

INFLUÊNCIA DE PENEIRAMENTOS SUCESSIVOS NA CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DE MINÉRIO DE FERRO¹

Richard Xavier Roberto²
Eliane Rodrigues³
Márcio Rafael D'Ángelo⁴

Resumo

O objetivo desse trabalho foi estudar o comportamento das partículas de minério de ferro em amostras de material granulado, *sinter feed* e *pellet feed* durante o processo de peneiramentos sucessivos em laboratório, avaliar estatisticamente a existência de diferenças entre o método de peneiramento e repeneiramento na mesma porção utilizada e confrontar os resultados com o erro de preparação e medida do processo de distribuição granulométrica. O trabalho abrangeu seleção de amostras, ensaios de peneiramentos sucessivos e testes estatísticos. Após o peneiramento da alíquota oficial destinada à análise granulométrica, a massa utilizada no primeiro peneiramento era alimentada novamente no set de peneiras. Desde modo, foi avaliado o viés entre os resultados oficiais e os dados após repeneiramento da amostra. Também foi avaliada a influência de peneiramentos sucessivos utilizando a mesma massa de amostra na caracterização granulométrica. Um dos resultados obtidos foi que não existem diferenças significativas entre o primeiro e o segundo peneiramento, o que permite em situações adversas repeneirar a mesma amostra. Vale ressaltar que este trabalho se baseia nos produtos referentes às minas em estudo, não podendo ser generalizado.

Palavras-chave: Distribuição granulométrica; Peneiramentos sucessivos; Minério de ferro.

INFLUENCE OF SUCCESSIVE SIEVES CHARACTERIZATION IN SIZE OF IRON ORE

Abstract

The aim of this work was studying the behavior of iron ore particles during successive sieving in the laboratory. Statistics differences were evaluated between the methods of screening and re-screening in the same portion used and compared with error of preparation and measurement of the size distribution. The work included samples selection, successive sieving tests and statistical analysis of lump ore, sinter feed and pellet feed. After official size analysis, the mass used in the first sieving was fed again on the sieving apparatus. Thus, the bias was assessed between the official results and the data after sample re-screening. The influences of successive sieving were analyzed using the same mass of the size analyses. One result indicates that there's no significant difference between the first and second screening, which allows in adverse situations re-screening the same sample. It's important observe that this work is based on products for the mines studied and can't be generalized for all kind of ore.

Key words: Size distribution; Successive sieving; Iron ore.

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 Técnico de Controle de Processo. Vale S.A., Serra do Machado s/n, Zona Rural, 35.935-000, São Gonçalo do Rio Abaixo, Brasil.

³ Química Industrial. Vale S.A., Serra do Esmeril s/n, Zona Rural, 35.900-900 Itabira, Minas Gerais, Brasil.

⁴ Analista Operacional Sênior. Vale SA., Serra do Machado s/n, Zona Rural, 35.935-000, São Gonçalo do Rio Abaixo, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

As análises de laboratório para determinação da distribuição granulométrica por peneiramento em minérios de ferro seguem a ABNT NBR ISO 4701:2009.⁽¹⁾ Essa norma determina que a amostra não deve ser composta por minério que tenha sido utilizado para outros ensaios, isso pode modificar a massa e a distribuição das partículas. Ou seja, não é recomendado que uma amostra já peneirada seja submetida a esse processo novamente.

A norma também alerta que certos minérios, particularmente granulados, podem estar sujeitos à degradação significativa durante a análise granulométrica. É de se esperar também que, além da degradação, ocorra perda de massa e liberação de finos aderidos, caso o minério seja peneirado mais de uma vez.

Entretanto, existem situações onde por algum desvio no processo, não há massa de amostra suficiente para reanálise. Tendo em vista isso, esse estudo foi necessário para verificar a possibilidade de repeneirar a mesma porção já utilizada em um ensaio, quando não houvesse amostra reserva.

O erro de preparação e medida do laboratório (β_{PM}) foi utilizado como parâmetro na avaliação estatística dos resultados.

