

ANALISADORES QUÍMICOS ON-LINE UTILIZADOS NA INDÚSTRIA DE BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO: PRÉ-REQUISITOS, BENEFÍCIOS E RISCOS A SEREM AVALIADOS PARA AQUISIÇÃO¹

*Leonardo Antônio da Silva²
Alexandre Moreira Ferreira³*

Resumo

Uma das ferramentas que sempre é mencionada como alavanca para promover aumento de recuperação e/ou redução de custo com insumos é o analisador químico on-line. Será realizada uma revisão bibliográfica das principais aplicações nas usinas de minério de ferro e das tecnologias utilizadas. Em seguida, apresentados pré-requisitos a serem avaliados por uma equipe multidisciplinar antes da aquisição deste equipamento, tais como: a seleção do ponto de análise, os benefícios esperados e as decisões que poderão ser tomadas com a utilização da informação. Enfim, uma breve descrição sobre as etapas do projeto: sistema de amostragem, instalações físicas requeridas e a manutenção do equipamento.

Palavras-chave: Analisadores químicos; Visão computacional.

ONLINE ELEMENTAL ANALYZERS FOR IRON ORE PROCESSING: PREREQUISITES, BENEFITS AND RISKS TO BE EVALUATED BEFORE PURCHASING

Abstract

On-line elemental analyzers are always mentioned as tools that can help improving control of minerals process, targeting increase in recovery and / or cost reduction with reagents. A literature review of the main applications in iron ore industry and technologies used will be done. After, discussion on some prerequisites to be evaluated by a multidisciplinary team prior to the purchase of equipment, such as the selection of points to be analyzed, the expected benefits and the decisions that may be taken with the use of information. Finally, a brief description of project stages: sampling system, physical facilities required and equipment maintenance.

Key words: Elemental analyzers; Machine vision.

¹ *Contribuição técnica ao 39º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 10º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 22 a 26 de novembro de 2009, Ouro Preto, MG.*

² *Engenheiro de Controle e Automação - Vale*

³ *Engenheiro Eletricista - Vale*

1 INTRODUÇÃO

No cenário atual, as metas de aumento de produtividade e redução do custo unitário nas indústrias beneficiamento de minério de ferro são desafiadoras. Neste contexto, uma das ferramentas que sempre é mencionada como possível alavanca para minimização de variabilidade dos teores dos produtos finais e conseqüente aumento de recuperação e/ou redução de custo com insumos é o analisador químico on-line.

Analisadores químicos on-line são uma classe especial de instrumentos que proporcionam informações quantitativas e/ou qualitativas sobre a composição química de compostos minerais. O diferencial destes equipamentos é que eles provêm informações atualizadas sobre o estado do processo, não somente indicando como o mesmo estava há duas ou seis horas antes, ou seja, propiciam executar ações de forma a colocar o processo à condição desejada. As informações podem ser utilizadas como parâmetros de entrada em controladores da planta ou simplesmente para tomada de decisão por técnicos de processo.

A maioria das aplicações em mineração é em plantas de beneficiamento de materiais tidos como nobres: cobre, níquel, platina, zinco; além de usinas de produção de cimento. Também são amplamente utilizados em siderúrgicas para medição da qualidade do carvão. Neste trabalho somente será focada a utilização destes instrumentos para aplicações no beneficiamento de minério de ferro, não obstante aplicações em processos de concentração similares serão citadas.

Primeiramente será realizada uma revisão bibliográfica das principais aplicações nas usinas de minério de ferro e das tecnologias utilizadas na análise de componentes químicos: XRF, PGNA, LIBS e análise por imagem. Em seguida, são apresentados pré-requisitos a serem avaliados por uma equipe multidisciplinar de engenheiros e analistas antes da aquisição deste equipamento, tais como: a seleção do ponto de análise, os benefícios esperados e as decisões que poderão ser tomadas com a utilização da informação. Concluindo, uma breve descrição sobre as etapas de comissionamento do projeto: a condição do sistema de amostragem, as instalações físicas requeridas e a manutenção do equipamento, que é a espinha dorsal do processo de implantação de um analisador on-line.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção serão descritos os principais processos de beneficiamento mineral onde são aplicados analisadores químicos, os arranjos utilizados para medição (em linha, multiplexado) e as tecnologias utilizadas para obtenção das informações de teores da amostra pré-determinada.

