

EFEITO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA BAUXITA (FASES) NA VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO¹

Rodrigo Moreno²
Eduardo Marchioni Escobar³
Roberto Seno Júnior⁴

Resumo

Durante alguns meses do ano de 2010 a refinaria de alumina da Votorantim Metais/CBA teve algumas crises de produção em função da velocidade de sedimentação no processo de separação da lama (lavagem e recuperação de soda), um fator que contribuiu para esta crise foi o aumento da introdução de bauxita de origem de Poços de Caldas, já que a refinaria opera com duas frentes de bauxita (região de Poços de Caldas e Zona da Mata, ambas no estado de MG). Então, houve uma necessidade de avaliar e acompanhar a velocidade de sedimentação dos minérios para ajustar a proporção das frentes de bauxita de alimentação da refinaria. O procedimento laboratorial para esta avaliação é lento e possui um erro na ordem de 20%, o que nos levou a desenvolver um estudo para ter esta avaliação de forma rápida e com maior precisão. No presente trabalho, mostraremos os estudos realizados para entender o efeito da velocidade de sedimentação nos diferentes minérios e construir um modelo matemático que permitisse obter os valores de velocidade de sedimentação.

Palavras-chave: Velocidade de sedimentação; Decantação.

EFFECT OF CHEMICAL COMPOSITION OF BAUXITE (PHASES) IN THE SEDIMENTATION RATE

Abstract

During some months of 2010, the alumina refinery of Votorantim Metais/ CBA had crises of production due to the sedimentation rate, in the red mud separation process (washing soda and recovery), a factor that contributed to the crises was the increase the introduction of bauxite from Poços de Caldas, the refinery operates on two fronts bauxite (region of Poços de Caldas and Zona da Mata, both in the Minas Gerais state). So, there was a need to evaluate and monitor the sedimentation rate of minerals to adjust the proportion of the fronts of bauxite supply the refinery. The testing procedure for this evaluation is slow and has an error in the order of 20%, which led us to develop a study to make this assessment quickly and accurately. In this paper, we'll show the studies performed to understand the effect of sedimentation rate, in the different minerals and construct a mathematical model which gives the values of sedimentation rate.

Key words: Sedimentation rate; Settling.

¹ Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Bacharel em Química, Consultor Químico, Votorantim Metais/ CBA, Brasil.

³ Bacharel em Química, Gerente de Laboratório, Votorantim Metais/ CBA, Brasil.

⁴ Engº Químico, Gerente de Tecnologia e Processo, Votorantim Metais/ CBA, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

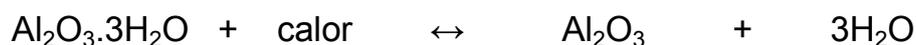
1.1 Bauxita

O Brasil possui a segunda maior reserva de bauxita do mundo, que é o principal minério utilizado para a produção do alumínio. A bauxita é um material heterogêneo formado de misturas de óxidos de alumínio hidratados contendo impurezas. Seus principais constituintes são: o diásporo $\alpha\text{-AlO}(\text{OH})_3$, a gibbsita $\gamma\text{-Al}(\text{OH})_3$ e a Boehmita $\gamma\text{-AlO}(\text{OH})_3$ e impurezas (Kaolinita, Hematita etc). A qualidade da bauxita varia de região em função de sua formação.

1.2 Processo Bayer

O processo Bayer consiste em solubilizar a alumina na forma de gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$ ou $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), conhecida na indústria do alumínio como “Alumina Aproveitável”, que dissolve-se em solução cáustica em uma temperatura de 150°C (digestão), produzindo uma solução supersaturada de aluminato de sódio e ficam na forma de sólidos os compostos que não são dissolvidos durante o processo, que logo em seguida é separado pelo processo de decantação (separação sólido-líquido).

Após a solubilização da gibbsita em solução de hidróxido de sódio, formando a solução supersaturada de aluminato do sódio, resfria-se esta solução para precipitar toda a gibbsita presente que em seguida é calcinada a temperatura de 1.000°C para obter o óxido de alumínio, conforme a reação abaixo:



O óxido de alumínio produzido é usado, na maioria das aplicações, para produção de alumínio metálico pelo processo *Hall-Heroult*.

1.3 Decantação da Lama Vermelha

A lama vermelha gerada pelo processo é separada em tanques de decantação (processo de separação sólido-líquido) e enviada para lagos de armazenamento de resíduos.

A quantidade de lama gerada no processo está diretamente relacionada com a qualidade do minério e seus componentes.

O processo de separação sólido-líquido da lama vermelha com a solução de aluminato de sódio é realizado através da decantação, com uso de auxiliares de decantação (Hidroxamato e Poliacrilamida) para aumentar a velocidade de separação e conseqüentemente a produtividade, compactando a lama vermelha para minimizar o volume descartado no lago de resíduos.

Os parâmetros importantes nesta etapa são a velocidade em que as partículas separam-se do líquido (chamada de velocidade de decantação), o quanto de sólidos suspensos fica no líquido e a compactação das partículas. Para tais avaliações destes parâmetros, existe um teste realizado em laboratório para prever a situação da bauxita quando alimentada em processo.

2 VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO OU DECANTABILIDADE

O uso de polímeros sintéticos (Hidroxamato e Poliacrilamida) para atuar como floculantes e auxiliar no processo de separação é comum neste tipo de aplicação

devido os fenômenos físico-químico de adsorção do polímero sobre as partículas, interação de cargas, conformação da molécula do polímero após sua adsorção sobre a partícula, colisões de outras partículas, crescimento das partículas já agregadas e ruptura das partículas agregadas (Figura 1).

