

Indicadores-chave de desempenho e a gestão integrada da mineração

*Key performance indicators
and the mineral value chain integration*

Beck Nader

Pesquisador doutorando do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
beckn@usp.br

Giorgio de Tomi

Professor Associado do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
gdetomi@usp.br

Alexandre Orlandi Passos

Engenheiro Geólogo da empresa i9 Tecnologia. São Paulo - SP - Brasil
alexandrepassos@i9tecbrasil.com.br

Resumo

O rápido avanço da tecnologia da informação e da aplicação de computadores ao setor mineral permitiu a automatização de vários processos da cadeia de valor mineral. Os sistemas ERP (Enterprise Resource Planning) forneceram a plataforma para a integração eficiente de todas as atividades de suporte da mineração. Apesar do avanço obtido com a aplicação dos computadores, não se conseguiu, até o presente momento, integrar, efetivamente, as atividades primárias da cadeia de valor mineral. A principal razão, para isso, são as incertezas existentes no processo produtivo, que são intrínsecas ao negócio, e a dificuldade de se quantificarem e qualificarem os benefícios advindos de tal integração, isto por não existir uma definição clara dos indicadores-chave de desempenho (KPIs). Esse trabalho apresenta uma análise da aplicação de sistemas ERP, na mineração do Brasil, identifica os KPIs mais importantes utilizados em empresas de mineração e discute a importância de seu mapeamento e medição para a gestão efetiva do negócio “Mineração”.

Palavras-chave: Planejamento de lavra, cadeia de valor mineral, indicadores-chave de desempenho, ERP.

Abstract

The exceptional advance of information technology and computer application to the mineral sector has allowed the automation of several processes of the mineral value chain. ERP systems (Enterprise Resource Planning) provided the platform for the efficient integration of all support activities of the mineral value chain. Despite all advances gathered with the application of computers, it was not possible to date, to effectively integrate the primary activities of the mineral value chain. The main reason for that are the uncertainties present in the productive process, which are intrinsic to the business, and the difficulty to quantify and qualify the benefits obtained with this integration due to the lack of a clear definition of the key performance indicators (KPIs). This work presents an analysis of the ERP systems application in Brazilian mining, identifies the KPIs of some of the most important Brazilian mining companies, and discusses the importance of mapping and measuring these indicators for the effective management of the mining business.

Keywords: Mine planning, mine value chain, key performance indicators, ERP.

1. Introdução e objetivos

Os sistemas ERP (Enterprise Resource Planning) têm fornecido, por muitos anos, a plataforma para a integração eficiente das atividades de suporte da mineração. No entanto, apesar de todo o avanço obtido com a aplicação dos computadores em nichos técnicos específicos, não se conseguiu, até o presente momento, integrar, efetivamente, as atividades primárias da cadeia de valor mineral (Nader et al., 2011). Define-se a cadeia de valor de uma empresa (Porter & Millar, 1985) como sendo a rede de atividades independentes de uma organização, conectada por ligações operacionais, sendo que estas existem, quando o modo como determinada atividade é desempenhada afeta os custos e a efetividade de outras atividades na cadeia de valor. Para integrar a cadeia de valor mineral e se obterem os benefícios da integração, deve-se ser capaz de medir seu impacto através de indicadores-chave de desempenho (KPI - Key Performance Indicator), a fim de se quantificarem os ganhos obtidos. A indústria mineral, de uma forma geral, tem sofrido com a ausência de métricas objetivas, que permitam quantificar benefícios de se integrar sua cadeia de valor em relação aos investimentos necessários.

As primeiras iniciativas globais, para a utilização de sistemas ERP, na mineração, ocorreram no início dos anos 90. Como em muitos outros segmentos industriais, os sistemas legados, alguns já bastante obsoletos, voltados, principalmente, para controle de estoque, manutenção, administração, finanças e recursos humanos, haviam sido desenvolvidos e estavam em plena utilização pelas empresas de mineração. Esses sistemas tinham, como principal característica, serem bastante específicos e customizados aos requerimentos típicos e a forma de trabalho das empresas que os desenvolveram.

