

## OPERAÇÃO AUTOMATIZADA DE UM SISTEMA DE CARREGAMENTO DE VAGÕES<sup>1</sup>

Vicente de Paulo Amancio<sup>2</sup>

Carlos Cristiano Teixeira<sup>3</sup>

Emerson Klippel<sup>4</sup>

Pedro Faria<sup>5</sup>

### Resumo

Os principais motivos para automação do carregamento de vagões: 1. Retirar o operador de uma operação estressante, repetitiva e de grande risco; 2. Reduzir a variabilidade de carga por eixo permitindo o máximo de cargas dentro do limite de segurança estabelecido pela ferrovia. O silo gravimétrico, objeto do presente trabalho, foi projetado para funcionar em automático. No entanto, por características específicas do material a ser carregado, o projeto originalmente desenvolvido por outra empresa não obteve sucesso. Para tornar possível a operação automática, foi necessário mudar a estratégia de controle e utilizar novos recursos tecnológicos. Metodologia utilizada: entendimento dos problemas, análise das peculiaridades que inviabilizavam a operação automática, criação e testes de novas metodologias. O desafio em criar uma solução para um sistema já existente e com fortes restrições abriu a oportunidade para uma solução inovadora e replicável em situações similares. Do objetivo inicial: a operação automática proporciona: maior previsibilidade, maior segurança e uma evolução mais consistente do sistema a partir de soluções embasadas. 2. Dos objetivos indiretos: reconhecimento automático do tipo de minério segundo critérios objetivos. Esta classificação é usada para parametrizar o sistema automaticamente e utilizada para outras funções que dependam do conhecimento destas propriedades do minério. Como conclusão: 1. Automatismos em mineração são muito influenciados pelas características dinâmicas do minério, elemento imprevisível e específico de cada site. 2. Testar exaustivamente é fundamental para este tipo de projeto. Difundir experiências entre empresas possibilita contribuições mútuas permitindo assim soluções mais adequadas aos objetivos.

**Palavras-chaves:** Silo; Carregamento; Automático; Vagão.

### AUTOMATIZED OPERATION IN A CAR LOADING SYSTEM

#### Abstract

The main reasons for automating the loading of wagons: 1. Remove the operator of an operation stressful, repetitive and of great risk 2. Reduce variability axle load allowing maximum loads within the safety limit established by the railroad. The silo gravimetric object of the present study was designed to run on automatic. However, for specific characteristics of the material to be loaded, the project originally developed by another company without success. To make possible automatic operation, it was necessary to change the control strategy and use new technological resources. Methodology: understanding the problems, analysis of the peculiarities which invisibilized the automatic operation, creation and testing of new methodologies. The challenge in creating a solution to an existing system, with strong restrictions, opened the opportunity for an innovative and replicable in similar situations. The initial goal: automatic operation provides: greater predictability, greater security and a more consistent evolution of the system from grounded solutions. 2. Indirect objectives: automatic recognition of the type of ore according to objective criteria. This classification is used to parameterize the system automatically and used for other functions that depend on the knowledge of these properties of the ore. In conclusion: 1. Automations in mining are greatly influenced by the dynamic characteristics of the ore, and unpredictable element specific to each site. 2. Thoroughly test is essential for this type of project. Disseminate experiences between companies enables mutual contributions thus allowing most appropriate solutions to goals.

**Key words:** Silo; Automatic; Car loading; Wagon.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 16º Seminário de Automação e TI Industrial, 18 a 21 de setembro de 2012, Belo Horizonte, MG.

<sup>2</sup> Engenheiro Automação, MBA Gestão Internacional, Gerente Accenture

<sup>3</sup> Técnico Automação, Gerente Accenture

<sup>4</sup> Supervisor de Automação, Vale

<sup>5</sup> Gerente de Automação, Vale

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de carregamento ferroviário usando silos de carregamento contínuo é a solução adotada pela maioria dos complexos minerais de alta produção. O sistema tem uma concepção simples e robusta do ponto de vista mecânico, no entanto, alguns aspectos operacionais exigem um controle preciso das operações para não colocar em risco a ferrovia, os vagões, as locomotivas e o próprio silo. Esta combinação de um sistema robusto, tratando uma grande carga de minério, com controles que requerem precisão de posicionamento e com deslocamento contínuo, demandam atenção e esforços razoáveis. Para isto algumas variáveis devem ser analisadas, como:

- fluidez do minério;
- umidade;
- agressividade da área;
- capacidade pulmão e variação da taxa.