Os resultados comprovaram a possibilidade do repeneiramento sem comprometer a confiabilidade dos resultados nas análises granulométricas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

Foram utilizados para o desenvolvimento desse trabalho:

- peneiradores: Marca Gilson - para o teste do granulado
- vibradores suspensos: Marca: Dialmática - para os testes de pellet feed e sinter feed;
- as peneiras foram da Marca Abronzinox
- balança Mettler Toledo, capacidade 50 kg, legibilidade 1 g
- balança Mettler Toledo, capacidade 32 kg, legibilidade 0,1 g
- amostras de pellet feed, sinter feed e granulado das minas do Sistema Sudeste da Vale, localizadas em Minas Gerais.

2.2 Métodos

As amostras dos produtos do beneficiamento de minério de ferro, pellet feed, sinter feed e granulado foram submetidas a um processo de preparação envolvendo homogeneização, quarteamento e coleta de incrementos para formação das porções-teste.

As massas utilizadas e o tempo de peneiramento mecânico são apresentados na Tabela 1. Esses dois parâmetros já são praticados na rotina do laboratório de modo a minimizar a degradação dos produtos de minério e a maximizar a eficiência de peneiramento.

Tabela 1 – Parâmetros de estudo

Tipo de produto	Massa utilizada (kg)	Tempo de peneiramento mecânico (min)	Fração de especificação
Pellet Feed	0,1	5	- 0,045 mm
Sinter Feed	2,5	5	- 0,15 mm
Granulado com umidade natural da amostra (~3%)	20,0	4	- 6,3 mm

Como o procedimento de peneiramento mecânico foi utilizado para realização das análises granulométricas, o mesmo foi checado para verificar se estava ajustado ao peneiramento manual, que é definido na ABNT NBR ISO 4701:2009⁽¹⁾ como procedimento de referência para essa análise.

O peneiramento manual das amostras é concluído quando a massa do passante da peneira de especificação satisfaz a regra do ponto final que é 0,1% da massa inicial do peneiramento. A peneira de especificação é aquela cuja abertura corresponde à fração granulométrica mais importante para a caracterização de um determinado produto. As frações que foram consideradas para esse trabalho estão listadas na Tabela 1.

Com o ajuste do peneiramento mecânico ao manual, era esperado que não fossem introduzidos vícios nos testes a serem realizados.

Para verificar esse ajuste foi verificado se as diferenças apresentadas entre as duas metodologias eram menores que $\sqrt{2} \beta_{PM}$. Esse é o valor de repetitividade sugerido pela norma ABNT NBR ISO 4701:2009⁽¹⁾ para uma mesma metodologia. Como as metodologias utilizadas são diferentes, o critério é mais rigoroso.

O β_{PM} representa o erro de preparação e medida da amostra, ao nível de confiança de 95% (2 desvios padrão). Os cálculos de β_{PM} são realizados em conformidade com a norma ABNT NBR ISO 3085:2003.⁽²⁾ Foram utilizados os valores históricos do laboratório.

Após a checagem do peneiramento mecânico, foram selecionadas amostras de pellet feed, sinter feed e granulado dos mesmos produtos utilizados anteriormente, para teste de peneiramentos sucessivos.

O teste consistiu em submeter à mesma porção-teste da amostra a dez peneiramentos consecutivos. Foi utilizado para isso o mesmo peneirador, jogo de peneiras, balança para pesagem das frações e analista. A cada peneiramento, após pesagem das frações, a amostra era recomposta e novamente peneirada.

O objetivo desse teste foi verificar se havia diferença significativa entre os peneiramentos. Essa diferença já é esperada devido à degradação, perda de massa e de finos aderidos sofrida entre uma análise e outra.

Ziegelaar⁽³⁾ estudou o comportamento da degradação do granulado durante peneiramentos sucessivos, mostrando que ocorria degradação de um peneiramento para outro. Para pellet feed e sinter feed não foi encontrado na literatura estudos para esses tipos de produto.

Como critério de avaliação dos peneiramentos sucessivos, foi considerado a repetitividade da norma ABNT NBR ISO 4701:2009,⁽¹⁾ ou seja, $\sqrt{2} \beta_{PM}$. Sendo assim, esse foi o valor utilizado para avaliar se as diferenças apresentadas entre o primeiro peneiramento e os demais eram aceitáveis.

