



# CORRELAÇÃO ENTRE LEITURA LASER, PERMEABILIMETRO DE BLAINE E PENEIRAMENTO PARA SUPERFÍCIE ESPECÍFICA E GRANULOMETRIA DE MINÉRIO DE FERRO\*

Gilvandro Bueno<sup>1</sup>

William Wagner Dettoni Regattieri<sup>2</sup>

Caio Daher Carneiro Gamberini<sup>3</sup>

## Resumo

Os controles dos processos de cominuição estão normalmente associados à redução de granulometria e geração de superfície específica, usualmente utiliza-se peneiramento para medição de granulometria e permeabilímetro de Blaine para superfície específica, estes métodos são largamente utilizados para este fim. O método *on line* por difratômetros a laser também pode ser empregado para estas medições na indústria, como se trata de uma tecnologia recentemente adaptada para ao processo de Pelotização, foi necessário validar o equipamento e determinar equações de correlação de leitura com os equipamentos existentes. O trabalho consistiu em realizar uma série de amostragens cujas amostras foram analisadas no equipamento industrial a laser, em seguida analisadas em laboratório. As equações de correlações obtidas foram inseridas no equipamento industrial de medição *on line* por laser tornando a leitura familiar aos obtidos pelas análises de laboratório, onde foi possível garantir confiabilidade para tomadas de decisões.

**Palavras-chave:** Laser Vs Permeabilímetro e peneiramento; Superfície específica.

## CORRELATION BETWEEN LASER READING, BLAINE AIR PERMEABILITY APPARATUS AND SCREENING FOR SPECIFIC SURFACE AND PARTICLE SIZE OF IRON ORE

### Abstract

The control process of comminution are normally associated with reduction size and generating specific surface, screening is usually used to size measuring and Blaine Air Permeability Apparatus to measure specific surface, this methods are reliable and widely used for this purpose. The online method by laser diffraction can be employed for this measurement in industry, since this is a newly adapted to the pelletizing process technology, it was necessary to validate the equipment and determine the correlation equations reading with existing equipment. The study consisted of performing a series of samples whose samples were analyzed in the industrial laser equipment then analyzed in the laboratory. These equations were incorporated in the industrial measurement equipment online laser making family reading those obtained by laboratory analysis, where it was possible to ensure reliability for decision making

**Keywords:** Laser vs. Air permeability apparatus and screening; Blaine; Particle size.

<sup>1</sup> Engenheiro Metalurgista, Engenheiro de Processo Máster, Vale, Vitória, ES, Brasil.

<sup>2</sup> Técnico de Metalurgia, Técnico Especializado de Processo, Vale, Vitória, ES, Brasil.

<sup>3</sup> Estudante de Engenharia, 10<sup>o</sup> Período de Engenharia de Produção, IFES, Vitória, ES, Brasil.

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



## 1 INTRODUÇÃO

No processo de aglomeração para formação de pelotas, forças de adesões capilares são importantes mecanismos para garantir uma boa resistência da pelota crua. Para maximizar estas forças é necessário um controle apurado tanto de granulometria quanto de superfície específica do minério de ferro.

Os métodos de peneiramento e permeabilímetro de Blaine são largamente utilizados para mensuração da distribuição granulométrica e de superfície específica respectivamente. A distribuição granulométrica é expressa em percentual retido ou passante em determinada malha de peneira e a superfície específica representa a soma da área das partículas em uma determinada massa, normalmente expressa em  $\text{cm}^2/\text{g}$  ou  $\text{m}^2/\text{kg}$ . Para evitar uma quantidade excessiva de trabalho e tempo, em alguns processos somente a porção menor que 0,045 mm é determinada por peneiramento e expressa em percentual passante. A faixa onde se encontra os micro finos ( $< 0,02\text{mm}$ ) é determinada através permeabilidade da amostra, preparada de acordo com especificações e mensurada em superfície específica via permeabilímetro de Blaine.

A tecnologia de medição por difratômetros a laser também pode ser empregada para a medição da distribuição granulométrica e de superfície específica em vários ramos industriais. Devido à natureza irregular das partículas, o tamanho da partícula medido por este método é definido como tamanho equivalente à esfera. Este método produz resultados rápidos e vem ganhando espaço nos processos industriais, no entanto como se trata de uma tecnologia recentemente adaptada para ao processo de pelletização, foi necessário validar o equipamento e determinar equações de correlação entre os equipamentos já existentes.

