

SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE PÁTIO¹

Murilo Ribeiro Ferreira²

Thomas Vaccarini Lima³

João Daniel Ferreira de Jesus Junior⁴

Resumo

O maior desafio para a gestão de pátios de produtos estocados em pilhas é conhecer seu conteúdo, o volume e o formato atual das mesmas. A movimentação do material deve ser cuidadosamente controlada, garantindo o manuseio da quantidade e tipo de material definido pela produção, evitando também as contaminações. Conhecer o formato da pilha é bastante útil no caso da recuperação automática e remota (sem operador embarcado), quando é altamente desejável que a máquina não opere em vazio, garantindo a continuidade e regularidade do fluxo do material recuperado. Este trabalho demonstra a filosofia utilizada para digitalizar as pilhas de minério de ferro e pelotas de um dos pátios do porto de Tubarão localizado em Vitória – ES. O porto, de propriedade da Vale, possui diversas máquinas de pátio que empilham e recuperam de forma manual o minério de ferro recebido pela ferrovia ou pelotas produzidas nas usinas de pelotização. Com a utilização de scanners laser 2D e a indicação de posição das máquinas, é possível digitalizar as pilhas de minério ou pelotas, criando uma nuvem de pontos, que representa a superfície da pilha. A partir destes dados, as pilhas podem ser reconstruídas em imagens 3D com coordenadas espaciais que possibilitam o cálculo do volume das pilhas e a operação automática de recuperação, bem como um melhor gerenciamento e visualização do pátio.

Palavras-chave: Porto; Recuperadora; *Scanner laser*; Mapeamento 3D.

STOCKYARD MANAGEMENT SYSTEM

Abstract

The biggest challenge for yard management products stored in piles, is to know its contents, volume and the actual format. The movement of material must be carefully controlled, ensuring that manipulating the amount and type of material defined by production, and also avoids the contamination. Knowing the format of the stack is very useful if the automatic recovery and remote (unmanned board) when it is highly desirable that the machine does not operate out of the pile, ensuring the continuity and regularity of the flow of material recovered. This study demonstrates the philosophy used to scan the piles of iron ore and pellet from one of the stockyards of the port of Tubarão located in Vitória - ES. The port, owned by Vale, has several yard machines that stack and manually recover the iron ore was received by the railroad or produced in the pelletizing plants. With the use of 2D laser scanners and position statement of the machines, you can scan piles of ore or pellet, creating a cloud of points representing the pile surface. From these data, the piles can be reconstructed into 3D images with spatial coordinates that allow the calculation of volume of the piles, automatic recovery operation and a better management and visualization of the stockyard.

Key words: Port; Reclaimer; Laser scanner; 3D mapping.

¹ *Contribuição técnica ao 15º Seminário de Automação e TI Industrial, 20 a 22 de setembro de 2011, São Paulo, SP.*

² *Engenheiro de Controle e Automação – TSA Tecnologia de Sistemas de Automação.*

³ *Auxiliar Técnico de Automação e Estudante de Engenharia da Computação – TSA Tecnologia de Sistemas de Automação, estudante UFES.*

⁴ *Engenheiro de Computação – TSA Tecnologia de Sistemas de Automação.*

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta uma parte de um projeto maior, desenvolvido no porto da Vale em Vitória, que envolve quatro máquinas de pátio. O projeto como um todo envolve fornecimento e instalação de sistema CFTV, substituição de PLC e inversores, estações de supervisão, e muito mais, que tem como objetivo permitir a operação automática das máquinas de pátio.

Como parte importante deste projeto, destaca-se o Sistema de Gerenciamento de Pátio, que a partir da digitalização das pilhas de minério, tem como objetivo gerar informações que possibilitem o cálculo do volume das pilhas e a operação automática de recuperação. A recuperação automática envolve também lógicas de CLP e controle de vazão, mas como parte fundamental, utiliza as coordenadas geradas pelo sistema para permitir o posicionamento na pilha e o ajuste automático dos ângulos e giro da máquina durante a operação.

A metodologia utilizada para o desenvolvimento do sistema engloba técnicas avançadas de programação e embasamento matemático. Estes dois temas serão descritos no trabalho, pois fazem parte do sistema como um todo, sendo interessante mostrar os diversos aspectos do seu desenvolvimento.

