

# DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO PERCENTUAL DE COATING EM PELOTAS QUEIMADAS VIA ANÁLISE AUTOMÁTICA DE IMAGENS<sup>1</sup>

*Heidy de Oliveira Simões<sup>2</sup>  
Ana Maria Guilherme Bailon<sup>2</sup>  
Alaécio Meschiatti<sup>2</sup>  
Vinícius Perin Passigatti<sup>3</sup>  
Thiago Marchezi Doellingel<sup>4</sup>*

## **Resumo**

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma metodologia, através de análise automática de imagens, visando avaliar o percentual de material anti-colagem (conhecido como coating) aderido à superfície das pelotas queimadas. O fenômeno de colagem (conhecido como clustering) ocorre em pelotas de minério de ferro submetidas à redução direta e deriva da sinterização do ferro metálico recém-formado. Tal formação leva à diminuição da permeabilidade do leito e consequentes perdas na produtividade dos reatores. Para minimizar este fenômeno, alguns materiais são adicionados na superfície das pelotas após o processo de queima. Estes materiais atuam como barreira física, inibindo a formação dos cachos. Dessa forma, surgiu a necessidade de se desenvolver uma metodologia para avaliação do percentual de recobrimento das pelotas com o agente anti-colagem. Neste trabalho foi criado um sistema de processamento de imagens, desde o equipamento para aquisição de imagens das pelotas queimadas até o algoritmo no analisador de imagens AxioVision, viabilizando a quantificação do percentual de coating das pelotas.

**Palavras-chave:** Coating; Pelotas; Análise de imagens; Clustering.

## **DEVELOPMENT OF METHODOLOGY OF THE PERCENTAGE COATING DETERMINATION IN PELLET BURNING THROUGH AUTOMATIC IMAGE ANALYSIS**

### **Abstract**

This work aimed at developing a methodology by automatic image analysis so as to evaluate the anti-sticking material percentage (named as coating) adhered to the surface of the pellets. The sticking phenomenon occurs in iron ore pellets during the reduction process as a consequence of the metallic iron sinterization. This phenomenon is known as clustering and has a negative impact over the reactor's permeability and productivity. To minimize this phenomenon, some materials are added on the surface of the pellets after the firing process. These materials serve as a physical obstacle, inhibiting the cluster formation. Based on that, it was needed to design a methodology which was able to evaluate the percentage of anti-sticking material on the pellet surface. A device was developed which allowed the acquisition of images from the pellets. In addition, it was developed an image analyzer algorithm through the AxioVision which allowed to quantify the percentage of coating of pellets.

**Key words:** Coating; Pellets; Analyze images; Clustering.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 43º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 14º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 1º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 1 a 4 de setembro de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil*

<sup>2</sup> *Técnico em Metalurgia, Técnico de Processo. Samarco Mineração S.A., Anchieta, ES, Brasil.*

<sup>3</sup> *Engenheiro Metalúrgico, Chefe de Equipe. Samarco Mineração S.A., Anchieta, ES, Brasil.*

<sup>4</sup> *Engenheiro Metalúrgico, Chefe de Departamento. Samarco Mineração S.A., Anchieta, ES, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

A tecnologia de redução direta de minério de ferro gera um produto em estado sólido, que é chamado de ferro esponja ou DRI (“direct reduced iron” ou “directly reduced iron”). Na produção de DRI, o oxigênio no óxido de ferro é quimicamente removido por reações com monóxido de carbono (CO) e/ou hidrogênio (H<sub>2</sub>) em temperaturas de aproximadamente 900°C. A evolução tecnológica desse processo nas últimas quatro décadas trouxe progressivos ganhos de produtividade, obtidos através do aumento da temperatura do gás redutor.<sup>(1)</sup> Uma imagem do ferro esponja após a saída do reator é mostrada na Figura 1.



Figura 1. Ferro esponja.<sup>(2)</sup>

Este aumento sistemático da temperatura dos fornos, que hoje operam com cerca de 950°C e com tendência de atingir 1050°C nos próximos anos, acarreta em maiores condições termodinâmicas para a ocorrência de um fenômeno denominado sticking ou clustering (colagem). Este processo de colagem e formação de cachos em minérios ou pelotas de minério de ferro é evidenciado a partir do entrelaçamento entre precipitados de ferro fibroso de duas pelotas sob redução.<sup>(3)</sup> Trata-se, portanto, de um fenômeno superficial, sendo o resultado da reação de sinterização das partículas de ferro metálico. As fibras de ferro metálico são mostradas na Figura 2. O fenômeno de colagem representa um enorme inconveniente para a operação dos fornos de redução direta, ocasionando problemas tais como a diminuição da permeabilidade do leito à passagem de gases, formação de canais preferenciais para esse fluxo, aderência do material nas paredes do reator e da descarga, interrupções da operação, redução da produtividade e da qualidade do ferro esponja, etc.<sup>(4)</sup>

