

SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA EM PÁTIO DE ESTOCAGEM DE MINÉRIO UTILIZANDO MAPEAMENTO 3D¹

Jedson Alessandro Damasceno²
Leonardo Maduro Leme de Sousa³
Rogério Cosendey Labanca⁴
Wagner Francisco Marques⁵
Felipe Campos Araujo⁶
Bruno Eduardo Lopes⁷

Resumo

Atualmente, a maioria dos pátios de estocagem de minério utilizam recuperadoras de roda de caçamba para retirar o minério das pilhas. Normalmente, estas máquinas são operadas localmente ou remotamente. Em ambas as situações, normalmente a operação é feita manualmente, sendo que todos os movimentos da máquina são comandados pelo operador, o que torna o processo totalmente dependente de sua habilidade e experiência, tornando difícil manter o processo dentro dos pontos ótimos de operação, considerando indicadores de produtividade e utilização, os quais impactam diretamente em aspectos financeiros. Para atingir os níveis de desempenho e de variabilidade exigidos, está em implantação um sistema automático que identifica a geometria das pilhas, gera os comandos para a recuperadora e controla todos os movimentos de recuperação, de forma que possa operar o maior tempo possível no ponto ótimo. Os principais desafios para a construção desta solução foram encontrar formas de se medir a superfície das pilhas em tempo real, gerar algoritmos para cálculo de bancadas, aproximação na pilha e recuperação automática. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo apresentar uma solução inovadora baseada em tecnologia do tipo radar 2D para mapeamento 3D, que foi projetada e desenvolvida para atingir estes objetivos, e que se encontra atualmente em estágio avançado de testes e simulação para ser implantada em dois pátios de estocagem da Vale.

Palavras-chave: Recuperação automática; Pátio de estocagem; Automatismo; Otimização; Mapeamento 3D.

SIMULATION AND OPTIMIZATION OF AUTOMATIC RECLAIMER IN ORE STOCKYARD BY USING 3D MAPPING

Abstract

Currently, the majority of ore stockyards uses bucket wheel reclaimers to remove the ore from the piles. Typically, these machines are operated locally or remotely. In both cases, usually the operation is done manually, with all machine's movements controlled by the operator, which makes the process totally dependent upon their skill and experience, making it difficult to keep the process within the optimal operating points, considering productivity and utilization indicators, which directly impact on the financial aspects. To achieve the performance and variability levels required, is being implemented an automatic system that identifies the piles' geometry, generates commands for recovering and controls all recovery movements, so that it can operate as long as possible at the optimum point. The main challenges for the construction of this solution were finding ways to measure the piles surface in real time, generating algorithms for the benches calculation, touch the pile and the automatic recovery process itself. In this sense, the present work aims to present an innovative solution based on radar 2D technology type for 3D mapping, which was designed and developed to achieve these goals, and which is currently in advanced testing and simulation to be implemented in two stockyards at Vale.

Key words: Automatic recovery; Stockyard; Automation; Optimization; 3D Mapping.

¹ Contribuição técnica ao 17º Seminário de Automação e TI Industrial, 24 a 27 de setembro de 2013, Vitória, ES, Brasil.

² Engenheiro Eletricista, M.Sc., Gerente. Accenture Plant and Commercial Services, Belo Horizonte, MG, Brasil.

³ Engenheiro Eletricista, Consultor Sênior. Accenture Plant and Commercial Services, Belo Horizonte, MG, Brasil.

⁴ Engenheiro de Controle e Automação, Consultor Sênior. Accenture Plant and Commercial Services, Belo Horizonte, MG, Brasil.

⁵ Técnico em Eletrônica. Consultor Sênior. Accenture Plant and Commercial Services, Belo Horizonte, MG, Brasil.

⁶ Técnico em Instrumentação Industrial. Consultor Pleno. Accenture Plant and Commercial Services, Belo Horizonte, MG, Brasil.

⁷ Engenheiro Senior, M.Sc., Vale - Departamento de Inovação e Desenvolvimento, Vitória, ES, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O processo de recuperação que está sendo atualmente automatizado, abordado por este trabalho, pertence aos dois novos pátios de estocagem de minério de ferro da Vale no seu Programa de Capacitação Logística Norte (CLN 150 Mta) *Onshore* do Terminal Marítimo Ponta da Madeira (TMPM) em São Luis – MA. Este trabalho é a continuação da iniciativa da Vale em automatizar seus processos de recuperação de minério, cujos resultados já foram apresentados em trabalhos anteriores.⁽¹⁾ Porém, agora, são apresentadas novas funcionalidades que visam complementar e aprimorar aquelas já existentes com a utilização do recurso de mapeamento 3D.

