



CONTROLE DE PROCESSO EM BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO ENVOLVENDO TREINAMENTO DE OPERADORES¹

Maria de Fátima Rodrigues²
Fabiana Fonseca Fortes³
Carlos Alberto Pereira⁴

Resumo

A competitividade obriga as empresas à adoção cada vez maior de automação de processos. No entanto, mesmo os processos altamente automatizados não suprimem a atuação humana, porque dependem de avaliação crítica para melhoria contínua. O desenvolvimento da capacidade crítica pode ser construído através do domínio da técnica adquirido em treinamentos. O objetivo desse trabalho foi mostrar como é possível disponibilizar as melhores práticas de controle de processo para operadores, visando alcance da especificação de qualidade e produtividade através de treinamentos periódicos. Orientar operadores, mecânicos e eletricitas atuantes nas instalações de beneficiamento de minério garante a conscientização da importância de seu papel sobre as variáveis das operações unitárias. A partir do treinamento, o operador aumentou sua capacidade de discernimento de uma seqüência lógica de intervenções para ajuste do processo, tendo limites e faixas de trabalho preestabelecidos. Os treinamentos abrangeram as particularidades de cada instalação. Foram elaborados e aplicados treinamentos sobre classificação por classificador espiral, deslamagem, filtragem, separação magnética, flotação e espessamento nas unidades operacionais: Mutuca, Pico, Vargem Grande e Jangada. Foi observada a redução da variabilidade nos resultados de qualidade e produtividade a partir da criação e implementação dos treinamentos utilizando os manuais de processo.

Palavras-chave: Controle de processo; Treinamento; Minério de ferro.

MINERAL PROCESS CONTROL INVOLVING TRAINING OF OPERATORS

Abstract

The competition forces companies to adopt more automation. However, even highly automated processes do not suppress the human performance, because they depend on critical evaluation for continuous improvement. The development of critical capacity can be built through the field of technology acquired in training. The aim of this paper is to show how you can make the best practices of process control operators to the factory floor, in order to reach the specification of quality and productivity through periodic training. Orient operators, mechanics and electricians working in the facilities ore processing ensures the awareness of the importance of their role on the variables of unit operations. From the training, the operator increases its ability to discern a logical sequence of operations to adjust the process, taking limits and working range intervals. The training covered the characteristics of each installation. Been developed and implemented training on classification for spiral classifier, desliming, filtration, magnetic separation, flotation and thickening in the units operational: Mutuca, Pico, Vargem Grande and Jangada. It was also observed reduced variability in the quality and productivity through the creation and implementation of training using the process manual.

Key words: Process control; Training; Iron ore.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Engenheira de Minas pela Universidade Federal de Minas Gerais e Engenheira na Diretoria de Ferrosos Sul / Vale.

³ Especialista em Beneficiamento Mineral e Engenheira na Diretoria de Ferrosos Sul / Vale..

⁴ Dr. Tecnologia Mineral e chefe do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas - UFOP

1 INTRODUÇÃO

O beneficiamento de minérios pode ser entendido como a seqüência de operações unitárias que visam recuperar o máximo do elemento ou substância útil presente nas espécies minerais. Exercer o controle de um processo de beneficiamento de minérios implica em otimizar cada uma das operações unitárias a fim de alcançar os resultados desejados de produção. A automação é uma ferramenta muito eficaz no controle de processo e é constantemente empregada. No entanto, esta ferramenta por si só, em algumas situações, não é capaz de detectar as variações peculiares nas características do minério. Desta forma, o processo mineral necessita constantes ajustes para atender as especificações exigidas pelo mercado. A atuação humana torna-se necessária para avaliação crítica do processo em busca da melhoria contínua e o desenvolvimento da capacidade crítica pode ser construído através do domínio da técnica adquirido por meio de treinamentos.

O controle de processo implica em monitoramento permanente para detectar a presença de causas especiais que aumentam a dispersão e/ou tiram sua média do valor-alvo das variáveis sob acompanhamento. Para Shewhart apud Costa, Epprecht e Carpinetti⁽¹⁾ todo e qualquer processo possui variabilidade natural, que são pequenas perturbações, contra as quais pouco ou nada se pode fazer (variações de temperatura, por exemplo). Contudo, causas especiais são sempre possíveis de serem eliminadas em certas situações e demandam correções significativas no processo. Costa, Epprecht e Carpinetti,⁽¹⁾ por sua vez, consideram uma causa especial como um problema ou modo de operação anormal do processo, que pode ser corrigido ou eliminado.