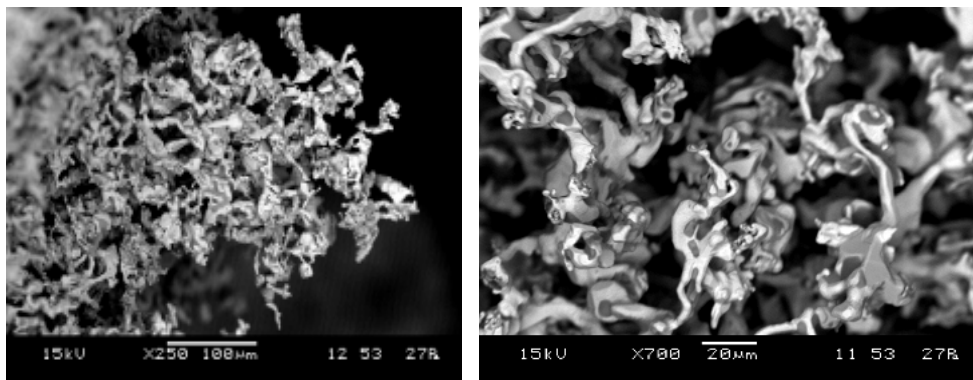


Figura 2. Imagens em MEV de fibras de ferro em DRI.<sup>(5)</sup>

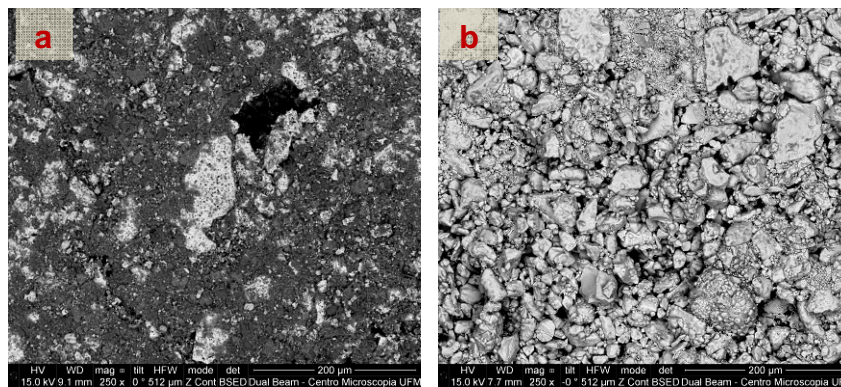
O método utilizado para avaliar a tendência de pelotas durante a redução é a simulação da redução das pelotas sob condições que se assemelham ao processo.

O índice de colagem, padronizado pela ISO 11256,<sup>(6)</sup> é um ensaio cujo número traz uma tendência de formação de cachos de pelotas no interior de um reator de redução direta. Este teste é realizado a temperatura de 850°C, passagem de uma mistura gasosa contendo H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub> pelo leito de pelotas, pressão mecânica e grau de redução definido. A Figura 4 mostra um exemplo de montagem do teste.



**Figura 4.** Exemplificação de montagem da amostra no teste ISO11256.

O artifício mais utilizado industrialmente para redução da tendência de colagem é o recobrimento de pelotas com uma camada de óxido denominada agente de recobrimento (coating), que atua como uma barreira física entre uma pelota e outra, quando estas estão expostas ao ambiente redutor.<sup>(7)</sup> O recobrimento é aplicado pelo produtor de pelotas e por alguns siderurgistas antes de carregar o reator. Imagens da superfície de pelotas com e sem recobrimento são mostradas na Figura 3, onde os óxidos anti colagem apresentam-se na coloração escura (a), enquanto a superfície do óxido de ferro possui coloração clara (b).



**Figura 3.** Imagens em MEV de pelotas com recobrimento(a) e sem recobrimento(b).

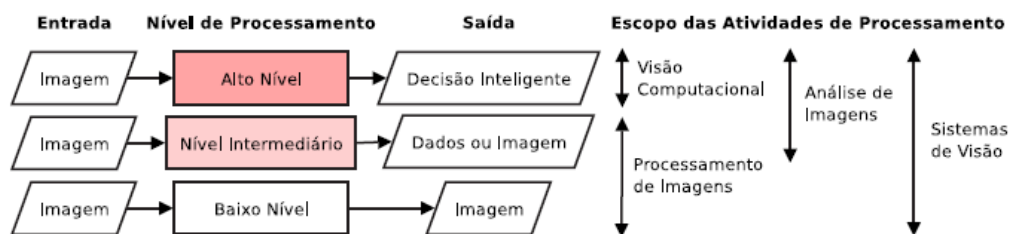
A Samarco Mineração tem aplicado a camada de coating em seus produtos de redução direta desde o início da década de 90, como forma de garantir sua perfeita utilização em processos Midrex e HyL. A camada de óxido proporciona um melhor rendimento as pelotas Samarco, alcançando alta metalização com baixos índices de clustering e sticking.<sup>(7)</sup>

Uma redução gradativa do índice de colagem das pelotas produzidas pela Samarco tem sido observada ao longo dos anos, através de melhorias implantadas no sistema industrial de aplicação do recobrimento. Novos agentes que possibilitam diminuir a tendência de colagem, mesmo em altas temperaturas, são exemplos de melhorias implementadas.

A relação entre a diminuição do índice de clustering e algum método para determinação do recobrimento das pelotas apresenta-se como um importante parâmetro alternativo ao teste de colagem para avaliação do comportamento da pelota nos reatores de redução. Tal iniciativa faz-se necessária, pois o teste pela norma ISO11256<sup>(6)</sup> demanda algumas horas até que o resultado seja gerado, acarretando em dificuldade nas tomadas de decisões quanto ao processo de recobrimento.