1.1 Porque Automatizar o Processo de Recuperação

O processo de recuperação de minério em pátios de estocagem desempenha um papel importante nas indústrias de mineração como recurso primordial na rota de carregamento de vagões ferroviários e navios, ou seja, permitindo que a logística de escoamento do minério para os destinos finais seja realizada. Principalmente no caso dos portos exportadores de minério, este processo toma uma dimensão ainda mais relevante, pois, geralmente, a rota de embarque (carregamento do navio) torna-se o “gargalo” da produção e a maximização da utilização dos recursos envolvidos, com menor variabilidade possível do processo, significa um aumento considerável e precioso da taxa efetiva deste carregamento. Isto significa que, quanto mais otimizarmos o processo de recuperação automática, aumentando a taxa efetiva de envio de material para o carregamento do navio, maior será a eficiência do processo como um todo e, conseqüentemente, maior a produtividade daquele porto.

É com base neste benefício tangível que este trabalho se fundamenta, uma vez que a automação do processo de recuperação busca, justamente, a redução da variabilidade da taxa de recuperação e, conseqüentemente, o aumento da produtividade.⁽¹⁾

1.2 Descritivo do Processo Original e a Evolução para o Modo Automático

Na indústria de minério de ferro é comum a estocagem de grande quantidade de minério em espaços comumente chamados pátios de estocagem. Nestes pátios, o minério é armazenado longitudinalmente em diferentes pilhas, as quais são criadas de acordo com o tipo de minério, qualidade e cliente final. A manipulação deste material é feita através de máquinas de pátio, tais como empilhadeiras (estocam o minério no pátio) e recuperadoras (retiram o minério do pátio).



Figura 1. Pátio de estocagem de Minério da Vale em São Luís do Maranhão.

Para recuperar este minério armazenado, existem no mercado alguns tipos de recuperadoras, porém nosso trabalho irá focar apenas nos modelos de Roda de Caçambas.



Figura 2. Recuperadora de roda de caçamba automatizada pelo projeto.

No TMPM, atualmente, a operação de cada recuperadora é feita remotamente por um operador localizado em uma sala de controle central, através de uma estação de operação com sistema de supervisão. Para que a operação remota seja possível, o operador utiliza ainda um sistema de Circuito Fechado de Televisão (CFTV), que através das imagens disponibilizadas por diversas câmeras estrategicamente posicionadas, fornecem toda a informação visual necessária para operação segura da máquina.

Para garantir os níveis de produtividade esperados, as recuperadoras devem ser operadas de forma a manter o fluxo de minério (t/h) o mais próximo possível da taxa nominal da máquina, ou seja, taxa nominal com menor variabilidade possível. Devido ao grande número de variáveis que interferem na taxa de recuperação,

torna-se mais difícil para o operador controlar todos os movimentos da máquina, de forma a manter a taxa de recuperação nestas condições. Atualmente, no TPM já existe o modo de operação semiautomático que visa automatizar parte da operação, atuando principalmente no controle de inversão e da velocidade de giro, porém, faltam informações de campo que permitam ao operador tomar ações no sentido de antecipar ações, ou mesmo facilitar o posicionamento da máquina. A prática mostra que somente operadores experientes são capazes de operar a recuperadora de forma a mantê-la em seu ponto ótimo de operação, garantido os níveis de produtividade necessários ao atendimento das demandas.

A solução apresentada neste artigo foi construída com intuito de auxiliar o operador, através da criação de um modo automático de operação, capaz de manter o ponto ótimo de operação, seguindo as melhores práticas operacionais e de segurança, conferindo ganho de produtividade ao processo, sem risco à segurança patrimonial e das pessoas.

1.3 A Operação em Modo Automático

Quando operado em modo automático, o sistema realiza o controle de todos os movimentos da máquina incluindo o posicionamento inicial de recuperação na pilha e a troca de bancadas. Em linhas gerais, para operar através do modo automático, o operador precisa:

- Solicitar o planejamento de bancada ao sistema, informando qual a pilha a ser recuperada e o sentido de recuperação;
- Avaliar visualmente, através de uma tela gráfica, o plano de bancadas criado pelo sistema;
- Autorizar a execução do plano.

Após a execução destes passos, a máquina irá realizar todos os movimentos necessários à recuperação da pilha, sem a necessidade de nenhum comando do operador, respeitando o plano de bancadas feito anteriormente. Esta recuperação é realizada utilizando-se os procedimentos operacionais e de segurança da Vale, fazendo com que seja a mais eficiente e segura possível.

A solução conta com equipamentos do tipo radar 2D, que realizam o mapeamento 3D da superfície das pilhas, além do automatismo. A solução ainda fornece outras funcionalidades, tais como:

- Imagens 3D atualizadas das pilhas dos pátios, animadas com o posicionamento *online* das recuperadoras e empilhadeira.

