

# COMO AUMENTAR A EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO ATRAVÉS DE UMA ARQUITETURA DISTRIBUÍDA E REDUNDANTE <sup>1</sup>

Ludmila Rodrigues Fernandes <sup>2</sup>  
Eduardo do Carmo Silva <sup>3</sup>

## Resumo

Este trabalho demonstra como uma arquitetura de alta disponibilidade, quando associada a sistemas-chaves de gerenciamento da informação, pode gerar benefícios de fundamental importância na análise de dados e seus consequentes resultados, garantindo confiabilidade e rapidez na tomada de decisões. São apontadas as tecnologias, entre equipamentos e ferramentas de mercado, utilizadas para implementação de uma arquitetura mista, na qual os dados provenientes do processo de mineração são, em primeira instância, armazenados em bancos de dados locais e, então, replicados para um centro de inteligência operacional, que passa a ser detentor das informações de todas as unidades de negócio da empresa. O sistema foi implantado na empresa mineradora Ferrous Resources do Brasil.

**Palavras-chave:** Redundância; Alta disponibilidade; Sistemas de informação; Arquitetura.

## HOW TO INCREASE SYSTEMS INFORMATION EFFICIENCY THROUGH A DISTRIBUTED AND REDUNDANT ARCHITECTURE

## Abstract

This article describes how a high-availability architecture, when associated with key information management systems, can generate benefits of fundamental importance in data analysis and its results, ensuring reliability and speed in decision making. The work presents the software and hardware technologies used to implement a mixed architecture, where mining process data are stored in local databases and also replicated to a head quarter, which can act as a single information center of all company units. The system was implemented in Ferrous Resources do Brasil mining company.

**Key words:** Redundancy; High availability; Information systems; Architecture.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 13º Seminário de Automação de Processos, 7 a 9 de outubro de 2009, São Paulo, SP.

<sup>2</sup> Engenheira de Controle e Automação da VISION Sistemas de Automação.  
ludmila.fernandes@visionsistemas.com.br – Tel. (31) 3215-6200 (31) 9624-1569

<sup>3</sup> Consultor de Tecnologia da Informação e Informação. educarmo@gmail.com – Tel. (31) 9976-8127

# 1 INTRODUÇÃO

Em termos gerais, um sistema de informações de processo e da produção industrial visa integrar dados brutos de diferentes origens e transformá-los em informação interpretável, capaz de conduzir a ações embasadas e corretas. Devido à importância dessas decisões, é necessário gerenciar esse volume de informações de maneira tão eficiente quanto possível, tanto pelo ponto de vista operacional quanto gerencial. A operação precisa conhecer rapidamente os dados gerados pela planta e tomar decisões em tempo real, para eventuais correções ou melhorias no processo. Já os demais níveis hierárquicos superiores devem conseguir acesso fácil a informações sumarizadas indicativas de desempenho, produção e custo, de modo a obter uma base concreta para a tomada de decisões estratégicas. No entanto, é insuficiente coletar e centralizar informações tão importantes se houver algum risco considerável que os dados não estejam disponíveis no momento necessário.

Sendo assim, a confiabilidade e a disponibilidade podem ser consideradas dois dos mais importantes e desejáveis fatores associados às informações industriais, tornando imprescindível a garantia de sistemas que não apenas atendam as diferentes demandas por dados, mas, sobretudo, sejam confiáveis, tanto pelas informações apresentadas quanto por sua própria prontidão.

A confiabilidade na informação deve ser garantida, principalmente, por uma instrumentação de qualidade e pela minimização da necessidade de entradas manuais de dados. Já a confiabilidade no sistema requer redundâncias de *hardware* e *software*, associadas a uma arquitetura robusta e bem elaborada, capazes de prover aos usuários um sistema altamente disponível.