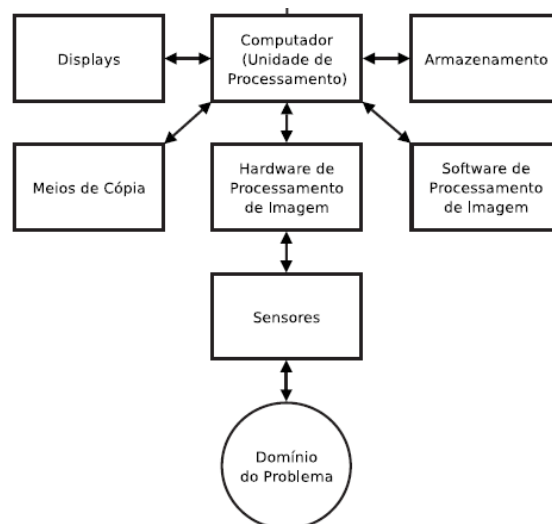
O aspecto superficial das pelotas antes e após o recobrimento é bastante diferente. Logo, a criação de um sistema de processamento de imagens que identifique tal diferença mostra-se viável para otimização do tempo de resposta para o processo de recobrimento.

A visão pode ser definida como a tarefa de processamento de informações para a compreensão de uma determinada cena por meio da projeção de suas imagens.<sup>(8)</sup> Segundo Deschamps,<sup>(9)</sup> sistemas de visão se integram em uma única solução numa série de tecnologias diferentes, permitindo grande flexibilidade no desenvolvimento de aplicações em diversas áreas do conhecimento como, por exemplo, no controle de qualidade e processos.



**Figura 5.** Interdependência entre os termos da área de sistemas de visão.<sup>(9)</sup>

Gonzalez e Woods,<sup>(10)</sup> apresentam uma estrutura de componentes interligados para a organização de sistemas de processamento de imagens (Figura 6).



**Figura 6.** Componentes gerais de um sistema de processamento de imagens.<sup>(10)</sup>

Segue uma breve descrição de cada componente:

- Sensores – dispositivo físico sensível à energia irradiada pelo objeto do qual se pretende adquirir uma imagem, convertendo-a num sinal elétrico proporcional à intensidade da energia recebida;

- *Hardware* de Aquisição – dispositivo responsável pela digitalização do sinal proveniente do sensor (câmera);
- Computador – coordena todas as atividades desempenhadas, desde o acionamento do *hardware* de aquisição da imagem até a visualização dos resultados;
- *Displays* – dispositivos responsáveis por apresentar um resultado gráfico do estado de evolução do sistema ao usuário; e
- Meios de armazenamento – dispositivos que fazem o armazenamento físico seguro da informação adquirida e processada pelo sistema.

Assim, visa-se neste trabalho implementar na Samarco uma metodologia por visão computacional intermediário através das ferramentas acima, que permita avaliar a superfície das pelotas queimadas de minério de ferro submetidas à adição de coating e definir qual o percentual de recobrimento das mesmas. Essa metodologia permitirá sua correlação com o comportamento das pelotas durante sua redução no reator de redução direta no que tange o fenômeno de *clustering*.

A garantia da qualidade do sistema foi obtida mediante utilização da ferramenta “Total Gage R&R” do Minitab 16, para realizar os testes de repetibilidade e reprodutibilidade. Repetibilidade é a variação inerente ao equipamento. Segundo Werkema,<sup>(11)</sup> a repetibilidade de um sistema de medição é a variação nas medidas obtidas quando um avaliador utiliza o instrumento para medir repetidas vezes a característica de interesse dos mesmos itens. A reprodutibilidade é outra componente da variabilidade de um sistema de medição e representa a variação na média das medidas obtidas quando diferentes avaliadores utilizam o instrumento para medir repetidas vezes a característica de interesse dos mesmos itens. O percentual de contribuição da medição é a relação entre a variabilidade do sistema de medição ( $\sigma^2$ medição) e a variabilidade total ( $\sigma^2$ total).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi desenvolvido um equipamento na Samarco que permitiu a captura das imagens das pelotas e seu posterior processamento. Optou-se por utilizar uma objetiva de 25mm, acoplada à uma câmera modelo ICc1, Zeiss (Figura 7).



**Figura 7.** Câmera (a) e objetiva (b) utilizadas no equipamento desenvolvido.

A distância focal foi calculada e a altura do compartimento para posicionamento da pelota até a câmera foi definido. A iluminação do sistema foi realizada através da utilização de uma fita de LED posicionada na região interna de um cilindro de 100 mm de altura e 100 mm de diâmetro.

O analisador de imagens AxioVision, Zeiss, foi utilizado para elaboração do algoritmo para processamento das imagens, possibilitando o reconhecimento das características superficiais da pelota. Na Figura 8 são mostradas as telas finais, já na etapa de medição do algoritmo.