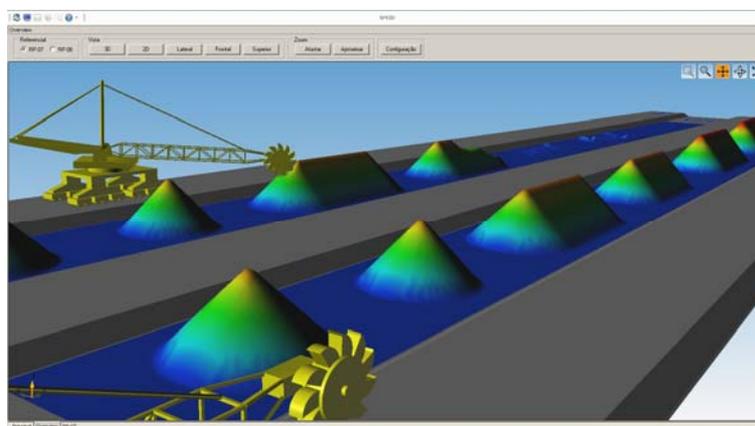


Figura 3. Tela de Overview 3D do sistema.

- Mapa de Pátio com formato e posição de cada pilha ao longo do pátio, além da massa aproximada calculada.

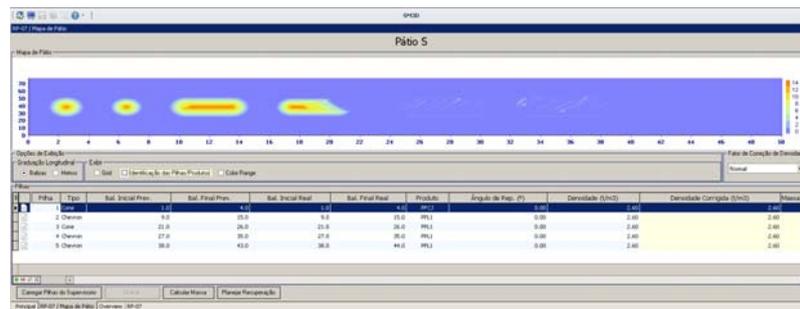


Figura 4. Tela de mapa de pátio do sistema.

2 ARQUITETURA DO SISTEMA

A arquitetura do sistema foi concebida para ser aberta permitindo a integração entre os diversos níveis de automação, distribuída do ponto de vista de controle e sistemas de supervisão / TI Industrial (cliente – servidor) e de alta disponibilidade com o uso de equipamentos robustos e confiáveis no campo, de acordo com as práticas líderes de mercado e aderentes às principais normas internacionais (Ex.: ISA99).^(2,3) A seguir a arquitetura do sistema será descrita de uma forma resumida para uma melhor compreensão das soluções implementadas.

Para o mapeamento e recuperação automática de minério dos pátios, foram instalados radares 2D na empilhadeira e nas duas recuperadoras do projeto. Com relação ao mapeamento 3D do pátio e geração do planejamento de recuperação, os dados adquiridos pelos radares são transmitidos até o processador local, que está instalado na própria empilhadeira/recuperadoras. Os dados das três máquinas do projeto são enviados para um processador central, através de sistemas de rádio de comunicação, sendo que este processador central é responsável pela montagem do mapa 3D das pilhas dos pátios com as informações recebidas. As informações geradas pelo processador central dos radares são disponibilizadas para um servidor de mapeamento 3D que irá manipular e utilizar as informações para o gerenciamento das pilhas, planejamento das bancadas e envio das informações necessárias ao sistema supervisor. O sistema supervisor, além de disponibilizar uma interface de operação, também é responsável pela confirmação e envio do *setup* ao sistema de controle que irá executar passo-a-passo as lógicas de automatismo. Existe também uma interface direta entre o radar e o CLP (Controlador Lógico Programável) de cada máquina, com a função de atualizar o radar com as informações de posicionamento da máquina (baliza, ângulos de giro e elevação atuais). No caso das recuperadoras, os radares também enviam outros dados para o CLP, tais como altura de bancada, detecção de borda de pilha, risco de colisão, etc. sendo que estas informações serão usadas durante o controle automático da recuperação.