É alvo deste trabalho apresentar a concepção de uma arquitetura que suporte a alta exigência de disponibilidade de um sistema de gerenciamento de informações de processo e produção da mineradora Ferrous.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Sistemas Envolvidos

O intitulado sistema de gerenciamento de informações de processo e produção é composto, direta ou indiretamente, por uma cadeia de elementos e subsistemas:

- Instrumentos

Os instrumentos são a fonte primária de geração de dados, ligados diretamente ao chão de fábrica. Por constituírem a origem de toda a informação, apresentam importância fundamental na garantia da confiabilidade dos dados. No projeto de implantação de um sistema deste tipo, uma auditoria geral na instalação e calibração dos instrumentos deve ser o primeiro procedimento a ser executado. Eventuais necessidades de correções ou novas instalações precisam ser providenciadas antes da entrada do sistema em produção.

- CLPs

Os controladores lógico-programáveis recebem os sinais dos instrumentos e contém toda a programação lógica responsável pela operação direta da planta.

- Supervisórios

Os supervisórios compõem uma interface direta para operação da planta, coletando e enviando dados diretamente para os CLPs.

- PIMS

PIMS – *Plant Information Management Systems* – são sistemas sustentados por uma base de dados temporal cuja principal função é requisitar dados diretamente

do chão de fábrica e concentrá-los em uma base única e acessível a diferentes níveis de usuários. A aplicação PIMS da Ferrous é voltada para a visualização de dados de processo, em tempo real ou histórico, através de aplicativos como: telas sinóticas, gráficos de tendência ou de correlação, cartas de controle estatístico de processo, relatórios de produção, dentre outros.

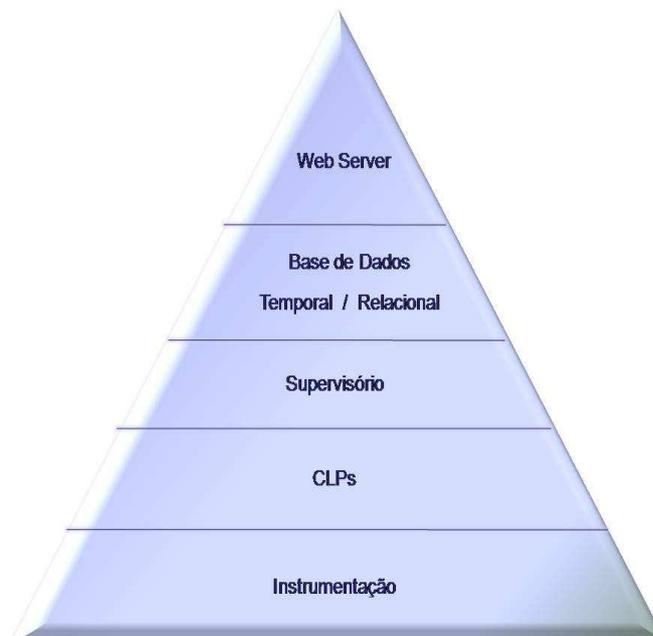
- MES / Bancos Relacionais de Produção

MES – *Manufacturing Execution Systems* – são sistemas sustentados por uma base de dados relacional cuja principal função é prover o gerenciamento da produção, consolidando o planejamento e o mapeamento da execução de diferentes etapas deste processo.

A aplicação MES da Ferrous, por estar em fase inicial de implantação, apresenta funções pontuais associadas a bancos de dados de produção, dentre as quais se destacam: controle de paradas, acompanhamento de custos, registro de ocorrências, planos de manutenção.

- Portal WEB

Um portal web customizado é desenvolvido com o objetivo de unir informações de PIMS e MES, previamente tratadas, concebendo uma aplicação gerencial exibida através de ferramentas ricas e modernas. Algumas das principais funcionalidades fornecidas pelo portal são: acompanhamento de KPIs, controle de custos da produção, OEE, análise de qualidade. Um segundo tipo de portal, exclusivo para a replicação das aplicações PIMS em ambiente web, também é disponibilizado aos usuários.