Segundo Montgomery e Runger⁽²⁾ “essa variabilidade nas características chaves da qualidade geralmente aparecem de três fontes: máquinas não propriamente ajustadas, erros dos operadores ou matérias-primas defeituosas”.

O controle permanente dos processos é condição básica para produtividade e manutenção da qualidade do produto. Quando realizado de forma correta, implica em custos que se pagam facilmente, pois qualidade agrega valor.⁽¹⁾ Todo processo está sob influência de n variáveis que podem ser controladas ou não por um sistema automatizado. Quando não, a percepção do operador é a ferramenta fundamental.

A “Fábrica Escura” é um exemplo clássico da necessidade de atuação do ser humano no processo industrial. No início da década de 1980, a Volkswagen construiu na Alemanha a Ala 54, que se tratava de um ambiente escuro povoado por robôs e máquinas que dispensavam a presença humana e tinha linhas de produção totalmente automatizadas. Essa concepção provou que a melhoria contínua não pode ser alcançada simplesmente por robôs e máquinas. A evolução de um processo depende da troca de informações e da avaliação crítica sobre elas. Para isso, se faz necessário o desenvolvimento da capacidade evolutiva do homem, treinando-o e preparando-o para inovar, melhorar e influir no processo produtivo.⁽³⁾

Acredita-se que orientar as equipes operacionais e as equipes envolvidas indiretamente com a atividade garante a conscientização da importância de seu papel na influência sobre os parâmetros e variáveis significativas que afetam diretamente o desempenho das operações unitárias no beneficiamento do minério de ferro.

Assim, o objetivo desse trabalho é mostrar como foi possível disponibilizar, de forma simples, as melhores práticas de controle de processo, que resultem em facilidade na obtenção de especificação de qualidade e aumento de produtividade através de

treinamentos periódicos de operadores, mecânicos e eletricitas que atuam nas usinas de beneficiamento de minérios.

O treinamento é entendido como “processo educacional de curto prazo aplicado de maneira sistemática, através do quais as pessoas aprendem conhecimento, atitudes e habilidades em função de objetivos definidos”.⁽⁴⁾ No âmbito da empresa, o treinamento se transforma em um investimento empresarial cujo retorno é altamente compensador e cuja finalidade é fazer a empresa atingir seus objetivos de forma econômica.⁽⁴⁾

Os treinamentos periódicos buscam suprimir déficits na formação dos profissionais envolvidos direta e/ou indiretamente no controle de processo nas usinas de beneficiamento de minérios, com vista a maior eficiência na resolução dos problemas operacionais cotidianos.

Os operadores, mecânicos e eletricitas compuseram o grupo de agentes selecionados para receber os treinamentos, os quais se justificam pela ausência de uma formação adequada às necessidades da área de mineração. Na Diretoria de Ferrosos Sul da Vale, por exemplo, o ensino médio completo é o grau de escolaridade mínima exigida para o profissional cujo cargo é operador, mecânico ou eletricitista I e II, com exceção do eletricitista (curso técnico em eletrônica ou eletrotécnica). Eles possuem formação técnica em suas respectivas habilitações, mas não necessariamente o conhecimento do processo de beneficiamento, com suas operações unitárias e suas particularidades.

A partir do treinamento, os profissionais aumentam sua capacidade de discernimento de uma seqüência lógica de intervenções para ajuste do processo, minimizando ou até mesmo eliminando as causas especiais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Ciente que a redução da variabilidade e o alcance das metas de produção advêm do aprimoramento e desenvolvimento do conhecimento de cada etapa do processo de beneficiamento de minério, foi detectada pela alta gerência a necessidade de aprimorar os conhecimentos técnicos dos principais agentes que influíssem nesses resultados: os operadores, mecânicos e eletricitas das instalações de beneficiamento de minérios. Além disso, o treinamento em conjunto destes profissionais possibilita o crescimento de cada uma das áreas de conhecimento a partir da troca de informações.

O grau de escolaridade exigido na contratação, o tempo de experiência na função e o nível de qualificação foram cruciais na constatação da necessidade de treinamento.

Efetuada o levantamento e a determinação das necessidades de treinamento, passou-se então à sua programação conforme indicado por Chiavenato,⁽⁴⁾ que sugere a programação, execução e avaliação dos resultados do treinamento.

Com relação à programação, dentre todas as operações unitárias existentes no campo de abrangência da proposta, a princípio, foram selecionadas aquelas consideradas críticas, isto é, que afetavam significativamente os resultados da produção.