Através dessa avaliação foi possível observar que para todos os tipos de produto era possível peneirar mais de uma vez a mesma porção-teste.

Com base nesse resultado, foram realizados testes de vício para dois peneiramentos sucessivos, sendo o segundo peneiramento denominado de repeneiramento.

Os testes de repeneiramento foram realizados aleatoriamente durante aproximadamente três meses. Após o peneiramento oficial, a massa utilizada no ensaio era alimentada novamente no set de peneiras. Para avaliação dos resultados foi realizado um teste de vício em conformidade com a NBR ISO 3086:2003,⁽⁴⁾ para as frações dos diversos tipos de produto em estudo. O parâmetro δ , que representa o erro máximo tolerável, foi considerado como igual à metade do β_{PM} observado no laboratório, conforme sugere a norma. Considerando que a repetição do ensaio de granulometria requer uma nova alíquota, não se obtém valores independentes de β_M (erro de medida) e β_P (erro de preparação), apenas o de β_{PM} , por isso, foi utilizado seu valor como parâmetro.

3 RESULTADOS

3.1 Comparativo dos Peneiramentos Manual e Mecânico

A diferença entre o peneiramento manual e mecânico foram verificadas peneira a peneira. Para as frações de especificação os valores utilizados para verificar o ajuste entre o peneiramento manual e mecânico, foram observados através de $\sqrt{2} \beta_{PM}$. Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros de avaliação.

Tabela 2 – Parâmetros para avaliação de peneiramento manual e mecânico

Tipo de produto	β_{PM} (%)	$\beta_{PM} \times \sqrt{2}$ (%)
Pellet Feed	1,2	1,7
Sinter Feed	2,2	3,1
Granulado	1,0	1,4

Conforme observado na Figura 1, o peneiramento mecânico para pellet feed está ajustado pelo peneiramento manual, onde a diferença absoluta apresentada entre ambos para a fração de especificação (-0,045 mm) foi de 0,4%. Seria permitido de acordo com a Tabela 2 uma diferença de até 1,7%.

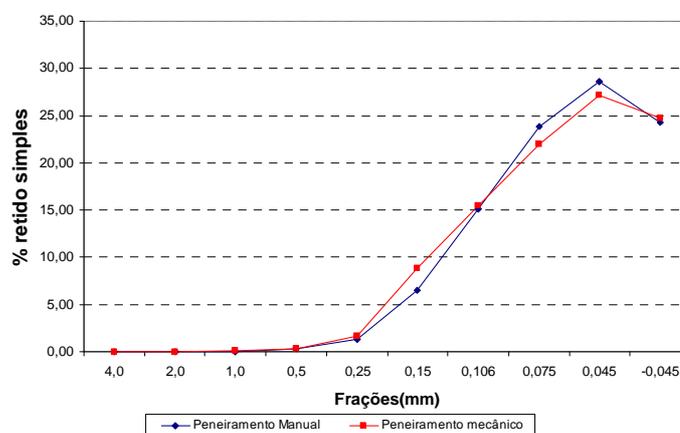


Figura 1 – Curva comparativa entre peneiramento manual e mecânico: *pellet feed*.

Para o *sinter feed*, conforme verificado na Figura 2, o peneiramento mecânico está ajustado pelo peneiramento manual, onde a diferença absoluta apresentada entre ambos para a fração de especificação (-0,15mm) é de 1,5%. O máximo permitido seria uma diferença de 3,1%.