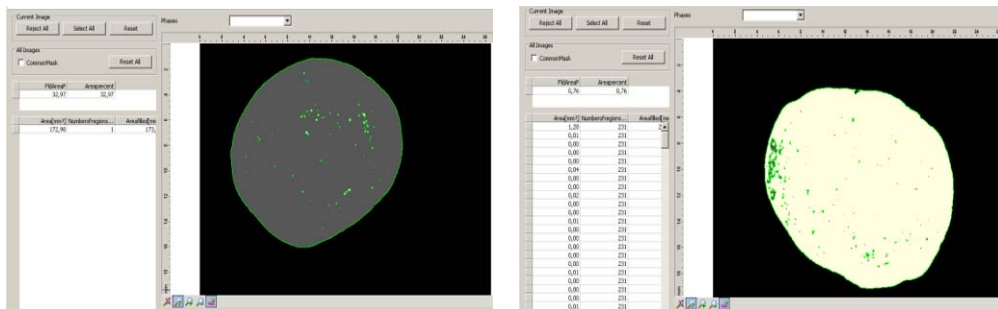


Figura 8. Equipamento desenvolvido para aquisição das imagens.

Os dados gerados são, automaticamente, transportados para o Microsoft Excel, onde calcula-se os índices de recobrimento das pelotas.

O sistema de medição foi avaliado através da ferramenta “Total Gage R&R” do software Minitab, versão 16.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Desenvolvimento do Equipamento

##### 3.1.1 Observação das amostras

A observação a olho nu de amostras com e sem cobertura evidenciou que havia diferenças significativas que poderiam ser interpretadas via análise de imagens, como evidenciado na Figura 9.



Figura 9. Imagens de pelotas sem recobrimento (a) e com recobrimento (b).

Identificou-se a necessidade de promover adequada condição para que a superfície da pelota pudesse ser capturada. Foi então iniciada a confecção de um equipamento próprio

##### 3.1.2 Definição dos componentes para captura das imagens do equipamento

Para se alcançar bons resultados na interpretação das informações, é necessário ter como entrada do sistema uma imagem de boa qualidade. Ou seja, a etapa de aquisição da imagem deve ser bem configurada, o que implica na escolha correta e precisa do *hardware* do sistema de visão. Erros na configuração destes equipamentos, como por exemplo, na obtenção de imagens escuras ou com sombras perturbadoras, foco inapropriado, magnificação insuficiente, tempo de aquisição inadequado e ruídos demasiados, podem inviabilizar a implementação da aplicação.

###### 3.1.2.1 Câmera e lente objetiva

A aquisição de uma imagem consiste em transformar uma imagem obtida através de uma câmera eletrônica em uma matriz de pontos alocados em memória. A

conversão mais comum é aquela obtida por células CCDs na qual cada ponto da célula representa um ponto de imagem projetada sobre ela. As CCDs são células eletrônicas sensíveis à luz visível ou infravermelho e são caracterizadas por seu tamanho e resolução.

Optou-se por utilizar a câmera CCD Zeiss ICc1, de 1,4 megapixel e cuja imagem ao vivo é atualizada até 28 vezes por segundo, o que atende perfeitamente à demanda de captura do sistema, que é estática.

As lentes definem a superfície de foco e a magnificação (ampliação ou redução) da imagem do objeto em estudo. Naturalmente, o processo de aquisição inicia-se pela cena de interesse e esta cena é reduzida (ou ampliada) para as dimensões de uma CCD através de um conjunto de lentes, cuja função principal (não considerando fenômenos ópticos como interferência, difração, etc) é o ajuste do tamanho da cena a ser capturado, com o tamanho da CCD.<sup>(12)</sup>

A lente objetiva de 25 mm escolhida, com ajuste manual de foco, onde mecanicamente se modifica a distância focal do sensor em relação ao objeto.

### 3.1.3 Sistema de iluminação

A iluminação pode ser considerada como a parte mais crítica de um sistema de visão pelo fato de as câmeras serem muito menos sensíveis e versáteis do que a visão humana. As condições de iluminação devem ser otimizadas ao máximo, para que uma câmera possa capturar uma imagem que o olho humano poderia distinguir sem necessidade de uma iluminação tão especializada.

Foram realizados testes com lâmpadas dicróicas, de LED e com fitas de LED. Os melhores resultados foram encontrados para as fitas de LED. Em aplicações que requeiram uma grande intensidade de iluminação, pode-se utilizar a iluminação por LED (Light Emitting Diodes), que proporcionam uma intensidade de iluminação relativa, a um custo muito interessante e, além disso, têm um longo tempo vida (aproximadamente 100.000 horas).

A luz reflete de forma distinta quando ilumina diferentes geometrias. Deve-se levar em conta que existem superfícies que são especulares, lambertianas e totalmente absorventes. Logo, o estudo prévio da superfície é necessário para se definir o tipo de iluminação, que tem um peso significativo no processamento da imagem devido a grande influência provocada por ela nas etapas seguintes da análise. A Figura 10 mostra diferentes modelos de iluminação, conforme o tipo de problema ser solucionado.

