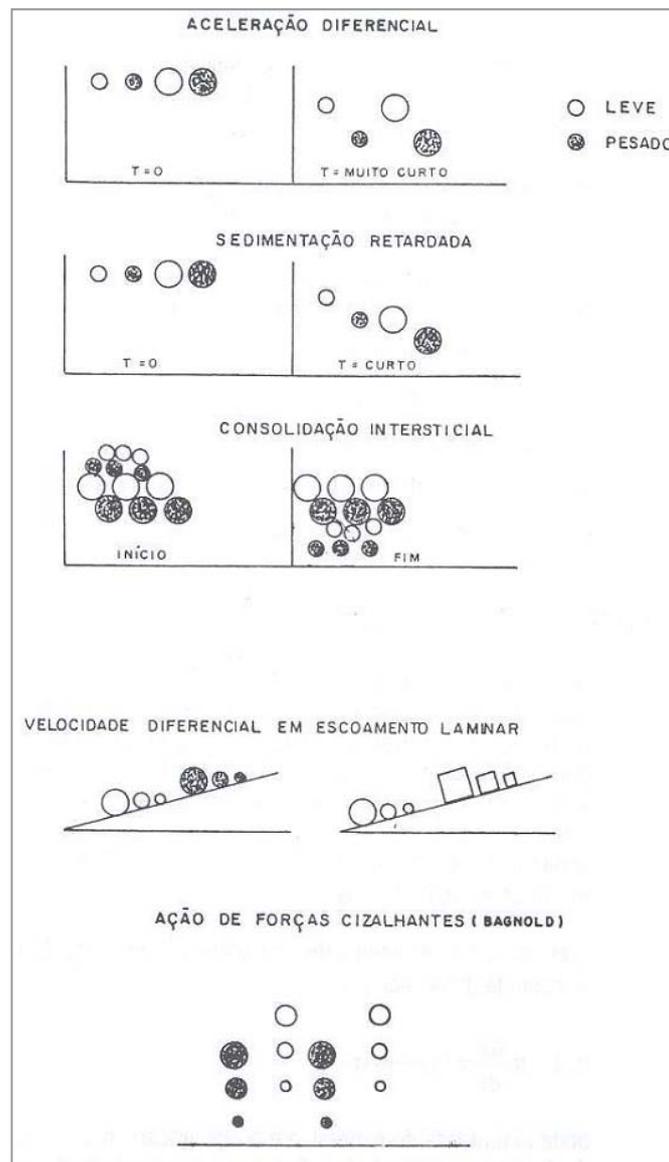


Figura 1. Mecanismos de separação da concentração gravítica.⁽¹⁾

A seguir é apresentada uma breve descrição dos dois principais equipamentos utilizados na concentração gravítica: Jigue e Espirais.

- **Jigue:** é um equipamento de concentração gravítica que é intensamente utilizado devido à sua eficiência, simplicidade de operação e manutenção. Essencialmente, o jigue é uma caixa com aberturas no topo e na base, esta última dotada de um crivo (tela). A descarga possui ainda uma comporta regulável para escoamento do fluxo de concentrado. Nesse processo, a separação dos minerais de densidades diferentes é realizada em um leito dilatado por uma corrente pulsante de água, produzindo a estratificação dos minerais. Grande parte da estratificação supostamente ocorre durante o período em que o leito está aberto, dilatado, e resulta da sedimentação retardada, acentuada pela aceleração diferencial. Estes mecanismos colocam os grãos finos/leves em cima e os grossos/pesados no fundo do leito. A consolidação intersticial, durante a sucção, põe as partículas finas/pesadas no fundo e as grossas/leves no topo do leito. Os efeitos de impulsão e sucção, se ajustados adequadamente, devem resultar em uma estratificação quase perfeita, segundo a densidade dos minerais. A figura abaixo ilustra o funcionamento de um jigue convencional;

