

DETERMINAÇÃO DO TEOR DE APATITA EM AMOSTRAS DE PILHA DE HOMOGENEIZAÇÃO POR ANÁLISE DE IMAGENS DIGITAIS

GOUVÊA, D.F.¹, SILVA, A.C.², SILVA, E.M.S.³

¹Graduanda em Engenharia de Minas, UFG, Campus Catalão. dfgouvea.engmin@gmail.com

²Departamento de Engenharia de Minas, UFG, Campus Catalão. andreCarlos@catalao.ufg.br

³Departamento de Engenharia de Minas, UFG, Campus Catalão. elenice@catalao.ufg.br

RESUMO

Para qualquer bem mineral a compreensão de suas características intrínsecas é de suma importância para o seu processamento. O presente trabalho apresenta a caracterização mineralógica e a estimativa do teor de amostras de minério de apatita através da análise de imagens digitais. Para tal foram utilizadas amostras de minério coletadas em pilhas de homogeneização do produto da britagem primária. As amostras foram doadas pela empresa Vale Fertilizantes, situada na cidade de Catalão-GO. As amostras foram secas, peneiradas e fotografadas utilizando um microscópio ótico. Para a análise das imagens digitais foi desenvolvido um software que realiza a distinção das fases minerais através da diferenciação colorimétrica entre os minerais presentes na amostra. Os teores obtidos foram comparados com análises químicas (difração de raios-X) realizadas em amostras gêmeas às caracterizadas. Os resultados mostram que a análise de imagens digitais pode ser utilizada como uma técnica complementar aos métodos de caracterização hoje empregados, visto que tal análise é rápida, não destrutiva e de custo inferior, sem mencionar a possibilidade da realização das análises em tempo real.

PALAVRAS-CHAVE: teor aparente; apatita; análise de imagem digital.

ABSTRACT

For any mineral greater comprehension of the mineral intrinsic characteristics lead to a good mineral processing. This paper presents a mineralogical characterization and apatite ore grade estimation using digital image analysis. To do so samples of phosphate rock collected from homogenization stock pile generated after primary grinding were used. The samples were donated by Vale Fertilizantes Company situated in Catalão-GO. The samples was dried, size classified using a Tyler screen series and photographed using an optic microscope. To analyse the digital images a software was developed, which perform the mineral phases distinction by colorimetric differentiation of the mineral present in the sample. Apatite grades were compared to the grade determined by chemical analysis (X-rays diffraction) in twin samples. The found results indicated that the digital image analysis can be used as a complementary technique to mineral characterization methods used in this days, since this analysis is faster, non-destructible and cheaper, without mentioning the possibility of analysis realization in real time.

KEYWORDS: apparent grade; apatite; digital image analysis.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Fonseca (2011) em 2010 a produção mundial de rocha fosfática foi de 176 milhões de toneladas. Em sexto lugar o Brasil produziu 6,192 milhões de toneladas, valor correspondente a 3,5% da produção mundial. As reservas brasileiras estão localizadas principalmente em Minas Gerais (66%), Goiás (13%) e São Paulo (6%). A produção nacional está concentrada nos complexos alcalino-carbonatíticos localizados nos municípios de Tapira, Araxá, Catalão e Cajati.

A microscopia ótica tem sido a técnica de microscopia mais utilizada há quase trezentos anos. Dentre as vantagens da microscopia ótica inclui-se o baixo custo, facilidade de uso e contraste de transmissão e/ou reflexão. O desenvolvimento de técnicas de processamento de imagens se associa com as diversas áreas das ciências, o que resulta em trabalhos como o presente, que tenta solucionar com métodos computacionais, em tempo e custos computacionais aceitáveis.

As imagens digitais estão substituindo as fotos convencionais, que eram analisadas por processos manuais. Uma vantagem da utilização de imagens digitais é que estas não perdem suas características (tais como cores e brilho) com o passar do tempo e, além disso, podem ser melhoradas com a aplicação de algoritmos específicos. A possível utilização da análise de imagem digital vem sendo amplamente explorada na indústria, por ser uma técnica mais barata e mais rápida que outras convencionais, atualmente utilizadas.