**Figura 1** – Pirâmide de Sistemas.

## 2.2 Arquitetura

A estrutura da Ferrous apresenta cinco minas de minério de ferro localizadas no quadrilátero ferrífero de Minas Gerais e um escritório administrativo central em Belo Horizonte. Inicialmente, é implantando um sistema de informações de processo e produção direcionado para apenas um destes ativos, a Mina de Esperança, sendo previstos *roll outs* para os demais, tão logo suas devidas atividades de produção estejam em plena operação. Toda a concepção do sistema é baseada na construção de uma arquitetura expansível e no desenvolvimento de aplicações replicáveis, de modo a minimizar o custo dos *roll outs*.

Normalmente, as empresas que possuem várias unidades operacionais optam por uma arquitetura totalmente distribuída, na qual as informações associadas a cada planta permanecem resguardadas na mesma e desvinculadas das demais; ou mesmo por uma arquitetura absolutamente centralizada, onde um servidor único concentra todos os dados, fazendo com que as unidades se tornem suas dependentes.

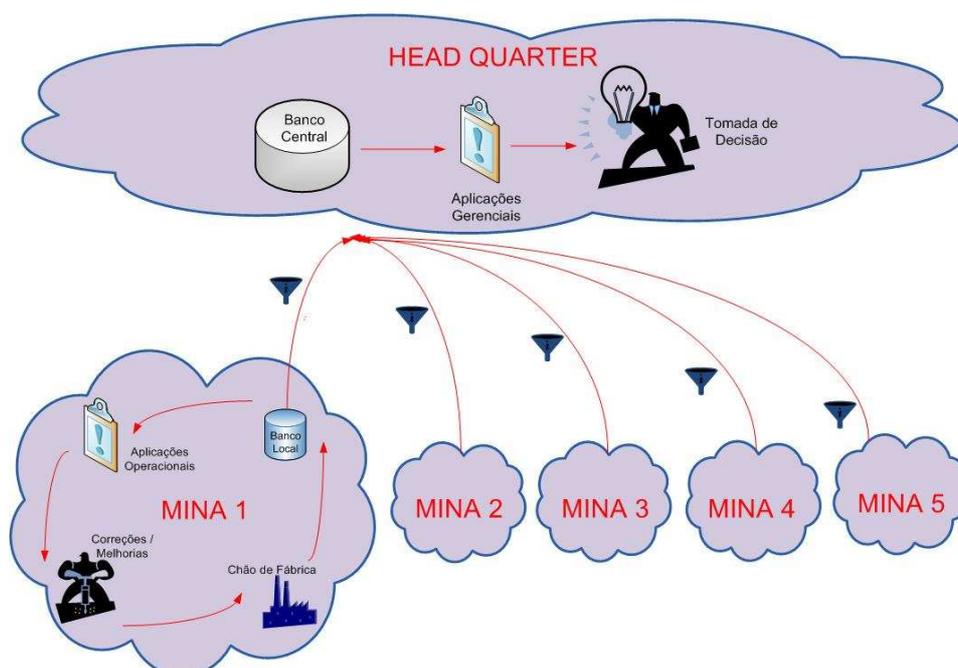
Na arquitetura proposta e concebida para a Ferrous, cada mina gera os seus dados e os armazena em servidores locais, que são totalmente reservados para as aplicações de foco operacional. Entretanto, além de armazenados localmente, os dados são também enviados para um servidor central em Belo Horizonte, responsável por concentrar, simultaneamente, as informações associadas a todas as minas.

Dessa forma, é garantida a operação do sistema de forma local, minimizando riscos de indisponibilidade e, conseqüentemente, de qualquer parada crítica em função de problemas de comunicação remota. Ao mesmo tempo, o escritório central é capaz de atuar como um centro de inteligência operacional (*head quarter*), concentrador único das informações de todas as unidades da empresa, além de se tornar um site de *backup* de todas as minas.