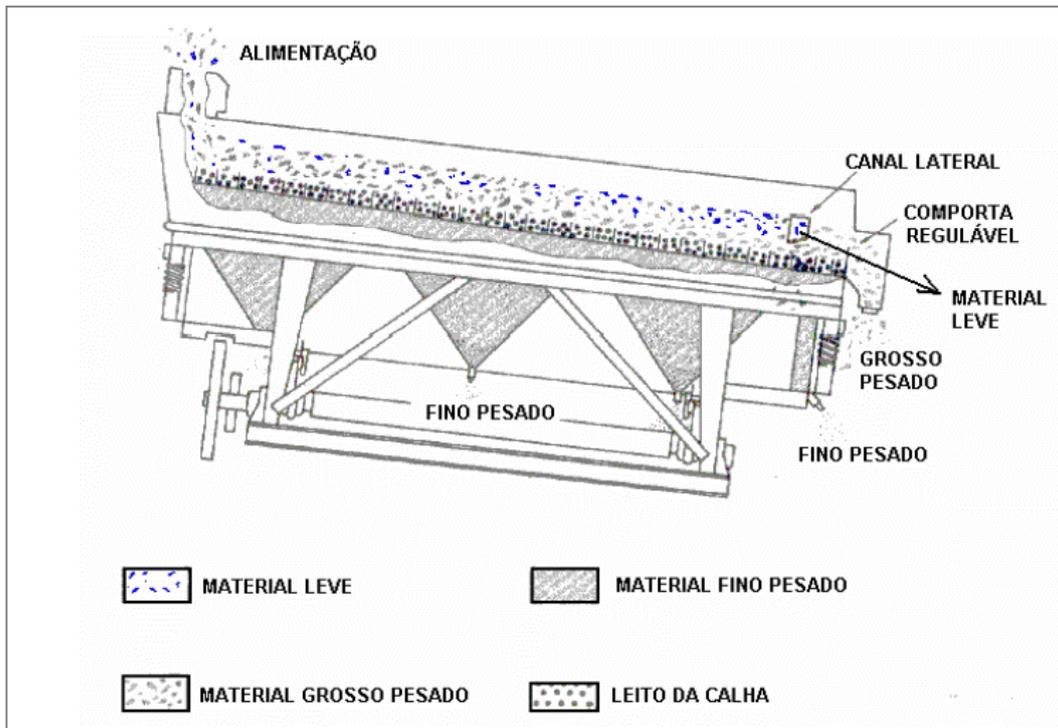


Figura 2. Diagrama representativo dos fluxos e partes componentes de um jigue.⁽¹⁾

- **Epirais Concentradoras:** são construídas na forma de um canal helicoidal de seção transversal semicircular. Muito embora sejam comercializadas espirais com características diferentes como: diâmetro e passo da espiral; perfil do canal e modo de remoção do concentrado conforme o fabricante e o fim a que se destina, os mecanismos de separação atuantes são similares. Quando a espiral é alimentada, a velocidade da polpa varia de zero na superfície do canal até um valor máximo na interface com o ar, devido ao escoamento laminar e à força de atrito. Ocorre também uma estratificação no plano vertical, usualmente creditada à combinação de sedimentação retardada e

consolidação intersticial, sendo também provável que haja a ação de esforços cisalhantes. O resultado final é que no plano vertical, os minerais pesados estratificam-se na superfície do canal, com baixa velocidade, e os minerais leves tendem a estratificar-se na parte superior do fluxo, nas regiões de maiores velocidades. A trajetória helicoidal causa também um gradiente radial de velocidade no plano horizontal, que tem um efeito menor na trajetória dos minerais pesados e substancial na dos minerais leves. Estes, devido à força centrífuga, tendem a uma trajetória mais externa. A figura abaixo apresenta o esquema de uma espiral concentradora.