Utilizando *scanners laser* 2D, instalados nas máquinas em movimento, foi possível digitalizar as pilhas de minério, gerando um vetor de medições de distância de cada feixe laser. Paralelamente, o sistema se comunica com o CLP das máquinas para buscar os valores de posição de translação, giro e elevação de cada uma. Estes dados são então captados por um sistema computacional que gera uma nuvem de pontos, permitindo a reconstrução das pilhas em imagens 3D com informações de cotas de altura de cada medição.

A partir dos dados armazenados, o sistema pode calcular o volume de cada pilha e gerar informações que permitam a operação automática de recuperação de minério. Para a recuperação automática, o sistema precisa calcular as coordenadas para o posicionamento e operação automática da máquina.

2 MATERIAL E ARQUITETURA DO SISTEMA

Os recursos utilizados para o desenvolvimento do sistema foram:

- 2 *scanners laser* 2D, alcance 250 m, varredura 300° – fabricante Sick;
- 2 *encoders* de translação (um por máquina);
- 2 *encoders* de giro (um por máquina);
- 2 inclinômetros de elevação (um por máquina);
- 2 sistemas RFID (calibração da translação de cada máquina);
- sensores indutivos para calibração dos *encoders*;
- servidor DL360 – HP;
- estação cliente processador Intel Core I7;
- CLP modelo ControLogix – Rockwell;
- *software* servidor OPC RSLinx – Rockwell;
- rede *ethernet* existente, incluindo rádios; e
- desenhos construtivos das máquinas.

O *software* do Gerenciamento de Pátio foi desenvolvido de forma modular, escalar e com arquitetura Cliente/Servidor. Desta forma, é possível acrescentar diversas estações clientes, mais pátios, scanners, e máquinas. A Figura 1 apresenta configuração de todo o sistema.

A arquitetura do sistema engloba a estrutura existente (CLP, Redes, Rádios, Instrumentos) e os novos equipamentos instalados (Scanners, Estações). A Figura 1 mostra uma representação simplificada de todo o sistema.

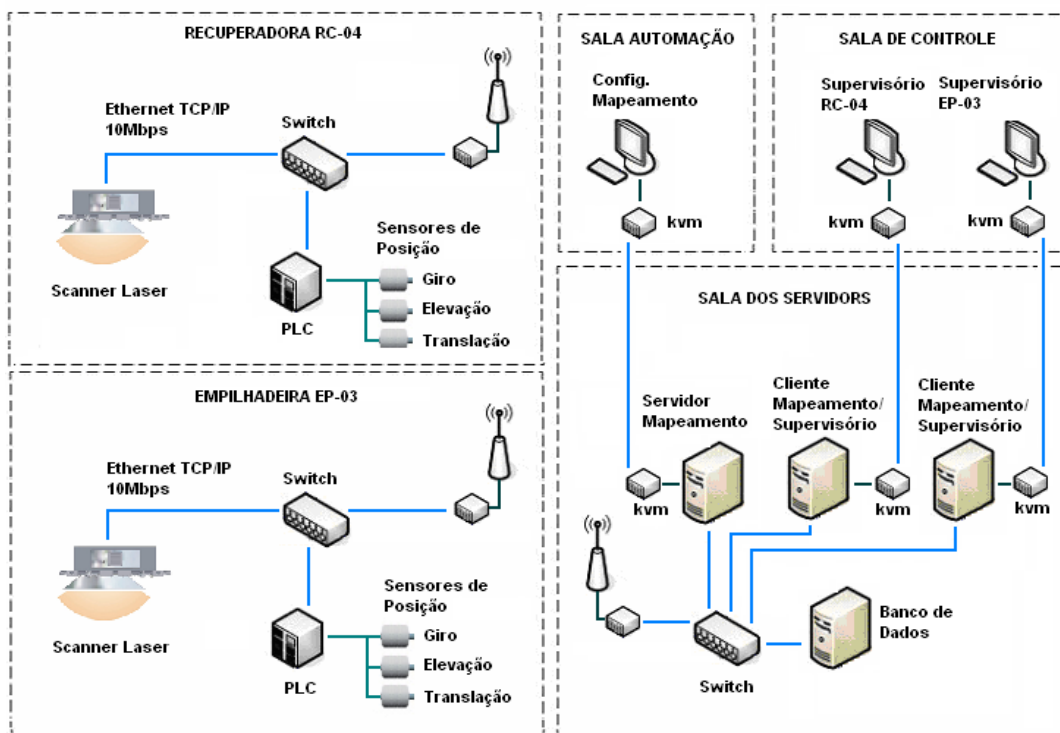


Figura 1. Configuração do sistema.