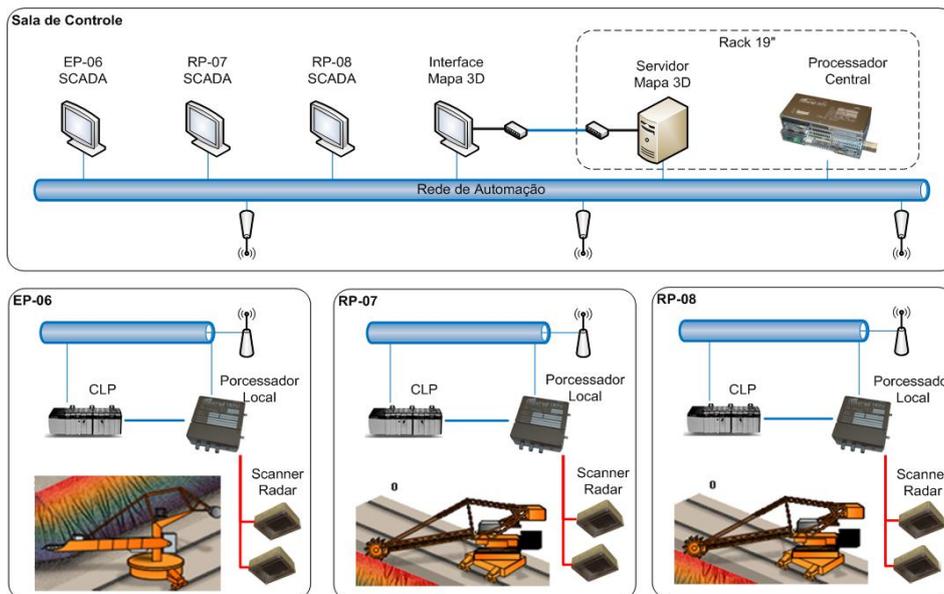


Figura 5. Arquitetura do sistema.

3 INSTRUMENTAÇÃO

Os radares 2D utilizados pelo projeto tem a função de prover as medições necessárias para o mapeamento das pilhas de minério e automação das recuperadoras. A tecnologia radar foi escolhida devido a sua alta robustez, o que garante maior disponibilidade do instrumento mesmo em ambientes com alto índice de contaminação e condições climáticas adversas, tais como chuva, umidade e calor intensos, condições normais de operação no TMPM.

Os radares foram instalados de forma a obter o melhor desempenho sem comprometer a segurança do equipamento e o acesso à manutenção.



Figura 6. Radares 2D instalados nas máquinas.

Na empilhadeira foram instalados na ponta da lança a fim de mapear o minério durante o processo de empilhamento. Já nas recuperadoras, os radares foram instalados próximos à roda de caçamba, posicionados estrategicamente de forma a garantir o mapeamento necessário ao controle de recuperação automática.

Para as demais informações necessárias ao sistema, foram utilizadas as instrumentações originais das máquinas.

4 SOLUÇÕES DESENVOLVIDAS

Para o atendimento às necessidades técnicas apresentadas, foi necessário o desenvolvimento de diversas soluções, para que toda a operação fosse feita de forma segura e eficiente. Seguem abaixo as soluções desenvolvidas mais relevantes.

4.1 Planejamento das Bancadas

Para o operador iniciar a recuperação automática, precisa antes solicitar que o sistema realize o planejamento de bancadas. Ao receber a solicitação de planejamento, o sistema executa um algoritmo de construção de bancadas, utilizando a superfície 3D mapeada da pilha, e gera a sequência de bancadas para sua recuperação. Para facilitar a visualização do plano pelo operador, o sistema exibe as informações de forma gráfica em uma tela, que permite a ele verificar se o plano gerado é adequado, podendo o mesmo ser modificado, caso necessário.

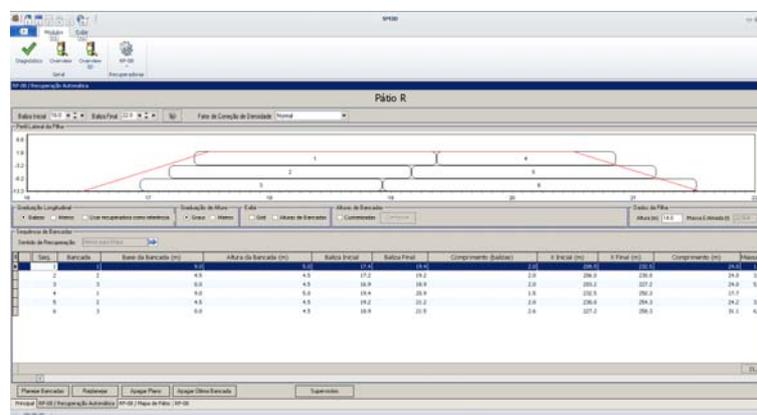


Figura 7. Tela de Planejamento das bancadas.

O planejamento feito pelo sistema determina o início e o comprimento de cada bancada além da ordem de recuperação.

O algoritmo de geração de bancadas utilizado no planejamento é baseado em regras heurísticas. Foi construído a partir dos procedimentos operacionais praticados, permitindo determinar as melhores regras operacionais. Desta forma, no que tange a forma e sequência de se recuperar as bancadas, o planejamento permite ao sistema, quando em recuperação automática, tomar decisões semelhantes àquelas que o operador tomaria se estivesse operando, com a vantagem de utilizar informações privilegiadas da pilha, para antecipar ações e assim melhorar a taxa de recuperação.