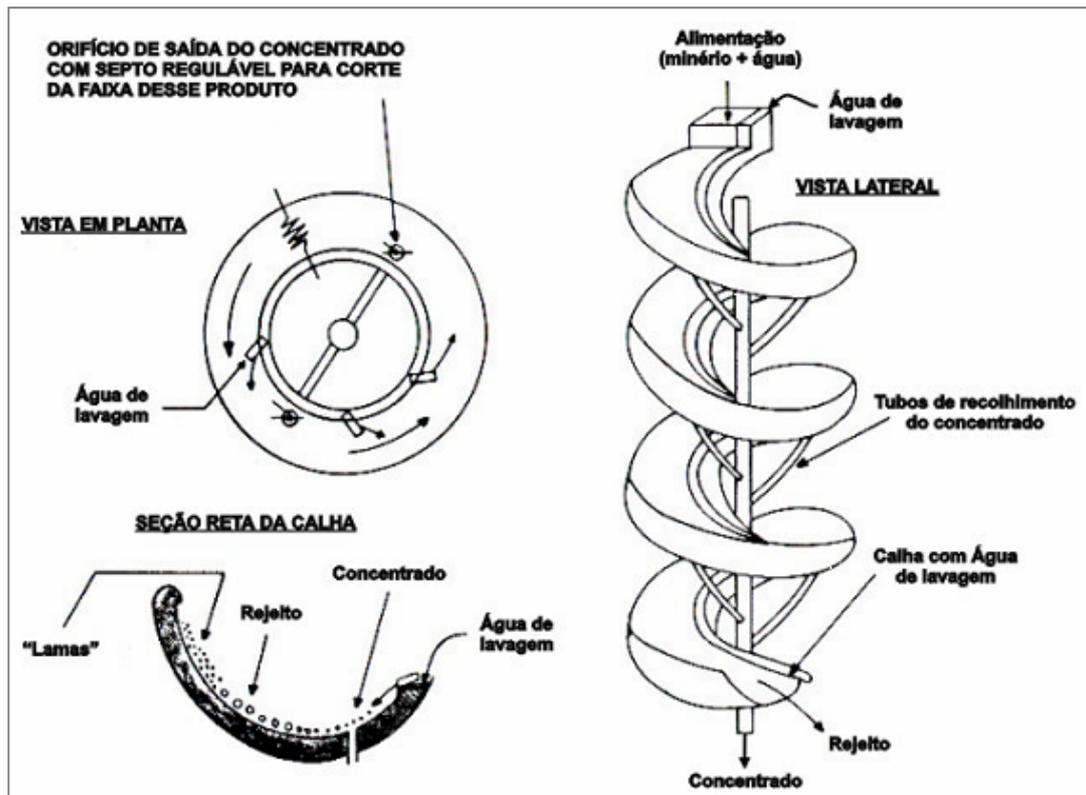


Figura 3. Esquema simplificado de uma espiral concentradora.⁽¹⁾

1.1.2 Mineralogia e a Concentração Gravítica de Minério de Ferro

Na concentração gravítica, a principal propriedade diferenciadora é a densidade das partículas minerais envolvidas no processo. Considerando as diversas características que interferem na densidade destas partículas, pode-se destacar:⁽²⁾

- porosidade da partícula: na concentração gravítica de minério de ferro, observa-se que a fração granulométrica - 8,0 +1,0 mm quando composta por partículas que possuem porosidade média superior a 30% do seu volume têm maior probabilidade de serem direcionadas para o rejeito; se menores que 10%, têm maior probabilidade de serem direcionadas para concentrado da jigagem. A goethita (FeO.OH.), em geral, apresenta densidade de partícula menor que a da hematita, para um mesmo nível de porosidade. Entretanto, a goethita, dentro de suas várias formas de ocorrência, possui uma porosidade média de partícula relativamente maior que a da hematita (frente às suas várias texturas e microestruturas). Deve-se considerar a conjugação de porosidade com tamanhos das partículas minerais envolvidas;