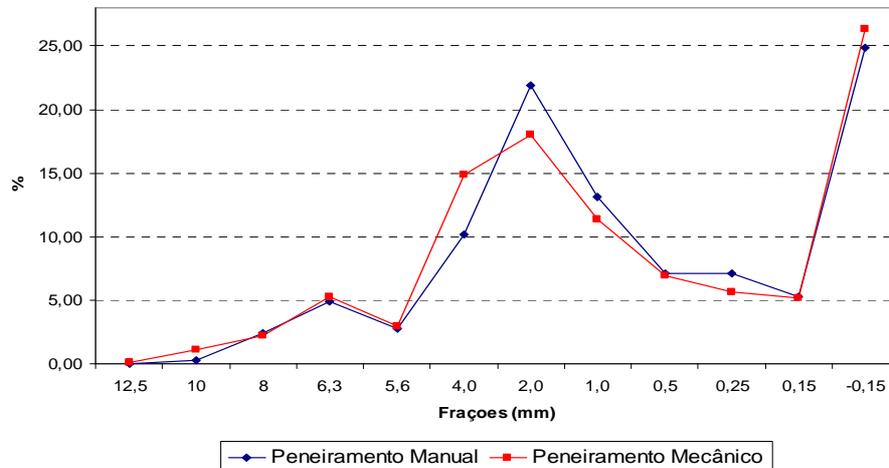


Figura 2 – Curva comparativa entre peneiramento manual e mecânico: *sinter feed*.

Na Figura 3, foi observado que para o granulado, a diferença entre o peneiramento manual e mecânico foi de 0,5%, para a fração -6,3 mm, seria aceitável uma diferença de até 1,4%.

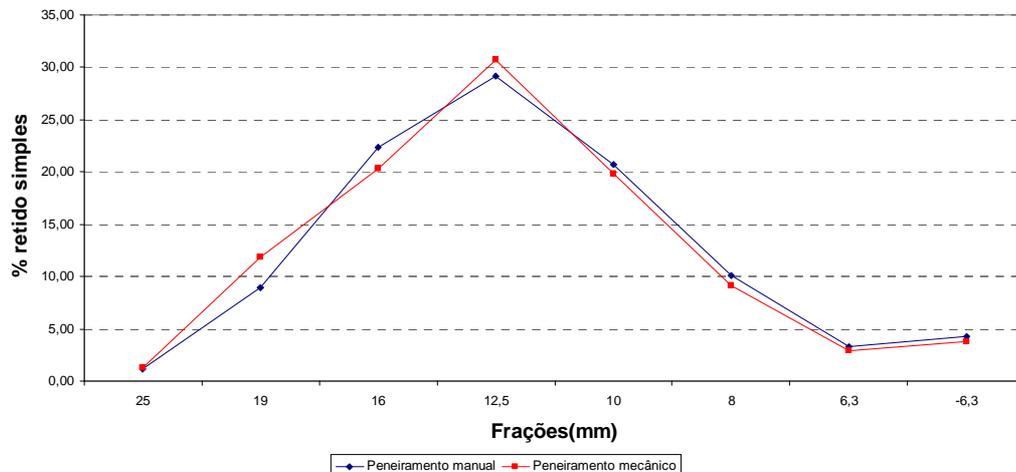


Figura 3 – Curva comparativa entre peneiramento manual e mecânico: granulado.

3.2 Testes de Peneiramentos Sucessivos

Na Tabela 3 são apresentadas as diferenças encontradas entre o primeiro peneiramento e os demais.

Como mencionado anteriormente o valor de repetitividade foi utilizado para verificar quantas vezes era possível peneirar a mesma amostra. Foi considerado que isso seria possível desde que a diferença para o primeiro peneiramento não ultrapassasse o valor de $\beta_{PM}\sqrt{2}$ (Tabela 2). Sendo assim, para pellet feed, isso é possível até o quarto peneiramento, para o sinter feed até o quinto e para o granulado até o segundo.

Tabela 3 – Diferenças percentuais entre o primeiro peneiramento e os demais

Peneiramento	Pellet Feed		Sinter Feed		Granulado	
	-0,045mm (%)	Diferença para o 1º peneiramento (%)	-0,15 mm (%)	Diferença para o 1º peneiramento (%)	-6,3 mm (%)	Diferença para o 1º peneiramento (%)
1	27,9	-	23,8	-	3,8	-
2	29,1	1,2	24,9	1,2	4,7	0,9
3	29,4	1,5	25,7	2,0	5,5	1,7
4	29,6	1,7	26,3	2,5	6,3	2,5
5	30,0	2,1	26,8	3,0	7,0	3,2
6	30,4	2,5	27,2	3,4	7,5	3,7
7	30,4	2,5	27,3	3,6	7,8	3,9
8	30,6	2,7	27,6	3,8	8,0	4,2
9	30,8	2,9	27,7	4,0	8,3	4,5
10	31,0	3,1	28,1	4,3	8,7	4,9