4.2 Posicionamento Automático

Após o planejamento das bancadas é necessário que a recuperadora se mova até o ponto de início da primeira bancada a ser recuperada. Esta movimentação deverá ser feita com total segurança e consumindo o menor tempo possível.

Para esta funcionalidade, foi necessário o desenvolvimento de duas técnicas, o cálculo das coordenadas para o posicionamento e a movimentação automática para as coordenadas calculadas.⁽⁴⁾

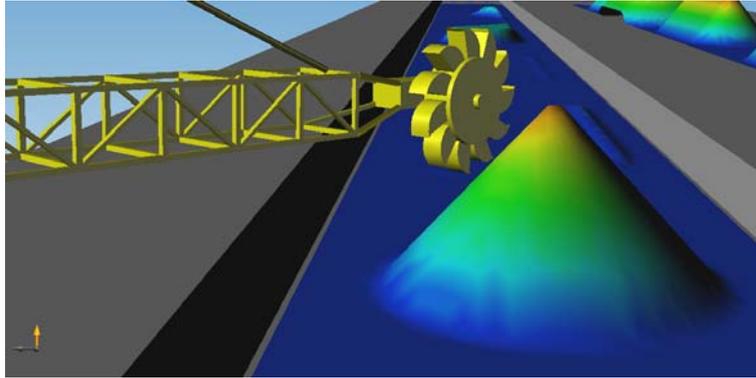


Figura 8. Posicionamento automático para início de recuperação.

4.2.1 Cálculo das coordenadas de início de recuperação

As coordenadas de início de recuperação são muito importantes para uma boa eficiência na recuperação, pois uma recuperadora bem posicionada em relação à pilha irá rapidamente atingir a taxa de recuperação esperada, enquanto que uma recuperadora com posicionamento incorreto irá causar interrupções no processo, risco de colisão com a pilha e sobrecargas na roda de caçambas.

Para que o algoritmo possa executar o cálculo das coordenadas, são considerados os seguintes fatores: geometria da pilha, a bancada a ser recuperada, procedimentos operacionais, condições de segurança e menor rota a ser percorrida. Com base nestes dados, é feito o cálculo das coordenadas X,Y,Z referenciados na roda de caçambas, garantindo o melhor posicionamento da recuperadora na pilha.

4.2.2 Movimentação automática

Com as coordenadas X,Y,Z calculadas, é iniciado a movimentação automática para que a recuperadora fique posicionada corretamente nas coordenadas recebidas. Esta movimentação envolve a translação, giro e elevação da recuperadora.

A sequencia dos movimentos será definida pela posição atual e posição final da recuperadora, geometria da pilha, procedimentos operacionais do cliente e condições de segurança.

4.3 Recuperação Automática

Após o posicionamento da recuperadora na pilha, é habilitado o início da recuperação automática. O objetivo da recuperação automática é manter a taxa de recuperação o mais eficiente possível, durante a recuperação e reduzir a variabilidade, durante as inversões de giro nas bordas da pilha. A troca de bancadas também é feita de forma automática, garantindo segurança e menor tempo de movimentação, de forma impactar o mínimo possível na taxa efetiva de recuperação.

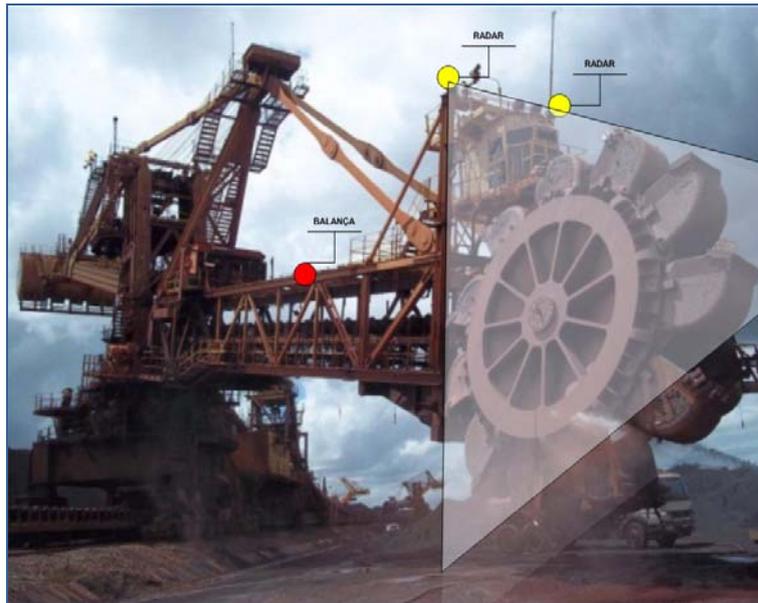


Figura 9. Recuperação automática utilizando leitura de radares 2D.