As técnicas de controle de processo foram discutidas com representantes de cada um dos *sites* a fim de adequar o manual as características particulares de cada unidade, visto que, o minério apresenta diferenças de uma localidade para outra, ou seja, “não existem dois minérios iguais - cada caso é único - de modo que é sempre desastroso tentar transferir resultados bem sucedidos, obtidos em outros lugares,

para as condições específicas da jazida e do minério em questão”.⁽⁵⁾ Além disso, os sistemas possuem diferentes graus de automação.

A partir da elaboração do padrão de Manual de Processo para uma determinada operação unitária, a customização foi feita por Engenheiros de Processo das respectivas unidades operacionais com o acompanhamento do gestor do projeto.

O próximo passo foi à execução do treinamento. Com o objetivo de alcançar maior volume de aprendizagem com menor dispêndio de esforço, tempo e dinheiro optou-se pelo treinamento no local de trabalho que, segundo Chiavenato⁽⁴⁾ constitui provavelmente a forma mais comum de se transmitir os ensinamentos necessários aos empregados, que aprendem enquanto trabalham.

O material de ensino foi cuidadosamente planejado e padronizado em relação a seu formato, disposição das informações e seleção do tipo de conteúdo para cada operação unitária. Os Manuais de Processo apresentam um padrão gráfico conforme mostrado na Figura 1 e padrão de conteúdo discriminado a seguir.

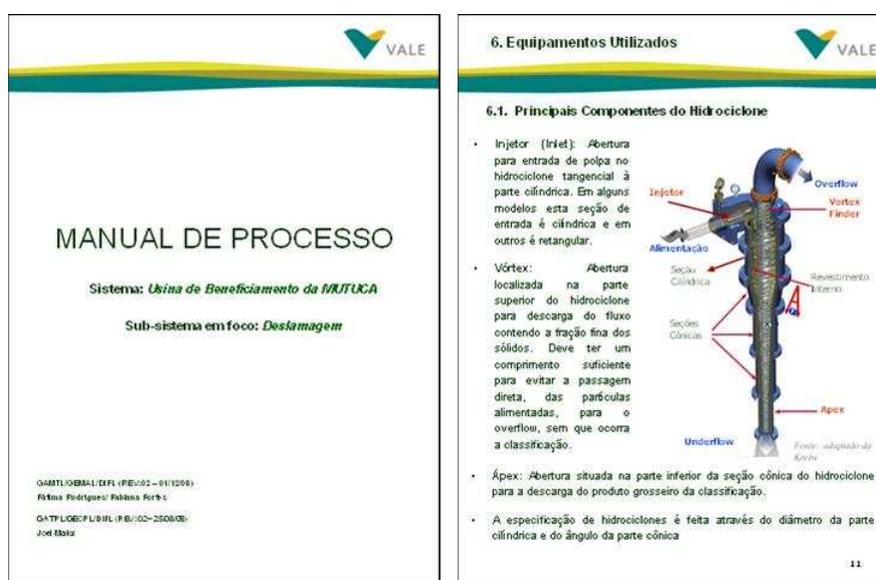


Figura 1: Padrão gráfico dos Manuais de Processo.

Folha de rosto: possui identificação do sistema e subsistema tratados, data da última revisão.

Índice: tem a finalidade de proporcionar uma consulta rápida aos tópicos abordados no Manual de Processo.

Objetivo e responsabilidade: esse tópico objetiva firmar o compromisso dos usuários com as práticas fornecidas pelo Manual de Processo e com o cumprimento das orientações, procedimentos ou legislação estabelecidos pela empresa.

Introdução: esse item se destina às informações básicas sobre o processo em questão, tais como, objetivo da operação unitária e equipamentos utilizados. A interação entre operações adjacentes é abordada a fim de alertar o usuário quanto à influência que estas etapas exercem umas sobre as outras. Além disso, destaca os possíveis prejuízos que podem ser causados à empresa em decorrência da deficiência no controle do processo.

Fluxograma geral de beneficiamento: tem o objetivo de contextualizar a operação unitária dentro do sistema de beneficiamento de minérios.

Fluxograma do subsistema: este tópico objetiva familiarizar o usuário com a identificação dos equipamentos e respectivos tags destinados à operação unitária.

Descrição do processo: este tópico contempla em detalhes, utilizando uma linguagem simples, a descrição do funcionamento do processo, dando uma visão inicial da influência das variáveis em seu desempenho. Traz informações sobre os principais equipamentos utilizados na operação unitária e seus componentes, para que o usuário entenda a relevância de cada um na manutenção do controle de processo.