## 2 VARIÁVEIS DE PROCESSO E CONDIÇÕES OPERACIONAIS

### 2.1 Fluidez do Minério

Esta característica identifica a facilidade com que o minério flui através da comporta ou das paredes do silo. Foi verificado que a fluidez é bastante variável durante o processo de carregamento, variando inclusive durante o carregamento de um mesmo vagão. Diversos estudos têm sido desenvolvidos para identificar quais são as propriedades físicas, químicas e mineralógicas que influenciam na fluidez. Ainda não se tem um consenso sobre quais são estas propriedades e sua correlação com a fluidez.

### 2.2 Umidade

A umidade no minério de Carajás é uma das características que mais têm impactado na operação do carregamento. A variação da umidade no minério interfere no comportamento dinâmico de fluidez, associado ainda a outras características, tais como: faixa granulométrica, forma da partícula, genealogia do minério, entre outras. A alta umidade no minério provoca um deslocamento tipo avalanche. Nesta situação, o sistema de controle do carregamento do silo é pouco eficiente por não estar adequado para tratar material com esta fluidez.

### 2.3 Agressividade da Área

Devido à manipulação de materiais em queda livre com grandes vazões, ocorrem grandes projeções de materiais contra toda a estrutura de equipamentos e instrumentos, podendo influenciar na disponibilidade da instrumentação e interferindo nas medições. As medições não podem ser consideradas absolutas e precisam ser validadas com recursos de verificação.

### 2.4 Capacidade Pulmão e Variação de Taxa

A alimentação do carregamento, feito por máquinas retomadoras de material em pátio, apresenta taxas variáveis e precisa ser estocada em silos pulmão. A

capacidade dos silos e as variações na taxa interferem, de forma dinâmica, nas taxas ideais de descarregamento para manter ritmo de produção contínuo.

## **2.5 Métodos de Controle de Carregamento**

### **2.5.1 Carregamento gravimétrico**

Os silos de carregamento gravimétrico têm como finalidade principal controlar o peso da carga colocada no vagão. Para isto, utiliza sistema de pesagem antes ou durante o carregamento. No caso específico dos silos de Carajás, somente o silo 3 tem carregamento gravimétrico e a carga é pesada antes do descarregamento.

O sistema com pesagem antes da descarga é composto de dois silos. Um silo superior, de maior capacidade, carrega o segundo silo de forma controlada, de maneira a colocar neste um peso de minério definido e que depois será descarregado no vagão. Pesagem a carga antes de colocá-la no vagão agrega a vantagem de reduzir a possibilidade de descarregar no vagão uma carga acima da desejada. Este processo necessita de uma estrutura bastante alta para suportar dois silos sobrepostos com dois sistemas de comportas, um sistema de comporta entre os dois silos e outro entre o silo inferior e o vagão.

Outro aspecto relevante é o tempo de carregamento, que é aumentado, uma vez que cada carga é formada duas vezes, uma no silo de preparação da carga e outra no vagão. Para reduzir o impacto deste no desempenho, no sistema do silo 3 foram projetados quatro sistemas com pré-pesagem e descarga. Tudo isto acaba por requerer um controle dinâmico muito rigoroso de diversas variáveis e em um tempo bastante restrito.

O sistema do silo 3, buscando reduzir a altura dos silos, foi projetado com sistema de comportas retrátil para carregar o vagão, evitando que estas comportas colidam com a locomotiva.

Resumindo, podemos considerar que o sistema de carregamento gravimétrico é bastante eficiente no controle do peso carregado por vagão. No entanto, apresenta uma complexidade maior de controle e que é tão mais exigida quanto maior for a velocidade da composição.

### **2.5.2 Carregamento volumétrico**

Os silos de carregamento volumétrico, silos 1 e 2 no caso de Carajás, têm o objetivo de carregar os vagões com um volume estimado, para atingir um peso desejado dentro de certa faixa de erro. Esse erro acontece devido à imprecisão das estimativas de volume, onde o material se altera dinamicamente, e à limitação na capacidade de controle do volume.

Este sistema de carregamento apresenta uma série de desafios. Alguns destes desafios são:

- inferir valor de peso e vazão mássica para controle de peso distribuído e final;
- a não linearidade entre a abertura da comporta e a vazão de minério, dado a variação de fluidez do material;
- o sincronismo entre vazão de minério na comporta e a carga a ser colocada em cada vagão, onde a dinâmica de variação da vazão é muito maior que a dinâmica de variação da velocidade da composição;
- a colocação e distribuição da carga no vagão, uma vez que o sistema precisa responder rapidamente para corrigir a alteração de variáveis que não estão sendo controladas. ou seja, o controle é feito pela medição do efeito e não da causa.

- no caso específico do carregamento de sinter feed em carajás, o limite de peso carregado por vagão, sendo que o peso não é medido durante a operação de descarga.