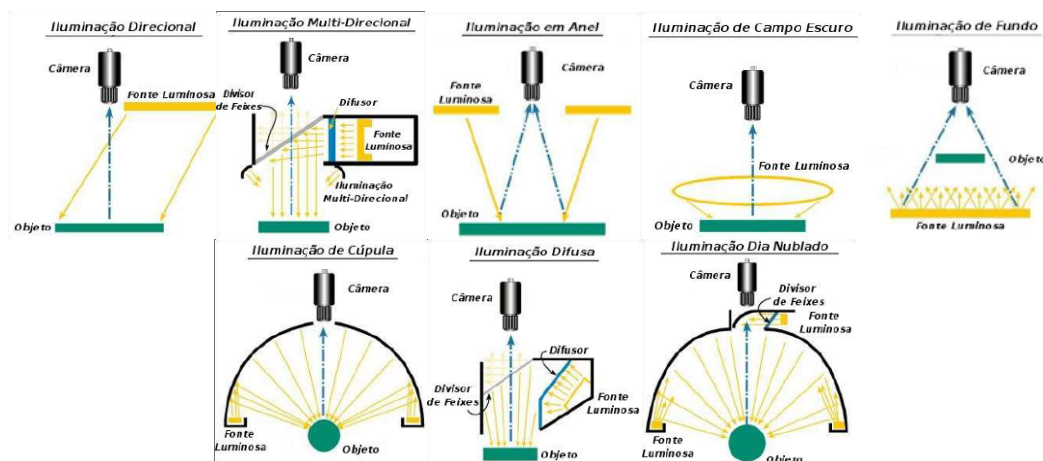


Figura 10. Diferentes modelos de iluminação.<sup>(13)</sup>

As pelotas, que possuem formato esférico, representam um desafio no que tange a iluminação para aquisição de sua imagem. Sombras podem ser geradas de acordo com o ângulo do modelo de iluminação. Buscou-se um conjunto que minimizasse ao máximo a inserção de ruídos e chegou-se a um componente com fonte de iluminação por LED, apresentado na Figura 11.

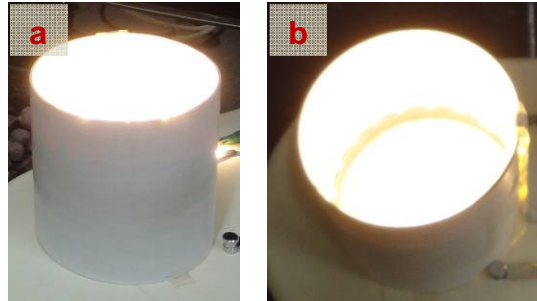


Figura 11. Imagens do aparato. Visão lateral (a) e superior (b).

O aparato consiste em um cilindro de 100 mm de diâmetro e 100 mm de altura. Em seu interior foi posicionada uma fita de LED de cor branca com 1,5 m de comprimento, que não apresenta problemas de aquecimento, perturbação acústica ou ruídos, e vibração. Tal configuração foi considerada a mais propícia, minimizando variações na iluminação e diminuindo a emissão de calor, quando comparada com outras tecnologias de iluminação.

### 3.1.4 Sistema mecânico do equipamento

Optou-se por fabricar um sistema cuja distância de trabalho pudesse ser alterada. Tal demanda deve-se ao fato de que a granulometria das pelotas varia, alterando o foco na captura da imagem. A Figura 12a mostra o equipamento desenvolvido



Figura 12. Imagens do aparelho. Sistema Mecânico (a) e Equipamento Completo (b).

## 3.2 Aquisição das Imagens

A digitalização das coordenadas espaciais de uma imagem real é denominada amostragem da imagem, enquanto a digitalização de sua amplitude é chamada quantização em níveis de intensidade ou simplesmente quantização, segundo Gonzalez e Woods.<sup>(10)</sup>

Neste trabalho optou-se por utilizar a quantização com imagens coloridas no espaço RGB. Para este tipo de imagem, o modelo de quantização empregado baseia-se na representação dos *pixels* em três canais de cores visíveis (*Red*, *Blue* e *Green*), constituindo o modelo RGB.<sup>(14)</sup> Cada cor corresponde a um ponto nesse espaço,



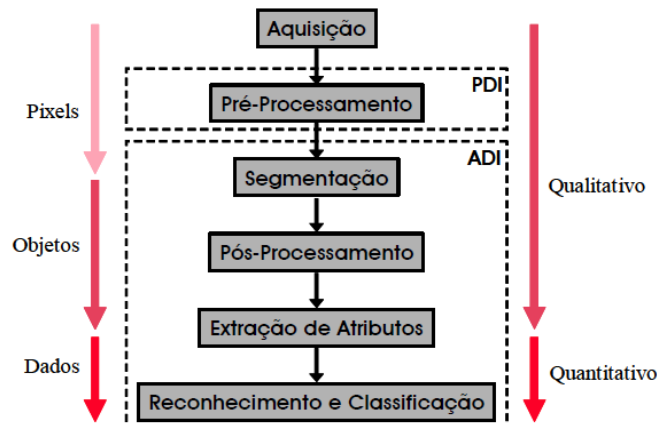
sendo, portanto, representada por três coordenadas:  $x$ ,  $y$  e  $z$ . Estas coordenadas que podem assumir valores inteiros entre 0 e 255. As cores primárias, vermelho, verde e azul são representadas pelos pontos  $(255,0,0)$ ,  $(0,255,0)$  e  $(0,0,255)$ . As configurações de captura da imagem realizadas no software AxioVision, como balanço de branco e tempo de exposição, foram padronizadas e adicionadas à interface do programa de análise de imagens. A Figura 13 mostra imagens de pelotas, com e sem recobrimento, capturadas com o referido software no equipamento desenvolvido.