Paralelamente, muitos sistemas técnicos especializados foram desenvolvidos e disponibilizados às empresas de mineração, notadamente nas áreas de exploração mineral, estimativa de recursos geológicos, cálculo de reservas minerais, planejamento de lavra e produção de mina. Esses sistemas incluíam modelagem de jazidas minerais, sistemas de modelagem geotécnica, desenho e planejamento de minas, definição de cavas ótimas, sistemas de controle de equipamentos de mina, sistemas de con-

trole de processos, entre outras aplicações especializadas.

De acordo com Sachs (2009), os sistemas técnicos especializados evoluíram e continuarão a evoluir de forma a responder às crescentes necessidades tecnológicas da indústria. A maioria dos sistemas legados, voltados às atividades de suporte da cadeia de valor, ou seja, controle de estoques, manutenção, administração, finanças e recursos humanos, tiveram sua substituição acelerada devido ao *bug do milênio* (muitos autores indicam que os sistemas ERP se popularizaram a partir da década de 90, para suprir a demanda por ferramentas mais adequadas, para dar suporte à gestão das empresas. Um dos principais fatores que criaram essa demanda foi o chamado “bug do milênio”, um conceito que considerava haver um risco de os sistemas computacionais existentes até a década de 90 não suportarem a mudança de data. Esse conceito acabou não se concretizando, mas colaborou muito para a popularização dos ERPs (Davenport, 1998; Padilha & Marins, 2005)), ou seja, as modificações necessárias para adequá-los seriam, na grande maioria dos casos, bastante dispendiosas e apenas para que continuassem a funcionar exatamente como eram e sem qualquer aprimoramento. Esses foram motivos que se revelaram fortes o suficiente para facilitar e promover a substituição dos mesmos pelos sistemas ERP, que prometiam, não somente as funções requeridas pelas empresas, mas, também, um alto grau de integração entre os seus componentes.

É correto afirmar que os sistemas ERP cumpriram as funções propostas, no que tange às necessidades da região de suporte da cadeia de valor mineral, bastando, para isso, observar o grande automatismo dos procedimentos de controle de estoques, administrativos, financeiros, de manutenção e de recursos humanos, hoje realizados com o auxílio desses sistemas. Pode-se afirmar, também, com segurança, que os sistemas ERP não conseguiram atender às necessidades da área primária da cadeia de valor mineral, devido, principalmente, à complexidade dos tipos de dados existentes, dos diferentes horizontes de tempo requeridos para os vários processos e, notadamente, devido à incerteza geológica, que é um fator diferencial e inerente à indústria mineral (Nader et al., 2011).

Esses fatos acarretam um desencontro das informações advindas de diferentes áreas de uma mineradora, o que diminui a eficiência de todo o processo. Passos et al. (2010) discute dois exemplos de situações em que a falta de integração gerou impactos econômicos e operacionais negativos nos empreendimentos analisados:

1. Uma mina a céu aberto removeu, em quatro anos, aproximadamente, vinte e cinco milhões de toneladas de estéril, transportando-as para um depósito localizado a dois quilômetros de distância. A ideia era remover o estéril da porção central da mina para permitir o seu alargamento e aprofundamento. No entanto, essa mina não possuía um modelo geológico representativo da jazida e as decisões foram tomadas com base no conhecimento disponível. Após efetuar uma pesquisa de detalhamento, modelagem da jazida e sequenciamento da lavra, identificou-se que a estratégia originalmente adotada estava equivocada, já que a mina deveria ter suas extremidades desenvolvidas prioritariamente e o que havia sido considerado estéril poderia se tornar minério através de mistura (blending) com o material das extremidades, ou seja, considerando que a remoção equivocada de estéril custou uma média de R\$ 4,00 por tonelada, as despesas desnecessárias, ocorridas em consequência da falta de conhecimento adequado da jazida, foram de, aproximadamente, cem milhões de reais (Passos et al., 2010).
2. Uma mina subterrânea possui baixo índice de aderência dos valores de teores e massa realizados pela lavra quando comparados aos planejados. Quando a equipe de produção foi questionada sobre o motivo da baixa reconciliação, foi declarado que tal fato ocorria pela baixa confiabilidade do modelo geológico, ou seja, quando a lavra seguia o planejado, a qualidade não atendia a produção. Quando a equipe de planejamento foi questionada sobre o problema, foi-lhe informado que, muitas vezes, os planos de lavra haviam sido efetuados sem considerar a geologia de curto prazo por questões de tempo para processamento das informações; quando a equipe de geologia foi procurada para escl-