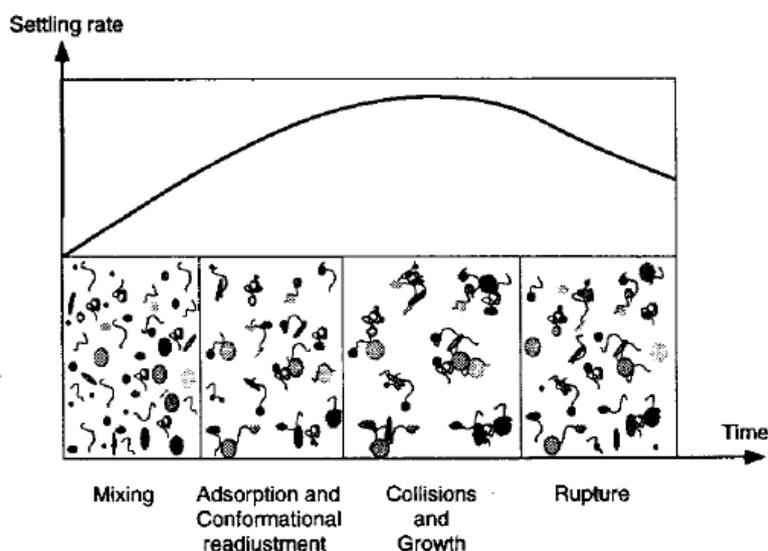


Figura 1. Efeito do polímero sobre as partículas.⁽¹⁾

A decantação ou sedimentação segue os princípios de Arquimedes e a lei de Stokes,⁽²⁾ onde uma esfera se move sobre a ação das seguintes forças: O peso ou massa, o empuxo (o corpo está completamente submerso no seio de um fluido), e uma força de atrito que é proporcional a velocidade da esfera (supondo que o fluxo é mantido em regime laminar).

O peso é o produto da massa pela aceleração da gravidade g e a massa é o produto da densidade absoluta do material ρ_e pelo volume da esfera de raio R .

$$mg = \rho_e \frac{4}{3} \pi R^3 g$$

O empuxo é igual ao produto da densidade absoluta do fluido ρ_f , pelo volume do corpo submerso e pela aceleração da gravidade.

$$E = \rho_f \frac{4}{3} \pi R^3 g$$

A força de atrito (resistência) é proporcional a velocidade.

$$F_y = 6 \pi R \eta v$$

Onde η é a viscosidade do fluido.

A equação do movimento será: $ma = mg - E - F_y$

A velocidade limite é alcançada quando a aceleração seja zero, logo quando a resultante das forças que atuam sobre a esfera é zero.

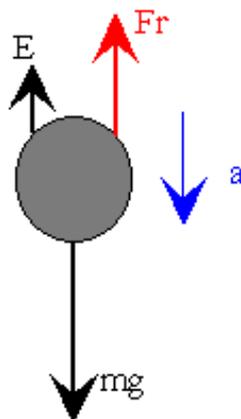


Figura 2: Força do empuxo.⁽¹⁾

2.1 Teste da Velocidade de Sedimentação

O teste consiste em determinar no laboratório qual a velocidade em que as partículas se separam da solução de aluminato de sódio, proveniente de digestão cáustica de acordo com processo Bayer, determinar também a concentração de sólidos suspensos que não decantaram e qual o volume de compactação da lama vermelha após um determinado tempo.

No procedimento deve-se realizar a digestão da bauxita, em vazo de pressão com soda cáustica a temperatura de 150°C durante 30 minutos e em seguida transferir esta polpa para uma proveta e a acondiciona em um *Hot Box*, sob temperatura de 95°C, por mais 10 minutos para estabilização que seja semelhante à temperatura de operação nos decantadores. Então se adiciona o floculante e realiza a análise medindo o intervalo de espaço e tempo em que os sólidos decantam-se. Calcula-se então a velocidade de sedimentação conforme a fórmula abaixo:

$$\text{Vel. Sedimentação} = (\text{Fator da Proveta} / \Delta t) = \text{m/h}$$

Onde o fator da proveta: (distância entre marcas 700 mL a 900 mL (mm) x 3.600 s) / 1.000 mm; Δt : variação de tempo entre as marcas de 900 mL e 700 mL.

Os resultados são expressos em metros por hora (m/h).

Este procedimento demanda muito tempo para se realizar um ensaio de uma única amostra (aproximadamente 2 horas) e não apresenta boa precisão em seus resultados (erros na ordem de 20%). Isto se deve em função da grande variação do tempo entre marcas de 900 mL e 700 mL da proveta, para bauxitas que apresentam altas velocidades de sedimentação e o efeito é o mesmo para bauxitas que apresentam baixas velocidades de sedimentação, em função do intervalo de linearidade da velocidade (Figura 3).