2.1 Principais Processos Onde São Aplicados

Os processos de concentração onde há maior utilização de analisadores químicos são: flotação e concentração magnética. A aplicação nestes dois processos será detalhada em sub-seções.

Em carvão, há inúmeras aplicações para determinação do percentual de cinzas e atuação nos processos, já no fosfato são comuns aplicações para classificação de ROM.⁽¹⁾ Uma aplicação de vanguarda é a utilização de analisadores on-line para determinação em tempo real do material do processo de sondagem, via amostras de sopro.⁽²⁾

Existem aplicações onde o analisador on-line objetiva prover informação adicional, sem o tempo morto característico das análises laboratoriais, para auxiliar nas configurações de curto prazo de escavadeiras e direcionamento de material para pilhas de emergência.⁽³⁾

2.1.1 Flotação

O processo de flotação (*froth flotation*) é um processo de concentração em polpa que realiza a diferenciação entre as espécies minerais (concentrado e rejeito) pela capacidade de uma delas se prender às bolhas de ar após a adição de reagentes. O objetivo deste processo na indústria de minério de ferro é remoção de sílica, respeitando as restrições: teor de ferro no rejeito/recuperação em massa e consumo de insumos.

Na Vale, para o produto *pellet-feed* redução direta, o teor deste contaminante deve estar abaixo de 0,8% e com um valor médio por lote de 0.65%. Para o *pellet-exportação*, o limite superior de controle é de 1.5%, com valor médio por lote de 1.15% de SiO₂.

O circuito de flotação consiste de diferentes estágios – *rougher*, *cleaner* e *scavenger* – onde cada um tem suas metas de remoção de SiO₂ e restrições, objetivando o alcance da performance desejada do circuito. A sobrecarga de um destes circuitos promove a queda de performance do sistema como um todo, seja pela contaminação do concentrado ou pelo arraste de ferro para o rejeito.

Para que as metas de SiO₂ no concentrado sejam atingidas, o conhecimento qualitativo e quantitativo de como as variáveis manipuladas e perturbações impactam o resultado de concentrado e recuperação é essencial. As seguintes variáveis são utilizadas para o controle do teor e recuperação: dosagem de reagentes, pH, velocidade de remoção do flotado (injeção de ar e nível de espuma) e densidade de alimentação. São considerados distúrbios para o controle: teor de alimentação, mineralogia, grau de liberação, distribuição granulométrica.

A busca por relações ótimas ou de melhor desempenho foi e é escopo de estudo de vários autores. Além da dificuldade intrínseca em encontrar as melhores relações para as variáveis mencionadas acima, em função do estado atual do processo, a falta de informações on-line sobre os teores em cada etapa do processo de flotação é sempre citada.⁽⁴⁾

Além do tempo morto existentes nas análises laboratoriais, os resultados são uma composição de incrementos e, como esperado, refletem a média do período em questão, ou seja, são filtradas, removendo a dinâmica existente no processo e dificultando a identificação das relações de entrada-saída.

As análises provenientes dos equipamentos on-line são utilizadas para auxílio na tomada de decisão de operadores/técnicos de processo, sistemas especialistas ou controles baseados em modelos matemáticos previamente definidos. Cada etapa de flotação deve ser avaliada de forma a verificar se as metas de recuperação mássica e remoção de contaminantes determinadas para cada estágio estão sendo alcançadas.