Pelo ponto de vista do negócio, a operação crítica é atendida com plena prioridade, tendo a seu rápido alcance as informações e aplicações necessárias para a continuidade normal da produção. A análise gerencial também é favorecida, pois a unidade central recebe os dados que, ao serem devidamente tratados, compõem uma indicação direta do desempenho da planta (em termos de custo, produção, consumos) e podem ser analisados de forma conjunta entre as unidades operacionais, garantindo uma visão ágil e ampla do processo como um todo.

Pelo ponto de vista do sistema, a arquitetura mista garante um primeiro nível de redundância dos dados, que são duplamente armazenados em um banco de dados local e em outro banco central.

Uma vez que o centro de inteligência requer apenas informações de alto nível, são aplicados alguns filtros sobre os dados das minas, de modo a não replicar dados de cunho exclusivamente operacional.



**Figura 2 – Estrutura do sistema.**

A arquitetura do sistema é composta por três diferentes níveis de rede: CLPs, Supervisão e Corporativa. As duas primeiras são maximamente preservadas, sendo que apenas o supervisor busca dados diretamente do CLP (via rede CLPs) e apenas o PIMS captura os dados do supervisor (via rede Supervisão). Todos os demais sistemas externos e clientes que necessitarem ler dados de chão de fábrica devem se conectar ao PIMS, que passa a atuar, também, como um barramento padrão de dados.

Um *link* de comunicação entre o escritório central e as minas permite que ambas se integrem na mesma rede corporativa. Porém, a operação nas áreas é garantida independentemente de quaisquer falhas nessa comunicação, uma vez que todas as aplicações são disponibilizadas em ambiente local.

## 2.3 Elementos de Alta Disponibilidade

Além da redundância automática garantida pela replicação de dados entre servidores locais e servidor central, cada unidade conta com recursos próprios de *hardware* e *software* para garantia do regime de alta disponibilidade do sistema.

### 2.3.1 Hardware

Em termos de *hardware*, as soluções de redundância adotadas são:

- Duplicidade de Máquinas

As máquinas servidoras de um determinado sistema (PIMS, MES, Supervisor, Portal) são duplicadas, ou seja, duas máquinas de configuração idêntica rodam a mesma aplicação em regime *hot standby*. Assim, ainda em caso de perda total de um servidor, a disponibilidade do sistema continua garantida pela atuação automática do outro.

Esta duplicidade também permite que quaisquer atualizações de *software* que se façam necessárias sejam primeiramente aplicadas no servidor secundário, prevenindo a ocorrência de problemas na máquina principal.

Por esta mesma razão, as atualizações de sistema operacional não são configuradas para instalação automática, sendo autorizadas apenas após homologação do fabricante da aplicação associada ao servidor.

- Fonte Redundante

As máquinas são alimentadas por fontes redundantes, sendo que, se uma delas falhar, a outra passa a operar instantaneamente.

- No Break

A alimentação dos servidores é provida por *no breaks* que garantem o fornecimento de energia para as máquinas, através de suas baterias, mesmo em caso de interrupção do fornecimento de energia. Além disso, a integridade do *hardware* é garantida através da proteção contra surtos de tensão e alterações de frequência.

- HD Hot Swap

Essa característica de *hardware* permite que os HDs possam ser retirados das máquinas enquanto estas ainda se encontram ativas. Dessa forma, mesmo que um HD apresente problemas e tenha que ser removido, o servidor continuará disponível, uma vez que existe também uma redundância de discos, conforme descrito no próximo item.

- RAID

Todas as máquinas apresentam mais de um disco rígido, permitindo a utilização da tecnologia RAID (*Redundant Array of Inexpensive Disk*).