A metodologia do trabalho consistiu em realizar uma série de amostragens cujas amostras foram analisadas primeiramente no equipamento industrial em campo a laser e em seguida levadas ao laboratório para análise de bancada com a mesma tecnologia laser e analisadas também em peneiras para determinação da granulometria passante em 0,045 mm e permeabilímetro de Blaine para determinação da superfície específica. De posse dos resultados pôde-se estabelecer equações de correlação de leitura entre os métodos, de modo a não haver perda na precisão de análise e demonstração dos resultados. Estas equações foram inseridas no equipamento industrial de medição *on line* por laser tornando a leitura familiar aos resultados obtidos pelas análises de laboratório, onde foi possível garantir confiabilidade para tomadas de decisões no controle de processo da moagem.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado utilizando-se duas frentes: uma através da compilação dos resultados analisados pelo difratômetros industrial e outra através de amostragem, tratamento das mostras em laboratório, análises e compilação dos resultados. O equipamento industrial além de realizar as análises também serviu para coleta de amostra para posterior análise em laboratório. Este procedimento garantiu que a mesma amostra fosse analisada por métodos distintos verificando-se a calibração do equipamento industrial, bem como se existe uma correlação entre os valores analisados por este comparado aos métodos tradicionais de análise em laboratório.

A figura 1 abaixo descreve a sequência utilizada no trabalho.

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

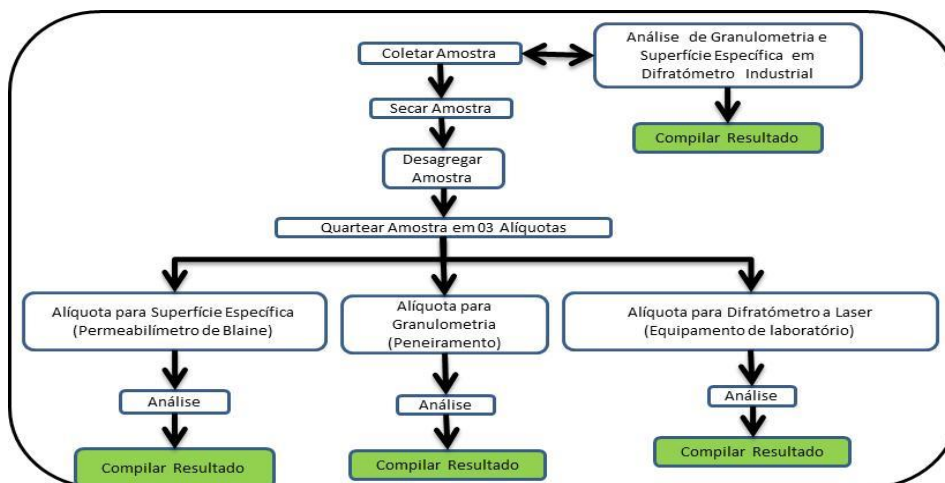


Figura 1. Fluxograma com a sequência de trabalho

## 2.1 Amostragem

O equipamento industrial de análise de granulometria e superfície específica por difratômetro a laser, além de direcionar a amostra colhida para realizar as análises, este possui também uma derivação para coleta de amostra com a finalidade de realizar sua calibração. Esta derivação foi utilizada para coleta das amostras para serem analisadas no laboratório.

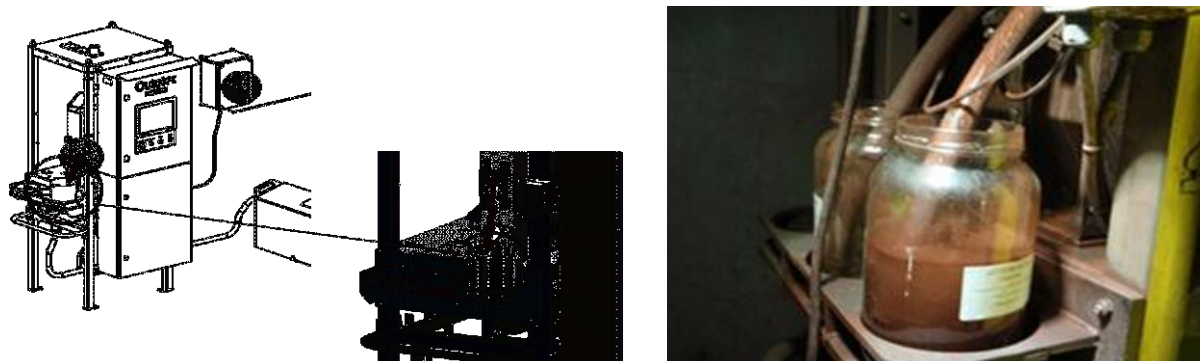


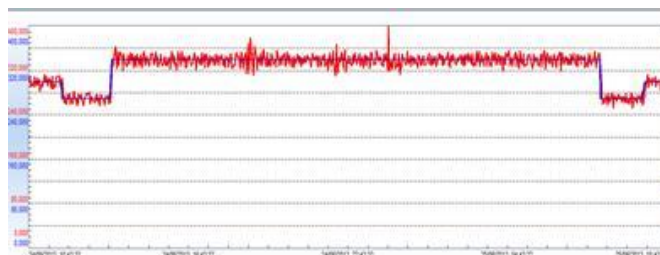
Figura 2. Ponto de coleta de amostra no equipamento industrial