Uma vez que o objetivo deste trabalho é a avaliação de analisadores químicos no beneficiamento de minério de ferro, vamos trabalhar com 3 pontos que são essenciais para um bom controle da flotação: Alimentação (Fe → 44%, SiO₂ → 35%); Concentrado (Fe → 68%, SiO₂ → 1,3%); Rejeito (Fe → 13%, SiO₂ → 80%).

A informação do teor da alimentação atualizada pode ser utilizada para automaticamente ajustar a dosagem de coletor (ação *feed-forward*), ou em último

caso, ajustar a recuperação em função da curva de recuperação metálica/mássica do processo.⁽⁵⁾

Os dados de concentrado final e rejeito, sem atraso, permitem que resultados de atuações nas variáveis de controle da flotação, previamente mencionadas, sejam observados num tempo menor, melhorando o controle do processo caso o problema seja de variabilidade.

Ao término da revisão bibliográfica dos processos e analisadores, será realizada uma breve discussão a respeito das amostras mencionadas anteriormente.

2.1.2 Concentração magnética

Separadores magnéticos têm significativa importância na concentração de minérios de ferro. Eles se baseiam na diferença de susceptibilidade magnética entre o ferro e a sílica, possibilitando a separação entre estes materiais. A concentração magnética também pode ser realizada em vários estágios, escolhidos de acordo com as metas pré-determinadas.⁽⁶⁾

Assim como na flotação, para que as metas de SiO₂ no concentrado sejam atingidas, o conhecimento de como as variáveis manipuladas e perturbações impactam o resultado de concentrado e recuperação é essencial. As seguintes variáveis são utilizadas para o controle do teor e recuperação na concentração magnética de alta intensidade: percentual de sólidos na alimentação, corrente do campo magnético, água de lavagem e taxa de alimentação. São considerados distúrbios para o controle: teor de alimentação, mineralogia, grau de liberação e distribuição granulométrica.

Uma vantagem do ponto de vista de controle de processo para esta operação unitária se comparada à flotação é o baixo tempo de residência da primeira. Desta forma, alterações nas variáveis manipuladas são refletidas nas variáveis controladas em menor tempo, facilitando a identificação das relações temporais entre entrada-saída.

Como o objetivo deste trabalho é a avaliação de analisadores químicos para plantas de beneficiamento de minério de ferro, será realizada uma breve discussão para um cenário diferente daqueles apresentados anteriormente, ou seja, para granulometrias mais grossas, (-1,4mm + 0,15mm) de circuito de sinter feed. Os pontos hipotéticos serão: Alimentação (Fe → 50%, SiO₂ → 20%); Concentrado Final (Fe → 63%, SiO₂ → 8%); Rejeito Total (Fe → 25%,).

2.2 Arranjos Utilizados para Medição

Em virtude dos custos associados e das diferentes aplicações, existem dois arranjos para analisadores de polpa de minério on-line: multiplexados ou em linha. Estações de multiplexação são utilizadas para que amostras de vários pontos sejam avaliadas pelo mesmo analisador. São duas as formas de multiplexação para polpa: da amostra e da sonda de análise. Abaixo a descrição das opções:

- Amostra: o fluxo coletado pelo amostrador é transferido para um condicionador e, em seguida, descarregado para câmara de análise. Enquanto este material está sendo analisado, a próxima amostra já está sendo enviada para outro condicionador, de forma que ao término da primeira análise, a próxima amostra já esteja pronta para ser transferida para câmara de análise. Momentaneamente, é realizada a lavagem do primeiro condicionador para que seja evitada contaminação.

- Sonda: o equipamento de análise é que é movimentado ao longo de tanques independentes nos quais os amostradores descarregam os materiais.

Analísadores em linha são utilizados onde se deseja a medição ininterrupta de um fluxo ou em plantas onde se deseja realizar a medição somente de um ponto. Desta forma não requerem a criação de estações de multiplexação.