Alguns servidores apresentam dois discos e são configuradas com a tecnologia RAID 1, que utiliza a solução de espelhamento, na qual o segundo HD é uma imagem idêntica ao primeiro, uma vez que o sistema grava os dados ao mesmo tempo nos dois discos. Caso o disco titular falhe, por qualquer motivo, há uma cópia de segurança armazenada no segundo disco, que continua funcionando e disponibilizando os dados normalmente.<sup>(1)</sup>

Os demais servidores apresentam três, quatro ou seis discos e utilizam a solução de RAID 5. Neste, um sistema de paridade é utilizado para manter a integridade dos dados. Os arquivos armazenados são divididos em fragmentos de tamanho configurável, sendo que um fragmento adicional contendo códigos de paridade é gerado para cada grupo de fragmentos. Em virtude da forma como os bits de paridade são dispostos, é possível recuperar dados de qualquer HD que venha a falhar.<sup>(2)</sup>

Uma das soluções mais comuns adotadas para redundância de *hardware* de servidores é o *cluster*. Nesta tecnologia, o processamento é distribuído entre dois ou mais computadores, de forma que todas as aplicações externas os enxerguem como se fosse uma máquina única. Desse modo, além de ser dividida a carga durante o processamento normal, uma falha em qualquer nó é suprida pelos demais componentes do *cluster*.

No entanto, embora os sistemas operacionais de todos os servidores disponíveis nessa arquitetura suportem a utilização dessa tecnologia, o *cluster* não é plenamente adotado nesta solução por esta tratar de uma aplicação de automação, área na qual são poucas as aplicações que suportam o *clustering* de máquinas. Por esse motivo, foram adotadas tecnologias análogas em termos de *software*, através de soluções como HA (*High Availability*), *Failover* e *Load Balancing*, conforme detalhado na próxima seção.

### 2.3.2 Software

Embora vários recursos de *hardware* tenham sido utilizados, pode-se considerar que as tecnologias de *software* são o alicerce principal da concepção da alta disponibilidade tratada neste trabalho. Cada aplicação do sistema possui suas próprias soluções de redundância e, em todos os casos, são utilizadas ferramentas nativas dos *softwares* de mercado associados a cada sistema. Ou seja, nenhuma aplicação customizada precisou ser desenvolvida.

- Servidores de Supervisão

A aplicação do supervisor é suportada por dois servidores redundantes, sendo o servidor principal responsável pela comunicação com os CLPs e pelo atendimento às máquinas clientes, cabendo ao servidor secundário assumir as mesmas tarefas, de forma automática, somente em caso de falhas no primário.

- Servidores PIMS

O PIMS apresenta uma solução denominada HA (*High Availability*), na qual dois servidores redundantes e sincronizados são responsáveis por armazenar e disponibilizar os dados do sistema. Todas as interfaces de coleta do PIMS enviam os dados para ambos os servidores e as bases de dados das duas máquinas são constantemente sincronizadas. Qualquer falha no servidor principal desencadeia um chaveamento automático das aplicações clientes para o servidor redundante. A troca é feita de forma transparente para os usuários, que passam a acessar os dados do servidor secundário até que o primário esteja disponível novamente.

- Interface PIMS-Supervisorio

A interface PIMS-Supervisorio é responsável por coletar os dados do supervisorio e enviá-los ao servidor PIMS. Para maior resistência a falhas, é adotada a solução *Failover*. Nesta, duas interfaces compõem o sistema, sendo uma ativa e outra em modo de espera. Em caso de falhas na própria interface primária ou no supervisorio conectado a ela, a interface secundária assume automaticamente a aquisição de dados.

- Interface PIMS-PIMS

Esta interface coleta os dados do servidor PIMS de origem (mina) e os envia para o servidor PIMS de destino (*head quarter*). Embora apenas uma máquina seja destinada a essa tarefa, a solução pode ser considerada como mais um elemento de alta disponibilidade devido à propriedade de *History Recovery* da interface. Através desta característica, ainda que a máquina de coleta se torne indisponível por qualquer motivo, todo o histórico de dados do servidor de origem é recuperado e automaticamente enviado para o servidor de destino assim que houver recuperação da máquina.<sup>(3)</sup> A mesma propriedade não pode ser adotada em interfaces PIMS-Supervisorio, por exemplo, por estas coletarem dados de fontes externas, com ausência de histórico de dados. Já no caso em que a fonte é um sistema PIMS, a necessidade de uma máquina redundante é perfeitamente substituída pela capacidade de recuperação de históricos de dados.

