

EVOLUÇÃO DA AUTOMAÇÃO EM ENSAIOS DE POROSIDADE EM PELOTAS DE MINÉRIO DE FERRO*

Glaucon Medeiros Silva¹

Resumo

Este trabalho técnico tem por finalidade apresentar a evolução dos ensaios de porosidade em pelotas de minério de ferro. Apresentando as diversas formas de realização deste tipo de ensaio a não correlação entre eles, pois cada método possui uma finalidade distinta e como se ocorreu a evolução do método volumétrico (óptico) desde sua realização manual, na década de 1980, início de medições automatizadas na década de noventa e sua total automatização a partir da década de 2010 até o ano de 2019.

Palavras-chave: Porosidade; Medição Volumétrica. Densidade Aparente.

EVOLUTION OF AUTOMATION IN POROSITY TESTS ON IRON ORE PELLETS

Abstract

This technical work aims to present the evolution of porosity tests in iron ore pellets. Presenting the different forms of realization of this type of test and the non-correlation between them, because each method has a distinct purpose and as it happened the evolution of the volumetric (optical) method since its manual realization, in the 1980s, beginning of automated measurements in the 1990s and its total automation from the decade of 2010 until the year 2019.

Keywords: Porosity; Volumetric Measurement; Apparently Density

¹ Engenharia de produção (cursando), Técnico em metalurgia e materiais, técnico especialista, Laboratório Porto – São Luís Maranhão – Vale S.A. - Brasil

1 INTRODUÇÃO

O ensaio de porosidade tem a função de indicar a porcentagem de aberturas, vãos entre outros espaços intrínsecos à pelota. Espaços estes que colaboram na permeabilidade dos gases durante o processo de redução.

Estudando a Pelota, notamos a existência de três tipos de porosidade:

Aberta – consiste nos poros ou “vazios” interconectados, fissuras e pequenas trincas, que permitem a penetração de gases ou líquidos;

Fechada – consiste nos poros ou “vazios” sem contato, normalmente situados no interior das pelotas, onde os gases e líquidos não permeiam;

Total – consiste na porosidade total da pelota, incluindo todos os vazios existentes no interior da pelota.

Analisando a imagem abaixo nota-se a existência das mesmas:

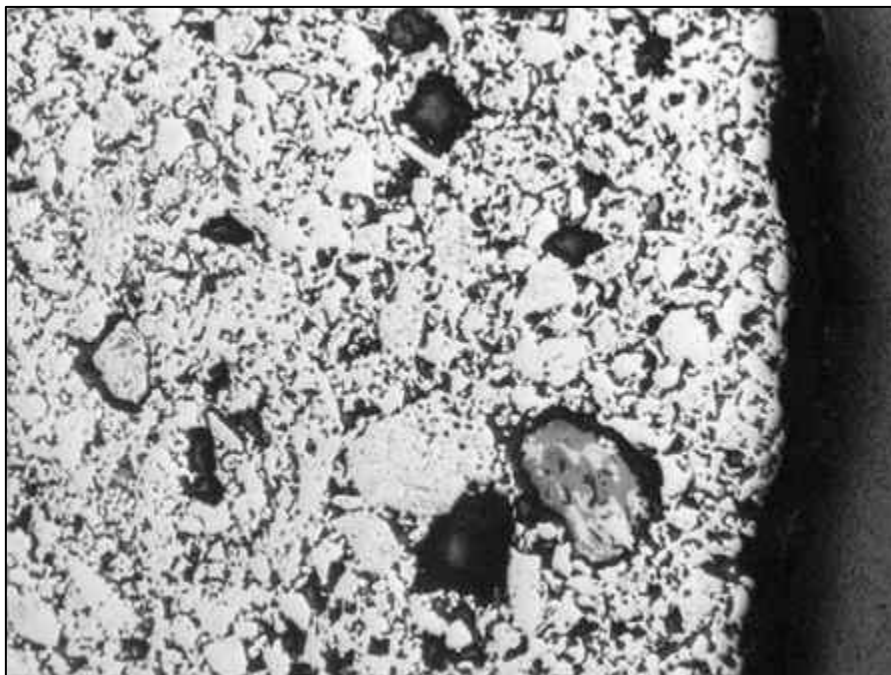


Figura 1 -imagem ampliada 50x de uma pelota

1.1 Cálculo da Porosidade

O cálculo da Porosidade é realizado pela expressão:

$P = 1 - (D_{aparente} / D_{real})$. Onde:

Densidade Aparente: é a massa média de um sólido por volume, na sua apresentação habitual ou específica para determinado lote, amostra ou ainda processo. É expresso por: $D = (M/V)$

Onde M é massa e V volume.

Densidade Real: corresponde ao real volume que determinado sólido ocupa, não levando em conta sua porosidade.

Há diversas formas de se estipular os dois valores.

1.2 Métodos de análise de Porosidade:

A Densidade Aparente é determinada pelos seguintes métodos:

Imersão: Baseada na norma JIS M 8719 onde a pelota é imersa em determinado líquido (água, Mercúrio, Oleato de sódio ou Querosene). A pelota é mergulhada num becker contendo o líquido para medição em temperatura próxima da 100°C, e posteriormente é feita a medição do deslocamento do volume do líquido. Com o volume aparente da pelota e o seu peso, pode-se chegar à densidade aparente do sólido.

Este dado aplicado na equação anteriormente apresentada obtém-se a porosidade da pelota.

Neste meio de medição de densidade, o líquido chega até aos poros interconectados, pequenas trincas e fissuras.

Porosímetro de Mercúrio (Hg): Processo baseado na injeção de mercúrio nos poros da amostra para estimar os vãos na mesma. O tamanho do poro é inversamente proporcional a pressão aplicada. É injetado mercúrio a diversas pressões que vão se incrementando a medida em que a pressão aumenta sua saturação, por consequência, tem seu valor acrescido.

Este dado aplicado na equação anteriormente apresentada obtém-se a porosidade da pelota.

Neste meio de medição de densidade, o líquido permeia até partes mais profundas da Pelota, onde o método anterior não alcança.

Porosímetro volumétrica: mensura-se o Volume da pelota por meio da determinação do diâmetro médio, depois se obtém a massa. Com estes dois dados se obtém a Densidade Aparente.

Este dado aplicado na equação anteriormente apresentada obtém-se a porosidade da pelota.

Neste método de medição de densidade, é considerado toda a pelota e todos os seus vazios, fazendo com que, em comparação com os outros métodos este possua resultados maiores.

Este último método citado é o realizado atualmente. Para a determinação da qualidade da produção das pelotas de minério de ferro nas usinas de Pelotização da Vale.

O fato de o método da água, mercúrio e volumétrico mensurarem “profundidades” distintas de uma mesma pelota, pode-se concluir que os resultados de porosidade também serão distintos entre cada um destes métodos, como se observa no gráfico abaixo:

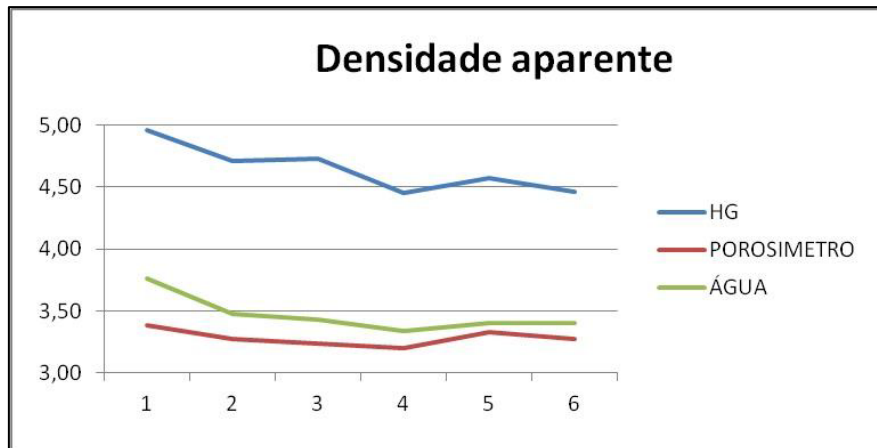


Figura 2 – Diferenças entre densidade aparente (dado essencial para determinar a porosidade) os diferentes métodos.