recer o assunto foi-lhe apontado que a demora no fornecimento das informações para o planejamento era devido à falta de desenvolvimento para a pesquisa, que dependia sempre da disponibilidade da área de produção, ou seja, a área de produção também tinha as justificativas para o atraso no desenvolvimento para pesquisa, mas o fato é que ela era a causadora do baixo índice de aderência da lavra ao planejamento (Passos et al., 2010).

Tais fatos mostram a importância da integração da cadeia de valor mineral para o setor da mineração. Porém se, por um lado, existe o potencial de se integrar as atividades primárias da cadeia de valor mineral e a certeza de que isto será possível, existe, também, uma grande necessidade de se desenvolverem mecanismos que permitam quantificar e qualificar os benefícios advindos dessa integração. Para que seja possível quantificar e qualificar os benefícios advindos da integração da cadeia de valor mine-

2. Metodologia proposta

O objetivo desse trabalho é estabelecer uma metodologia que permita às empresas focar a tarefa de integração da cadeia de valor mineral. Como primeiro passo, deve-se identificar e quantificar os indicadores de desempenho e entre eles, os indicadores-chave de desempenho correspondentes.

Após isto, é necessário mapear e organizar os dados provenientes destes KPIs, para que uma análise da produção seja feita. Nessa análise, deve ser estudadas as inter-relações entre os processos e a forma como eles interagem entre si. Após este estudo inicial e levando-se em

consideração os setores de menor desempenho da empresa, cria-se uma proposta para a integração da cadeia de valor mineral baseada nos ganhos de eficiência e econômicos, obtidos através das modificações a serem feitas. Se o plano de integração for aplicado, uma nova medição dos KPIs fornecerá, de forma palpável, os benefícios oriundos de todo o processo apresentado aqui.

Conseqüentemente, a identificação dos KPIs a serem utilizados, nas atividades de planejamento de lavra e operação de mina, foi efetuada através da realização de levantamento de campo junto a algumas das mais importantes empresas de mineração brasileiras, de forma a sub-

sidar as análises quantitativas e qualitativas dos benefícios da integração, quanto às melhorias de desempenho nos processos e ganhos monetários correspondentes.

Aumentos do desempenho, nos processos da cadeia de valor mineral, têm o potencial de produzir grandes benefícios para as empresas, para os governos e, principalmente, para as comunidades, pois podem gerar economias, ganhos de produtividade e de capital, aumento de arrecadação e redução de emissões ao meio ambiente. Os malefícios da falta de integração da cadeia de valor mineral foram claramente exemplificados anteriormente. Agora, portanto, cabe estabelecer uma metodologia que permita às empresas focar a tarefa de integração, de forma organizada, pois o esforço técnico e econômico para isto deve ser passível de quantificação e análise quanto ao seu impacto na qualidade e economicidade das operações e do empreendimento de forma geral, sendo este o objetivo principal desse trabalho.

consideração os setores de menor desempenho da empresa, cria-se uma proposta para a integração da cadeia de valor mineral baseada nos ganhos de eficiência e econômicos, obtidos através das modificações a serem feitas. Se o plano de integração for aplicado, uma nova medição dos KPIs fornecerá, de forma palpável, os benefícios oriundos de todo o processo apresentado aqui.

A Figura 1 apresenta o fluxo das atividades proposto para a adequada integração da cadeia de valor mineral.