- Servidor Web

A solução de redundância adotada para o portal *web* é baseada no balanceamento de carga. Dois servidores do portal operam simultaneamente em regime de balanceamento de carga, evitando que apenas uma máquina seja sobrecarregada (embora apenas um servidor suporte plenamente a demanda). Mais uma vez, em caso de indisponibilidade de uma das máquinas ou do sistema, o outro servidor processa automaticamente todas as requisições demandadas.<sup>(4)</sup>

- Bancos de Dados Relacionais / MES

Os dados armazenados nos bancos relacionais locais das minas são filtrados e replicados, através de uma ferramenta de sincronismo de tabelas, para o banco central.

No *head quarter*, dois servidores idênticos são sincronizados entre si através de um mecanismo no qual toda a base de dados e os *logs* do servidor de produção são copiados e restaurados, a uma frequência configurável, em um servidor *standby*.

A Figura 3 ilustra a arquitetura, o fluxo de dados e os elementos de alta disponibilidade do sistema de informações da Ferrous. São representados o *head quarter* e apenas a Mina de Esperança.

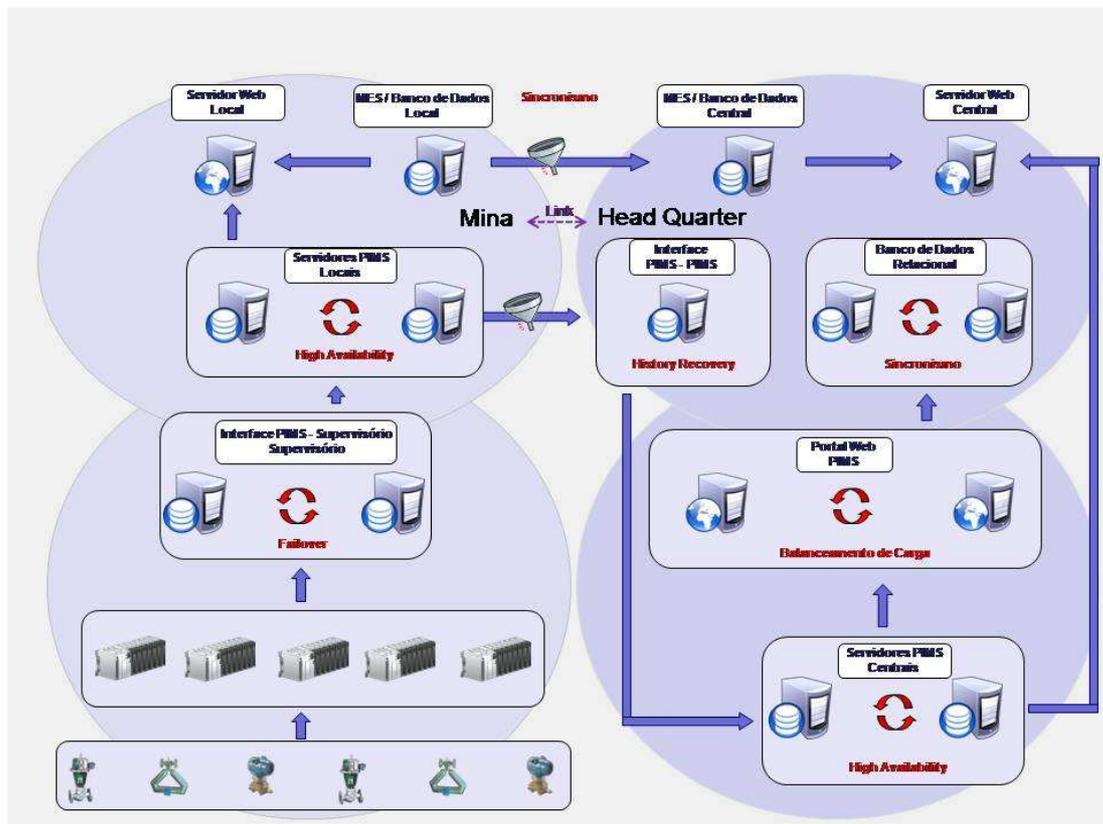


Figura 3 – Arquitetura do sistema.