- associações minerais: a principal associação mineral que afeta a seletividade do processo de concentração gravítica é a do quartzo com os minerais de ferro, tanto hematita quanto goethita. Partículas que apresentam uma proporção de quartzo/hematita superior a 30/70 e porosidade superior a 30% em volume têm forte tendência de constituírem os rejeitos nesse processo, pois diminuem drasticamente a densidade do grão. Outra associação muito comum é a de caulinita $[Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8]$, gibbsita $(Al(OH)_3)$ e massas terrosas, em poros e interstícios dos minerais de ferro, promovendo a diminuição da densidade de partícula e, conseqüentemente, fazendo com que a mesma seja direcionada ao rejeito;
- forma das partículas minerais: independente da mineralogia e da textura apresentada pelas partículas, apesar de ser um caso mais típico de minérios de ferro especularíticos, partículas que possuem formas tabulares e alongadas tendem a descaracterizar o processo de estratificação das camadas no leito de partículas do jig e dificultar a reologia em espiral concentradora. Partículas com estas características, principalmente quando estão em maiores faixas granulométricas, tendem a permanecerem estacionárias, impedindo a estratificação perfeita;
- comportamento geral: não é possível generalizar a distribuição dos minerais no processo de concentração de minério de ferro por concentração gravítica, pois a distribuição mineralógica é função do conjunto de partículas presentes. Entretanto, pode-se obter um comportamento geral em termos de tendência de migração das partículas minerais em função de suas principais características intrínsecas;
- granulometria: para o minério de ferro, observa-se que as partículas menores que 1,0 mm e 0,045 mm tendem a seguir a partição de água do jig e espirais concentradoras, respectivamente, fato observado quando se vê partículas de mineral-minério no rejeito e minerais de ganga no concentrado;
- estimativa de qualidade e recuperação mássica: primeiramente faz-se o agrupamento de partículas com características morfológicas e mineralógicas semelhantes. Depois calcula-se a densidade aparente média das partículas dos grupos formados e pela análise das diferenças de densidade entre as partículas analisadas, se essas são direcionadas para concentrado ou rejeito. A partir desta análise estima-se a qualidade do concentrado e a recuperação mássica. Outra informação obtida é o Critério de Concentração (CC) que fornece uma primeira ideia do grau de dificuldade se obter uma separação entre minerais por meio de processos gravíticos.⁽³⁾ As figuras e tabelas abaixo mostram e ilustram de forma bem sucinta o procedimento utilizado para estimativa de qualidade e recuperação mássica na concentração gravítica.

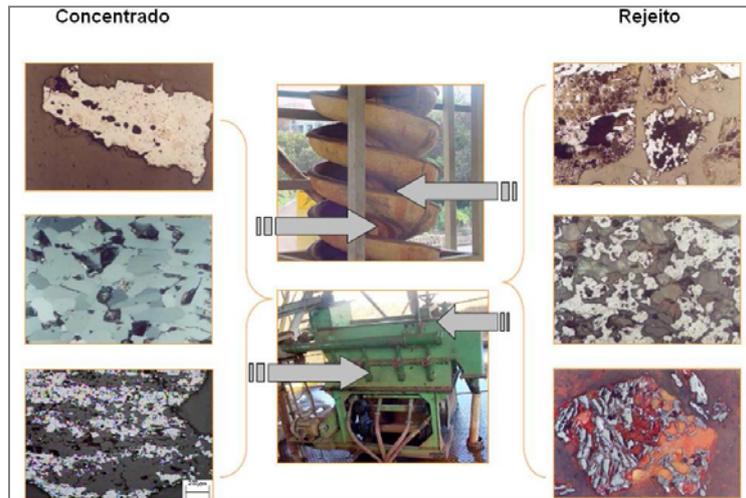


Figura 4. Características da partículas que tendem em formar concentrado e rejeito.