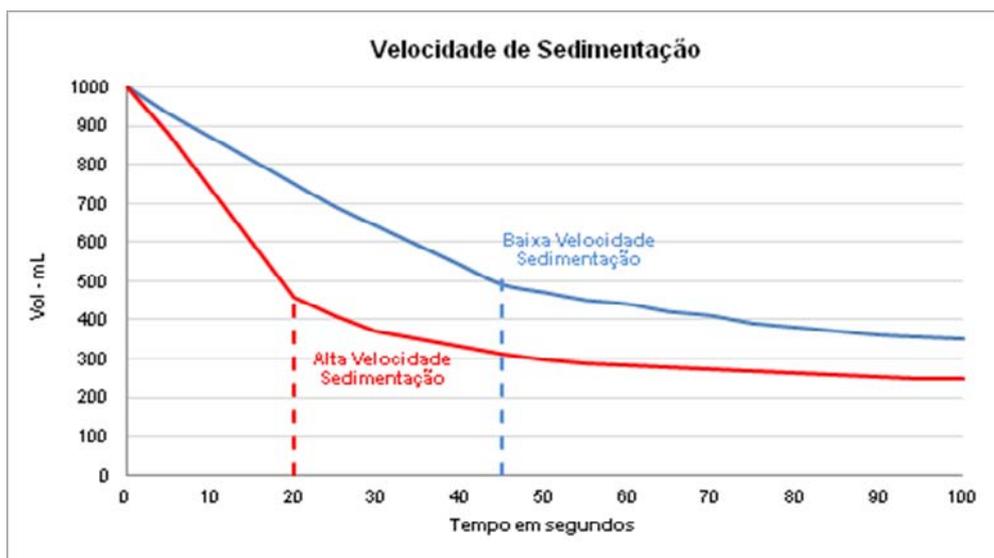


Figura 3. Efeito da velocidade de sedimentação bauxitas de diferentes velocidades.

3 AVALIAÇÃO DA VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO USANDO A QUIMIOMETRIA

Diante da dificuldade de realizar os ensaios de velocidade de sedimentação e pela baixa precisão dos resultados, estudou-se outro meio de obter os resultados de velocidade de sedimentação, de forma rápida e com maior precisão, através da quimiometria.

3.1 Quimiometria

A quimiometria é uma técnica de aplicação de métodos estatísticos ou matemáticos em dados de origem química para se obter informações sobre o estado do sistema através da aplicação dos métodos estatísticos ou matemáticos, resumindo-se basicamente em obtenção de um resultado obtendo dados químicos da amostra.⁽³⁾ Elabora-se uma matriz contendo as informações químicas (X's) com os resultados por métodos tradicionais (Y) (Figura 4).

	x										y	
	sample	ângulos - 2 θ										dc (m/h)
	PC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11
	ZM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37
	Serrote1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35
	Serrote2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33
	T1_10%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19
	T1_20%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20
	T1_30%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23
	T2_10%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23
	T2_20%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26
	T2_30%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18
	Tamoio 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27
	Tamoio 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23
	Mirai base	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33
	Mirai2 Topo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
	Mirai 2 Rocha	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
	Mirai 2 Baseb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33
	Mirai1 Topo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33

Figura 4. Matriz de variáveis em função da resposta.

Através das ferramentas de PCA (Principal Component Analysis), PCR (Principal Component Regression), PLS (Partial Least Squares), Parafac (Parallel Factor Analysis), NPLS (N-way Partial Least Squares) e Calibração multivariada, análise exploratória, processamento de sinais constrói um modelo matemático com uma equação para se determinar o Y através da leitura dos X's com resultados precisos.

3.2 Desenvolvimento do Modelo Matemático

Foram preparadas várias amostras de bauxita, separado por fontes de mineração (Itamarati de Minas e Poços de Caldas) e realizado o ensaio de decantabilidade pelo método convencional. Nestas mesmas amostras foram analisadas suas composições químicas, utilizando a técnica de Fluorescência de Raios-X, construída a matriz e realizados os cálculos estatísticos e matemáticos com base na quimiometria, obtendo-se um modelo matemático para a determinação do valor de velocidade de sedimentação.

Os dados foram tratados no *software* Pirouette ®.

Elaboração dos cálculos de variância e regressão linear com todos os dados da composição química das amostras com a velocidade de sedimentação.