Estas características fazem com que o sistema de carregamento em silos volumétricos esteja sujeito a um erro natural, que não consegue ser resolvido com sistema de controle. No entanto, o sistema de automação consegue fornecer uma série de informações e funcionalidades que ajudam a operação a reduzir o nível de erro.

## 2.6 Objetivos

### 2.6.1 Carregamento gravimétrico - operação automática

O carregamento gravimétrico de vagões de Carajás tem o ritmo de produção monitorado em função do desbalanceamento das cargas e do excesso de carga. A demanda de material dos silos é monitorada dinamicamente de forma a garantir a alimentação contínua do abastecimento, atuando na velocidade da composição.

O projeto atuou nas ações mapeadas para automatizar todas as operações. Isto possibilita maximizar o ritmo da produção pelo limite operacional, dinamicamente associado à característica do material. A garantia do limite operacional reduz a possibilidade de desbalanceamentos e excessos de carga. O automatismo sobre o controle de demanda possibilita maximizar a taxa de abastecimento, reduzindo a possibilidade de cortes na alimentação do abastecimento.

### 2.6.2 Carregamento volumétrico - elevação de média transportada

Os carregamentos volumétricos de vagões de Carajás têm o peso médio transportado por vagão monitorado em conjunto com o desvio padrão dos carregamentos. O desvio padrão é utilizado para analisar a capacidade de elevação da média.

O projeto atuou nas ações mapeadas para reduzir o desvio padrão e para disponibilizar dinamicamente as informações para ações imediatas de correção da média transportada, buscando elevar a média transportada ou protegendo o processo das sobrecargas.

## 2.7 Sistema de Automação

### 2.7.1 Instrumentação

- **Medição de nível**

A medição do nível dos silos de controle gravimétrico é realizada por instrumentação com tecnologia radar apresentando informação de 0 a 100%. Seu desempenho no meio da escala é irregular apresentando, eventualmente, valores de nível 100%. No limite mínimo da escala, apresenta bom desempenho, mas sofre interferências quando o material está em rampa acentuada com o silo ao lado (ex.: 0% e ao lado 50%). O material ao lado interfere na sua medição apresentando também valores falsos de 100%. O limite máximo da escala apresenta desempenho irregular, com variações bruscas para 100% e demora para normalização para valor real. Os automatismos com estas variáveis necessitaram de lógica adicional para validação da informação, antes de sua ação.

- **Medições óticas**

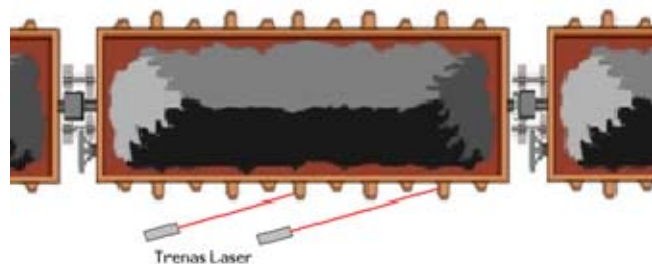
A área apresenta grande agressividade por elevadas projeções de materiais e pó em suspensão, devido à umidade do material e à altura da queda do material no vagão. Para viabilizar a instalação dos instrumentos, foram desenvolvidos invólucros específicos para abrigar os dois tipos de instrumentos utilizados, com características de proteção IP67 em sua tampa (acesso traseiro), com facilidade de acesso para manutenção e elevando a disponibilidade dos instrumentos.

- **Medições óticas – infra-vermelho:** as monitorações de posição específica foram realizadas através de sensores infra-vermelho com ajuste focal e alcance máx 2,5 m. Os sensores não tiveram bom desempenho, apresentando falhas eventuais associadas à diferenças na superfície do obstáculo. para trabalhar as limitações do sensoramento, foi necessário o uso extensivo de diversos métodos de redundância e verificação.
- **Medições óticas – laser – nível no vagão:** devido a baixa altura para varredura de nível nos vagões, optou-se pela medição pontual através de laser. as medições são realizadas na vertical, medindo a distância da trena até a superfície do material. O nível considerado é determinado pela subtração da distância correspondente ao piso do vagão.