É importante ressaltar que a incerteza geológica tende a diminuir com a

aplicação das melhores práticas de trabalho, que compreendem as atividades de campo, amostragem, laboratoriais, modelagem de jazidas e estimativa de teores e características físicas, porém nunca será totalmente eliminada visto que uma jazida mineral somente é passível de conhecimento completo (ainda que simplificado) após sua exaustão. Todavia, a medição dos KPIs correspondentes permitirá aferir-se o grau de aderência dos modelos na prática, através do acompanhamento de seu comportamento e impacto na produção e nos resultados da empresa.

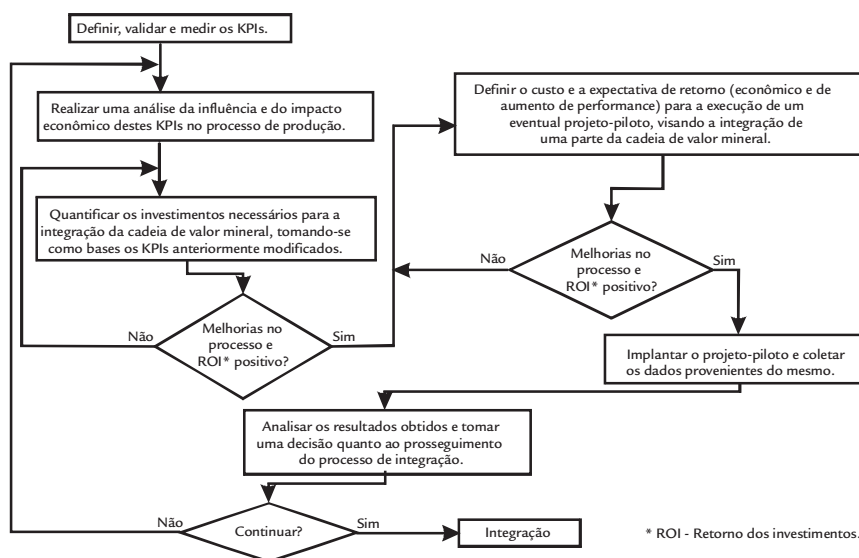


Figura 1

Diagrama de atividades propostas para a integração da cadeia de valor mineral.

3. Resultados

Uma pesquisa de campo realizada junto a algumas das mais importantes empresas de mineração brasileiras permitiu a organização e tabulação dos PIs mais importantes nas atividades de planejamento de lavra e operação de mina, os quais subsidiarão análises de incrementos de desempenho e ganhos monetários para se efetuar a análise quantitativa e qualitativa dos benefícios da integração. A partir dos PIs analisados, foram posteriormente tabulados os principais KPIs das empresas de mineração analisadas.

Foram mapeados os seguintes PIs de acordo com as etapas do processo produtivo da mineração:

1. PIs relacionados à pesquisa mineral: Suficiência de reserva/minério liberado, percentual de atendimento do plano anual de prospecção, aderência ao orçamento, produtividade da mão de obra total, controle de alvarás de pesquisa, aderência ao orçamento, eficiência geral dos equipamentos de perfuração, tonelada por metro perfurado e metros de sondagem perfurados (m/ano).
2. PIs relacionados à geologia de mina: Valores de reservas (provadas e prováveis), fator de reconciliação geológica de curto prazo com a de longo prazo, ganho real de reserva provada e ganho real de reserva provável.
3. PIs relacionados ao planejamento de lavra: Inclinação máxima de rampas, percentual de atendimento do plano estratégico mineral, resultados obtidos após eventuais auditorias, fator de reconciliação de lavra, aderência ao orçamento, custo do ROM (an-

terior a britagem), fator de diluição total, fator de recuperação de lavra, índice de aderência da lavra ao planejamento e relação estéril/minério.