As Figuras 4, 5 e 6 mostram o comportamento dos diversos tipos de produto durante os peneiramentos sucessivos. Com um intervalo de confiança (CI) de 95%, todas as curvas são bem representadas através de uma equação logarítmica.

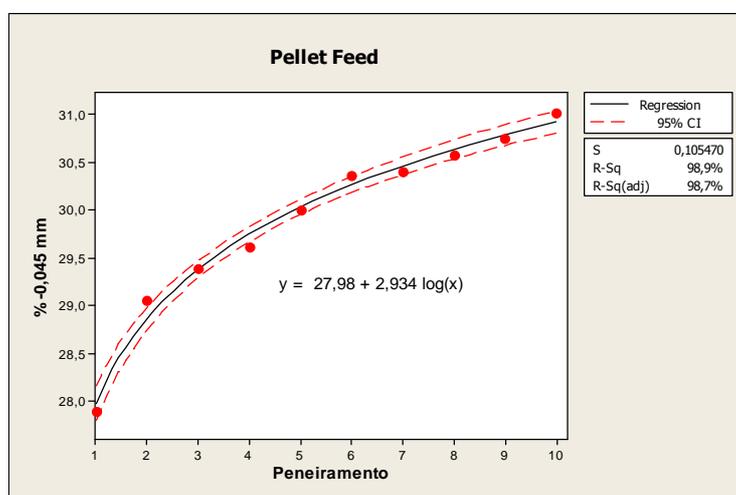


Figura 4 – Peneiramentos sucessivos para *pellet feed*.

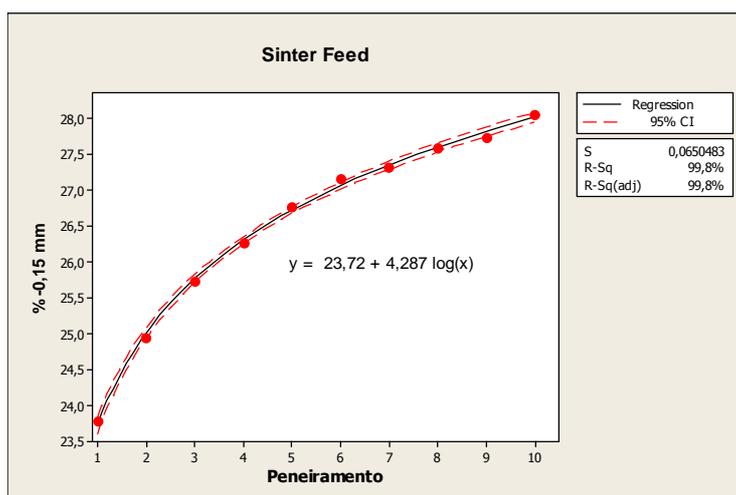


Figura 5 – Peneiramentos sucessivos para *sinter feed*.