Principais variáveis e suas influências: neste tópico são descritas em detalhes as variáveis de projeto, as variáveis de controle operacional e a influência de cada uma no controle de processo. As informações contidas neste tópico se destinam a formação de conceito. É a partir delas que o usuário será capaz de diagnosticar qual o seu papel na atuação sobre tais variáveis, a fim de buscar a melhoria contínua do processo. Ao final do tópico é apresentado um quadro com um resumo das variáveis e seus efeitos sobre a qualidade e produtividade do processo. Este quadro tem o objetivo de estimular o raciocínio do usuário.

Orientação para restaurar desempenho: o objetivo deste item é fornecer um *chek-list* para que o usuário identifique de maneira rápida a causa de queda no desempenho da operação unitária. Estão explícitas as faixas e limites de operação que ajudam a restaurar o desempenho.

O material foi denominado Manual de Processo, editado no software Power Point da Microsoft, teve como diferencial a linguagem simples e ilustrações explicativas, visando uma maior compreensão do público alvo (operadores, mecânicos e eletricitistas). O Manual de Processo apresenta a versatilidade de ser apresentado impresso ou em formato digital com a utilização de *data show*.

Basicamente, os Manuais de Processo contemplam orientação para sua utilização, objetivo do material, responsabilidade do funcionário, fluxogramas, apresentação do processo de beneficiamento, detalhes do funcionamento e equipamentos da operação unitária, principais variáveis e suas influências no processo, quadros para desenvolvimento do raciocínio e orientações para restaurar o desempenho do subsistema.

A aplicação dos treinamentos, a periodicidade, tamanho e composição das turmas, pessoa designada para aplicar os treinamentos e a época mais oportuna para realização variaram de acordo com a demanda dos gestores das áreas. Na designação dos profissionais para aplicação dos treinamentos, o nível hierárquico da empresa, não foi pressuposto. Foram indicados profissionais experientes ou especializados em determinada atividade ou trabalho, que transmitissem os conhecimentos sobre os pontos abordados pelos Manuais de Processo de maneira organizada aos operadores, mecânicos e eletricitistas.

Ao final dos treinamentos propriamente ditos, foi aplicada uma avaliação com questões de múltipla escolha cuja finalidade foi fixar os principais pontos abordados, bem como identificar dificuldade na compreensão dos mesmos.

3 RESULTADOS

Este trabalho mostrou como foi possível disponibilizar as melhores práticas de controle de processo a partir da elaboração e aplicação dos Manuais de Processo em treinamentos. Como consequência, pode-se evidenciar a redução de algumas causas especiais que aumentavam a variabilidade ou deslocavam a média do valor alvo de alguns processos e com isso aumentar a probabilidade de alcançar a especificação de qualidade ou aumentar a produtividade.

Os Manuais de Processo elaborados abrangeram as particularidades de cada Unidade Operacional contemplada, conforme mostrado no Quadro 1.

Quadro 1: Manuais de Processo elaborados

Operação Unitária	Unidade Operacional
Deslamagem	Mutuca e Jangada
Classificação por Classificador Espiral	Mutuca
Separação Magnética Ferrous Wheel	Jangada
Separação Magnética WDRE	Jangada
Flotação	Vargem Grande
Filragem	Mutuca e Pico
Espessamento	Mutuca

Dos Manuais elaborados, foram aplicados em treinamentos os indicados na Tabela 1.

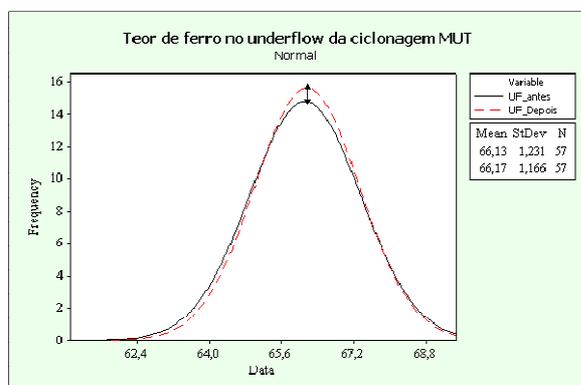
Tabela 1: Manuais de Processo aplicados em treinamentos