**Figura 13.** Imagens de pelotas obtidas pelo sistema montado. Sem recobrimento(a) e com recobrimento (b).

### 3.3 Análise de Imagens

O maior desafio no desenvolvimento de um sistema de visão computacional está na escolha das técnicas de processamento de imagens a serem utilizadas para destacar e extrair a informação desejada. Utilizou-se uma sequência padrão de aquisição, processamento e análise, descrita por Vieira e Paciornik<sup>(15)</sup> a partir da qual, rotinas mais sofisticadas podem ser desenvolvidas.



**Figura 14.** Diferentes modelos de iluminação.<sup>(15)</sup>

O Pré-Processamento, ou Processamento Digital de Imagens (PDI), tem a função de aprimorar a qualidade da imagem para as etapas subsequentes, maximizando a extração de características relevantes ao processo. As operações efetuadas nesta etapa trabalham diretamente com os valores de intensidade dos pixels. Esta etapa também é chamada de realce. A Análise Digital de Imagens (ADI) compreende as etapas seguintes: segmentação, pós-processamento, extração de atributos e reconhecimento e classificação.

### 3.3.1 Pré-Processamento

A forma do histograma de uma imagem pode se constituir em informação crucial para a análise da imagem.<sup>(10)</sup> Graficamente, o histograma de uma imagem apresenta no eixo horizontal a escala de níveis de intensidade e, no eixo vertical, mostra a probabilidade de ocorrência ou o número de pixels de cada nível de intensidade na imagem. Assim, o histograma dá uma ideia geral da aparência da imagem, porém nada revela acerca de seu conteúdo.<sup>(16)</sup> A Figura 15 mostra a imagem do histograma.

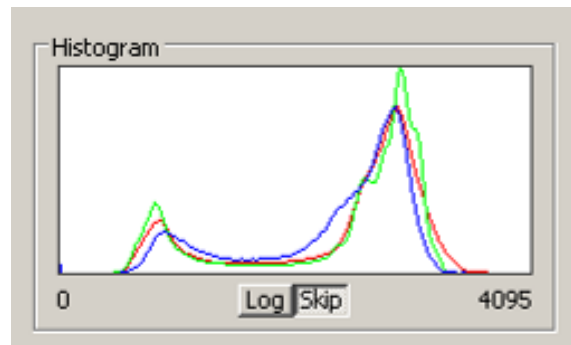


Figura 15. Histograma de uma imagem no espaço RGB.

Operações na imagem alteram seu histograma, o que é primordial devido à técnica de segmentação utilizada neste trabalho. Com a extração do histograma da imagem, é possível aplicar diversas técnicas de transformações na imagem, onde a partir de uma imagem de entrada  $I$ , obtemos uma segunda imagem  $I'$ , derivada da primeira. Inicialmente foi aplicada uma correção na saturação, mostrada na Figura 16.

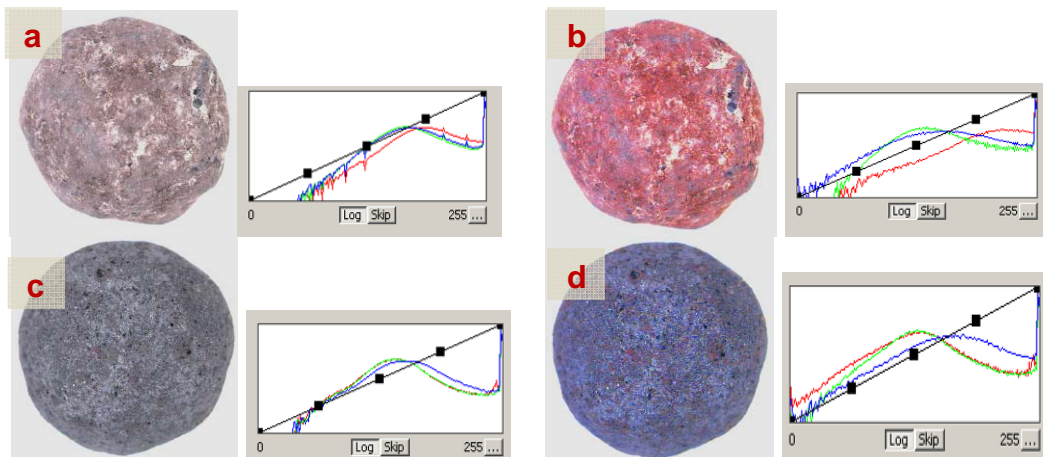
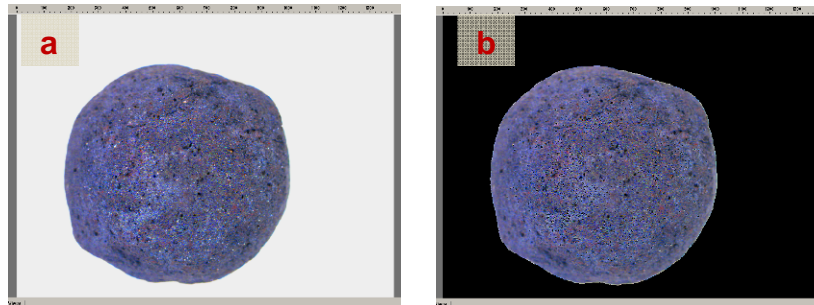


Figura 16..Adequação da saturação à análise posterior e seus respectivos histogramas. (a) Pelota com coating inicial; (b) pelota com coating alterada; (c) pelota sem coating inicial; e (d) pelota sem coating alterada.