2 DESENVOLVIMENTO

Quando o método de ensaio volumétrico foi implementado, não havia a disponibilidade de computadores nem sistemas para analisar este tipo de necessidade.

À época houve a necessidade de se desenvolver o método via medição manual por meio de paquímetro.

A norma ISO referente ao ensaio de Porosidade solicita a medição de 18 pelotas para cada ensaio.

Tal medição é feita de modo a medir, com um paquímetro, cada pelota em 10 posições distintas.

Com o resultado de 10 diâmetros consegue-se a área média da pelota e por sua vez o Volume da pelota.

Pelota 1	
Posições paquímetro	Diâmetro
1	12,123
2	12,123
3	12,123
4	12,123
5	12,123
6	12,123
7	12,123
8	12,123
9	12,123
10	12,123
Media:	12,12
Peso:	3,12
Media	12,12
Raio:	0,34
Volume:	0,93
Densidade Aparente:	3,34
Densidade Real:	5,06
POROSIDADE:	33,77

Figura 3 – Tabela que simula o modo de realização das medições do volume das pelotas

No final da década de 90, com o aprimoramento de sistemas de informática houve a possibilidade de se criar um medidor de volume por meio ótico.

Este método consiste em uma câmera que é posicionada acima de uma base iluminada.



Figura 4 – Porosímetro manual utilizado ainda no final da década de 1990

A pelota é colocada sobre esta base iluminada refletindo uma “sombra” para a câmera.

A câmera, por sua vez verifica o diâmetro desta sombra numa correlação pixel/milímetro.

Esta base iluminada faz um giro de 360° com a pelota interrompendo 10 vezes.



Figura 5 – Base iluminada do Porosímetro manual

Para cada interrupção o diâmetro da pelota é medido.

Após a conclusão de um giro completo, o operador deve pegar a pelota e movimentá-la em 90° para que um novo lado da pelota seja medido.

Este procedimento deve ser realizado 6 vezes para cada pelota afim de que haja a medição de cada um dos 6 lados da pelota.

Assim como apresentado no método anterior, por meio do diâmetro médio, obtém-se o volume médio da pelota, mas, por sua vez com mais precisão dado fato de a quantidade de medições ter aumentado 6 vezes.

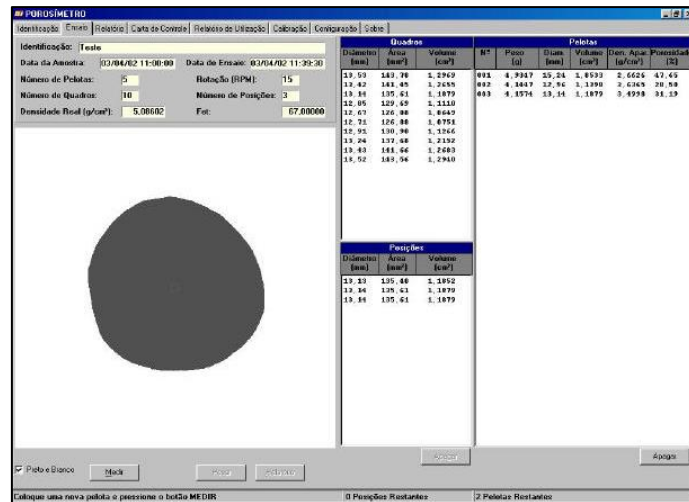


Figura 6 – Tela do Porosímetro manual

Após a medição a pelota é inserida na balança e com estes dados se obtém a Porosidade da mesma.