4.3.1 Otimização da taxa

Devido ao fato da medição da taxa de recuperação em t/h ser feita após a recuperação do material (em uma balança instalada na lança da recuperadora) foi necessário criar controles que utilizassem informações mais imediatas, para que as correções na velocidade do giro sejam feitas rapidamente, sem perda de taxa de recuperação. Estas correções utilizam técnicas baseadas no fluxo estimado, fluxo previsto e detecção de bordas da pilha. ⁽¹⁾

O controle baseado no fluxo estimado utiliza a pressão hidráulica da roda de caçambas para o controle da taxa de recuperação. Este controle atua nas condições normais de recuperação, fazendo com que a velocidade de giro seja ajustada automaticamente, no momento em que ocorre uma variação na pressão hidráulica da roda de caçambas.

O controle baseado no fluxo previsto utiliza a leitura do radar para medição de penetração na pilha para o controle da taxa de recuperação. Este controle atua nas condições em que podem ocorrer desmoronamentos ou variações na geometria da pilha, fazendo com que a velocidade de giro seja ajustada automaticamente, no momento em que ocorre uma variação na penetração da pilha. Esta detecção é antecipada, isto é, ocorre antes da detecção pela pressão hidráulica da roda de caçambas, fazendo com que o controle do giro seja mais rápido e eficiente.

A detecção de bordas da pilha utiliza a leitura do radar para indicar quando a roda de caçambas está na iminência de sair da pilha. Este controle atua fazendo o controle de velocidade, inversão de giro e controle do passo de translação, no momento correto, evitando a queda na taxa de recuperação.

4.3.2 Troca automática de bancada

Ao fim da recuperação de cada bancada, é iniciado o processo de posicionamento na próxima bancada. Para esta movimentação é calculado novamente as coordenadas de posicionamento inicial.

A sequência dos movimentos é definida pela posição atual e posição final da recuperadora, geometria da pilha, procedimentos operacionais do cliente e condições de segurança.

5 SIMULAÇÃO DO PROCESSO

Nas últimas décadas, o tema “simulação de processo” tem ganhado grande importância no mundo. Através da simulação podemos validar uma idéia antes mesmo de essa ter sido materializada. Esta simulação ocorre em mundo virtual, que é seguro e onde acidentes não levam a prejuízos materiais e humanos. Além da questão de segurança, realizar testes em ambiente virtual, geralmente, possui custo e tempo necessário inferior quando comparamos a testes realizados no mundo real. Por se tratar de um projeto inovador, vários algoritmos complexos (Ex.: planejamento de bancadas e ponto inicial de recuperação) foram desenvolvidos. E para realizar a validação dos mesmos, em ambiente seguro e de baixo custo, foi desenvolvido um simulador do processo. Este simula a retirada de material pela recuperadora durante a recuperação.

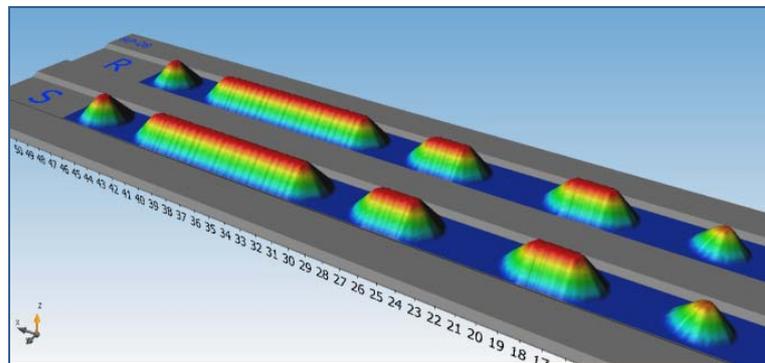


Figura 10 - Tela do sistema mostrando a simulação de material no pátio de estocagem.

O simulador desenvolvido considera a geometria da recuperadora para simular de forma bem fiel a retirada de material da pilha, como podemos observar na Figura 11.

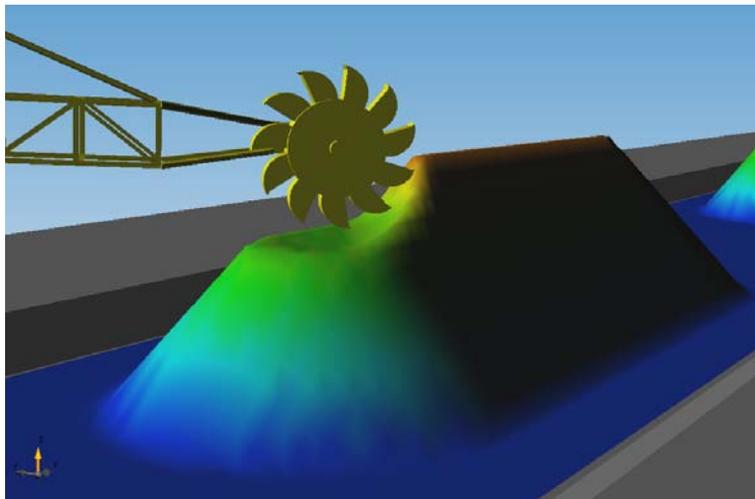


Figura 11 - Tela do sistema mostrando a simulação da recuperação de material.