### 3.3.2 Segmentação

A tarefa básica da etapa de segmentação é a de dividir uma imagem em suas unidades significativas, ou seja, nos objetos de interesse que a compõem. Esta tarefa, apesar de facilmente descrita, é muito difícil de implementar. A operação de segmentação mais comum é a limiarização (*thresholding*) por um tom de corte, baseada no histograma. Tudo que está acima deste tom vira branco, tudo que está abaixo vira preto, obtendo-se uma imagem binária.

Foram realizadas duas distintas segmentações, todas por limiarização, mas com métodos diferentes. A primeira separou a pelota do fundo, através do método Otsu (Figura 17), onde a Figura 17a mostra a imagem de entrada e a Figura 17b mostra o fundo separado da pelota.



**Figura 17.** Imagem com fundo branco (a); Imagem sem o fundo(b).

A segunda definiu o que era coating, com o nível de corte especificado no algoritmo, mostrada na Figura 17b. A segunda através de limiarização *threshold*, com limite de corte definido no algoritmo, para detecção do coating.

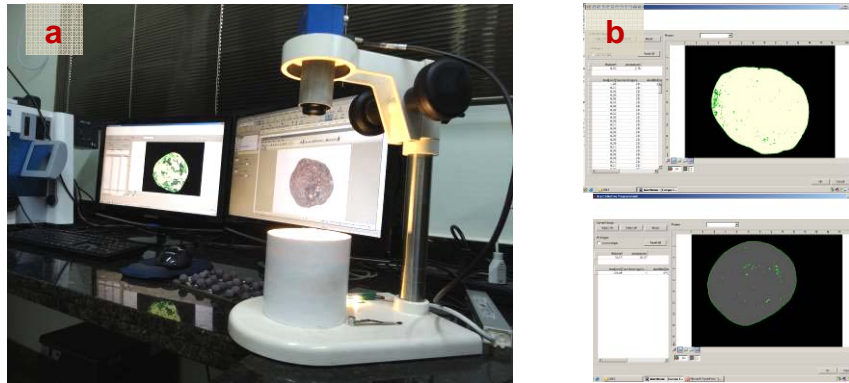
### 3.3.3 Pós processamento

O pós-processamento tem por objetivo aprimorar o resultado da segmentação, isto é, a imagem binária. Operações morfológicas são aquelas aplicadas às imagens binarizadas. Pelo fato de as imagens serem binárias, ou seja, de somente existirem pixels com dois níveis de cor, elas permitem um tratamento diferenciado. Aplicamos na imagem uma série de operadores binários de modo a ressaltar ou suprimir uma característica.

Neste trabalho foram utilizadas as operações morfológicas de dilatação, que expande uma imagem, e a de erosão, que a encolhe. Utilizou-se também a abertura, que em geral suaviza o contorno de uma imagem, e o fechamento, que funde pequenas quebras e alarga. A imagem final delimita as áreas da pelota com e sem recobrimento.

### 3.3.4 Extração de atributos

Etapa onde efetivamente é iniciada a análise de imagem. Existem basicamente duas classes de medidas. As Medidas de campo (*field features*) se referem ao campo como um todo, como por exemplo Área total e Fração da Área. As Medidas de região (*region features*) se referem aos objetos independentemente, como Circularidade e Perímetro. Ambas as medidas são realizadas na metodologia desenvolvida, porém para a análise de coating serão reportadas apenas as medidas de campo. A Figura 19a mostra o equipamento desenvolvido acoplado ao analisador de imagens com o algoritmo para análise do percentual de recobrimento. A Figura 19b mostra exemplos de análises de pelotas com e sem recobrimento.



**Figura 19.** Equipamento acoplado ao analisador de imagens. (b) Análise de pelotas com e sem recobrimento.

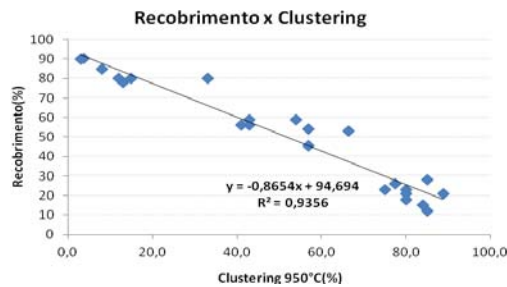
### 3.4 Ensaios Realizados

Foram realizados ensaios no equipamento e algoritmo desenvolvidos, onde ficou evidenciado que o percentual de recobrimento das pelotas está intimamente ligado ao seu comportamento nos reatores de redução direta quanto à colagem. A Figura 20 denota o gráfico de uma das análises realizadas com pelotas maquiadas em escala piloto. São fornecidos resultados do percentual de recobrimento de cada pelota analisada, bem como a média de recobrimento da amostra.



**Figura 20.** Gráfico representando uma análise realizada.

As análises realizadas foram correlacionadas com o índice de clustering baseado na norma ISO 11256, porém em temperaturas de 950°C. Tal variação da temperatura foi realizada tendo em vista o atual cenário do processo de redução direta, onde há uma tendência de elevação nas temperaturas de redução. Nota-se uma boa correlação entre os métodos. A Figura 21 mostra o gráfico de correlação.