3 PROCESSO

O porto possui diversas áreas de estocagem, sendo este sistema desenvolvido para a área velha, compreendendo os pátios F, G, H, I, J. As máquinas que operam nestes pátios e que são o foco do trabalho são: Recuperadoras RC-04 e Empilhadeira EP-03. Outras máquinas que operam nestes pátios, e que também estão incluídas no sistema, porém sem a utilização de scanners laser são: Empilhadeiras Escravas EE-01 e EE-02, Recuperadora RC-05 e Empilhadeira/Recuperador ER-01.

As empilhadeiras escravas operam com um prolongamento da lança da EP-03, permitindo o empilhamento nos pátios F e I. Os pátios que possuem escaneamento de pilha são o G, H, I, os quais são cobertos pela EP-03 e RC-04. Na figura 2, a representação dos pátios.

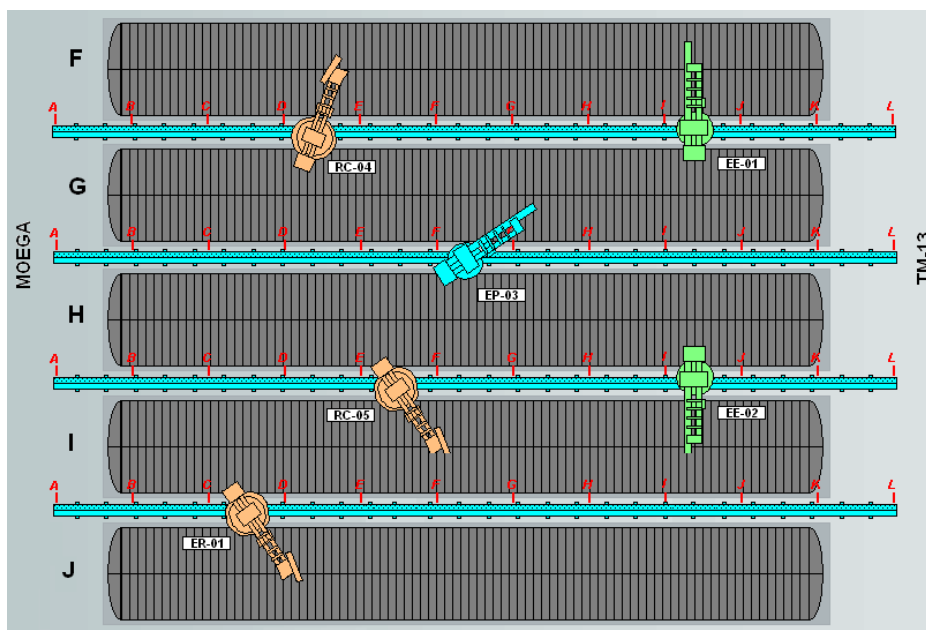


Figura 2. Representação dos pátios.

Para que seja possível fazer a digitalização das pilhas de minério, um scanner é instalado em cada máquina. Um scanner laser é fixado sob a lança da recuperadora (RC-04) e outro na lança da empilhadeira (EP-03). O scanner faz uma varredura em ângulo de 180° sobre a pilha de minério à medida que a máquina se movimenta, encontrando a distância entre o scanner e os pontos sobre a superfície da pilha (Figura 3).