Para a análise de material in-situ é utilizada a análise na própria correia ou uma amostra desde material.

2.3 Tecnologias Empregadas para Análise On-line de Composição de Minério de Ferro

As tecnologias utilizadas na medição on-line da composição do minério de ferro serão discutidas na seguinte seqüência: análise de minério de ferro: XRF, PGNA, Análise por Imagem e LIBS.

2.3.1 XRF - Espectrometria por fluorescência de raio-x

A amostra é excitada por um feixe primário de raios-x, provenientes de isótopos ou tubos de raios-X. Os elementos constituintes da mesma, quando excitados, emitem fluorescência cuja intensidade está relacionada com a concentração destes na amostra. A fluorescência é detectada e sua classificação é realizada por energia ou comprimento de onda, sendo que cada método apresenta diferentes performances e custos associados, ou seja, é um ponto a ser avaliado quando da aquisição. Em seguida, a partir do espectro da fluorescência, são retiradas informações relativas às concentrações dos elementos presentes na amostra.⁽⁷⁾

São pontos importantes a serem mencionados para esta tecnologia:

- em analisadores on-line de polpa de minério somente elementos com Z (número atômico) acima de 20 são medidos, uma vez que a polpa e ar atenuam a já baixa fluorescência emitida pelos elementos leves (Sílica, Alumina);
- curta penetração na polpa de minério da fluorescência de raios-x (décimos de milímetro). Assim, é importante que se garanta que o material na região de análise seja representativo da amostra (ou fluxo, para analisadores em linha) a ser analisada;⁽⁸⁾
- a granulometria ser um fator limitante para a análise on-line por raios-X, visto que a fluorescência tem pequena capacidade de penetração no mineral (< 0.1mm), além da relação partículas maiores/menores influenciarem na medição. Tanto para material seco ou polpa, quanto a este ponto, caso haja um tratamento prévio para adequação da amostra a esta restrição, com certeza não há impedimento à utilização da tecnologia;
- impacto do efeito matriz.

Importante ressaltar que, para análise em correia, existem fornecedores que realizam o tratamento prévio automático para adequação granulometria e de umidade da amostra para tratamento por raios-x.⁽⁹⁾ Está é uma das soluções para análises de elementos leves, mas traz consigo equipamentos auxiliares que, se não mantidos em bom funcionamento, impactarão na disponibilidade física do analisador. Outro ponto a ser avaliado é se há boa correlação entre os resultados obtidos pela análise da superfície de materiais grossos e a análise realizada pós-tratamento para adequação do material.

Em comparação com outras tecnologias, o tempo de análise (incluindo limpeza) por amostra é pequeno (1,5 min a 3 min), o que é um diferencial.

Embora não seja possível a detecção direta em polpa, a correlação entre o percentual de Ferro e Sílica é muito forte para alguns fluxos de análise. Desta forma, busca-se a inferência do percentual de SiO_2 a partir do resultado de ferro mensurado pelo analisador on-line de polpa. Também é importante ressaltar que para análises on-line de polpa com presença considerável de granulometria superior a 0.10mm, um tratamento prévio da amostra pode ser realizado (redução de tamanho) caso não haja boa relação entre as análises da superfície do material e análise pós-tratamento da amostra.

Caso a fluorescência de raios-x seja a tecnologia escolhida para medição da composição de determinado fluxo, um quesito importante a ser avaliado é a utilização de tubos ou isótopos, é claro, em virtude dos resultados apresentados.

O desvio padrão relativo dos resultados, informado por fornecedores, é similar e é função do teor do elemento analisado. Para teores acima de 1%, o desvio fica entre 1% e 4%. Caso o teor seja menor que 1%, o desvio fica entre 4% a 6%.^(3,9-12)

2.3.2 PGNAA - Análise por ativação neutrônica

A amostra é bombardeada por nêutrons térmicos, provenientes de uma fonte do isótopo Califórnio-232, e estes são absorvidos pelos elementos constituintes do minério. Os átomos ficam temporariamente instáveis e, a fim de se estabilizar, os átomos emitem fótons (raios gamma). O conjunto de raios gamma emitidos é específico para cada elemento químico (Fe, Si, Al, P etc.).