Utilizando este simulador, foi possível testar todo o fluxo de utilização do sistema, desde o planejamento até a recuperação completa de uma pilha.

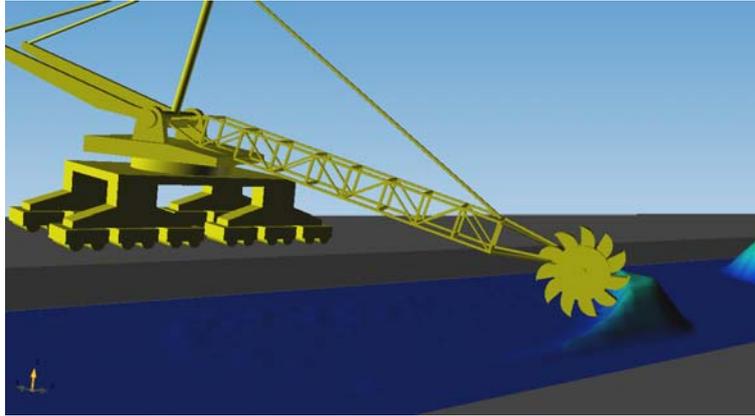


Figura 12 - Tela do sistema mostrando o término da recuperação de uma pilha.

6 BENEFÍCIOS ESPERADOS

Um dos principais objetivos de se realizar a automação do processo de recuperação em pátios de estocagem de minério está associado à redução da variabilidade da taxa de recuperação e, conseqüentemente, o aumento da produtividade. No TPM já foram obtidos ganhos da ordem de 5% de aumento da produtividade com redução média de 10% na variabilidade, utilizando-se os radares 2D na automação de recuperadoras.⁽¹⁾ É com base neste benefício fundamental que este trabalho busca sua principal justificativa para ser implementado.

Podemos citar ainda a possibilidade de outros benefícios ainda não comprovados, mas, que também são relevantes para o processo e devem ser considerados como motivação para o trabalho:

- Redução de custos operacionais, com a otimização da utilização de recursos humanos e dos ativos de produção;
- Redução de custos com manutenção, obtida com a melhoria da operação dos equipamentos em automático e conseqüente aumento da disponibilidade física destes ativos;
- Redução de perdas de produção, com a utilização do recurso de mapeamento 3D na logística de escoamento do minério;
- Redução de consumo de energia, com o aumento do desempenho operacional.

7 SOLUÇÕES FUTURAS A SEREM IMPLEMENTADAS

Com o atual estágio de avanço das tecnologias que permitem o mapeamento 3D das superfícies de pátios de estocagem de minério, tais como radar e laser, além da recuperação automática, é possível construir soluções que visam melhorar a gestão dos pátios de estocagem. Neste contexto, a solução apresentada neste artigo para automatismo de recuperadoras, poderá evoluir no sentido de preencher o “gap” existente entre os níveis 1 e 3 definidos pela norma ISA95^(5,6) com o objetivo de que as funcionalidades de gestão de pátios, normalmente implementadas nas soluções de MES (*Manufacturing Execution Systems*) para mineração, possam se beneficiar dos recursos que o mapeamento 3D de superfície dos pátios pode trazer.

Aqui são apresentadas duas funcionalidade de gestão de pátio que podem se beneficiar da evolução da solução apresentada neste artigo: Controle de Estoque e Controle de Qualidade.

7.1 Controle de Estoque

Normalmente o controle de estoque em um pátio de estocagem é feito por cálculo de balanço de massa, considerando as quantidades de minério que entram e saem de cada pilha. Neste processo a determinação da massa que entra é normalmente mais complexa e imprecisa, impactando de forma direta no controle de estoque.



Figura 13 – Pilhas de minério estocadas no pátio.

A determinação da massa que entra é normalmente mais complexa devido à ausência de balanças nas correias transportadoras de pátio que conduzem o minério até as empilhadeiras. Nestas situações, a massa é determinada por balanças virtuais que visam estimar a quantidade de material empilhado, em função de outras variáveis do processo (tais como posição de direcionares de fluxo, posicionamento da empilhadeira, etc) ou da massa de lotes ferroviários descarregados, cuja massa também é estimada em função da medição realizada durante o carregamento.

Uma metodologia mais apropriada para o controle de estoque num pátio é utilizar o mapeamento 3D do mesmo. Através deste podemos realizar o cálculo de volume e, com a informação de densidade oriunda de análise laboratorial, ter a informação mais precisa da massa de cada pilha.