Nesta arquitetura, os usuários das minas possuem acesso direto às aplicações clientes dos servidores locais, ou seja, cada unidade possui acesso somente às suas próprias aplicações. Por outro lado, os desenvolvimentos disponíveis nas aplicações corporativas, cujas bases de dados são os servidores centrais, são acessíveis em qualquer unidade.

No primeiro caso, há independência completa de qualquer *link* de comunicação entre mina e *head quarter*, resguardando para funcionamento local as aplicações mais críticas. No segundo caso, no qual o foco de análise é gerencial e não operacional, há dependência do *link* de comunicação apenas para análises em tempo real, sendo preservadas todas as aplicações históricas.

## 2.4 Custos

A adoção de uma arquitetura com tantos elementos de redundância apresenta, inevitavelmente, um custo de implantação mais elevado em comparação a um sistema simples.

Um dos custos extras é a aquisição de servidores redundantes adicionais, que pode dobrar a quantidade de máquinas utilizadas. No entanto, os custos de *hardware* podem ser considerados baixos em relação ao custo do projeto (cerca de 20% do total, ainda que o número de máquinas seja duplicado e sejam utilizados servidores de primeira linha). Outro custo a ser considerado é relativo às licenças adicionais de *software*, necessárias para as soluções de redundância dos sistemas. No entanto, em alguns casos, como nas interfaces de coleta para o sistema PIMS, as licenças redundantes não são cobradas e, portanto, não representam custos aditivos para o sistema.

De qualquer forma, embora os custos de implantação sejam aumentados, os custos de manutenção podem ser sensivelmente reduzidos com as soluções apresentadas.

Um dos principais fatores responsáveis por essa economia é a dispersão dos pontos críticos do sistema, isto é, uma vez que o sistema pode funcionar satisfatoriamente com a indisponibilidade de um determinado servidor ou *link*, sua manutenção se torna menos importante e, conseqüentemente, possui menor custo.

Por exemplo, caso a arquitetura não fosse distribuída, as aplicações críticas de cada unidade dependeriam totalmente do *link* de comunicação com o servidor central. Nesse caso, seria necessária uma garantia de disponibilidade e banda deste *link*, obtida junto à operadora de telecomunicação. Essa exigência tornaria a assinatura mensal do serviço cerca de 10 vezes mais cara em relação a um *link* comum. Além disso, uma garantia satisfatória exigiria também uma redundância do próprio *link*, a ser adquirida através de outra operadora, dobrando os custos com comunicação.

As redundâncias adotadas também tornam a solução de problemas em qualquer servidor menos urgente, possibilitando a contratação de serviços de suporte mais baratos, além de exigir um plantão menos crítico por parte das equipes internas.

Ou seja, o elevado custo de implantação acarreta em uma diminuição do custo operacional e, ao longo do tempo, pode ter seu investimento pago em função das outras economias, além de proporcionar aos usuários todos os demais benefícios intrínsecos das características de alta disponibilidade da solução.

Até a finalização deste trabalho, não houve tempo nem condições que permitissem uma quantificação numérica acerca da relação exata entre custos de implantação e operação do sistema implantado. Embora os custos de implantação possam ser completamente detalhados, para se obter os custos de operação, seria necessário ocorrer uma falha completa do sistema para que, então, fossem avaliados numericamente todos os impactos decorrentes. Uma vez que o sistema possui alta resistência contra falhas, não houve até o momento nenhuma ocorrência que gerasse custos adicionais de operação e permitisse esse levantamento de forma exata.