Quando os raios gama interagem com o detector (cristais cintiladores), fótons visíveis são produzidos, sendo estes coletados pelo tubo fotomultiplicador (operando em alta tensão) e transformados em pulso elétricos que são amplificados e convertidos em sinais digitais. Os dados do espectro são coletados por um computador que então calcula a concentração dos elementos individuais do material analisado em questão.⁽¹³⁾

Pontos importantes a serem mencionados para esta tecnologia:

- permite análise de elementos leves (Si, Al, P);
- devido à alta penetração, existe a possibilidade de análise de grandes volumes (análise diretamente sobre correias). Outra consequência desta característica é a não influência da granulometria;
- não existência de interferência da estrutura cristalina;
- custo com aquisição da tecnologia superior aos raios-X;
- custos adicionais com regulamentação, manuseio, reposição (meia-vida do CF-252 de 2.63 anos) e descarte das fontes radioativas; e
- influência da umidade nos resultados para materiais *in-situ*.⁽¹⁴⁾

Resultados são emitidos a cada minuto, contudo, existe uma variabilidade no mesmo. Para o analisador de polpa de minério existente na unidade de Conceição, os tempos de análise utilizados são diferentes para cada amostra, visto que a precisão (laboratório x analisador) é função do tempo de análise e também do percentual de sólidos. O tempo médio de análise (incluindo limpeza) usado no analisador da Usina de Conceição é de 10 minutos por amostra. O erro absoluto é de aproximadamente 0.5% para SiO_2 e Al_2O_3 (faixa de 0.5% a 5%) e Fe_2O_3 (faixa 50% a 70%).⁽¹⁵⁾

2.3.3 Medição de teor por análise de imagem⁽¹⁶⁾

Há aplicações de medição de teor de sílica e ferro por análise de imagem na indústria de beneficiamento de minério de ferro, contudo esta é uma tecnologia onde não existem fornecedores de mercado que provem a entrega da solução completa. Na aplicação existente, buscou-se automatizar o processo para estimação teor de sílica utilizado pelos operadores. O método já era usado para dar uma noção do teor de sílica nos intervalos entre medidas de laboratório.

Este foi um projeto desenvolvimento internamente pela empresa que o desenvolveu, com duração aproximada de três anos, onde além de dois profissionais de perfil diferenciado 100% alocados, uma equipe multidisciplinar esteve apoiando em parte do tempo. O projeto passou pelas seguintes etapas: 1) conceito e tecnologia a serem aplicadas; 2) método para análise de imagem (segmentação da imagem e filtragem do espectro cores para quantificação do % de sílica ou ferro); 3) testes dos métodos empregados; 4) criação de dispositivo para preparação amostragem; 5) acompanhamento dos resultados e replicação. Atualmente é aplicado no concentrado de cleaner com teor do material variando de 3 a 9% de SiO₂. Todavia, aplicações em outros pontos da usina de beneficiamento estão em desenvolvimento.

Enfim, uma vez que não existem fornecedores de mercado para entrega da solução completa, o desenvolvimento desta tecnologia passa pela escolha das estratégias: de desenvolvimento interno ou projetos de pesquisas com universidade e/ou empresas para elaboração do projeto.

Um importante fator é que o OPEX desta tecnologia é inferior ao de outras utilizadas.

2.3.4 LIBS - LIPS

A espectroscopia de plasma induzido por laser utiliza uma fonte de laser e lentes para geração de um feixe de alta intensidade que, quando direcionado para uma amostra, promove a formação de plasma. A luz emitida pelo plasma é detectada e seu espectro é analisado para estimar a composição dos elementos na amostra em questão.^(17,18)

Esta técnica apresenta algumas aplicações em polpa de minério de ferro, mas em número bem inferior às técnicas mencionadas anteriormente.