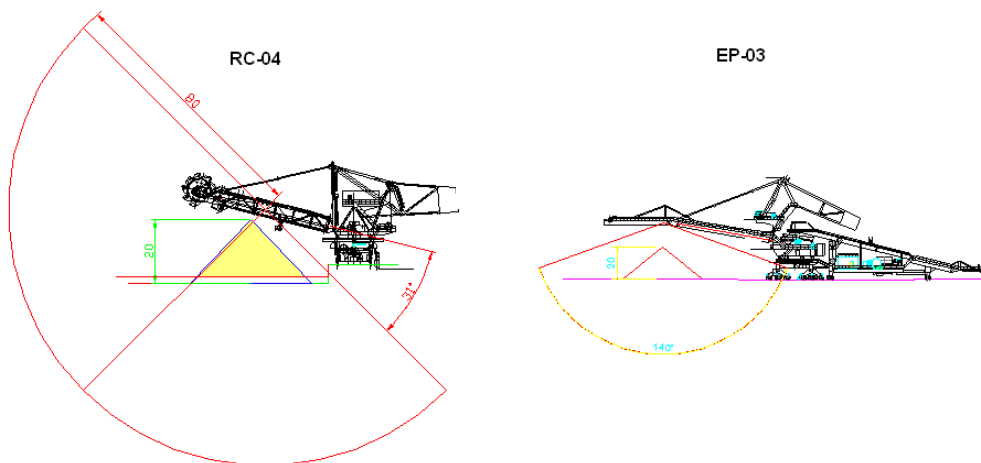


Figura 3. Posição dos scanners laser em cada máquina.

4 METODOLOGIA

A metodologia para o desenvolvimento do software do sistema inclui tanto técnicas e boas práticas de programação, quanto o embasamento matemático para a resolução do problema de geração de uma modelo adequado para os objetivos do projeto. Desta forma, o sistema pode ser dividido em dois grupos de discussão, a parte de algoritmos matemáticos e a parte de arquitetura do sistema.

4.1 Reconstrução da Pilha em um Modelo 3D

A recuperação automática e o cálculo do volume da pilha dependem de se conseguir uma superfície com coordenadas que possibilite os cálculos necessários para estes objetivos. Para a reconstrução das pilhas em um modelo 3D, com coordenadas, são necessárias duas etapas fundamentais:

- localização: posição do *scanner laser* em função da posição da máquina. Esta informação é obtida a partir dos instrumentos existentes na máquina, que informam a posição de translação, giro e elevação da máquina; e
- mapeamento: a partir da posição do *scanner* e da varredura do *laser* o sistema deve gerar um modelo 3D do relevo, criando assim uma nuvem de pontos, com coordenadas x, y, z para cada ponto.⁽¹⁾

Para se obter o modelo 3D da pilha, são utilizadas transformações geométricas, fundamentais na computação gráfica. Estas transformações são utilizadas para realizar alterações no plano cartesiano, tais como alterar o tamanho de um objeto, sua posição ou rotação.

A operação geral de transformações pode ser expressa como $[P'] = [P][T]$. Esta expressão indica que qualquer transformação pode ser aplicada a um vetor de coordenadas P, multiplicando-o por matriz de transformação T. O resultado desta operação resulta no vetor P' com as modificações aplicadas em relação às coordenadas originais, de acordo com a transformação T.⁽²⁾

Nas Figuras 4 a 7, são apresentadas as matrizes de transformação utilizadas.

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & dx \\ 0 & 1 & 0 & dy \\ 0 & 0 & 1 & dz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 4. Matriz de translação.

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 5. Rotação do ângulo α em torno do eixo X.

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & \sin \phi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \phi & 0 & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 6. Rotação do ângulo ϕ em torno do eixo Y.

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos \psi & -\text{sen } \psi & 0 & 0 \\ \text{sen } \psi & \cos \psi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 7. Rotação do ângulo ψ em torno do eixo Z.

De forma simplificada, podemos dizer que cada feixe *laser* mede uma distância que é convertida em um ponto com coordenada x, y, z no plano cartesiano.

No sistema computacional, o pátio é considerado como um sistema de coordenadas X, Y, Z, com escala em metros. O eixo X é a posição de translação das máquinas (ao longo do pátio), com início em zero a partir da área TM-13, aumentando em direção a Moega. O eixo Y é a largura do pátio contado a partir da posição central da máquina. O eixo Z é a altura, iniciando a partir da base do pátio.

A Figura 8 apresenta, no plano y, z, uma forma simplificada de descrever com é gerada a coordenada de cada ponto medido pelo feixe *laser*.