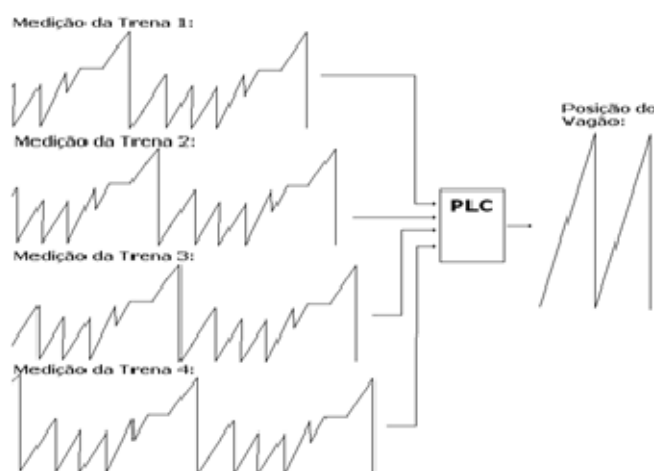
Figura 1. Medições Óticas – Nível do material no vagão.

- **Medições óticas – laser – posição/velocidade:** a escolha da utilização de trenas laser para determinação de posição/velocidade pelo perfil dos vagões seguiu os critérios de: agressividade e capacidade de proteção (disponibilidade); custo/benefício; precisão; risco funcional; acesso à tecnologia e prazo. a metodologia monitora o deslocamento do vagão através das travessas laterais do vagão. Dois pares de trenas são posicionados de forma que sempre ocorra uma das trenas fora de zona morta do perfil da composição, apresentando um bom sinal para a informação final.



**Figura 2.** Posição/Velocidade – Posicionamento de trenas.

O sinal resultante do instrumento monitorando o deslocamento do vagão é uma dente de serra originária da passagem de cada travessa lateral do vagão. Os quatro instrumentos combinados são processados, produzindo um sinal final de posição do vagão, sucessivamente a cada vagão.



**Figura 3.** Posição – Perfil gráfico.

- **Pesagem de carga**

A pesagem da carga é realizada com células de pesagem de alta precisão e são utilizadas rede de controle de alto desempenho, de forma a monitorar o peso do silo e sua tendência, produzindo informação de vazões de preparação de carga e vazão de descarga.

- **Pesagem de entrada e saída**

A pesagem dos vagões na entrada dos silos e dos vagões na saída dos silos é realizada por balanças ferroviárias com multi-células sequenciais.

- **Posição**

A posição das comportas por comandos digitais utiliza monitoração de posição por encoder de corda. Seu desempenho é excelente, mas, apesar de não haver ocorrência registrada, apresenta alguma vulnerabilidade devido à exposição da corda em pequeno trecho (300 mm), considerando as possibilidades de projeção no local e as interferências de manutenção mecânica. Outros métodos de medição por eixo não foram viáveis.



Figura 4. Medição de Posição – Encoder de corda.

## 2.7.2 Sistema de controle

- **Controlador lógico**

Os sistemas de controle utilizam processador multi-tarefa com recursos de interrupção e de tarefas agendadas em taxas diversas, conforme o desempenho exigido pela funcionalidade.

- **Redes e determinismo**

A ethernet é utilizada nas camadas do nível I e II (ISA S95). Dispositivos de E/S agendados de médio a baixo desempenho são utilizados sobre a ethernet no nível I. Uma rede de controle determinística é utilizada para as entradas e saídas gerais e para agenda dos dispositivos de alto desempenho.

Redes de controle determinísticas foram utilizadas para CCMs e para encoders. No caso dos encoders, foi utilizado recurso de COS (Change of State) na atualização dos dados, devido ao desempenho desejado abaixo de 5 ms.

- **Controladores motion**

Sistemas Motion integrados ao sistema de controle foram utilizados para controle hidráulico das comportas do silo gravimétrico. As necessidades de alta precisão, alta vazão, grande torque e velocidade de reação, foram determinantes para o uso da metodologia.

## 2.8 Principais Funcionalidades

Diversas funcionalidades foram desenvolvidas, tais como: Análise de fluidez, tracking de material, início e fim de produção, controle de demanda, abastecimento de minério, velocidade da composição, preparação de carga, controle da primeira descarga, controle de descarga, elevação da média transportada, medições de nível do minério no vagão, cálculos volumétricos e sinalização volumétrica.

## 3 CONCLUSÃO

A experiência proporcionada pelo projeto mostrou que o funcionamento de automatismos em equipamentos de mineração sofre uma forte influência da

variação das características da matéria-prima. Este conceito aplica-se em diversos processos, mas na mineração seu impacto é maior, principalmente porque a variação de características do material é imprevisível e específica de cada site. Portanto, mesmo projetos bem concebidos, devem passar por uma etapa de testes, seja ele simulado ou real, para que se tenha oportunidade de ajuste entre o que foi concebido e o funcionamento real. Por outro lado, é importante que estas experiências sejam difundidas e que as lições sejam disseminadas de maneira que as empresas envolvidas possam contribuir mutuamente para se ter sistemas cada vez mais adequados às finalidades a que eles se destinam.