4. PIs relacionados à operação de lavra: Índice de utilização, disponibilidade de máquinas para ONS, indisponibilidade para manutenção programada, indisponibilidade para manutenção forçada, taxa de falha, taxa de desligamento forçado, fator de segurança, largura de rampa, disponibilidade física de equipamentos, índice de enchimento, distância média de transporte, tempo médio entre falhas, custo total de manutenção pelo ativo imobilizado, horas extras manutenções / total de horas de manutenção, horas de manutenção programada / total de horas de manutenção disponível, sobrecarga das atividades de manutenção, redução na emissão de CO₂, aderência ao orçamento, produtividade da mão de obra total, custo total de manutenção pelo faturamento bruto, número de anomalias devido a problema de estoque, giro do estoque, custo por tonelada produzida, aderência ao orçamento, índice de problemas recorrentes, número de não conformidades de segurança, número de não conformidades de meio ambiente, custo da energia, custo de operação, custo de manutenção, custo unitário de meio ambiente, consumo de diesel por tonelada produzida, custo por hora por frota, taxa interna de retorno, custo total de produção mais custo de capital por tonelada produzida, custo por tonelada movi-

mentada, custo de remoção de estéril, custo por tonelada por frota, eficiência geral dos equipamentos de perfuração e carregamento, rendimento por fogo, eficiência geral dos equipamentos de transporte, fator de carga, consumo específico de energia, índice de consumo interno de energia, custo do ciclo de vida de equipamentos, velocidade do transporte, alocação de equipamentos e índice de matacões gerados na etapa de desmonte.

5. PIs relacionados ao beneficiamento: Consumo específico por insumo, recuperação mássica, recuperação metalúrgica, aderência ao orçamento estabelecido para o setor, produtividade da mão de obra total, coeficiente de qualidade das matérias-primas, coeficiente de qualidade das matérias-primas, índice de problemas recorrentes, número de não conformidades de segurança, número de não conformidades de meio ambiente, número de não conformidades de qualidade, índice de qualidade do produto, custo da energia, custo de operação, custo de manutenção, custo unitário de meio ambiente, indicador da qualidade e controle de qualidade, garantia de qualidade dos produtos, eficiência geral dos equipamentos de britagem, produtividade do forno elétrico, geração de finos, consumo específico de energia, índice de consumo interno de energia e custo do ciclo de vida de equipamentos.
6. PIs relacionados ao desempenho econômico do empreendimento: Valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR).

4. Discussão

Analisando os dados encontrados e as opiniões dos funcionários das empresas, considera-se que os principais KPIs de um projeto de mineração são o VPL e a TIR, ao término da vida útil da jazida. Esses resultados podem ser monitorados ao longo do tempo através de um plano-base convenientemente elaborado. A partir da análise dos PIs, apresentam-se, na Tabela 1, os KPIs que se mostraram mais importantes e que deveriam ser monitorados ao longo da vida da mina adicionalmente às estimativas atualizadas de VPL e TIR, de forma a auxiliar no conveniente monitoramento e melhorias dos processos da empresa de mineração, com

os ganhos econômicos decorrentes.

Esses indicadores poderão ser dobrados para as várias áreas da empresa, fornecendo uma visão clara de como está o andamento do projeto. No caso de anomalias, devem ser identificadas as causas, avaliados os impactos no projeto e tomadas ações visando o ganho de eficiência ou mitigação. A Figura 2 apresenta um exemplo teórico do processo completo de reconciliação, onde a geologia de mina busca fornecer informações sobre a jazida que possibilitem a produção de minérios dentro das especificações definidas para os produtos da mineração, ou seja, a integração da geologia de mina com os

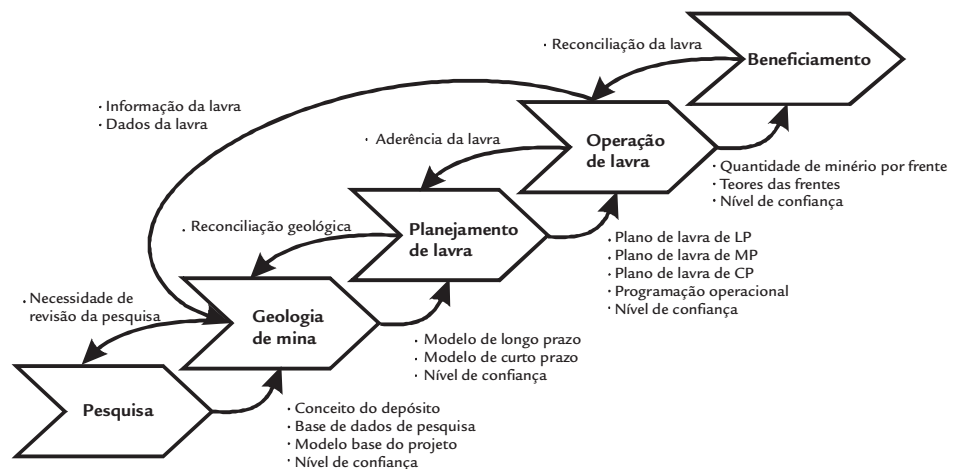
demais processos da mineração é fundamental para a adequada gestão.