Para realização do trabalho foram coletadas amostras variando-se a taxa de alimentação dos moinhos em 270 t/h, 300 t/h e 340 t/h, estes valores foram definidos tomando-se como referencia as taxas mínimas, médias e máximas normalmente operadas nestes moinhos. Esta variação teve como objetivo proporcionar de forma forçada uma variação nas granulometrias e superfícies específica analisadas de modo a gerar a maior distribuição de pontos ao longo das curvas de correlações. Esta condição de teste foi repetida 06 vezes para cada moinho tomando-se o cuidado de não realizar 02 amostras com a mesma taxa sequencialmente no mesmo moinho, ao todo foram geradas 36 amostras para realização do trabalho. Entre uma amostra e outra foi aguardado um intervalo de no mínimo 1 hora para que houvesse estabilização do circuito com a nova taxa de alimentação. Este procedimento foi adotado tomando-se como referencia um trabalho semelhante realizado anteriormente em outra planta de moagem. Conforme mencionado anteriormente o equipamento industrial realiza simultaneamente a análise e coleta de amostra externa, os valores analisados pelo

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



equipamento durante a amostragem foram compilados para posterior comparação e geração da curva de calibração entre este método e as análises de laboratório.



**Figura 3.** Taxas de alimentação dos moinhos durante o teste



**Figura 4.** Compilação dos resultados analisados pelo equipamento industrial

**Tabela 1.** Sequência de amostragem em diferentes taxas de alimentação da moagem

Sequência do Teste de Calibração e Correlação						
1	2	3				
270	300	340				
Horário	4M6A (t/h)	Nº Amostra	Status	4M6B (t/h)	Nº Amostra	Status
1º	300	1		300	2	
2º	270	3		340	4	
3º	340	5		300	6	
4º	270	7		270	8	
5º	300	9		340	10	
6º	340	11		270	12	
7º	270	13		300	14	
8º	340	15		340	16	
9º	300	17		270	18	
10º	270	19		300	20	
11º	300	21		340	22	
12º	340	23		300	24	
13º	270	25		270	26	
14º	300	27		340	28	
15º	340	29		270	30	
16º	270	31		300	32	
17º	340	33		340	34	
18º	300	35		270	36	

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.




**Figura 5.** Amostras coletadas

01	Line 1 Cum. Fraction at 75	88.187
02	Line 1 Cum. Fraction at 45	73.543
03	Line 1 Cum. Fraction at 38	67.162
04	Line 1 Cum. Fraction at 13	31.389
05	Line 1 Cum. Fraction at 8	21.639
06	Line 1 Blaine Number	153.841
07	Line 2 Cum. Fraction at 75	82.733
08	Line 2 Cum. Fraction at 45	63.155
09	Line 2 Cum. Fraction at 38	55.611
10	Line 2 Cum. Fraction at 13	23.178
11	Line 2 Cum. Fraction at 8	16.160
12	Line 2 Blaine Number	122.271

**Figura 6.** Resultado gerado pelo analisador industrial

## 2.2 Análises em Laboratório

As amostras coletadas foram enviadas ao laboratório onde foram secadas individualmente em estufa, desagregadas e quarteadas gerando-se 03 alíquotas sendo 01 para análise granulométrica em peneirador aerodinâmico tipo Alpine, 01 para análise de superfície específica em permeabilímetro de Blaine e 01 para análise de granulometria e superfície específica em difratômetro a laser utilizando-se o Malvern.

As análises em difratômetro a laser de laboratório teve como objetivo verificar a calibração do equipamento industrial de campo, pois ambos utilizam a mesma metodologia de análise, já o permeabilímetro de Blaine e o Alpine forma utilizados para correlação do equipamento industrial com as análises rotineiras de laboratório, pois estas análise são realizadas nestes equipamentos.


**Figura 7.** Preparação das amostras para análise no laboratório

## 2.3 Descrição dos Equipamentos

A seguir serão descritos resumidamente o princípio de funcionamento dos equipamentos de análises utilizados neste trabalho.

\* *Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*



### 2.3.1 Difratorômetro a laser industrial

O Difratorômetro é um instrumento *on line* de medição da granulometria e superfície específica das partículas diluídas na polpa de minério. O princípio utilizado é difração de luz laser, com o cálculo das dispersões para análise da distribuição granulométrica em diversas faixas (1µm até 500µm).

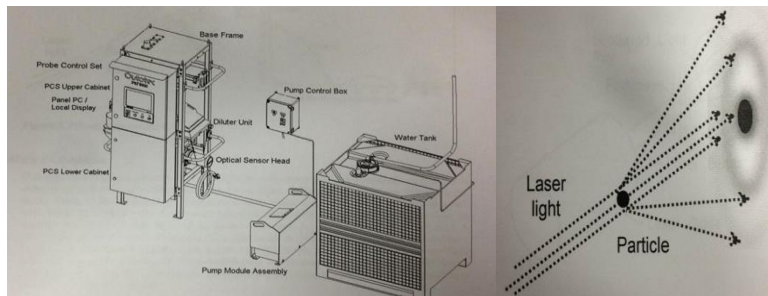


Figura 8. Difratorômetro a laser

### 2.3.2 Difratorômetro a laser de laboratório

O difratorômetro a laser de laboratório utiliza o mesmo princípio de funcionamento do equipamento industrial, este equipamento foi utilizado para análise de granulometria e superfície específica com o objetivo de verificar a calibração do equipamento industrial, o equipamento utilizado nas análises de laboratório foi fabricado pela Malvern.