### 3 RESULTADOS

A implantação de uma arquitetura mista para o sistema de gerenciamento de informações de produção e processo de mineração tem como principais resultados:

- Atendimento às aplicações operacionais

A operação local é garantida através do armazenamento de todas as informações em bancos de dados locais.

- Atendimento às aplicações gerenciais

A análise gerencial é facilitada através da centralização das informações de todas as unidades operacionais em um banco de dados único.

- Alta disponibilidade do sistema

Os elementos de redundância de *hardware* e *software* compõem uma arquitetura altamente elaborada e resistente a falhas.

- Racionalização de custos

Os custos de investimento, além de justificados em virtude dos benefícios trazidos, são compensados pela redução dos custos futuros de operação, garantida pela necessidade de suporte e manutenção menos críticos.

- Confiabilidade dos usuários

A robustez de um sistema com baixos índices de falhas conquista a confiança dos usuários, o que é de absoluta importância em sistemas cujo sucesso é totalmente dependente da utilização de seu cliente e da sua capacidade de extrair benefícios das aplicações disponíveis.

- Organização e padronização

A centralização dos dados de diferentes unidades facilita a organização das informações e adoção das mesmas práticas de padronização em todos os sistemas.

## 4 DISCUSSÃO

Os ganhos obtidos através da implantação de uma arquitetura elaborada e redundante são de grande valor quando analisados por diferentes aspectos. Por exemplo, a criação de um *head quarter* com informações replicadas e centralizadas apresenta-se como uma excelente solução para empresas que possuem diferentes sites industriais de um mesmo negócio, beneficiando as análises de processo e a robustez do sistema.

Ao mesmo tempo em que é garantido um backup automático das informações, este tipo de arquitetura facilita a comparação entre o desempenho das diferentes unidades, permitindo identificar as condições operacionais que produzem os melhores resultados que, por sua vez, podem ser tomados como referência e estabelecidos como metas.

## 5 CONCLUSÃO

O aumento da eficiência produtiva está diretamente associado ao gerenciamento e interpretação das informações provenientes do processo e das ações tomadas a partir das mesmas. Para que essa eficiência seja garantida, é fundamental disponibilizar os dados corretos e, sobretudo, que eles estejam disponíveis na hora certa. Afinal, o valor de uma informação é diretamente associado à contextualidade e à exatidão do momento em que ela se apresenta.

Para garantia da disponibilidade da informação, recursos de redundância, seja em termos de *hardware* ou de *software*, apresentam-se como uma ótima opção. Mas, se por um lado, a adoção de uma arquitetura redundante possibilita a aquisição de uma confiabilidade muito maior sobre todos os sistemas envolvidos; por outro lado, é inevitável que o custo de aquisição seja elevado. No entanto, os custos de operação podem vir a ser reduzidos a ponto de custear os investimentos iniciais, uma vez que os elementos críticos do sistema são distribuídos e passam a exigir uma manutenção mais barata.

De qualquer forma, a importância de apresentar a informação certa no momento certo justifica a adoção de soluções mais elaboradas, pois falhas em um sistema de informações como o que foi apresentado neste trabalho, além de determinantes para o processo, são nocivas à confiança dos usuários e esta é decisiva na eliminação de desperdícios em desenvolvimento de *softwares*.

## REFERÊNCIAS

- 1 GUIA DO HARDWARE. Raid 5. Disponível em: <http://www.guiadohardware.net/termos/raid-5>. Acesso em 18/03/2009.
- 2 WIKIPÉDIA. Raid. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Raid>. Acesso em 18/03/2009.

- 3 OSISOFT. PI to PI. Disponível em: [http://www.osisoft.com/software-support/products/PI\\_to\\_PI.aspx](http://www.osisoft.com/software-support/products/PI_to_PI.aspx). Acesso em 25/03/2009.
- 4 MICROSOFT. Load Balancing Design. Disponível em: <http://technet.microsoft.com/en-us/library/cc287852.aspx>. Acesso em 24/03/2009.