Uma aplicação interessante no beneficiamento de outros minerais, onde a análise química por faixa granulometria não é relevante, é a avaliação do material antes do processo de extração, seja durante a sondagem (amostra de sopro) ou por direcionamento, utilizando um equipamento portátil, para o banco a ser utilizado.⁽²⁾

Pontos positivos a serem citados são: a técnica possibilita a medição de elementos leves e pesados e não há utilização de fontes radioativas ou tubos de raios-x. Pontos negativos são: somente parte da superfície (ponto onde ocorre formação do plasma) é analisada e alterações de umidade.⁽¹⁸⁾

3 ANÁLISE PRÉVIA (PRÉ-REQUISITOS, BENEFÍCIOS, RISCOS) E APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS

Antes da aquisição de um analisador de química on-line, é importante que uma equipe multidisciplinar seja escalada para avaliação técnica e dos retornos esperados.

Um ponto a ser avaliado e que já tem resposta quase certa, é que o investimento com a aquisição e na manutenção de um analisador on-line somente apresentará retorno caso a informação gerada seja utilizada para o controle do processo tais como o aumento de produção, redução de custos variáveis, etc, em virtude do alto capex envolvido. É pouco provável que a adoção de analisadores químicos seja economicamente atrativa para reduzir o custo da análise química de laboratório.

A pergunta inicial a ser respondida é realmente se a informação sobre o teor numa maior frequência ajudará no aumento de produtividade e/ou solução de determinado problema existente. É importante ter em mente que a única tarefa do analisador é entregar um dado a uma equipe ou sistema de controle, onde decisões deverão ser tomadas sobre este para que o produto atinja as especificações, respeitando as restrições.

É de grande valia que um estudo estatístico do comportamento do processo, baseado na metodologia Seis Sigma,⁽¹⁹⁾ seja realizado para avaliar a causa do problema a ser solucionado, antes da aquisição de um analisador. Pergunta: O *gap* a ser vencido que acarretará em aumento de recuperação metálica tem como questão raiz uma causa especial, um problema de desvio de média ou variabilidade?

- Causa Especial → Para problemas desta categoria, as informações on-line podem ser úteis. Imagine que o teor de sílica do concentrado de uma flotação com meta de 0.8% esteja sob controle há algumas horas e, por exemplo, há uma falha no controle de pH (o medidor apresenta leituras incorretas, está marcando 10, mas na verdade o valor real é 11.5). Um resultado apresentando um teor de sílica de 4%/5%/8% chama atenção do técnico de processo para alguma situação anormal e uma vistoria é iniciada para avaliação do problema. É relevante reiterar que sem a ação, a informação on-line não tem valia.
- Desvio de média → Produto fora da especificação causado por questão de desvio do objetivo da média resolvido pela informação proveniente do analisador, visto que a única diferença entre o cenário com e sem analisador é que você vai saber em intervalos menores que seu produto está fora de especificação. Exemplo: teor de sílica do produto dos concentradores magnéticos permaneceu fora de especificação durante longo período (por exemplo, 2% de SiO₂ acima da meta durante 24 horas).
- Variabilidade → é a categoria de problemas mais beneficiada com informações de maior frequência. São possíveis os seguintes cenários e ações:
 - flotação: **a)** Dosagem de coletor (amina) em função do teor de sílica na alimentação **b)** Atuação nas variáveis de controle para manutenção de recuperação esperada em cada estágio da flotação; **c)** trabalhar durante maior período próximo as metas de especificação (Imagine que o teor de sílica no concentrado está abaixo da meta e apresenta estabilidade. Pode-se proceder a um ajuste para aumentar a recuperação mássica no circuito.
 - concentração magnética: **a)** Intensidade campo magnético (Jones) ou água de lavagem em função do teor de sílica na alimentação; **b)** Atuação nas variáveis de controle para manutenção de recuperação em cada estágio do processo de concentração; **c)** aumento de taxa de alimentação visto que a recuperação encontra-se nos limites de controle por um período determinado.