Figura 9. Difratorômetro a laser de laboratório

### 2.3.3 Peneirador aerodinâmico

É uma peneira que tem uma força interna gerada por um vácuo, que auxilia no peneiramento, método utilizado no laboratório para medição de granulometria. Este método é utilizado pelo laboratório para as análises de rotina, o objetivo desta análise foi procurar estabelecer uma correlação entre os resultados de granulometria deste método aos resultados do equipamento industrial de análise por difratorômetro a laser.

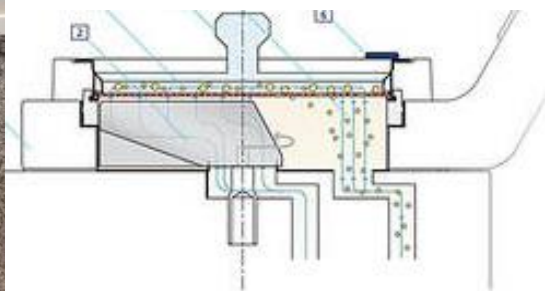


Figura 10. Peneirador aerodinâmico

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



### 2.3.4 Permeabilímetro de Blaine /Fisher

Estes equipamentos de análise de superfície específica são baseados no princípio de permeabilidade do ar que passa por uma coluna compacta. No aparelho, lê-se o diâmetro médio da partícula, numa escala de 0,2 a 50  $\mu\text{m}$ . Este método é utilizado pelo laboratório para as análise de rotina, o objetivo desta análise foi procurar estabelecer uma correlação entre os resultados de superfície específica deste método aos resultados do equipamento industrial de análise por difratômetro a laser. Como todos os testes foram realizados no laboratório da planta piloto e esta unidade não opera com o equipamento Blaine optou-se então, em realizar o teste com o equipamento Fisher. Esta decisão não acarreta prejuízos aos resultados encontrados, uma vez que o equipamento Fisher já opera com curva de transformação para Blaine.



Figura 11. Permeabilímetro de Blaine



Figura 12. Permeabilímetro de Fisher

## 2.4 Tratamento Estatístico

Em pesquisas, frequentemente, procura-se verificar se existe relação entre duas ou mais variáveis, isto é, saber se as alterações sofridas por uma das variáveis são acompanhadas por alterações nas outras, a verificação da existência e do grau de relação entre as variáveis é o objeto de estudo da correlação.

### 2.4.1 Correlação linear simples

Uma vez caracterizada a relação entre as variáveis, procura-se descrevê-la sob forma matemática, através de uma função. É conveniente usar para medida de correlação, o coeficiente de correlação linear de Pearson, como estimador de  $r_{xy}$ .

O coeficiente de correlação  $r_{xy}$  linear é um número puro que varia de  $-1$  a  $+1$  e sua interpretação dependerá do valor numérico e do sinal, como segue:

A regra básica dos níveis de resposta de  $r$  para um teste de hipótese com correlação  $r_{xy}$  é:

- $r_{xy} = -1$  – Correlação perfeitamente negativa;
- $-1 < r_{xy} < 0$  – Correlação negativa;
- $r_{xy} = 0$  – Correlação nula;
- $0 < r_{xy} < 1$  – Correlação positiva;
- $r_{xy} = 1$  – Correlação fortemente positiva;
- $0,2 < r_{xy} < 0,4$  – Correlação fraca\*
- $0,4 < r_{xy} < 0,7$  – Correlação moderada\*
- $0,7 < r_{xy} < 0,9$  – Correlação forte\*

\*possui o mesmo significado para os casos negativos ou positivos.

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.





## 2.4.2 Coeficiente de determinação R<sup>2</sup>

Indica a proporção de variação da variável independente que é explicada pela variável dependente, ou seja, é uma ferramenta que avalia a qualidade do ajuste. Quanto mais próximo da unidade o R<sup>2</sup> estiver, melhor a qualidade do ajuste. O seu valor fornece a proporção da variável Y explicada pela variável X através da função ajustada.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises realizadas com as amostras geraram bancos de dados conforme tabelas 2 e 3 abaixo que serviram de suporte para este trabalho.

**Tabela 2.** Valores para verificação de calibração

S.E. (cm <sup>2</sup> /g) Malvern	SE (m <sup>2</sup> /kg) Industrial	<0,045 mm (%) Malvern	<0,045 mm (%) Industrial
1260	122,3	69,4	60,8
1160	111,3	69,0	59,3
1050	101,0	64,2	54,7
1370	132,2	72,8	64,8
1120	104,8	66,2	58,1
1230	121,3	69,4	60,5
1360	136,2	73,1	67,3
1250	122,6	70,9	62,3
1310	130,4	72,4	64,4
1060	100,7	63,8	54,2
1150	111,5	69,3	61,3
1260	131,6	66,1	58,0
1130	112,2	67,4	59,2
1070	100,5	64,2	54,7
1310	132,0	67,0	57,4
1150	113,5	69,3	62,7
1250	127,8	70,5	62,0
1380	140,3	66,8	57,9
1050	102,2	71,4	64,2
1120	106,2	64,3	55,3
1130	112,5	63,4	54,5
1510	153,8	66,8	59,3
1240	124,4	78,5	73,5
1370	134,5	71,0	63,7
1170	114,0	73,1	65,9
1090	101,2	79,1	74,8
1230	117,9	66,7	58,9
1260	130,4	76,6	69,7
		67,6	58,2
		68,3	60,8
		72,2	66,5