Na literatura, é possível encontrar indicativos de que a reconciliação, se praticada de maneira adequada e aliada à perspectiva da gestão sistêmica, é fator fundamental ao sucesso do empreendimento mineral. Segundo Passos et al. (2010), a reconciliação, com o controle de indicadores de desempenhos, propiciou: benefícios relacionados ao fortalecimento da interação entre os setores da mina (geologia, operações, processos e outros), melhoria do padrão de qualidade e do nível de compreensão dos dados coletados, ganho de eficiência, economia

Tabela 1
Principais KPIs a serem monitorados durante a vida útil de uma mina.

KPI	Justificativa
Índice de aderência do plano de curto prazo ao de longo (georreferenciado).	Permite a avaliação da reconciliação do planejamento de lavra de curto prazo ao de longo prazo.
Índice de reconciliação geológica de curto prazo com a de longo prazo.	Permite a avaliação da reconciliação geológica de curto prazo com a de longo prazo.
Índice de reconciliação da lavra com a geologia de curto prazo.	Permite a avaliação da reconciliação da lavra com a geologia de curto prazo.
Número de não conformidades de segurança.	Permite a avaliação do sistema de segurança adotado pela empresa.
Número de não conformidades de meio ambiente.	Permite a avaliação da filosofia adotada pela empresa em relação a questões ambientais.
Número de não conformidades de qualidade.	Permite a avaliação da qualidade do produto.
Índice de aderência da produção real à planejada.	Permite a avaliação da aderência da produção real com a planejada.
Índice de aderência da produtividade real à planejada.	Permite a avaliação da aderência da produtividade real à planejada.
Índice de aderência do custo de produção real ao planejado.	Permite a avaliação da aderência do custo de produção real ao planejado.
Índice de aderência dos preços dos produtos reais aos planejados.	Permite a avaliação da aderência dos preços reais dos produtos aos preços planejados.

Figura 2
Desafio de integração entre os principais processos da mineração.
Fonte: Passos et al., 2010.



de tempo dos empregados e melhor utilização global de recursos. Nesse caso, foram utilizados oito pilares para a reconciliação (Figura 3).

A análise da pesquisa, entre as principais empresas de mineração, no Brasil, mostrou que as soluções ERP padrão são desafiadas a fornecer uma cobertura completa de todos os processos em empresas mineradoras, o que não é possível, visto que os sistemas-padrão ERP, segundo Sachs (2009), não se adaptam, plenamente, à integração das atividades primárias da cadeia de valor mineral. Os resultados mostram, também, que a aplicação de soluções ERP, no planejamento de mina, é

5. Conclusões

Esse trabalho apresenta às empresas de mineração a importância de se identi-

ficarem os KPIs relevantes aos seus processos industriais, para, assim, poderem

ou não, da aplicação de determinadas tecnologias e, até mesmo, da integração de processos. Desta forma, através do controle dos KPIs adequados e de sua medição sistemática, a aplicação de processos tecnológicos, para a integração da cadeia de valor mineral, poderá ser convenientemente avaliada, tanto em relação aos resultados alcançados (ganhos em segurança, redução de riscos e aumento de desempenho do processo), quanto em relação aos investimentos necessários à sua realização, o que possibilitará a avaliação do retorno dos investimentos (ROI) e os benefícios reais da integração da cadeia de valor mineral.

ficarem os KPIs relevantes aos seus processos industriais, para, assim, poderem avaliar seu impacto na gestão das atividades da mineração, tanto no aspecto cien-