Após a identificação dos pontos a serem medidos, é momento de contrastar as precisões requeridas para os fluxos escolhidos com as alternativas para aquisição e as restrições existentes. O equipamento que atende não é sempre o de melhor precisão (proporcional ao custo), mas sim o que tem a precisão necessária para o controle de seu processo. Outro ponto a ser balanceado é a multiplexação das amostras, cada tecnologia tem seu tempo de análise para cada amostra e este é um fator importante na seleção do número de análises a serem realizadas pelo equipamento.

Seguem-se alguns exemplos referidos anteriormente, na introdução: a) medição on-line do teor de SiO_2 na polpa do concentrado pellet-feed exportação (meta de 1.3%), um analisador on-line com princípio XRF não será aplicável, visto que ele não realiza medição de elementos leves; b) medição do teor de SiO_2 na polpa da alimentação do Jones de Finos (teor médio de SiO_2 : 30% +/- 8%), caso haja forte correlação entre Ferro e Sílica (figura 1), um analisador com princípio de raios-x pode ser utilizado. c) medição do teor de SiO_2 na alimentação do Jones de grossos (teor médio de SiO_2 : 30% +/- 8%), um analisador cujo princípio seja XRF, mesmo com alta correlação entre ferro e sílica, somente poderá ser aplicado caso haja adequação granulométrica da amostra ou haja boa correlação entre os resultados obtidos pela análise da superfície de materiais grossos e realizada pós-tratamento para adequação do material.

Posterior à escolha das tecnologias e dos possíveis concorrentes, é crucial o envolvimento da equipe de manutenção na avaliação da melhor solução em termos de sustentabilidade (por exemplo o analisador fictício Delta utiliza vários componentes importados, solicita alta frequência de manutenção preventiva, não suporta vibração versus analisador fictício Beta que utiliza componentes que podem ser adquiridos no país e é robusto).

É importante ressaltar que o retorno de investimento de um analisador químico on-line é obtido apenas no médio prazo.

Após a escolha do equipamento a ser adquirido, parece que o trabalho está concluído. Entretanto, é imprescindível a utilização de um sistema de amostragem representativo e robusto. As precisões informadas pelos fornecedores são comparações entre análises de amostras entre o laboratório e o analisador, não estão incluídos erros de amostragem. Além disso, em torno de 50% a 80%^[20] das falhas apresentadas durante a operação de um analisador estão no sistema de coleta e preparação da amostra (em caso de analisadores multiplexados ou dedicado com coleta de amostra) tais como: a) entupimentos; b) baixo percentual de sólidos da amostra; c) falhas em instrumentos responsáveis pela preparação da amostra. . Enfim, um bom projeto do sistema de amostragem é essencial para o retorno do investimento em analisadores on-line.

Dois pontos que também necessitam atenção especial são: instalação física /localização e treinamento de pessoal para realizar manutenção e calibração do equipamento. O primeiro pode ser um alto componente do custo da solução e o segundo é a base de sustentação para garantir que o retorno de médio prazo seja perpetuado. (existem empresas que oferecem contratos de manutenção com diferentes níveis de suporte, sendo importante o estudo de viabilidade desta modalidade de manutenção).

4 CONCLUSÃO

Analisadores químicos on-line são ferramentas que podem auxiliar na tomada de decisão durante o processo de ajuste e controle de qualidade e produtividade. Contudo, é essencial realizar um estudo sobre as ações que serão tomadas com os dados provenientes do analisador, com o objetivo de evitar a aquisição de um equipamento de CAPEX e OPEX considerável, sem que este seja a real solução para problemas existentes, uma vez que a captação do retorno via redução de custos laboratoriais não é uma realidade tão clara.