**Tabela 3.** Valores para estabelecer correlações

<0,045 mm (%) Alpine	<0,045 mm (%) Industrial	S.E. (cm <sup>2</sup> /g) Permeabilímetro	SE (m <sup>2</sup> /kg) Industrial
85,2	60,8	1574	111,3
80,5	54,7	1401	101,0
88,0	64,8	1471	104,8
82,8	58,1	1693	121,3
85,7	60,5	1824	136,2
87,9	67,3	1659	122,6
85,9	62,3	1796	130,4
86,8	64,4	1376	100,7
85,1	61,3	1612	118,9
83,5	59,2	1528	111,5
82,9	54,7	1538	112,2
84,3	57,4	1326	100,5
87,7	64,2	1584	112,4
82,1	55,3	1796	132,0
81,7	54,5	1286	100,3
84,6	59,3	1977	140,3
92,5	73,5	1300	102,2
87,7	63,7	1471	106,2
89,5	65,9	2110	153,8
84,3	58,9	1579	124,4
86,9	61,2	1810	134,5
84,9	60,8	1480	114,0
81,8	58,0	1448	113,4
87,5	64,9	1937	140,2
87,4	66,5	1289	101,2
		1538	117,9

Das tabelas 2 e 3 acima foram extraídos os valores para compor as correlações em pares conforme descrição e tabelas abaixo:

- Calibração de Superfície Específica (S.E.): S.E. Malvern (cm<sup>2</sup>/g) X S.E. Equipamento Industrial (m<sup>2</sup>/kg);
- Calibração de Granulometria passante em 0,045 mm: % <0,045mm Malvern X % <0,045 mm Equipamento Industrial;
- Correlação de Superfície Específica (S.E.): S.E. Permeabilímetro (cm<sup>2</sup>/g) X S.E. Equipamento Industrial (m<sup>2</sup>/kg);
- Calibração de Granulometria passante em 0,045 mm: % <0,045mm Alpine X % <0,045 mm Equipamento Industrial.

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.





### 3.1 Verificação de Calibração

A verificação de calibração foi realizada através de gráficos de dispersão e linha onde pôde-se avaliar o grau de correlação entre as análises realizadas pelo equipamento industrial com as analisadas no laboratório pelo mesmo método.

#### 3.1.1 Calibração de superfície específica

De posse dos dados da tabela 2 foi possível verificar o grau de correlação entre o equipamento industrial e o equipamento de laboratório, Malvern, para superfície específica gerando os gráficos abaixo. Foi constatado que o equipamento está calibrado para leitura de superfície específica pois, o coeficiente de correlação linear ( $r_{xy}$ ) encontrado foi de 0,98 com qualidade do ajuste ( $R^2$ ) de 0,96 conforme apresentado na figura 13.

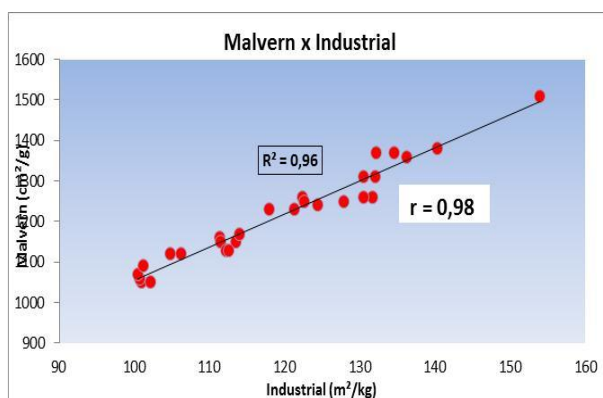


Figura 13. Dispersão Malvern x Industrial – S.E

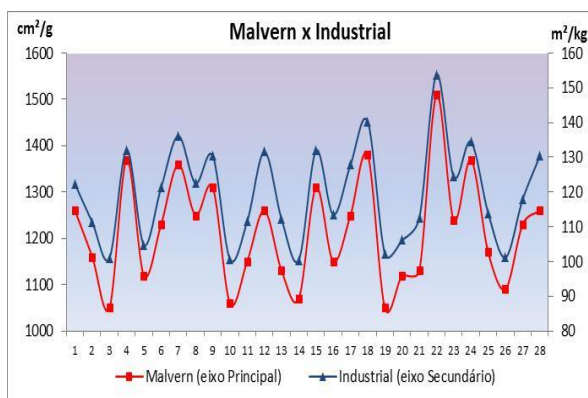


Figura 14. Linear Malvern x Industrial – S.E

#### 3.1.2 Calibração de Granulometria

Através dos dados da tabela 2 foi possível verificar o grau de correlação entre o equipamento industrial e o equipamento de laboratório, Malvern, para granulometria gerando os gráficos abaixo. Foi constatado que o equipamento está calibrado para leitura de granulometria passante em 0,045 mm pois, o coeficiente de correlação linear ( $r_{xy}$ ) encontrado foi de 0,98 com qualidade do ajuste ( $R^2$ ) de 0,97 conforme apresentado na figura 15.