Este procedimento deve ser repetido para cada pelota, fazendo com que o ensaio dure aproximadamente 25 minutos.

No ano de 2013, com a popularização de motores de passo, houve a possibilidade de se gerar um Porosímetro automatizado.

Ele trabalha como uma espécie de CNC, que movimenta uma garra pneumática até pontos anteriormente configurados e faz toda a medição da pelota sem a necessidade de o operador realizar tais movimentações.

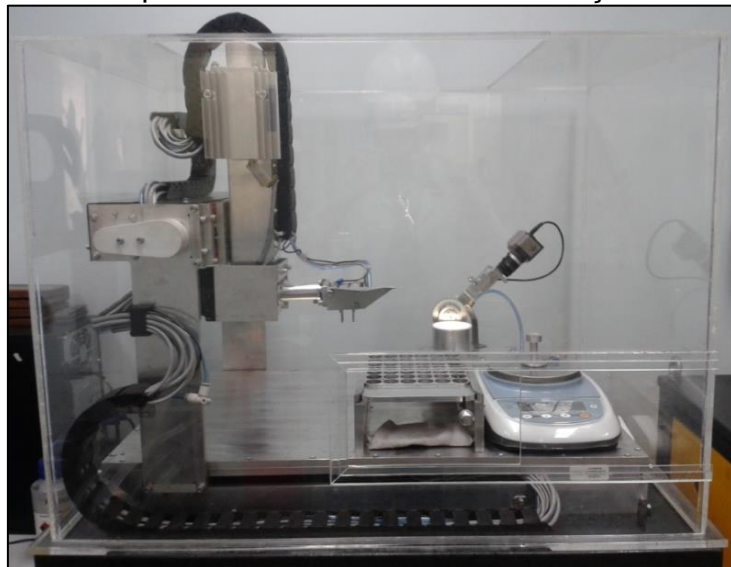


Figura 7 – Porosímetro automático

Em uma primeira tentativa de startar o equipamento este foi configurado de modo a câmera realizar um movimento onde houvesse a medição da pelota em três ângulos distintos para que não houvesse a necessidade de se girar a pelota sobre a base iluminada.

Desta maneira reduzindo o tempo de análise.

Tal movimentação deve de ser retirada posteriormente, dado fato de se criar um vício na medição, pois independente da movimentação da câmera, a parte da

pelota que está em contato com a base iluminada não conseguirá ser mensurada e conseqüentemente não fará parte do resultado.

Após a retirada deste movimento, houve a inclusão de um motor em um eixo que liga a CNC até a garra pneumática e adicionado um movimento para que haja a possibilidade de o Porosímetro girar a pelota.