A possibilidade de se analisar características de amostras minerais através de análises digitais, tais como: cor, textura, tamanho do grão dentre outras, tem motivado diversos estudos. Perez *et al.* (2011) propuseram um método para classificação de rochas de acordo com sua coloração, extraindo características da textura da mesma utilizando um algoritmo para a detecção de fronteiras. Para a análise da coloração das amostras os autores usaram um número hexadecimal que retém as informações de cores de cada pixel de uma imagem digital, conhecido como palheta RGB (*red*, *green* e *blue*). Ao se analisar uma imagem os autores geraram histogramas de frequência com as cores da imagem e a sua decodificação permitiu a caracterização mineral das amostras. Os autores citam que o sistema proposto pode ser adaptado para a instalação em correias transportadoras ou mesmo para a análise do produto de moinos.

Um sensor colorimétrico (composto por uma câmera de vídeo ligada a uma placa de captura de vídeo acoplada a um microcomputador e um programa) foi desenvolvido por Oestreich *et al.* (1994) para a estimativa da composição mineralógica de amostras. Tais autores partiram do princípio de que trabalhar vetores de cores (que consiste em um formato de cores usado para a calibração de aparelhos de TV) produz melhores resultados do que o uso da palheta RGB, uma vez que a medição dos ângulos dos vetores de cores são menos vulneráveis a variações da iluminação da amostra, bem como a presença de sombras na mesma. Foram analisadas amostras de espuma de flotação, lamas e misturas secas de minerais contendo calcopirita e molibdenita.

Outra técnica amplamente utilizada para a estimativa de teores minerais por análise de imagem consiste na criação de redes neurais para a segmentação da imagem digital. Destaca-se o trabalho de Chatterjee *et al.* (2010) que usaram minério de calcário de uma mina indiana e encontraram resultados de estimativa de teor por análise de imagens digitais compatíveis com os resultados obtidos por análise química do mesmo material implementando uma rede neural com percepção multicamadas (MLP). Através da criação de três camadas neurais os autores conseguiram obter os teores de cinco compostos químicos: CaO, Al₂O₃, SiO₂ e Fe₂O₃.

O presente trabalho visou realizar caracterização mineralógica e a estimativa do teor de amostras de minério de apatita através da análise de imagens digitais, mostrando que a análise de imagem pode ser utilizada como uma técnica complementar aos métodos de caracterização hoje empregados,

visto que tal análise é mais rápida e barata que os métodos químicos.

2. METODOLOGIA

2.1. Preparação das amostras

As amostras de minério de apatita utilizadas foram doadas pela empresa Vale Fertilizantes, situada no município de Catalão-GO. As amostras foram coletadas nas pilhas de homogeneização formadas após a britagem primária, destinadas a alimentar a usina de processamento mineral. Foram analisadas cinco amostras provenientes de cinco pilhas diferentes, com massa de aproximadamente 750 gramas cada uma. As amostras foram identificadas pelo código da pilha de homogeneização de onde as mesmas foram retiradas: 1560, 1561, 1564, 1565 e 1567. A análise química das amostras é apresentada na tabela I, bem como a data da coleta da amostra.

Tabela I. Análise química das amostras.

Referência	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	CaO	BaO	SrO	Data
Pilha 1560	21,52	23,56	2,81	4,53	19,04	14,17	3,14	0,44	18/11/10
Pilha 1561	20,62	23,32	2,69	4,15	19,12	13,72	3,64	0,39	18/11/10
Pilha 1564	20,58	22,05	3,30	5,76	18,24	13,75	3,85	0,43	29/12/10
Pilha 1565	20,89	21,46	3,00	6,44	18,39	14,32	3,53	0,41	29/12/10
Pilha 1567	20,91	24,05	2,84	6,27	18,23	14,47	3,55	0,39	29/12/10

Como a análise de imagens digitais faz uma estimativa do teor mineralógico, e não químico, das amostras a tabela I precisou ser convertida para teores mineralógicos de modo que esta pudesse ser comparada com os resultados obtidos pela análise de imagem digital. Desta forma adotou-se que as amostras eram compostas pelos seguintes minerais: apatita, hematita, vermiculita, barita e estroncianita. A tabela II foi calculada levando em consideração a fórmula química padrão de tais minerais.

Tabela II. Composição mineralógica estimada através da análise química das amostras.

Referência	Apatita	Hematita	Vermic.	Barita	Estronc.
Pilha 1560	36,83	23,56	34,82	4,22	0,57
Pilha 1561	35,44	23,31	35,85	4,89	0,51
Pilha 1564	35,43	22,05	36,79	5,17	0,56
Pilha 1565	36,34	21,46	36,93	4,74	0,53
Pilha 1567	36,51	24,05	34,16	4,77	0,51

As amostras foram secas em estufa (180 °C durante uma hora). Após a secagem as amostras foram separadas em alíquotas de 250 g para a realização dos peneiramentos a seco, realizados em um peneirador de bancada com tempo de peneiramento de 15 min e utilizando 17 peneiras da série Tyler de aço inoxidável de 8" (20,32 mm) de diâmetro. A figura 1 apresenta a análise granulométrica da amostra 1565.