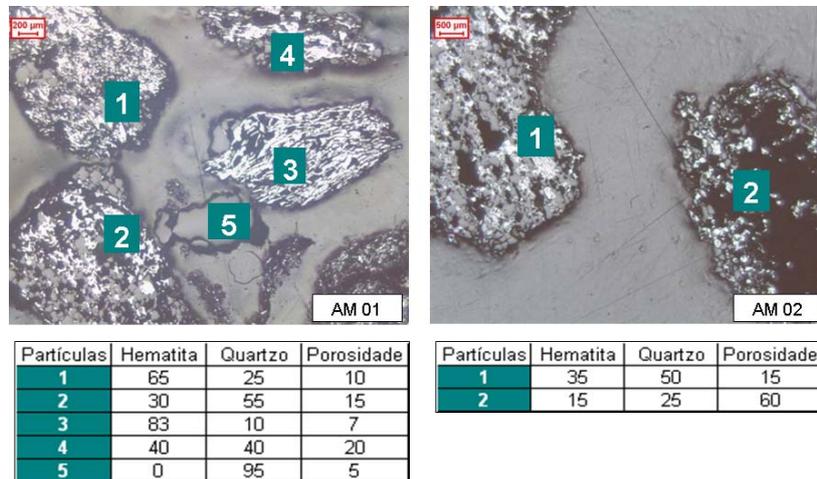


Figura 5. Estimativa da qualidade a partir da imagem a partir da microscopia ótica.

Tabela 1. Estimativa de qualidade e recuperação mássica

AM 1						
Partículas	Hematita	Quartzo	Porosidade	Destino	Densidade	CC
1	65	25	10	conc	4,08	1,29
2	30	55	15	rej	3,04	
3	83	10	7	conc	4,63	
4	40	40	20	rej	3,16	
5	0	95	5	rej	2,52	
AM 2						
Partículas	Hematita	Quartzo	Porosidade	Destino	Densidade	CC
1	35	50	15	conc	3,17	4,80
2	15	25	60	rej	1,45	
Densidade						
Hematita 5,26						
Quartzo 2,65						
Porosidade 0						

2 OBJETIVOS

O presente trabalho visa estudar e estabelecer correlações entre ensaios laboratoriais de bateia mecânica voltados para o processo de jigagem e espirais concentradoras. Todos os ensaios/testes foram realizados nas instalações do Centro de Pesquisas Tecnológicas de minério de ferro da Vale da Gerencia de Desenvolvimento de Processos de Tratamento de Minério (GADMF), localizadas na Mina de Alegria em Mariana, MG, Brasil.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização dos ensaios de bateia voltado para o processo de jigagem, utilizaram-se amostras da Mina de Brucutu, Vale, localizada no município de São Gonçalo do Rio Abaixo. Essas amostras foram coletadas na Usina de Concentração e representam a alimentação da jigagem (fração -8,0+1,0 mm).

Para realização dos ensaios de bateia voltado para as espirais concentradoras, utilizou-se uma amostra da Mina de Água Limpa, Vale, localizada no município de Rio Piracicaba. Essa amostra representa a alimentação das espirais concentradoras na etapa Rougher (fração -1,0 mm).

Os ensaios de bateia foram realizados com inclinação de 2°, frequência de 3 para fração -8,0+1,0 mm (simulação de jigagem) e 2 para fração -1,0 mm (simulação de espirais concentradoras). A água de calha ou diluição foi fixada em 15 ml/seg e o tempo de concentração variou de acordo com a quantidade de material menos denso na amostra. A massa ensaiada para cada teste foi de aproximadamente 500 g, dividida em bateladas de 40 g.

Todos os ensaios foram realizados com subsídios mineralógicos, sendo que, para cada amostra realizou-se caracterização e interpretação mineralógica utilizando microscópio ótico de luz refletida. Foram efetuadas análises qualitativas, avaliando-se as características morfológicas e texturais das partículas. Para obtenção de fotomicrografias foi empregado analisador de imagens conectado ao *software* QWin (LEICA). Tomando-se como base a análise química e mineralógica de cada amostra foi realizada definição de rota de processo, sendo avaliadas as características intrínsecas às amostras que influenciariam seu comportamento frente ao processo concentração gravítica.