- $\text{Massa} = \text{Volume (obtido do mapeamento 3D)} \times \text{Densidade (obtido do laboratório)}$

Utilizando esta abordagem, além da informação de massa ser mais precisa, ela estará disponível a qualquer instante (em tempo real), já considerando as saídas de material realizadas pelas recuperadoras.

7.2 Controle de Qualidade

Em geral, uma pilha pode ser composta por mais de um lote, cada um com uma determinada qualidade. Em unidades em que a variabilidade da qualidade do minério é muito grande, se torna fundamental o conhecimento preciso da distribuição de qualidade ao longo da pilha para que os profissionais envolvidos com o controle de qualidade possam planejar adequadamente um determinado carregamento (trem ou navio) dentro da especificação, através da seleção adequada das regiões da pilha que devem compor o lote.

O controle de qualidade presente nos sistemas comumente utilizados é realizado através de apontamentos manuais, onde o usuário do sistema associa um dado lote (uma dada qualidade) a uma determinada região da pilha.

A abordagem utilizando mapeamento 3D das pilhas e *tracking* ao longo da correia transportadora (desde o ponto de coleta de amostras do material até a empilhadeira)

permite a associação automática dos lotes às regiões da pilha. Esta abordagem construirá um mapa mais fiel à realidade relativo à distribuição de qualidade ao longo da pilha, podendo considerar a forma real como cada lote de material é distribuído na pilha após seu empilhamento.

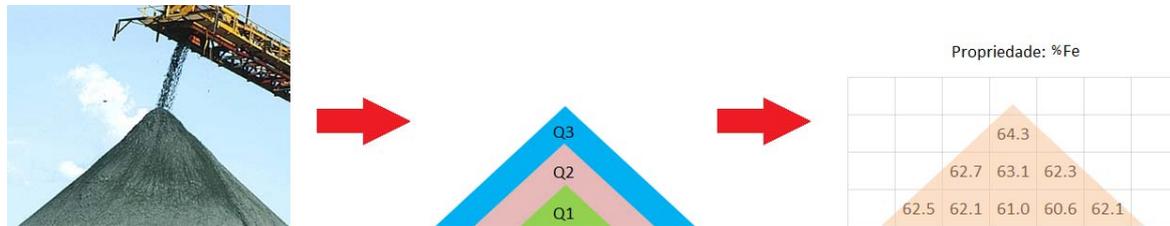


Figura 14 – Mapeamento de qualidade numa pilha de minério.

8 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o assunto simulação e otimização de recuperação automática em pátio de estocagem de minério utilizando mapeamento 3D, com foco em redução da variabilidade da taxa de recuperação e, conseqüente, o aumento da produtividade. Sendo esse benefício importantíssimo para portos de exportação de minério.

O trabalho apresentou temas importantes para a indústria de mineração, que evidenciam o avanço das tecnologias e soluções de instrumentação e automação industrial nesta área, tais como: uso de radares 2D para mapeamento 3D e automação de recuperadoras; planejamento automático de bancadas das pilhas de minério com base em regras heurísticas da operação; posicionamento automático da recuperadora na pilha (cálculo das coordenadas de início de recuperação e movimentação automática); recuperação automática propriamente dita (otimização da taxa e troca automática de bancada) como principal benefício e o uso da simulação do processo que permitiu testes de plataforma confiáveis para a mitigação de riscos antes da implantação.

Os benefícios, já comprovados em trabalhos anteriores utilizando a tecnologia de radares,⁽¹⁾ são novamente esperados para este projeto, tendo como destaque a redução da variabilidade da taxa de recuperação e, conseqüente, o aumento da produtividade.

Por fim, foi apresentada ainda uma proposta de continuidade do trabalho, através da evolução do sistema desenvolvido para a total integração com o sistema de gestão da produção (MES), permitindo duas funcionalidades importantes para a logística de escoamento do minério (o controle de estoque e da qualidade do produto).

Agradecimentos

Agradecemos à Vale e à Accenture pela oportunidade de desenvolvimento deste trabalho de grande valor para a automação industrial.

Referências

- 1 “Flow Optimization for Iron Ore Reclaiming Process”. Lopes, B. E. et al, 2012. ICINCO International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, pp 425-432.
- 2 “Tecnologias de Automação e Informação Aplicadas aos Processos Logísticos Portuários”. Revista InTech América do Sul nº 122, páginas 41- 47, junho de 2010.

- 3 ANSI/ISA-99.00.01-2007. Security for Industrial Automation and Control Systems Part 1: Terminology, Concepts, and Models. ISA 2007.
- 4 "Automatic Operation System for Yard Machines". Kawasaki Steel Technical Report n°13, September 1985.
- 5 ANSI/ISA-95.00.01-2000. Enterprise-Control System Integration Part 1: Models and Terminology. ISA 2000.
- 6 ANSI/ISA-95.00.02-2001. Enterprise-Control System Integration Part 2: Object Model Attributes. ISA 2001.