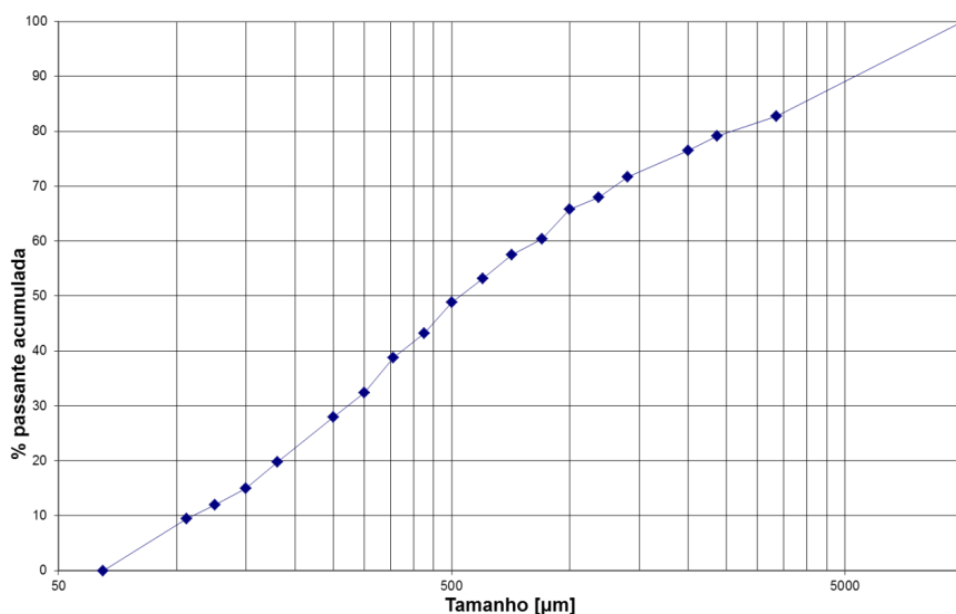


Figura 1. Análise granulométrica da amostra 1565.

2.2. Aquisição das imagens digitais

Para a aquisição das imagens digitais foi utilizada uma câmera Sony DSC-S730 (7,2 MP) acoplada a um microscópio estereoscópico ZOOM645 da Diagtech com aumento de 10X/22. A figura 2 apresenta a montagem utilizada para a aquisição das imagens.



Figura 2. Montagem do microscópio estereoscópico ZOOM645 da Diagtech utilizado para a aquisição das imagens.

Uma amostragem aleatória foi conduzida em cada fração granulométrica das amostras, sendo que de cada subamostra coletada era adquirida uma imagem digital. Foram adquiridas quatro imagens digitais de diferentes subamostras para cada fração granulométrica das amostras, gerando um total de 68 imagens analisadas para cada amostra.

2.3. Análise das imagens digitais

Para a realização das análises das imagens digitais foi desenvolvido um programa que realiza a análise das fases minerais presentes na amostra através da diferenciação colorimétrica das mesmas. O padrão colorimétrico utilizado em cada análise era selecionado pelo usuário no ato da análise. As etapas necessárias para realizar a análise das imagens digitais são descritas a seguir:

1. **Varredura colorimétrica:** nesta etapa é realizada uma varredura da imagem levantando quais de seus pixels atendem a um determinado critério colorimétrico preestabelecido pelo usuário, sendo possível definir qual a tolerância desejada na varredura. Desta forma, ao final do processo é gerada uma nova imagem contendo apenas informações referentes à cor que se deseja estudar. A imagem obtida é formada apenas pelas cores preta e branca, onde os pixels em preto representam os pixels que atendem ao critério de corte de cor predefinido na imagem original e os pixels na cor branca representam os pixels que não atendem ao critério;
2. **Remoção de ruído:** após a varredura colorimétrica existem aglomerados de pixels, normalmente de tamanho muito pequeno (inferior a 1% da área da imagem cada), que são formados a partir de ruídos provenientes do sistema de aquisição da imagem ou mesmo de ruídos causados pelo processo de varredura colorimétrica. Assim sendo foi desenvolvido um algoritmo para remover aglomerados com tamanho especificado pelo usuário;
3. **Contagem e rotulação dos grãos minerais:** com a imagem devidamente tratada resta apenas rotular e contar os grãos minerais nela exibidos. Para tal foi implementado o algoritmo proposto por Hoshen e Kopelman (1976).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os minerais contidos nas amostras foram divididos em três grupos, devido a sua facilidade de distinção visual: grupo A (apatita, barita e estroncianita), grupo B (óxidos de ferro, tipicamente hematita e magnetita) e grupo C (micas, tipicamente vermiculita). A figura 3 apresenta o resultado da análise de uma imagem digital, sendo a figura 3a o resultado encontrado para os minerais do grupo A e a figura 3c para os minerais do grupo C. A influência da iluminação na amostra pode ser percebida quando se compara as figuras 3a e 3c, uma vez que dois grãos do grupo C foram parcialmente identificados devido à refletividade da mica.

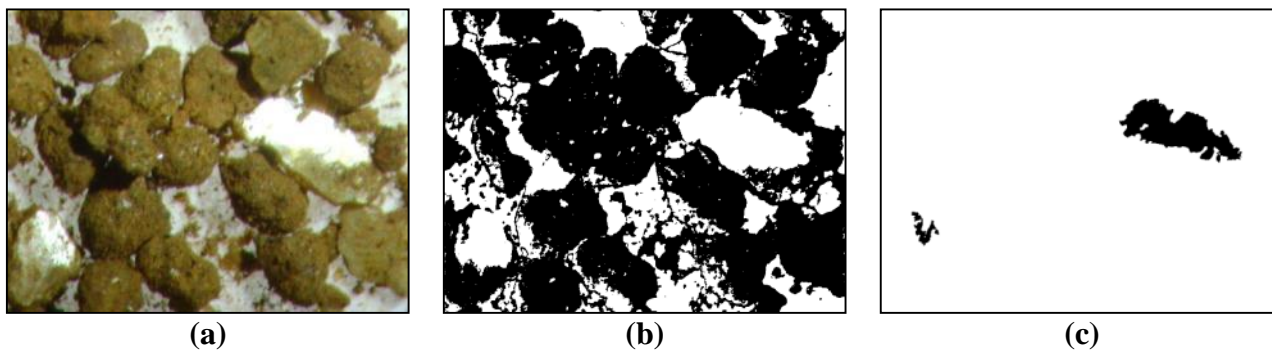


Figura 3. Resultados da análise de uma imagem digital: (a) imagem digital da amostra a ser analisada, (b) resultados para a análise dos minerais do grupo A e (c) resultado da análise para minerais do grupo C.

A figura 4 apresenta três imagens de diferentes subamostras da pilha 1565, sendo que cada uma foi analisada e os resultados obtidos podem ser vistos na tabela III. A análise das imagens digitais foi realizada em um computador pessoal com processador Intel Pentium T4500 e 3GB de memória RAM. Para todas as imagens processadas o tempo gasto em cada análise foi sempre inferior a dois segundos.