A bateia mecânica basicamente consiste de um deque de separação, plano ou em forma de V (sem rifles), levemente inclinado em relação a horizontal. A figura abaixo apresenta os tipos de bateia utilizados atualmente no Centro de Pesquisas Tecnológicas.



Figura 6. Fotografias de bateia mecânica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os gráficos abaixo apresentam correlações estabelecidas entre teores de SiO_2 nos concentrados dos ensaios de bateia e teores de SiO_2 estimados pela mineralogia para este mesmo fluxo, sendo a Figura 7 a correlação obtida com amostras que representam a alimentação da Jigagem da Usina de Brucutu (fração -8,0+1,0 mm) e a Figura 8 a correlação obtida com amostras que representam a alimentação das espirais concentradoras da Usina de Água Limpa (fração -1,0 mm). Nota-se que a correlação entre os ensaios de bateia e a estimativa mineralógica é forte, tanto para amostra de Brucutu (simulando jigagem), quanto para amostra de Água Limpa (simulando espirais concentradoras).

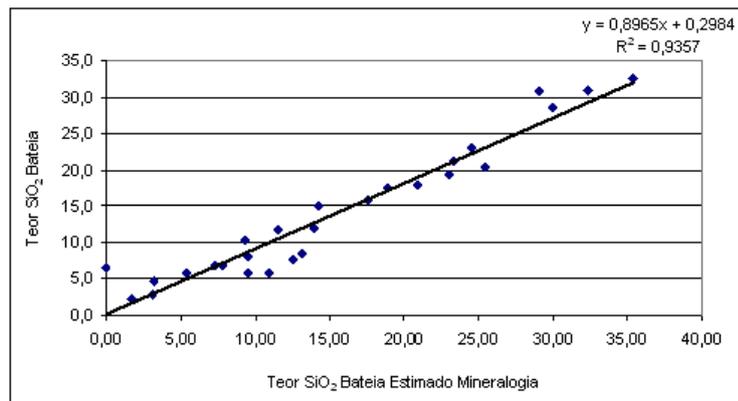


Figura 7. SiO_2 Estimada pela mineralogia X SiO_2 concentrado bateia (fração -8,0+1,0 mm).

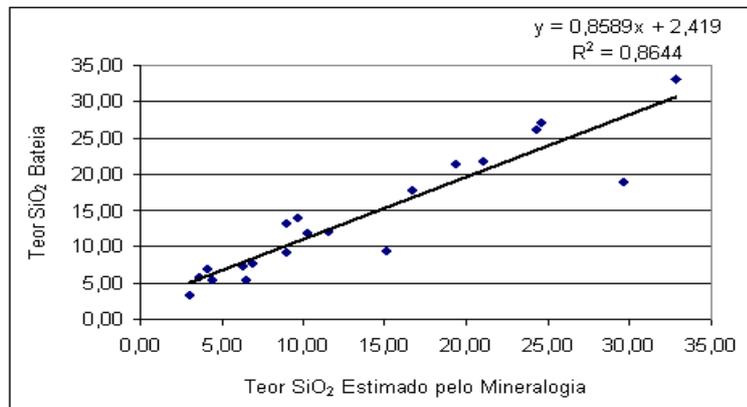


Figura 8. SiO_2 Estimada pela mineralogia X SiO_2 concentrado bateia (fração -1,0 mm).

A Tabela 2 apresenta um comparativo entre a média dos resultados obtidos nos testes de bateia e a referência industrial adotada para a Jigagem de Brucutu. Observa-se que, os resultados da bateia são bastante similares à referência industrial.