Operação Unitária	UO	Data Treinamento	Nº Operadores	Nº Mecânicos	Nº Eletricistas	Total
Flotação	VGR	nov-dez/2006	22	00	03	25
Deslamagem	JGD	maio/2007	09	04	04	17
Deslamagem	MUT	ago-set/2006	10	11	05	26
Classificação por CE	MUT	out/2006	04	07	04	15
Filragem	MUT	jan/2007	16	09	02	27

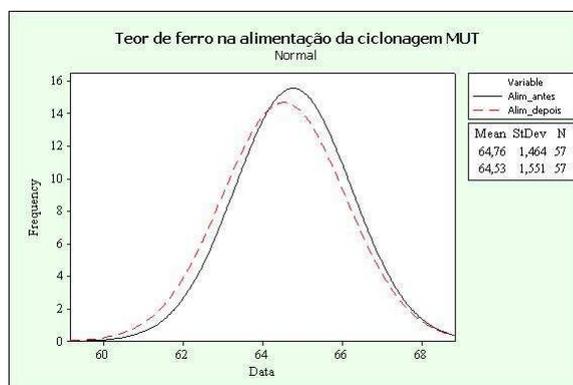
Os treinamentos dos operadores, mecânicos e eletricistas atuantes nas instalações de beneficiamento garantiram a conscientização da importância do papel de cada um sobre os parâmetros e variáveis significativas que afetam o desempenho das operações unitárias e refletiram em ganhos de qualidade e produtividade.

Como exemplo de resultados em melhoria de qualidade e produtividade foram mensurados os ganhos na Unidade Operacional da Mina da Mutuca a partir dos treinamentos em deslamagem e filtragem.

Analisando o teor de ferro no underflow da ciclonação para uma mesma quantidade de amostras, antes e depois da realização do treinamento em deslamagem, constatou-se uma redução de variabilidade entre as amostras de 1,23 para 1,17, ou seja, uma redução de aproximadamente cinco pontos percentuais no desvio-padrão, como pode se observado na Figura 2(a).



(a)



(b)

Figura 2: Teor de ferro na ciclonação MUT.

A redução da variabilidade no teor de ferro no underflow da ciclonagem não foi consequência da redução de variabilidade do teor de ferro na alimentação como pode ser observado na Figura 2(b), mas pode ser atribuída a aplicação do conhecimento adquirido pelos operadores a partir do treinamento.

Outro ganho passível de mensuração foi o aumento da densidade da polpa de alimentação da filtragem na Mina da Mutuca. Polpas de alimentação dos filtros a discos com densidades mais elevadas promovem o aumento da espessura da torta e, acarretam a melhora na produtividade da filtragem. Antes do treinamento em filtragem, a densidade média da polpa de alimentação da filtragem oscilava em torno de 1,51 t/m³. Após o treinamento, essa média saltou para 1,63 t/m³, representando um ganho de 7 (sete) pontos percentuais conforme mostrado na Figura 3. Vale ressaltar que o subsídio para controle da densidade da alimentação da filtragem, variável de controle operacional enfatizada durante o treinamento em filtragem, foi fornecido em período anterior durante os treinamentos em deslamagem.

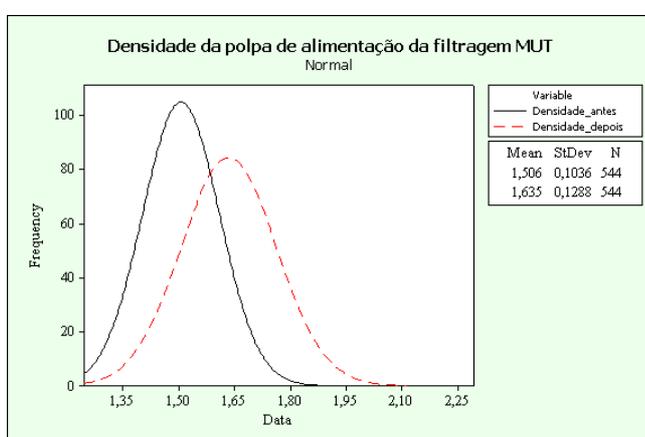


Figura 3: Densidade de polpa de alimentação da filtragem MUT.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Mencionou-se neste trabalho a necessidade da presença humana para a avaliação crítica do processo automatizado. Por outro lado, a confiabilidade dos dados fornecidos via automação também é imprescindível para o efetivo controle do processo e logo para a mensuração de ganhos provenientes deste controle. Automação e presença humana se complementam no efetivo controle de processo.