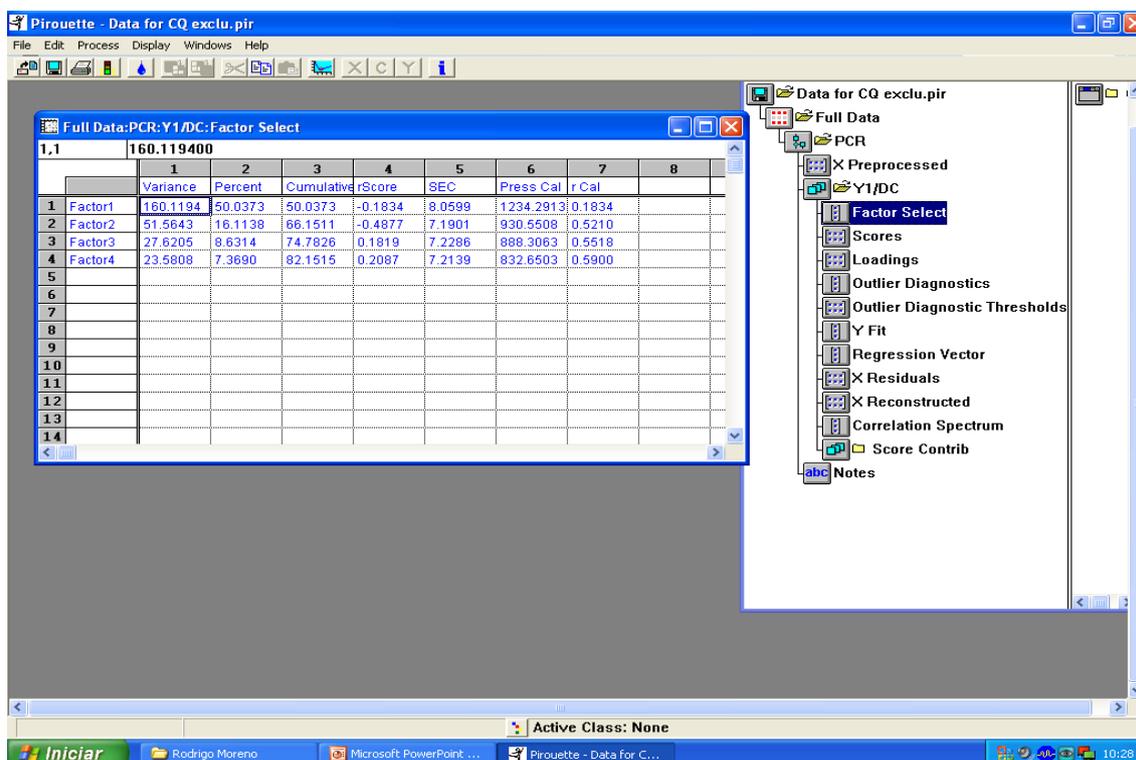


Figura 5. Tratamento PCR no software Pirouette ®.

Avaliação dos principais componentes da análise, que contribuem menos para o modelo e pode ser excluído sem que haja impacto ou até melhore a correlação.

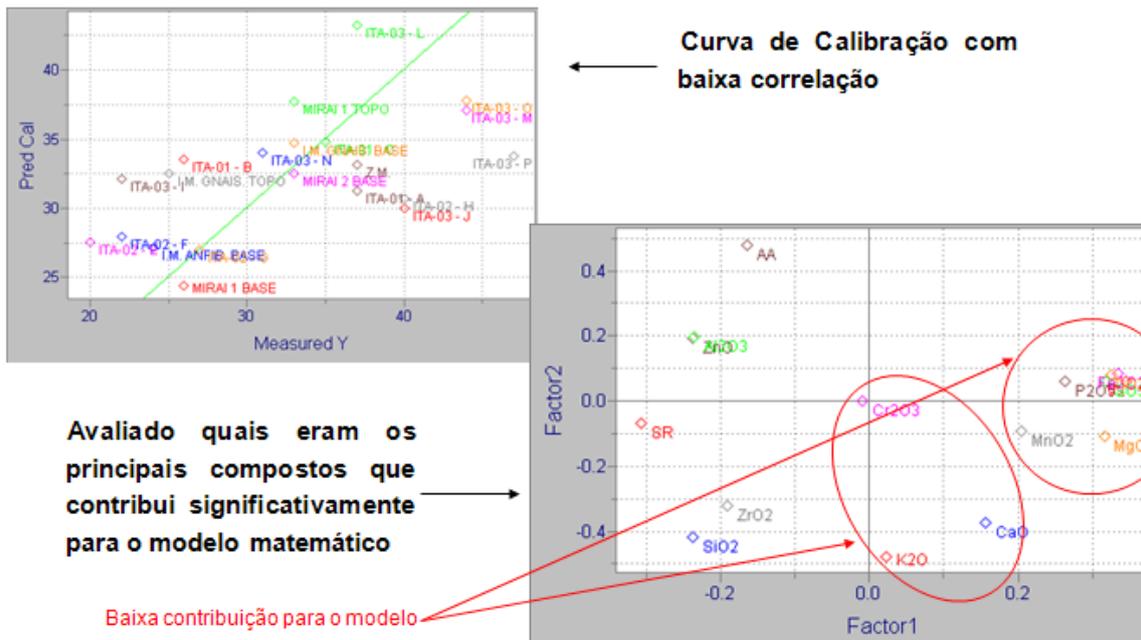


Figura 6. Avaliação dos PCA no software Pirouette ®.

Após a avaliação do PCA, observa-se que alguns componentes da composição química da amostra possuem baixa contribuição para o modelo e podem ser excluídos para melhorar a correlação. Após a exclusão dos componentes foi realizada nova regressão onde o modelo apresentou melhor correlação.

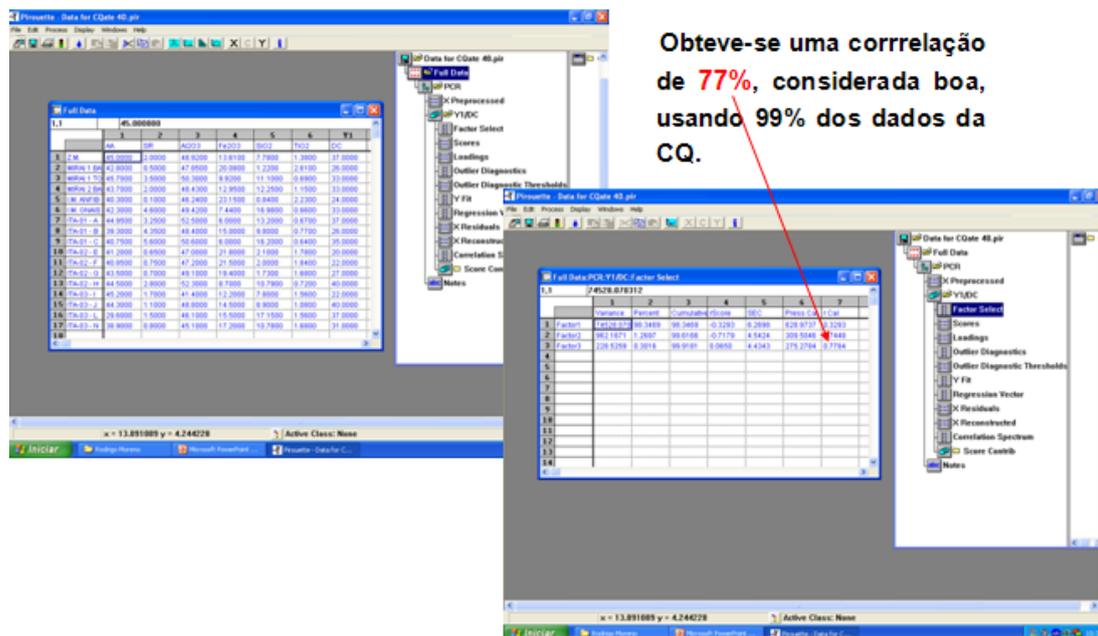


Figura 7. Tratamento PCR no software Pirouette ®, após exclusão de dados.