Dentre as tecnologias apresentadas, as de maior utilização são: XRF e PGNA, embora existam alternativas em desenvolvimento e com aplicações. A escolha das tecnologias é função da precisão, das características dos fluxos a serem avaliados e do orçamento existente. A formação de uma equipe multidisciplinar é essencial para seleção dos pontos de análise, avaliação de fornecedores, projeto de instalação e amostragem. Após a instalação do equipamento, a manutenção deve ser foco de atenção para que o retorno seja perpetuado.

Trabalhos futuros deverão englobar uma análise mais detalhada de cada uma das etapas, objetivando a criação de uma metodologia que possa auxiliar no processo de decisão da seleção/aquisição/comissionamento/manutenção de analisadores químicos.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos colaboradores VALE Vânia Andrade, Vicentino Rodrigues, Luiz Henrique Duarte e Paulo Henrique Novaes pela colaboração e revisão deste trabalho.

REFERENCIAS

- 1 Nienhaus, K. Dilution control of Run-of-mine ore with an innovative on-line technique. Aachen University, Germany
- 2 Nienhaus, K, Gaastra, M. Automated Real-Time Elementary Analysis of Rock Parting during drilling and extraction using Libs Technology. Aachen University, Germany, 2008.
- 3 Ferreira, M.T.S, Estudo Analisador Online APC Solas – Documento Interno – DIFN – VALE - 2006
- 4 Ferreira, P.H.N. & Junges, M.F.D. Modelamento por Redes Neurais para Flotação em Colunas de Minério de Ferro. III Simpósio Minério de Ferro 2001.
- 5 Bascur, Osvaldo Alejandro – Modelling and Computer Control of a Flotation Cell – 1982
- 6 Schneider, C.L, Calixto, M. Desenvolvimento de um modelo para separadores magnéticos tipo Jones – VII Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro – 2006;
- 7 Oliveira, L.C. M. Técnicas de análise e caracterização de materiais – XRF – Notas de Aula 1º Semestre 2000.
- 8 Meech, J.A - MINE 432: Industrial Automation and Robotics in Mining. Lecture 9B. Process Control Strategies in Mineral Processing. U. British Columbia – CAN
- 9 Brauer S. APC – OverView: Product Groups – Germany
- 10 Courier 5i SL and Courier 6i SL – The high performance XRF on-stream slurry analyzers. Outotec.
- 11 Multi Stream Analyzer - MSA - Thermo Scientific. – Catálogo
- 12 Indutech. OXEA – Online Xray Elemental Analyzer – Catálogo
- 13 Foster, S. What is Involved In Effective Calibration of a PGNA in the Factory and the Field – Internacional Coal Analyzer Technical Conference – 8-10, 11/2004

- 14 OLA-200 On-line Elemental Analyzer – The light Element PGNAAs Slurry Analyzer for On-line Optimization of Mineral Process – Thermo Scientific
- 15 Silva, A.J. Sistema de Medição Teor de Sílica em Minério de Ferro por Análise de Imagem. Tecnologia em Metalurgia e Materiais, SP, v.1,n.3, p.64-67, 01/2005
- 16 Indutech. OXEA – Online Xray Elemental Analyzer – Presentation
- 17 Turmel, S. On-Line Elemental Analysis in an Iron Ore Concentrate Slurry – 1999 IronMaking Conference Proceedings. Page 515
- 18 Gaft, M. Laser Induced Breakdown Spectroscopy for Bulk Minerals On-line Analyses – Laser Detect System – Paris, 2007 – September 10 -13
- 19 Moreira, A.C.V.B & Daré, C.T. Apostila Green Belt Industrial v.6 – INDG – 2004
- 20 Tatera, J.F. Analytical Instrumentation – ISA - A Guide to the Automation Body of Technology – 2^o Edition - Chapter 2 – 2006.