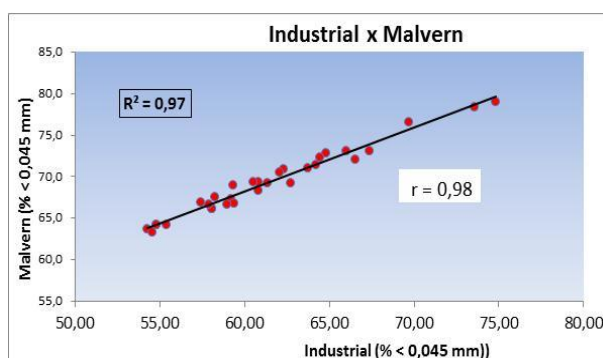


Figura 15. Dispersão Malvern x Industrial <0,045

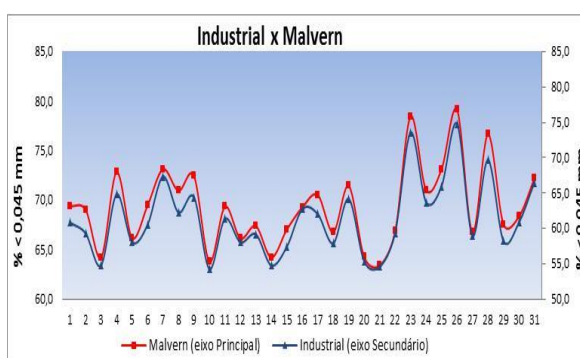


Figura 16. Linear Malvern x Industrial <0,045

### 3.2 Estabelecimento de Correlação

O estabelecimento de correlações foram realizadas através de gráficos de dispersão e linha onde pôde-se avaliar o grau de correlação e gerar equações de correlação

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



entre as análises realizadas pelo equipamento industrial com as analisadas no laboratório por métodos diferentes.

### 3.2.1 Correlação de granulometria

De posse dos dados da tabela 3 foi possível verificar o grau de correlação entre o equipamento industrial e o equipamento de laboratório, Alpine, para granulometria gerando os gráficos abaixo, foi constatado que existe uma forte correlação para leitura de granulometria passante em 0,045 mm pois, o coeficiente de correlação linear ( $r_{xy}$ ) encontrado foi de 0,95 com qualidade do ajuste ( $R^2$ ) de 0,91, desta forma conforme apresentado na figura 17, foi possível estabelecer a seguinte equação de correlação:  $\text{Alpine}(\% < 0,045 \text{ mm}) = 0,58 * (\text{Valor industrial})(\% < 0,045 \text{ mm}) + 49,99$ .

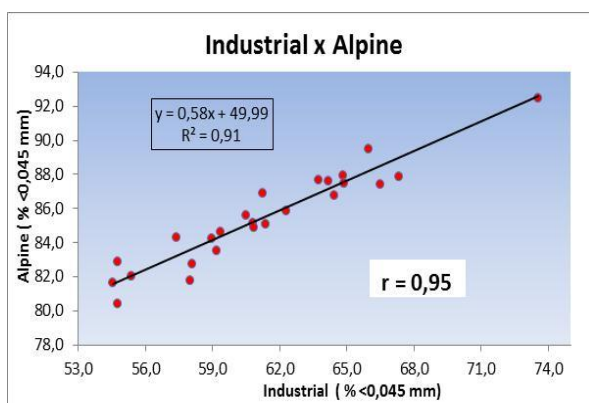


Figura 17. Dispersão Alpine x Industrial <0,045

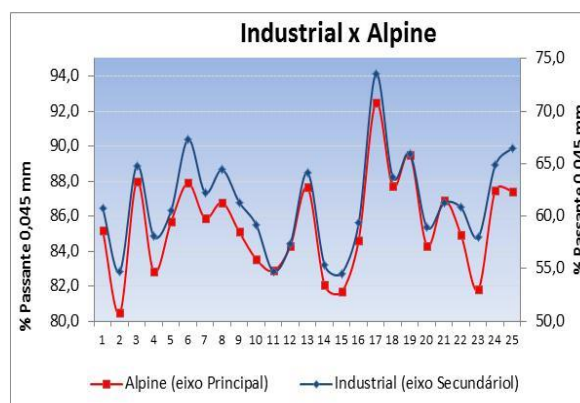


Figura 18. Linear Alpine x Industrial <0,045

### 3.2.2 Correlação de superfície específica

Através dos dados da tabela 3 foi possível verificar o grau de correlação entre o equipamento industrial e o equipamento de laboratório, permeabilímetro, para superfície específica gerando os gráficos abaixo, foi constatado que existe uma forte correlação para leitura de superfície específica pois, o coeficiente de correlação linear ( $r_{xy}$ ) encontrado foi de 0,97 com qualidade do ajuste ( $R^2$ ) de 0,95, desta forma conforme apresentado na figura 19, foi possível estabelecer a seguinte equação de correlação:  $\text{Permeabilímetro} (\text{cm}^2/\text{g}) = 14,50 * (\text{Valor industrial}) (\text{m}^2/\text{kg}) - 115,61$ .