Avaliou-se também se alguma amostra do conjunto teve uma baixa contribuição para o modelamento matemático, que possam ter valores atípicos e seja outlier.

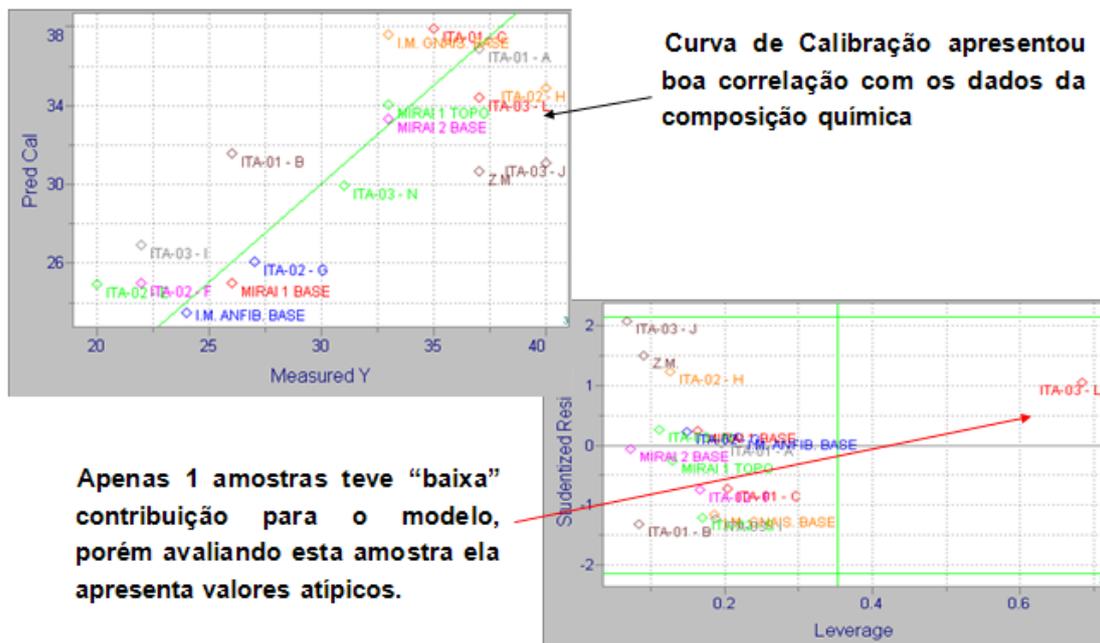


Figura 8. Tratamento PCA no software Pirouette®, avaliação amostras.

Esta amostra apresentou valores atípicos para esta frente de mineração e também possuía baixa contribuição para o modelo. A mesma foi excluída da matriz e foi recalculada a regressão na qual se manteve na mesma condição anterior (77%). Após todo o tratamento dos dados e com o modelo matemático pronto, aplicou-se nas amostras utilizadas para construir o modelo e também em amostras extras para avaliar a velocidade de sedimentação e a precisão do modelo, conforme abaixo: Bauxita da fonte de Itamarati de Minas – modelo matemático e valores obtidos pelo método convencional

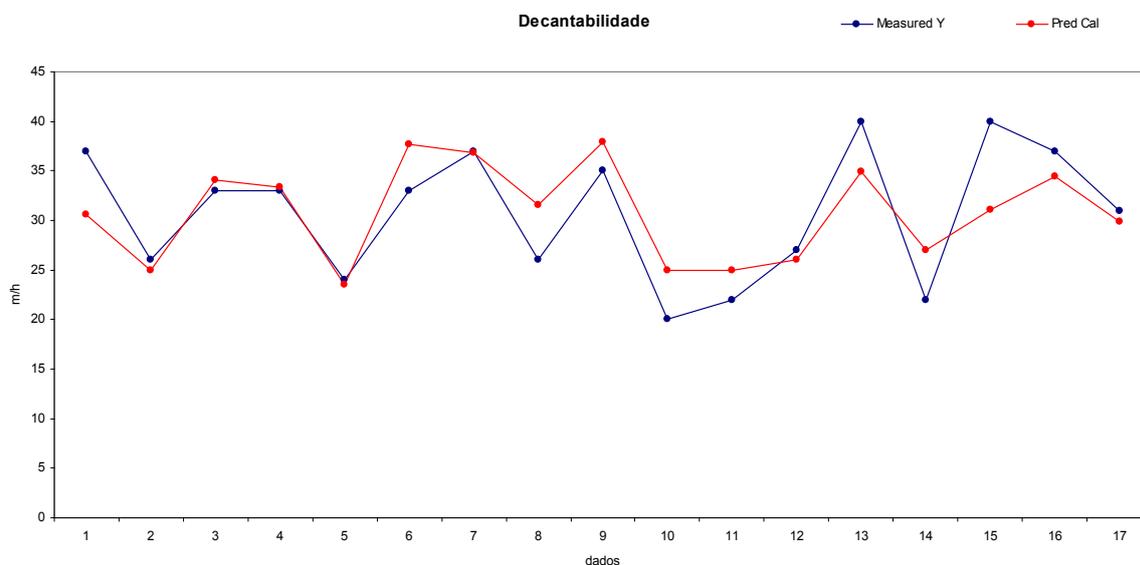


Figura 9. Modelo aplicado à bauxita de Itamarati de Minas. Fonte: VM_CBA

Bauxita da fonte de Poços de Caldas – modelo matemático e valores obtidos pelo método convencional.