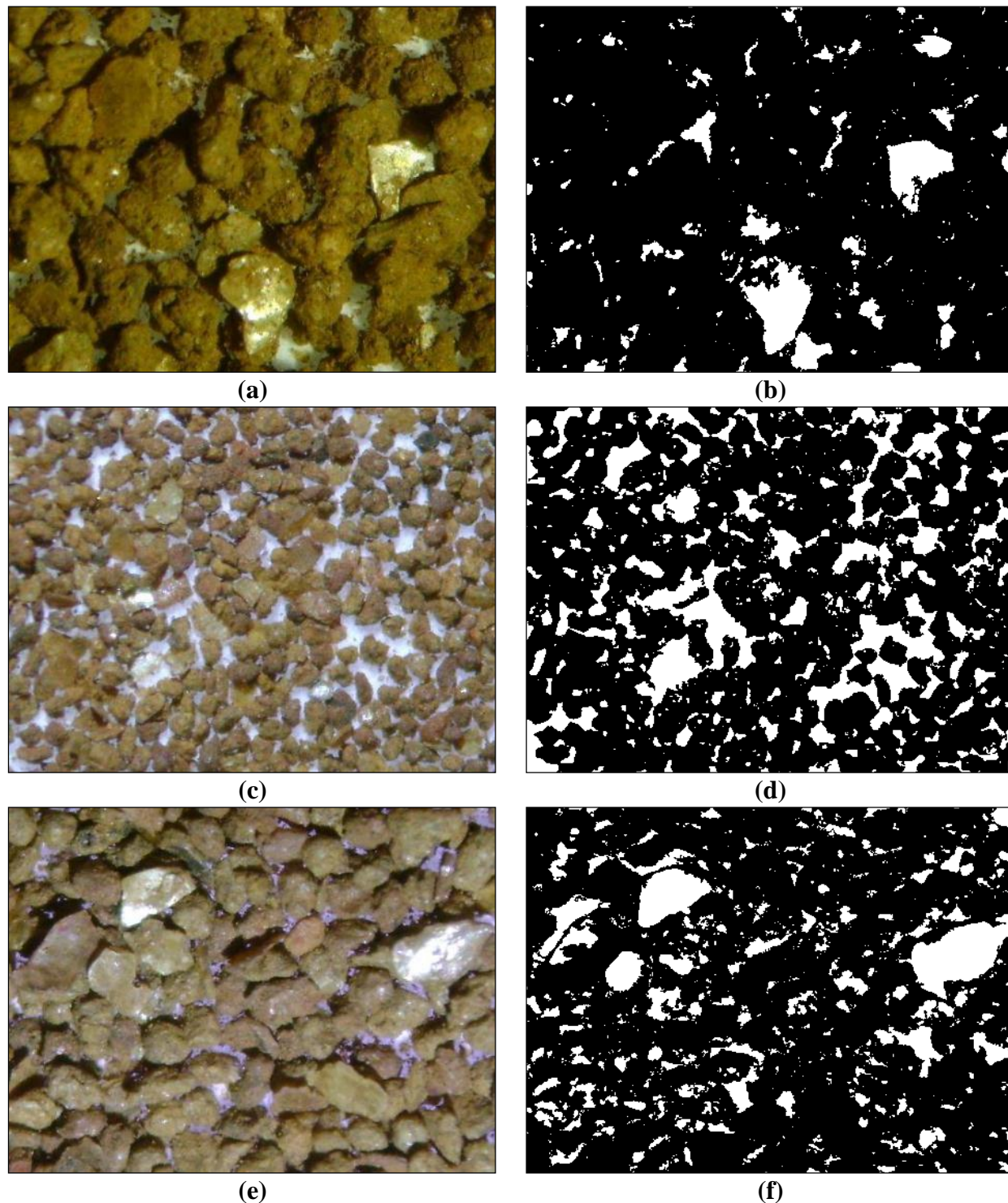


Figura 4. Análise de três imagens digitais com partículas de diferentes tamanhos da pilha 1565: (a) -48+60#, (c) -20+24# e (e) -24+32#.

Tabela III. Resultados da análise da figura 4.

Imagem	Tamanho da partícula	Área da imagem [pixels]	Tempo de processamento [s]	Teor do grupo A
a	-48+60#	197505	1,920	91,26
c	-20+24#	197505	1,948	81,68
e	-24+32#	197505	1,981	86,89

A figura 5 apresenta os teores obtidos a partir da análise de imagens digitais (representado por barras) e o teor obtido por análises químicas (representada pela linha horizontal escura). A linha química foi traçada a partir da soma dos teores dos minerais do grupo A (apatita, barita e estroncianita) e grupo C (grupo das micas, usualmente a vermiculita). Mesmo o software sendo capaz de analisar minerais de cada grupo, partículas de um mesmo mineral foram analisadas incorretamente em alguns casos.