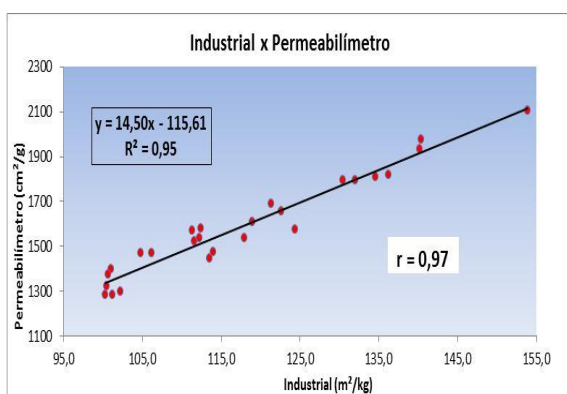


Figura 19. Dispersão Alpine x Industrial – S.E.

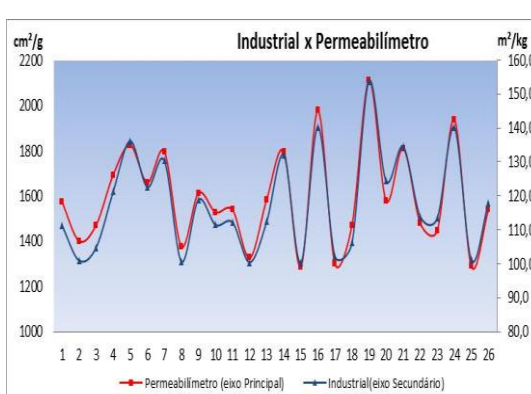


Figura 20. Linear Alpine x Industrial – S.E.

### 3.2.3 Validação das equações de correlação

Para validação das equações de correlação primeiramente foram subtraídos os valores tais quais lidos pelo equipamento industrial dos valores lidos pelos equipamentos de laboratório, inicialmente foi encontrado uma diferença média de

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



24,18 pontos percentuais com desvio padrão de 2,1 para granulometria e 410 cm<sup>2</sup>/g com desvio padrão de 101 para superfície específica na mesma unidade de medida, após a confecção das equações foi realizado o mesmo procedimento e desta vez o valor médio encontrado foi de 0,00 pontos percentuais com desvio padrão de 0,8 para granulometria e -14 cm<sup>2</sup>/g com desvio padrão de 85 para superfície específica na mesma unidade. As figuras 21 e 22 ilustram as diferenças antes e depois de aplicada as equações de correlação.