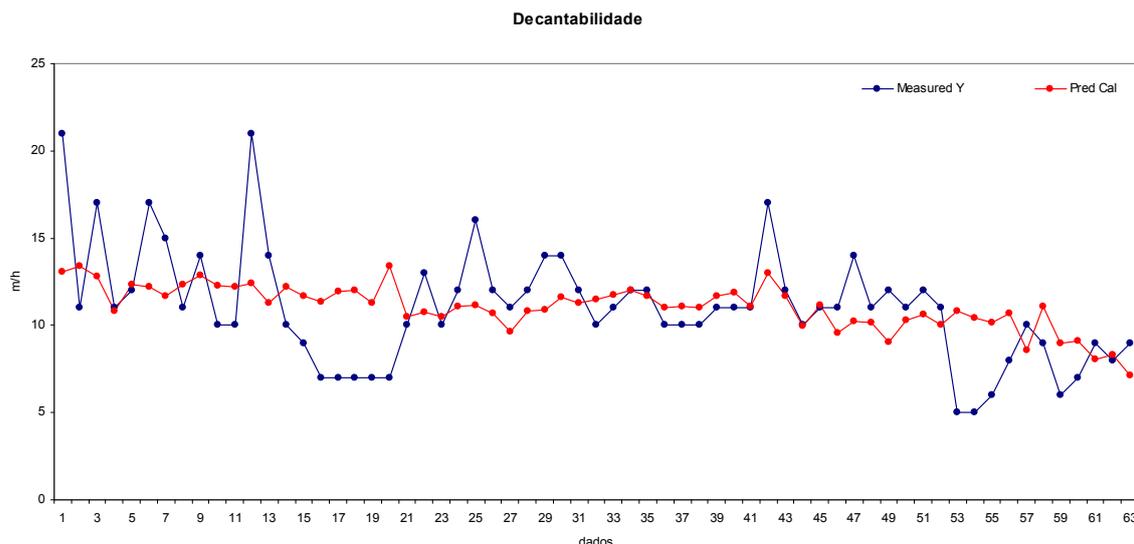


Figura 10. Modelo aplicado a bauxita de Poços de Caldas. Fonte: VM_CBA

A escolha de separar as bauxitas de diferentes fontes foi devido a características físicas diferentes, pois a bauxita de Itamarati de Minas passa por um processo de lavagem do minério após a extração para eliminar ao máximo o teor de sílica (quartzo) e enriquecer a gibsita presente. Já a bauxita de Poços de Caldas não passa por qualquer processo de lavagem e enriquecimento e ambas as bauxitas chegam na fábrica individualmente e são formadas as composições para alimentar o processo.

4 COMPARAÇÃO ENTRE COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS BAUXITAS

Devido o diferente comportamento entre as bauxitas no modelamento matemático, foi realizada comparação das características físico-químicas, conforme Tabela 1:

Tabela 1. Comparação entre as diferentes bauxitas

Características	Itamarati de Minas	Poços de Caldas
Processamento	Britagem + Lavagem	Britagem
Teor de Ferro	Alto	Baixo
Teor de Silicatos	Baixo	Alto
Geração de Lama	Alto	Baixo

Dentre as características avaliadas, foram realizadas algumas relações e cálculos entre os teores de gibsita, silicatos, ferro e geração de lama, para encontrar a característica que impacta na velocidade de sedimentação e a falta de aderência no modelo, conforme a Tabela 2:

Tabela 2. Relações e cálculos

Características	Itamarati de Minas	Poços de Caldas
Gibsita	41,5	43,5
Caulinita	2,6	4,6
Fe2O3	13,9	9,6
Solubilizável	63,5	66,6
Geração de Lama	36,5	33,4
Fe2O3 lama	38,1	28,7
Relação Fe2O3 lama/Caulinta	14,7	6,2

Dada a evidência da diferença no parâmetro da relação entre o teor de Fe₂O₃ na lama pelo teor de caulinita contido na bauxita, foi realizada uma avaliação estatística se este parâmetro possuiu influência na velocidade de sedimentação da bauxita, conforme Figura 11:

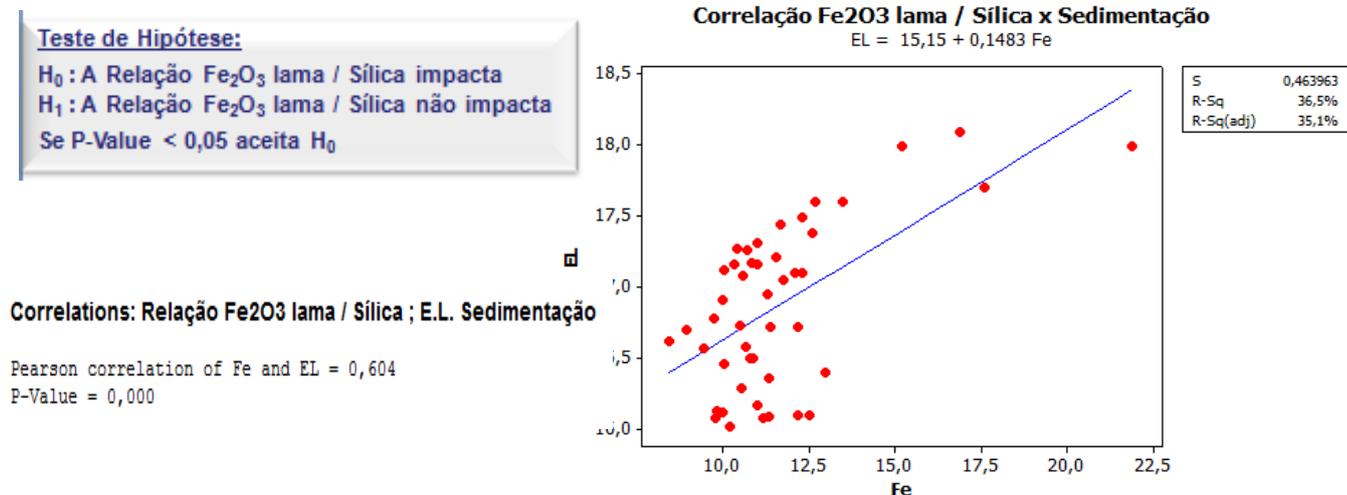


Figura 11. Avaliação estatística do impacto na velocidade de sedimentação.

Com a avaliação estatística (teste de hipótese) é possível afirmar que a relação entre o teor de Fe₂O₃ lama / Caulinta impacta na velocidade de sedimentação da bauxita.

5 AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE SEDIMENTAÇÃO DA REFINARIA

Com esta nova relação impactando na velocidade de sedimentação e com todos os dados de processo e as características das bauxitas monitoradas, aplicou-se este parâmetros para avaliar o efeito deste no processo de sedimentação da refinaria de alumina, conforme Figura 12:

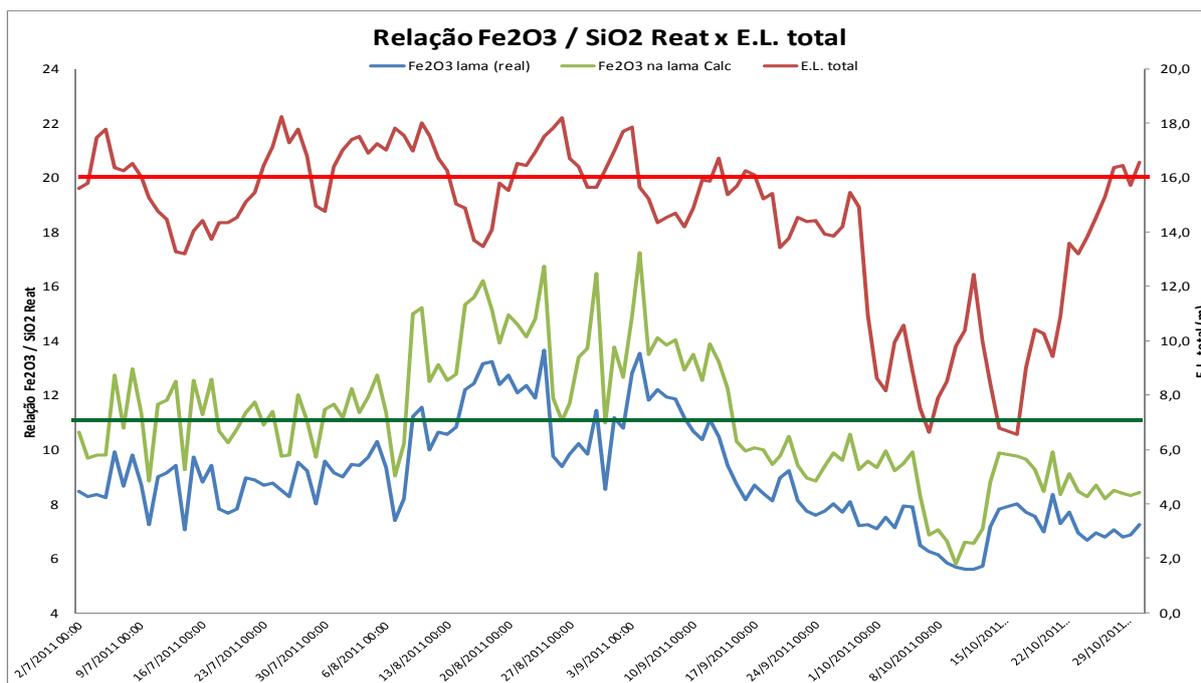


Figura 12. Efeito da relação Fe_2O_3 lama / Caulinita no processo de sedimentação. Fonte:

No gráfico da Figura 12 se observa duas condições do processo, sendo uma apresentando estabilidade no processo de sedimentação (linha vermelha) com a relação Fe_2O_3 lama / caulinita mantendo-se estável e acima de 11. Na segunda condição se, destacado em azul no gráfico, observa uma queda na relação Fe_2O_3 lama / caulinita (abaixo de 11) e houve perda de estabilidade no processo de sedimentação, impactando em perdas consideráveis de produção, precipitações no processo, controle de volume, alto consumo de insumos, etc.