Alguns ganhos que não foram mensurados no decorrer do trabalho não devem ser esquecidos. É evidente o aumento do comprometimento e interesse dos profissionais treinados em relação ao controle do processo e, a agilidade e assertividade em tomadas de decisão. O aumento da vida útil dos equipamentos e durabilidade dos insumos também merece destaque, embora neste trabalho não tenham sido apurados.

É consenso na bibliografia apresentada que uma causa especial influente em um processo pode ser corrigida ou eliminada, reduzindo a variabilidade ou modificando a média de uma determinada variável do processo. Neste trabalho, verificou-se que os treinamentos possibilitaram, em momentos distintos, a alteração da variabilidade e da média de variáveis de controle operacional: teor de ferro e densidade de polpa. Tais alterações foram sutis, porque existem outras causas especiais que não são possíveis de serem eliminadas apenas com a aplicação dos conhecimentos

adquiridos em treinamento, em alguns casos, demandam maiores esforços e investimentos.

O conceito dos treinamentos prevê a periodicidade, como maneira de formação e atualização técnica contínua, uma vez que se busca a melhoria contínua em todos os aspectos. A concretização deste ideal é ameaçada pela atual estrutura disponível para a aplicação dos treinamentos. Os profissionais indicados para essa atividade, na maioria das vezes não têm a necessária disponibilidade devido, principalmente, às atribuições inerentes ao próprio cargo. Isso explica a ausência dos treinamentos em algumas áreas.

5 CONCLUSÃO

Foi apresentado como é possível disponibilizar as melhores práticas de controle de processo, que resultem em facilidade na obtenção de especificação de qualidade e aumento de produtividade através de treinamentos periódicos.

Foram elaborados nove Manuais de Processo, dedicados as Unidades Operacionais da Mutuca, Jangada, Vargem Grande e Pico, sendo eles: deslamagem, classificação por classificador espiral, separação magnética *Ferrous Wheel*, separação magnética WDRE, flotação, filtração e espessamento. Dentre estes, foram aplicados em treinamento os Manuais de Processo em deslamagem na Mutuca e Jangada, flotação em Vargem Grande, classificação por classificador espiral e filtração na Mutuca.

Os treinamentos proporcionaram aumento da capacidade de discernimento de uma seqüência lógica de intervenções para ajuste do processo, bem como a conscientização da importância do papel dos operadores sobre os parâmetros e variáveis significativas que afetam diretamente o desempenho das operações unitárias. Foram 61 participações de operadores nos treinamentos, 31 de mecânicos e 18 de eletricitas atuantes nas instalações de beneficiamento. Mensurou-se ganhos de 5% na redução da variabilidade do teor de ferro na polpa de underflow da ciclonação após o treinamento em deslamagem e 7% de aumento da densidade média da polpa de alimentação da filtração após o treinamento em filtração, ambos na Mina da Mutuca.

Em vista dos ganhos obtidos com a elaboração e aplicação dos Manuais de Processo, sugeriu-se a criação de uma equipe especializada e dedicada exclusivamente à aplicação de treinamentos periódicos em todas as operações unitárias. Ressalta-se a importância que esta equipe seja formada por profissionais de cada uma das Unidades Operacionais da Vale onde atuarão, para que não se perca o grande diferencial de conhecimento de campo. A gestão dessa equipe, nessa concepção, deveria ser centralizada na figura de um gestor, focado na padronização e na constante atualização dos Manuais de Processo para alcance das melhores práticas de controle de processo.

Agradecimentos

Os autores agradecem a todos os profissionais que contribuíram com informações técnicas e valiosas sugestões que possibilitaram o andamento do trabalho aqui apresentado.

Especial agradecimento a George Liu, Geraldo Magela André Silva, Wanderson Vieira Leite, Eliezer Felipe, Allan Oliveira Santos, Reinaldo Halley, Sérgio Coutinho Amarante, Hely Simões Gurgel, Paulo Edmundo (Inbras).

REFERÊNCIAS

- 1 COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. Controle Estatístico de Qualidade. São Paulo: Atlas, 2004.
- 2 MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.
- 3 OLIVEIRA, R. A. A linha de produção do amanhã. Disponível em: http://www.softword.com.br/gestao_1.htm. Acesso em: 24 set. 2007.
- 4 CHIAVENATO, I. Recursos Humanos, Ed. Compacta, 2 ed. São Paulo: Atlas, 1992.
- 5 CHAVES, A. P. Teoria e Prática do Tratamento de Minério. v. 1., 2. ed. São Paulo: Signus Editora, 2002.