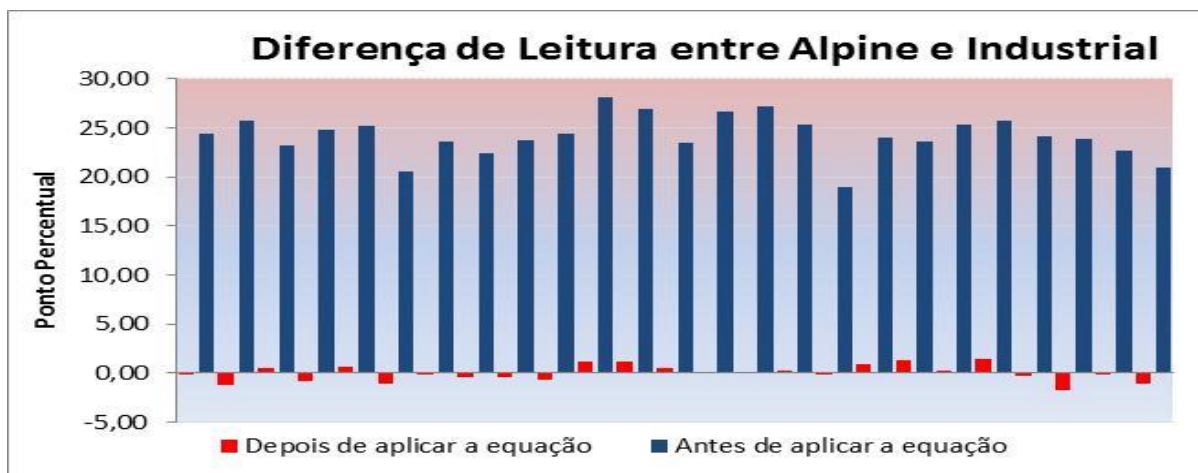


Figura 21. Diferença de leitura antes e depois – Passante em 0,045 mm

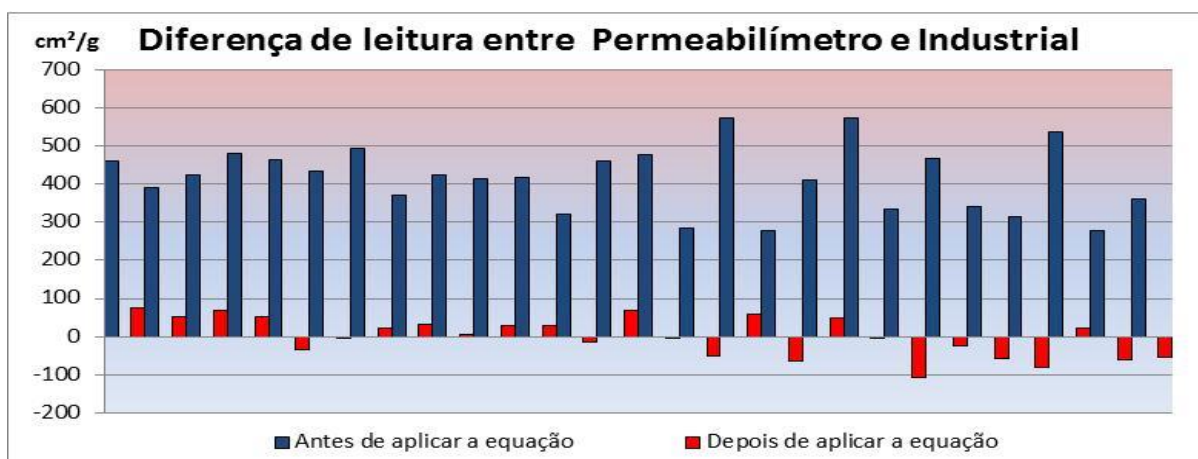


Figura 22. Diferença de leitura antes e depois – Superfície específica

## 4 CONCLUSÃO

A metodologia aplicada no trabalho foi satisfatória e possibilitou atingir o objetivo do estudo.

Com este trabalho pôde-se verificar que o equipamento industrial para medição de superfície específica e granulometria estudado está calibrado;

Foi estabelecida uma correlação entre a leitura do equipamento industrial com o equipamento de laboratório, Alpine, para as análises de Granulometria <0,045 mm regida pela seguinte equação: Alpine (% < 0,045 mm) = 0,58 \* (Valor industrial) (% < 0,045 mm) + 49,99.

Foi estabelecida uma correlação entre a leitura do equipamento industrial com o equipamento de laboratório, permeabilímetro, para as análises de Superfície

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



Específica regida pela seguinte equação: Permeabilímetro (cm<sup>2</sup>/g) = 14,50 \* (Valor industrial) (m<sup>2</sup>/kg) – 115,61.

Estas mesmas equações foram utilizadas em outros equipamentos industriais para condições semelhantes de moagem e também se mostraram satisfatórias.

## Agradecimentos

Ao Caio pelo Comprometimento e Dedicção.

A Equipe da Usina Piloto (Catia, Sidney, Everaldo, Ana Paula e Nádia) pela Presteza e Agilidade nas análises.

A Tatiane Alvarenga pelas trocas de Experiências.

A Equipe da de operação das Usinas I a IV da Vale por disponibilizar os moinhos para teste.

A Equipe da Unidade Técnica das Usinas I a IV da Vale pelo Incentivo e Apoio.

## BIBLIOGRAFIA

- Schneider CL, Souza AS. 2004 [acesso em 09/05/2014]; 2; 13-17. Disponível em <http://www.abmbrasil.com.br/materias/download/1262.pdf>.
- Penternell LA. Intervalo de confiança; 2008; NIF162; capítulo 9.
- Souza, A. Coeficiente de Correlação Linear de Pearson ;[acesso em 10/05/2014]; 1-10. Disponível em [http://www.aurea.uac.pt/pdf\\_MBA/coef\\_correl\\_Pearson.pdf](http://www.aurea.uac.pt/pdf_MBA/coef_correl_Pearson.pdf);
- Outotec. Manual de operação analisador de granulometria PSI 500. 2012.
- Alvarenga T, Souza AP, Stegmiller L, Aires M, Thomazini A, Nunes L, Lorencini M; Relatório do teste e calibração do PSI e determinação de curvas de correlação; Relatório interno Vale; 2013; 1:1-18.
- Pena EQ; Caracterização dos parâmetros Intrínscos de Porosidade e Superfície Específica de Pellet Feed; Resumo de dissertação de mestrado; 2002 [Acesso em 01/05/2014]; 1. Disponível em: [http://www.redemat.ufop.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=581:caracteriza-dos-partros-intrecos-de-porosidade-e-superfe-especca-de-pellet-feed&catid=36:2002&Itemid=64](http://www.redemat.ufop.br/index.php?option=com_content&view=article&id=581:caracteriza-dos-partros-intrecos-de-porosidade-e-superfe-especca-de-pellet-feed&catid=36:2002&Itemid=64)

\* *Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*