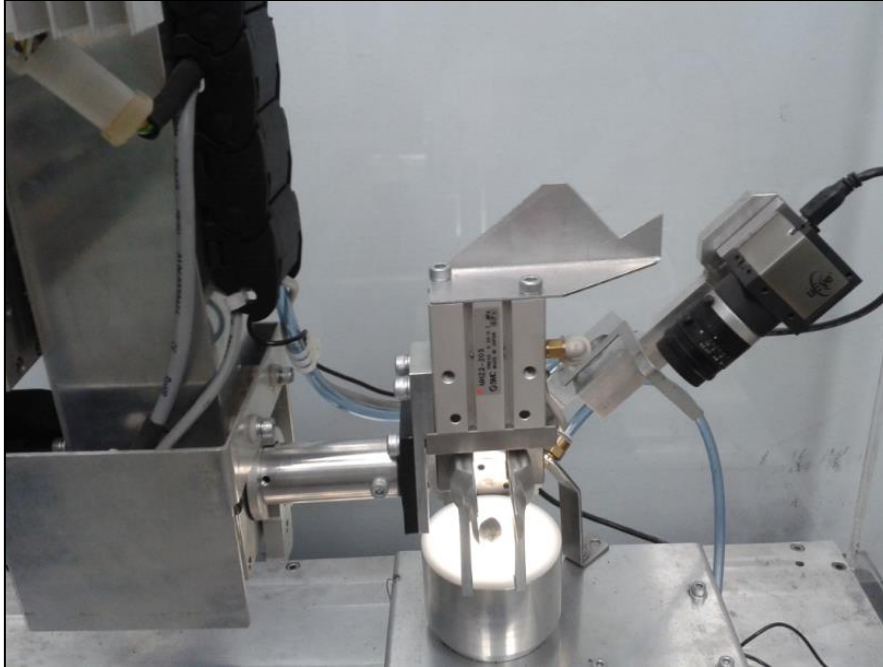


Figura 8 – Garra do Porosímetro Automático

Dado o fato de o motor de passo se “se perder” durante um determinado tempo, há a necessidade de que as coordenadas para cada posição/passo dos motores sejam atualizadas frequentemente.

Além da necessidade da criação de um sinal (bit) para que caso a garra encoste em qualquer parte metálica do equipamento este é paralisado imediatamente, afim de se evitar possíveis danos aos equipamentos.

Além da inserção de um fim de curso para cada um dos eixos do equipamento para que este tenha o zero no momento da partida e outro na balança para que a garra não force a célula de carga no momento de se pesar a pelota.

O fato de os motores de passo “se perderem” com o passar do tempo, também gerou a necessidade da criação de um dispositivo que centraliza a pelota caso esta saía do centro da base iluminada

A execução do ensaio consiste no mesmo método que o apresentado anteriormente.

No ano de 2019 houve a geração de uma nova atualização deste método de medição.

Onde há a utilização de um robô colaborativo para executar tal demanda.



Figura 9 – Porosímetro com um robô colaborativo

As vantagens da utilização de um robô colaborativo é a precisão, alcance, velocidade além de movimentos não possíveis com um CNC.

Deste modo há a possibilidade de que as movimentações da pelota sejam realizadas numa velocidade ainda maior que a humana.

Também houveram atualizações no método de medição da pelota, utilizando câmeras mais precisas (erro abaixo de 0,03mm), a cada volta da base iluminada são geradas 15 medidas (anteriormente eram 10).

Este robô colaborativo possui liberdade para trabalhar sem estar enclausurado pois possui sensores que paralisam automaticamente a movimentação caso haja alguma barreira no caminho a ser percorrido.

Deste modo há o estudo para que este mesmo braço seja utilizado para outros ensaios.

3 CONCLUSÃO

A evolução tecnológica abrange cada vez mais a área laboratorial onde a possibilidade de melhoria de questões antes vistas como delicadas, são cada vez mais demandas a serem automatizadas de modo que processos repetitivos sejam realizados automaticamente diminuindo o tempo gasto pelo operador, solicitações ergonômicas e aumento da repetitividade.

Nota-se neste que a automação aplicada nos processos laboratoriais e não somente no químico, estão evoluindo a cada dia de modo a fazer com que a função principal do operador seja a análise dos resultados de modo a poder orientar a produção sobre possíveis de necessidades de ajustes, e não somente a execução de demandas repetitivas.

Agradecimentos

Agradeço a Vale pelas oportunidades que tive de trabalhar no desenvolvimento, verificação, validação e operação de cada um destes trabalhos.

REFERÊNCIAS

- 1 Arthur Napoleão. Avaliação física e metalúrgica de minérios de ferro para alto-forno e processos de redução direta, segundo as normas ISO
- 2 Glaucon Medeiros Silva. ANÁLISE DE MÉTODOS DE POROSIDADE EM PELOTAS DE MINÉRIO DE FERRO . 2012, pagina 5 à 17.