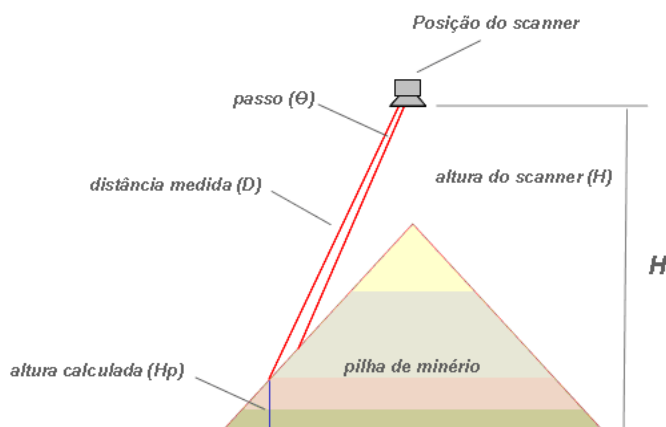


Figura 8. Cálculo da superfície da pilha.

4.2 Desenvolvimento do Software

O *software* aplicativo do sistema foi baseado em arquitetura cliente/servidor,⁽³⁾ e de forma a possibilitar a inclusão de novas máquinas ou pátios, o que permite expandir o sistema. O servidor foi dividido em módulos com processamento independente e funções definidas. Estes módulos realizaram a comunicação com os *scanners laser* (*Driver* de comunicação *ethernet*), o PLC (Cliente OPC), o banco de dados (SQL).

O aplicativo servidor processa os dados e os armazena em um banco de dados os pontos digitalizados e as posições das máquinas para cada varredura. O driver de comunicação foi desenvolvido com base em TCP/IP Sockets (*Berkeley Sockets*), o qual utiliza o protocolo TCP ou UDP para comunicação com os *scanners laser* através da rede *ethernet*.⁽⁴⁾

O aplicativo cliente foi desenvolvido de forma semelhante ao aplicativo servidor, com módulos independentes, para processamento de dados, interface gráfica e configuração do sistema. Todo o processamento gráfico 3D e renderização é executado pelo aplicativo cliente, de forma a permitir a adição de novos clientes sem comprometer o desempenho do servidor. O aplicativo cliente também é utilizado para configurar o sistema, inserir parâmetros externos e realizar diagnósticos. A

Figura 9 apresenta digrama de blocos com a arquitetura dos aplicativos e módulos de cada um.

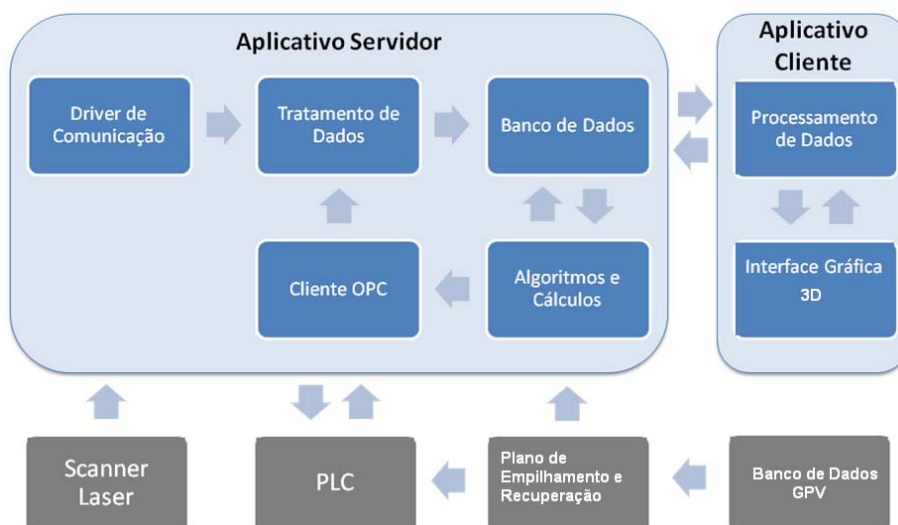


Figura 9. Diagrama de blocos dos aplicativos clientes e servidor.

5 RESULTADOS

Em um primeiro teste, com a versão inicial do *software* foi possível identificar o formato de uma parte da pilha, durante a operação de recuperação com a RC-04 (Figura 10).