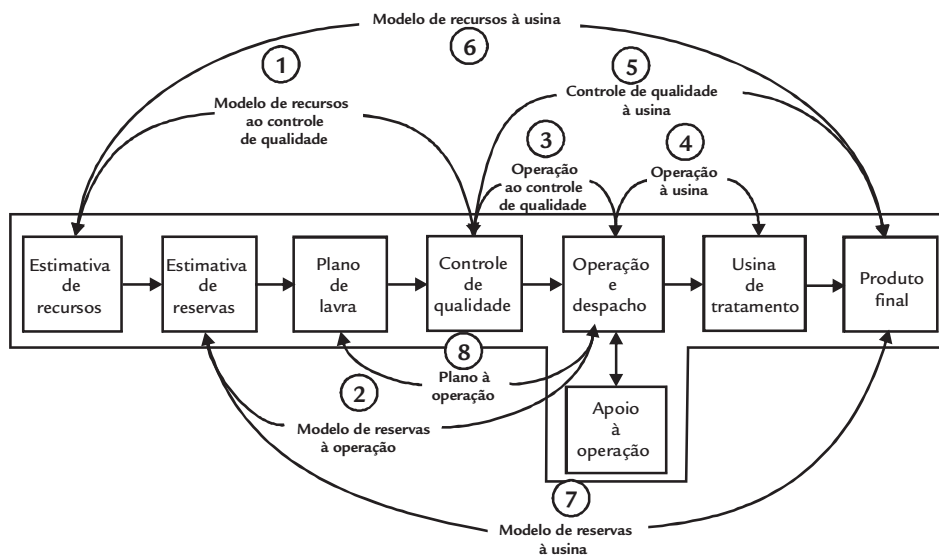


Figura 3
Os oito pilares de reconciliação na operação mineral.
Fonte: Adaptado de Passos et al., 2010.

tífico, tecnológico e econômico, quanto no aspecto do desenvolvimento humano e social dos trabalhadores de comunidades. A posterior integração da cadeia de valor mineral, através de sistemas automatizados, somente poderá ser realizada, de forma eficaz e conhecendo-se seus reais benefícios, através da determinação dos KPIs dos processos das empresas de

mineração e do trabalho sistemático de mensuração de suas variações.

A metodologia proposta estabelece um enfoque lógico e disciplinado, que permitirá a essas empresas integrar suas cadeias de valor mineral e, através da análise dos resultados, determinar o potencial de retorno econômico e de eficiência dessa interligação. Tal fato tem o

potencial de propiciar a essa indústria benefícios equivalentes aos dos setores automatizados mais avançados da indústria manufatureira, para os quais o processo de integração foi muito mais simples, dada a inexistência das complexidades e incertezas geológicas, que adicionam muitas complicações ao processo de integração da cadeia de valor mineral.

6. Referências bibliográficas

- DAVENPORT, T. H. Putting the enterprise into the enterprise system. *Harvard Business Review*, v. 76, n. 4, p.121-131, 1998.
- NADER, B., SACHS, P. F. T., DE TOMI, G. The mine value chain integration beyond the ERP systems, *Int. J. Mining and Mineral Engineering*, v. 3, n. 3, p.233-250, 2011.
- PASSOS, A. O., SAHÃO H., DE TOMI, G. Gestão sistêmica na mineração. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA, MATERIAIS E MINERAÇÃO, 2010. p. 65.
- PADILHA T. C. C., MARINS, F. A. S. Sistemas ERP: características, custos e tendências. *Revista Produção*, v. 15, n. 1, p. 102-113, 2005.
- PORTER, M. E., MILLAR, V. How information gives you competitive advantage. *Harvard Business Review*, p. 149-160, 1985.
- SACHS, P. F. T. *Cadeia de valor mineral e tecnologia da informação: alinhamento estratégico como gerador de eficácia em empresas de mineração*. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2009. (Tese de Doutorado).

Artigo recebido em 27 de maio de 2011. Aprovado em 31 de maio de 2012.