Tabela 2. Comparativo: bateia X jigagem – Usina Brucutu

Resultado Médio dos Testes de Bateia							
Fluxo	% RM	Fe	SiO ₂	P	Al ₂ O ₃	Mn	PPC
Alimentação	100,00	59,83	11,30	0,063	0,83	0,118	1,72
Concentrado	73,75	63,02	7,15	0,057	0,69	0,098	1,54
Rejeito	26,25	47,41	28,41	0,071	1,18	0,194	2,12
Referência Industrial - Jigagem da Usina Brucutu							
Fluxo	% RM	Fe	SiO ₂	P	Al ₂ O ₃	Mn	PPC
Alimentação	100,00	58,72	11,84	0,038	1,70	0,164	2,02
Concentrado	70,99	62,78	6,41	0,037	1,33	0,173	1,58
Rejeito	29,01	48,80	25,15	0,042	2,62	0,142	3,09

A Tabela 3 apresenta um comparativo entre os resultados obtidos nos testes de bateia mecânica com a amostra de alimentação das espirais rougher da Usina de Água Limpa e o resultado obtido na amostragem industrial, referentes à etapa rougher de concentração. Nota-se que foram realizados cinco testes de bateia, sendo que, no teste de número 5, buscou-se a mesma recuperação mássica obtida na industrial. Verifica-se que ao reproduzir essa recuperação mássica, a qualidade dos concentrados e rejeitos também são reproduzidas, estabelecendo-se assim para a amostra estudada uma correlação direta entre a bateia mecânica e as espirais concentradoras.

Tabela 3. Comparativo: bateia X espirais concentradoras - Usina Água Limpa

Teste	Fluxo	Rec. Mássica (%)	QUÍMICA GLOBAL					
			Fe	SiO ₂	P	Al ₂ O ₃	Mn	PPC
Usina	AL	100,0	43,00	37,31	0,01	0,49	0,06	0,26
	CO	69,3	56,88	17,30	0,01	0,45	0,05	0,30
	RJ	30,7	11,42	82,11	0,02	0,67	0,10	0,46
01	CO	61,3	62,39	10,28	0,01	0,43	0,04	0,18
	RJ	38,7	16,18	75,77	0,02	0,54	0,10	0,31
02	CO	73,5	56,60	18,24	0,01	0,44	0,04	0,20
	RJ	26,5	8,61	86,32	0,01	0,60	0,09	0,32
03	CO	80,9	52,87	23,72	0,02	0,45	0,05	0,16
	RJ	19,1	5,35	91,21	0,01	0,63	0,09	0,27
04	CO	50,2	65,65	5,60	0,01	0,43	0,04	0,13
	RJ	49,8	23,05	65,53	0,02	0,55	0,08	0,35
05	CO	70,2	57,01	17,39	0,01	0,43	0,05	0,14
	RJ	29,8	10,03	83,95	0,01	0,57	0,09	0,26

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nos testes de bateia mecânica simulando jigagem e espirais concentradoras são satisfatórios, apresentando correlações fortes e mostrando ser possível estabelecer ligações diretas entre equipamentos de laboratório e seus pares na industrial.

Pode-se considerar também como fortes, as correlações estabelecidas entre as estimativas mineralógicas para os ensaios de bateia e os resultados reais desses ensaios.

Vale ressaltar que, os resultados apresentados até o momento são referentes às amostras pontuais oriundas de duas minas da Vale. Faz-se então necessário a realização de testes complementares com amostras de outras minas, com características diferentes para confirmação e otimização dos resultados.

REFERÊNCIAS

- 1 LINS, F.A. F.; LUZ, A. B.; Tratamento de minérios, CETEM / MCT, 4ª Ed., Cap. 6, Rio de Janeiro, 2004.
- 2 QUEIROZ, L. A.; Aspectos Mineralógicos e a Concentração Gravítica de Minério de Ferro. Centro de Pesquisas Tecnológicas, Vale, Complexo Mariana, Mina Alegria, Mariana-MG, 2010.
- 3 TAGGART, A.F. Handbook of Mineral Dressing. New York: John Wiley, 1945.