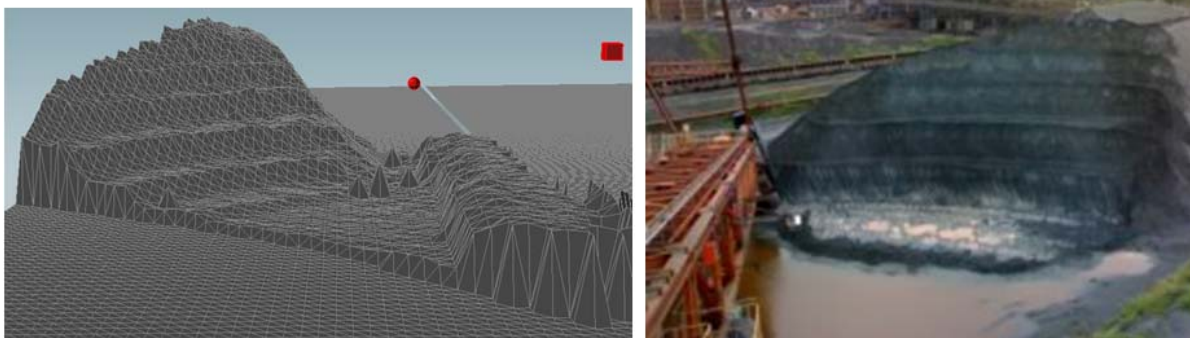


Figura 10. Imagem digitalizada pela RC-04 durante recuperação e foto da pilha recuperada.

Com o aperfeiçoamento do *software*, foi possível renderizar a imagem, gerando uma escala de cor que representa a cota de altura de cada ponto. Na Figura 11, resultado de uma semana de funcionamento do sistema, durante operação normal do pátio.

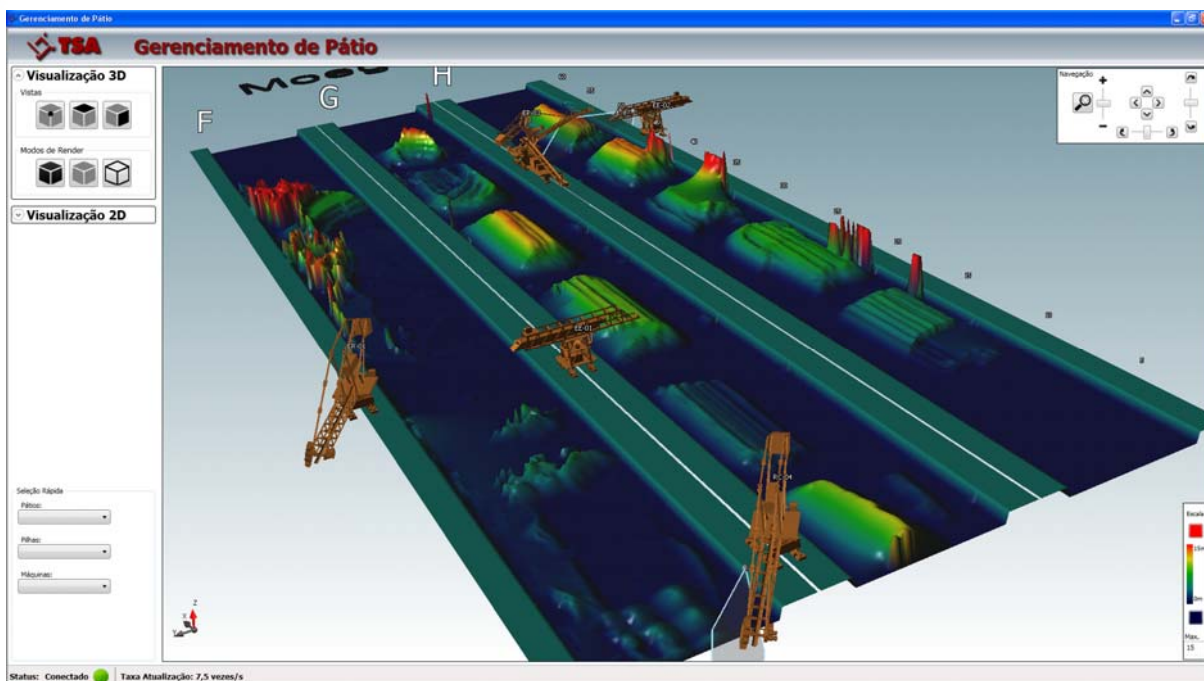


Figura 11. Tela do software de gerenciamento de pátio.