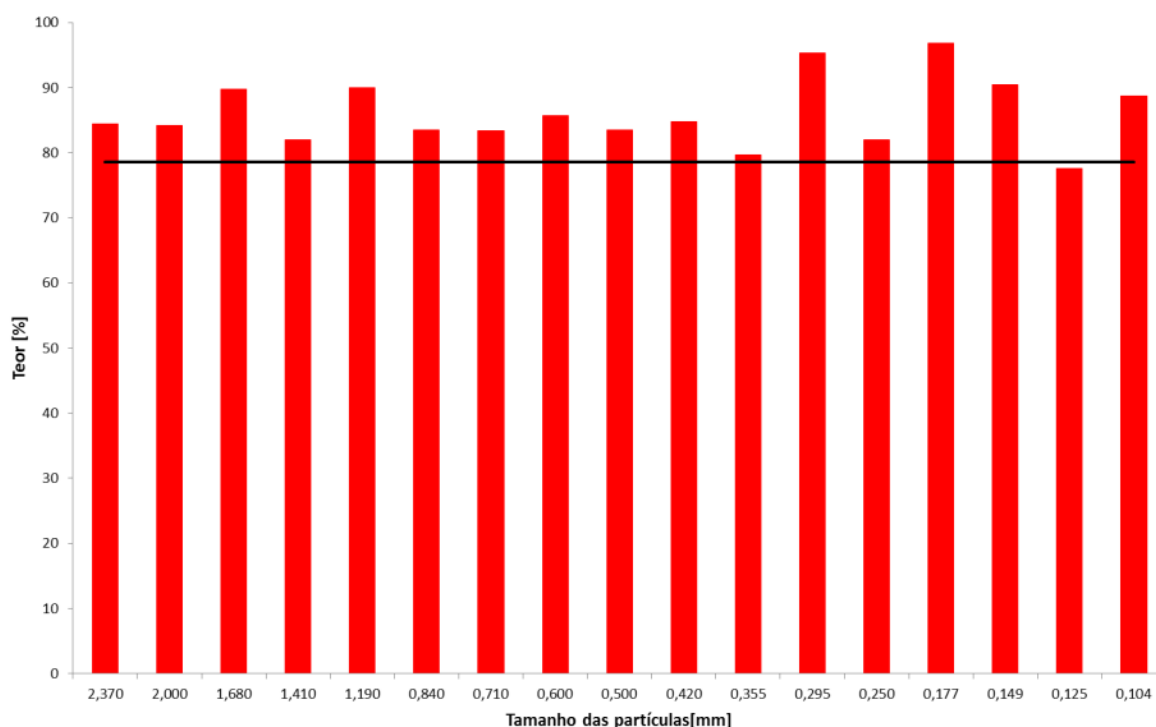


Figura 5. Teor estimado para cada tamanho de partícula (representado por barras) versus teor químico (representado pela linha horizontal) para a pilha 1565.

4. CONCLUSÕES

Os resultados encontrados mostram que análise de imagem pode ser utilizada como uma técnica complementar aos métodos de caracterização hoje empregados, visto que tal análise é rápida e de baixo custo. Contudo a iluminação utilizada na aquisição das imagens não foi adequada, uma vez que se possuía apenas um ponto de iluminação (do próprio microscópio) e seriam precisos, no mínimo, três pontos de iluminação de mesma potencia luminosa para mitigar a geração de sombras nas amostras analisadas. Notou-se também que os minerais do grupo A se aderiam às micas, fazendo com que o programa não reconhecesse toda a mica. Este ponto não tem relação com o grau de liberação do material e sim com a realização de uma etapa de escrubagem do mesmo. Como apenas a pilha 1565 foi analisada, mais testes ainda serão realizados para as pilhas 1560, 1561, 1564 e 1567.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro, imprescindível para o desenvolvimento do presente trabalho, das agências brasileiras de fomento à pesquisa CNPq, CAPES, FAPEG e FUNAPE e à Universidade Federal de Goiás, pelo apoio dado ao mesmo.

6. REFERÊNCIAS

CHATTERJEE, S., BHATTACHERJEE, A., SAMANTA, B., PAL, S. K. Image-based quality monitoring system of limestone ore grades. *Computers in Industry*, Elsevier, v. 61, p. 391-408, 2010.

FONSECA, D. S. Fosfato. In: *Sumário Mineral*. Departamento Nacional da Produção Mineral, 2011.

MOOLMAN, D. W., ALDRICH, C., VAN DEVENTER, J. S. J. The interpretation of flotation froth surfaces by using digital image analysis and neural networks. *Chemical Engineering Science*, Elsevier, v. 50, n. 22, p. 3501-3513, 1995.

OESTREICH, J. M., TOLLEY, W. K., RICE, D. A. The development of a color sensor system to measure mineral compositions. *Minerals Engineering*, Elsevier, v. 8, p. 31-39, 1995.

PEREZ, C. A., ESTÉVEZ, P. A., VERA, P. A., CASTILLO, L. E., ARAVENA, C. M., SCHULZ, D. A., MEDINA, L. E. Ore grade estimation by feature selection and voting using boundary detection in digital image analysis. *International Journal of Mineral Processing*, Elsevier, v. 101, p. 28-36, 2011.

HOSHEN, J., KOPELMAN, R., Percolation and cluster distribution I. Cluster multiple labeling technique and critical concentration algorithm, *Phys. Rev. B* 14, v. 8, 3438–3445, 1976.