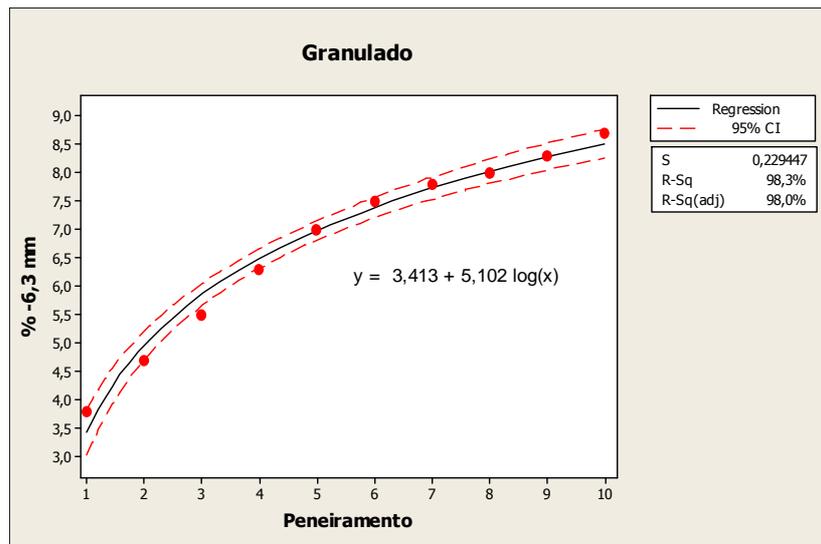


Figura 6 – Peneiramentos sucessivos para granulados.

3.3 Teste de Vício para o Processo de Repeneiramento

Para a avaliação dos resultados segundo a norma NBR ISO 3086:2003, os valores de vício no ato do repeneiramento, δ_{PM} , foram considerados como a metade da precisão de preparação e medida (β_{PM}) do laboratório e estão relacionados na Tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros para avaliação do repeneiramento

Tipo de produto	β_{PM}	δ_{PM}
Pellet Feed	1,2	0,6
Sinter Feed	2,2	1,1
Granulado	1,0	0,5

Nas Tabelas 5, 6 e 7 são apresentados os resultados dos peneiramentos e repeneiramentos de cada amostra e a avaliação estatística para verificação da existência de vício nesse processo. O que se observa é que para nenhum dos produtos trabalhados foi encontrada diferença entre os dois primeiros peneiramentos.

Tabela 5 – Determinação de vício para *pellet feed*

Tipo de Minério:
Período de estudo:

Pellet Feed
2009

Faixa granulométrica: -0,045mm

A: Peneiramento oficial
B: Repeneiramento

Amostra				
	X_{Ai}	X_{Bi}	$d_i = X_{Bi} - X_{Ai}$	d_i^2
1	26,2	24,6	-1,60	2,560
2	24,8	25,1	0,30	0,090
3	23,6	24,5	0,90	0,810
4	27,2	26,2	-1,00	1,000
5	22,5	23,4	0,90	0,810
6	22,0	22,2	0,20	0,040
7	25,6	25,9	0,30	0,090
8	26,7	26,7	0,00	0,000
9	25,1	25,4	0,30	0,090
10	25,5	25,3	-0,20	0,040
11	28,9	29,4	0,50	0,250
12	26,4	26,2	-0,20	0,040
13	25,3	25,7	0,40	0,160
14	24,5	25,5	1,00	1,000
15	24,0	24,6	0,60	0,360
16	22,0	22,4	0,40	0,160
17	24,1	24,9	0,80	0,640
18	25,6	27,2	1,60	2,560
19	26,1	26,2	0,10	0,010
SOMA	476,1	481,4	5,30	10,710
MÉDIA	25,1	25,3	0,279	0,564

ESTATÍSTICA

SSd :	9,232	TESTE GRUBBS' PARA OUTLIER		Gcrit
Sd :	0,716	Maior valor de di :	1,6000	Gn : 1,845
t :	1,734	Menor valor de di :	-1,6000	G1 : 2,624
Delta =	0.6	LI :	-0.0060	Análise estatística : NÃO HÁ DIFERENÇA ENTRE A e B
		LS :	0.5638	

Tabela 6 – Determinação de vício para *sinter feed*

Tipo de minério: Sinter Feed
 Período de estudo: 2009 Faixa granulométrica.: -0,15mm