Para facilitar a visualização das máquinas em relação às pilhas e posicionamento no pátio, o modelo 3D de cada máquina foi inserido no software. Também foram incluídas as ferramentas de *zoom*, *pan* e *rotate*, para facilitar a navegação na tela e análise das imagens. Na Figura 12, a imagem da recuperadora RC-04 em operação.



Figura 12. Tela com detalhe da recuperadora RC-04 em operação.

Para aferir o cálculo do volume, foi utilizado como referência, o levantamento topográfico que é realizado como procedimento padrão existente no porto. Este procedimento consiste na utilização de um scanner laser manual, que também digitaliza as pilhas.

Em testes realizados para o posicionamento automático, as coordenadas geradas pelo sistema foram comparadas ao posicionamento realizado manualmente pelo operador, de forma visual. Na Tabela 1, seguem os resultados encontrados.

Tabela 1. Comparativo posicionamento automático/manual

Fonte das Coordenadas	Translação	Giro	Elevação
Operador (Manual)	160 metros	152,9°	-4,1°
Sistema (Calculado)	159,38 metros	147,8°	-4,07°
Diferença	0,62 metros	5,1°	0,03°

A geração de coordenadas para a recuperação automática precisa ser em tempo real. Devido a este fator, o desempenho do sistema é um fator crítico. Foram realizados os testes utilizando os servidores HP Proliant DL360, tanto para o aplicativo servidor quanto para o cliente. Os aplicativos cliente e servidor podem ser executados em uma mesma máquina ou em máquinas diferentes. Os seguintes resultados foram obtidos:

- Servidor
 - utilização da CPU: 1% a 3%;
 - memória utilizada: 130 Mbytes a 200 Mbytes; e
 - número máximo de *scanners*: Indefinido. Depende da capacidade do servidor e da rede. Simulação de leitura de 35 *scanners* apresentou de 7% a 10% de uso da CPU e memória utilizada de 165 Mbytes.
- Cliente
 - utilização da CPU: 11% a 12%;
 - memória utilizada: 130 Mbytes a 200 Mbytes;
 - número máximo de clientes em uma mesma máquina: 8 clientes, 100% de uso da CPU; e
 - número máximo de clientes: teoricamente ilimitado. Na prática, depende das capacidades da rede e do servidor.

6 CONCLUSÃO

A tecnologia atual, e o constante desenvolvimento dos equipamentos e instrumentos permitem hoje o desenvolvimento de sistemas que utilizam digitalização com scanner laser em ambientes industriais, o que antigamente não era possível devido à agressividade do meio e a limitação de capacidade computacional.

O uso de scanners laser em máquinas de pátio possibilita a operação automática de recuperação, com uma precisão razoável, permitindo padronizar os movimentos operacionais, reduzindo a variabilidade, que é consequência da operação manual.

Os sensores de posição (*encoders*) empregados no projeto necessitam geralmente de constante manutenção, pois envolvem acoplamentos mecânicos, sujeitos a desgaste físico. A utilização de sistemas GPS de precisão, especificamente o conceito de correção RTK, poderia melhorar a precisão e confiabilidade do sistema, trabalhando em conjunto com a instrumentação já amplamente utilizada.⁽⁵⁾ Com isso, teríamos um sistema redundante e robusto, pois o GPS não possui acoplamentos mecânicos, estando sujeito apenas as interferências geradas por condições climáticas desfavoráveis.

Agradecimentos

Agradecimentos ao professor da UFES, Fabiano Petronetto, que colaborou no desenvolvimento e consultoria em modelos matemáticos.

REFERÊNCIAS

- 1 GOIS, João Paulo. Reconstrução de Superfícies a partir de Nuvens de Pontos. 2004. 131 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- 2 ADAMS, J. Alan; ROGERS, David F. Mathematical elements for computer graphics. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1990. 611 p.
- 3 Troelsen, Andrew. Pro C# 2008 and the .Net 3.5 Platform. Fourth Edition, NewYork, 2007. Apress.
- 4 SICK AG Waldkirch. User Protocol Services for Operating/Configuring the LD-OEM/LD-LRS Laser Measurement System, TELEGRAM LISTING. Germany, 2006.
- 5 MACHARET, Douglas Guimarães. LOCALIZAÇÃO E MAPEAMENTO EM TERRENOS IRREGULARES UTILIZANDO ROBÔS MÓVEIS. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação. Belo Horizonte, março de 2009.