**Figura 21.** Gráfico representando uma análise realizada.

### 3.5 Avaliação do sistema de Medição

Os termos e grandezas normalmente empregados na avaliação de sistemas de medição são repetibilidade (capacidade de um operador repetir os resultados obtidos por ele mesmo), reprodutibilidade (um operador reproduzir os mesmos resultados que outro operador obteve) e o percentual de contribuição (quanto da variação é devida ao sistema de medição). A Figura 22 mostra o percentual de contribuição obtido para o teste de recobrimento da pelota no software Minitab16.

#### Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	14,97	0,99
Repeatability	14,97	0,99
Reproducibility	0,00	0,00
Part-To-Part	1498,48	99,01
Total Variation	1513,46	100,00

Figura 22. Percentual de contribuição do teste de recobrimento.

O percentual de contribuição do sistema de medição, utilizado na validação da análise de recobrimento, apresentou valor de 0,99%, classificado como aceitável, segundo o critério de avaliação de WERKEMA, 2006.<sup>(11)</sup> Portanto, o sistema foi considerado bom e adequado para o propósito a que se destina. Pode-se dizer ainda que 99,01% da variabilidade total das análises foram devidas então à variação natural existente entre os itens (item a item). A Figura 23 mostra as componentes de variação do sistema de medição.

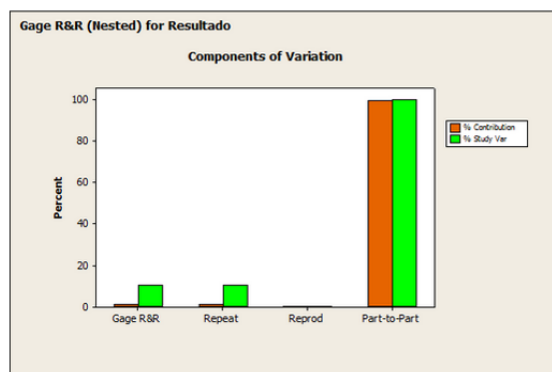


Figura 23. Componentes de variação de um sistema de medição.

## 4 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram descritos detalhes técnicos da montagem de um sistema de processamento de imagens.

Em seguida, este sistema foi utilizado para obter imagens e analisar imagens de pelotas com e sem recobrimento.

A partir dos resultados obtidos é possível concluir que o sistema é eficaz determinação do percentual de recobrimento das pelotas.

A análise do sistema de medição mostrou que o sistema é confiável, com apenas 0,99% de contribuição do sistema.



O uso deste sistema desenvolvido mostrou-se como um importante parâmetro de acompanhamento do processo.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem a Samarco Mineração pelo suporte e incentivo.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 GRISCOM, F.N., METIUS, G. E., KOPFLE, J. T., Ironmaking Technology for the New Millenium. Direct from Midrex, 2nd Quarter, 2000. p.3-6.
- 2 BENIQUE, F. S. B. Carburização do DRI na Zonas de Transição e Resfriamento de Reatores Tipo Midrex. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica, 2011.
- 3 EISEN, H. P., GUDENAU, H. W., KIM, M., et alli. Investigations in a reduction scanning electron microscope about the reduction behaviour of modern iron ore pellets and sinters with low SiO<sub>2</sub> and CaO contents. 999.
- 4 LOPES, F. S. Estudo do Fenômeno de Colagem das Pelotas Samarco Durante o Processo de Redução Direta. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2004. 136p. (Dissertação, Mestrado em Engenharia de Materiais).
- 5 Simões, H. O., Bailon, A. M. G., Pereira, B. C. E., Doellinger, T. M. Avaliação da Morfologia do Ferro Fibroso em Atmosfera com 100% de CO. XII Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro, 12-16 de setembro de 2011, Vila Velha.
- 6 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Genebra. ISO 11256 – Iron ore pellets for shaft direct-reduction feedstocks - Determination of the clustering index. Second edition. Genebra, 2007. 13p.
- 7 PEREIRA, J. G. Avaliação da utilização de diferentes materiais para diminuição da tendência de colagem de pelotas durante o processo de redução direta. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.
- 8 COHEN, P. R. The Handbook of artificial Intelligence. Volume III. Stanford: Addison-Wesley Inc, 1986.
- 9 DESCHAMPS, F. Contribuições para o Desenvolvimento de um Sistema de Visão aplicado ao Monitoramento do Desgaste de Ferramentas de Corte - O Sistema ToolSpy. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina - Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica, Florianópolis - SC - Brasil, 2004.
- 10 GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. Digital Image Processing. 2.ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 2002.
- 11 WERKEMA, M. C. C. Avaliação de Sistemas de Medição. Belo Horizonte: Werkema, 2006.
- 12 FORSYTH, David A., PONCE, Jean. "Computer Vision A Modern Approach", New Jersey, Prentice Hall, 2003.
- 13 Edmund Optics. Optics and Optical Instruments Catalog. Edmund Industrial Optics, Estados Unidos, 2005. Em <http://www.edmundoptics.com>.
- 14 GOMES, Jonas, Velho, Luiz. Computação Gráfica: Imagem. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Editora do Instituto de Pesquisa aplicada/IMPA, 1994, 421 p.
- 15 Vieira, P. R. M.; Paciornik, S. Uncertainty evaluation of metallographic measurements by image analysis and thermodynamic modeling. Materials Characterization, v. 47, p. 219-226, 2001.
- 16 GOMES, O. F. M. Microscopia Co-Localizada: Novas Possibilidades na Caracterização de Minérios. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica, 2007.