6 CONTROLE DO PROCESSO DE SEDIMENTAÇÃO

Como forma de controlar o processo de sedimentação da bauxita, garantindo a estabilidade e evitando as perdas, foi desenvolvida uma ferramenta para simular e definir quais percentagens de cada bauxita deve ser utilizada na alimentação do processo (blendagem), alterando o gerenciamento existente, garantindo a relação Fe_2O_3 lama / caulinita acima de 11 (adimensional), conforme mostra a Figura 13:



Figura 13. Ferramenta de simulação e definição de blendagem da bauxita. Fonte: VM_CBA

Com a implantação da ferramenta, a nova filosofia de introdução de bauxita e controle do processo de sedimentação, observou-se uma estabilidade no processo de sedimentação, conforme gráficos das Figuras 14 e 15:

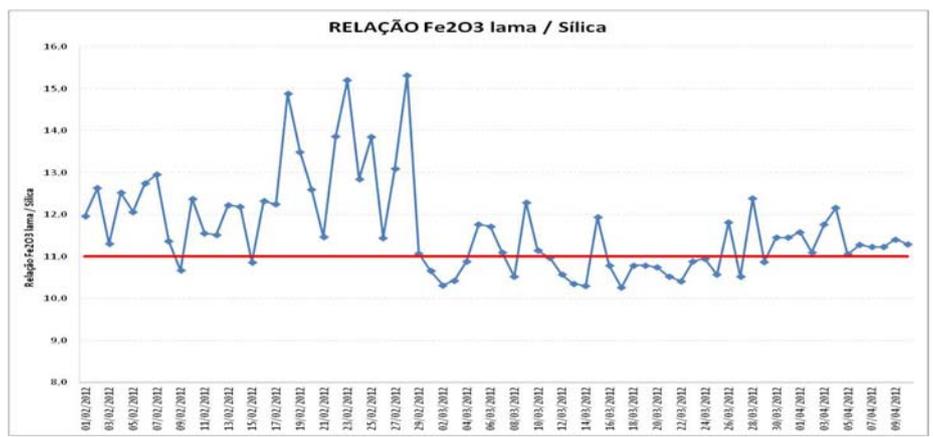


Figura 14. Controle da relação Fe₂O₃ lama / caulinita com a ferramenta. Fonte: VM_CBA

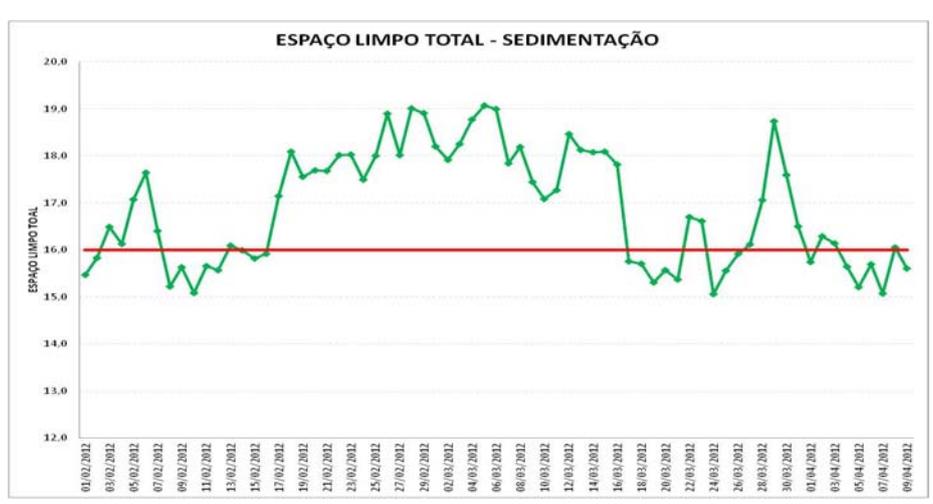


Figura 15. Estabilidade do processo de sedimentação. Fonte: VM_CBA

7 CONCLUSÃO

- É possível aplicar a quimiometria na análise da qualidade da bauxita para prever a decantabilidade;
- o modelo matemático aplicado com dados da composição química da bauxita da Zona da Mata apresentou boa correlação e os resultados previstos pelo modelo (calculado) apresentaram erros na ordem de 10%, que é menor que o erro da análise convencional;
- o modelo matemático aplicado com os dados da composição química da bauxita de Poços de Caldas apresentou baixa correlação, com efeito *under fit*, não prevendo as “variações” dos resultados (constante) e com diferença significativa entre o resultado calculado com o analisado;
- o modelo para itamarati de Minas pode ser melhorado, minimizando o erro da análise convencional para melhor contribuição do modelo matemático; e
- As características físico-químicas da bauxita impactam diretamente no processo de sedimentação;
- A relação Fe_2O_3 lama / caulinta encontrada impacta diretamente na velocidade e processo de sedimentação;
- A ferramenta de controle desenvolvido para o processo de sedimentação, através da blendagem da bauxita, mostrou-se eficiente;
- Esta nova filosofia de controle proporcionou estabilidade no processo de sedimentação, evitando perdas (produtividade; produção; insumos; etc).

REFERÊNCIAS

- 1 Mining Chemicals Handbook – Cytec, Ed. 2010, p94-146.
- 2 LORETTA, Y. Li, RUTHERFORD, G.K. Effect of bauxite properties on the settling of red mud. International Journal of Mineral Processing, v.48, p169-182. December 1996.
- 3 FERREIRA, M.M.C; ANTUNES, A. M.; MELGO, M. S.; VOLPE, P. L. O. Quimiometria I: Calibração Multivariada, um tutorial. Quim. Nova, v. 22, n. 5, p19-64, Oct 1999.