A: **Peneiramento oficial**
 B: **Repeneiramento**

Amostra	X _{Ai}	X _{Bi}	d _i = X _{Bi} - X _{Ai}	d _i ²
1	19,3	20,5	1,21	1,46
2	20,9	21,4	0,45	0,20
3	21,7	23,0	1,25	1,56
4	18,9	20,0	1,05	1,10
5	20,9	21,4	0,45	0,20
6	21,3	22,7	1,40	1,96
7	24,7	26,1	1,40	1,96
8	27,0	27,8	0,80	0,64
9	29,6	29,5	-0,10	0,01
10	28,2	28,6	0,40	0,16
11	26,8	28,4	1,60	2,56
12	26,6	27,5	0,90	0,81
13	26,2	26,8	0,60	0,36
14	27,6	27,8	0,20	0,04
15	24,7	25,3	0,60	0,36
16	26,7	27,2	0,50	0,25
17	25,8	26,9	1,10	1,21
18	33,0	32,1	-0,90	0,81
19	25,5	26,4	0,90	0,81
20	33,5	33,1	-0,40	0,16
21	28,5	29,1	0,60	0,36
SOMA	537,4	551,4	14,01	16,99
MÉDIA	25,6	26,3	0,67	0,81

ESTATÍSTICA

SSd :	7,647	TESTE GRUBBS' PARA OUTLIER		Gerit
Sd :	0,618	Maior valor de di :	1,6000	Gn : 1,509 2,73300
t :	1,725	Menor valor de di :	-0,9000	G1 : 2,534
Delta =	1,1	LI :	0,4344	Análise estatística :
		LS :	0,8999	NÃO HÁ DIFERENÇA ENTRE A e B

Tabela 7 – Determinação de vício – granulado

Tipo de Minério: Granulado
 Período de estudo: 2009 Faixa granulométrica: -6,3mm

A: **Peneiramento Oficial**
 B: **Re-peneiramento**

Amostra	X _{Ai}	X _{Bi}	d _i = X _{Bi} - X _{Ai}	d _i ²
1	4,900	5,400	0,500	0,250
2	4,000	4,300	0,300	0,090
3	7,500	7,800	0,300	0,090
4	4,000	4,500	0,500	0,250
5	4,200	4,500	0,300	0,090
6	5,500	5,800	0,300	0,090
7	8,300	8,600	0,300	0,090
8	2,900	3,300	0,400	0,160
9	7,900	8,200	0,300	0,090
10	7,900	8,100	0,200	0,040
11	3,400	4,300	0,900	0,810
12	7,400	7,800	0,400	0,160
13	3,500	3,700	0,200	0,040
SOMA	71,4	76,3	4,9	2,3
MÉDIA	5,5	5,9	0,4	0,17

ESTATÍSTICA

SSd :	0,403	TESTE GRUBBS' PARA OUTLIER		Gcrit
Sd :	0,183	Maior valor de d _i :	0,9	Gn : 2,854
t :	1,782	Menor valor de d _i :	0,2	G1 : 0,965
Delta =	0,5	LI :	0,29	Análise estatística : NÃO HÁ DIFERENÇA ENTRE A e B
		LS :	0,47	

4 CONCLUSÃO

Após os diversos testes foi observado que dentro dos parâmetros utilizados nos laboratórios é possível peneirar mais de uma vez a mesma amostra. Dessa forma, quando por algum desvio no processo, não houver massa de amostra suficiente para reanálise, é possível recompôr a mesma e efetuar um novo peneiramento.

A geração de finos, a degradação e outros erros aleatórios inerentes ao processo, não serão maiores do que quando se peneira outra alíquota obtida a partir da amostra natural.

É importante salientar que esses resultados são válidos para os tipos de produto estudados. Para outros materiais é necessário um estudo detalhado para verificar se é possível o repeneiramento da mesma porção da amostra.

Agradecimentos

Agradecimentos aos colaboradores na execução dos testes: Carlos Maurílio dos Santos e Joanito Abris e ao engenheiro Mário Alzamora Gomes pelas colaborações técnicas.

REFERÊNCIAS

- 1 NBR ISO 4701:2009 – Minérios de ferro e pré-reduzidos – Determinação da distribuição granulométrica por peneiramento.
- 2 NBR ISO 3085:2003 – Minérios de ferro – Métodos Experimentais para verificação da precisão da amostragem.
- 3 Ziegelaar, B. **Report on degradation of lump ore.** ISO / TC 102 / SC 1 N 850 E. 12/08/1998.
- 4 NBR ISO 3086:2003 – Minérios de ferro – Métodos experimentais para verificação do vício de amostragem.