

# GERENCIAMENTO DE TRANSPORTE ATRAVÉS DE DUTOS EM UMA APLICAÇÃO MES <sup>1</sup>

*Alécia Mol e Silva<sup>2</sup>*

*Gerci Lisboa<sup>2</sup>*

*Marco Tulio Duarte Rodriguez<sup>3</sup>*

*Rafael Silva Netto<sup>4</sup>*

## Resumo

O transporte de fluidos e suspensões através de dutos é uma operação que se destaca por apresentar níveis de economia e segurança bastante superiores em relação a outras modalidades de transporte. Grande parte das características do transporte em dutos permite modelá-lo e monitorá-lo como mais uma operação do processo industrial. Este trabalho apresenta a modelagem e integração dos processos associados ao mineroduto da SAMARCO Mineração à uma aplicação MES já existente. Foi desenvolvida uma modelagem aplicada ao transporte em bateladas de um ou mais produtos, em dutos que tenham ou não estações de bombeamento intermediárias. O desenvolvimento visou a monitoração do transporte de suspensões sólidas, mas pode ser estendido a qualquer transporte por dutos que tenha características semelhantes. É apresentada uma modelagem do processo para conjugar as características específicas das bateladas de transporte com as demais estruturas de dados do sistema MES, além de estratégias de cálculo e módulos de visualização utilizados no gerenciamento do transporte no duto. Os módulos de cálculo são capazes de estimar a posição de cada batelada ou interface de fluido no duto e calcular a previsão de horário de chegada no ponto de destino das bateladas atualmente em trânsito. Os recursos de visualização apresentam de forma gráfica as posições das bateladas, oferecendo também um diagrama topográfico onde o movimento dos fluidos pode ser acompanhado em relação às elevações do terreno que o duto atravessa.

**Palavras-chave:** MÊS; Mineroduto; Batelada.

<sup>1</sup> IX Seminário de Automação de Processos da ABM, 5 a 7 de outubro de 2005, Curitiba-PR

<sup>2</sup> Consultor de TI – Samarco Mineração S.A.

<sup>3</sup> Gerente Sênior – Chemtech Engenharia.

<sup>4</sup> Engenheiro de Desenvolvimento – Chemtech Engenharia.

## INTRODUÇÃO

A SAMARCO Mineração, segunda maior exportadora transoceânica de pelotas de minério de ferro do mundo, apresenta como um dos grandes diferenciais em seu processo produtivo o transporte por mineroduto. Esse sistema proporciona baixos custos operacionais e elevada confiabilidade, o que proporciona segurança operacional e proteção ambiental.

Como parte do Plano Diretor de Informação implementado pela SAMARCO a partir de 2000, foi desenvolvido o sistema MES (Manufacturing Execution System) em parceria com a CHEMTECH Engenharia, empresa líder de mercado no desenvolvimento de soluções MES. A primeira implementação deste sistema contemplou as áreas de Beneficiamento e Pelotização da SAMARCO.

Com o objetivo de substituir o sistema legado existente para o gerenciamento do mineroduto, e centralizar o intercâmbio de informações de processo através do MES, foram implementadas ao sistema MES da SAMARCO as funcionalidades necessárias para manipular todas as informações relevantes do mineroduto. As demais seções apresentam as características do sistema, a modelagem adotada para adequar o MES aos dados do mineroduto e as soluções implementadas.

## CARACTERÍSTICAS DO MINERODUTO

O mineroduto da SAMARCO é o maior do mundo para transporte de minério de ferro, com 396 km de extensão. Liga a Unidade de Germano, em Minas Gerais, onde estão localizados a mina e a planta de beneficiamento, à Unidade de Ponta Ubu, no Espírito Santo, onde são realizadas a pelotização e embarque do minério. O mineroduto atravessa uma região de topografia acidentada, atingindo a altitude máxima de 1180m e terminando ao nível do mar.

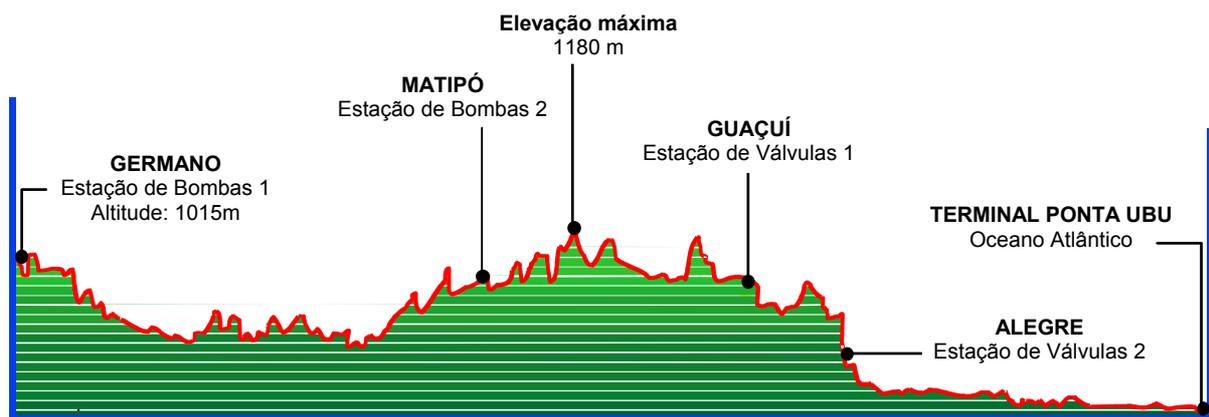


Figura 1. Perfil do Mineroduto.

O minério é transportado sob a forma de polpa, uma suspensão de minério em água. Para fins operacionais, o bombeamento é dividido em bateladas (*batches*), que correspondem tipicamente a um dia de bombeamento cada uma. Eventualmente pode ser bombeada água pura entre dois *batches*, ou mesmo no interior de um *batch*. O tempo de percurso ao longo do mineroduto é de cerca de três dias. Assim,

normalmente, em um mesmo instante, encontram-se diversos *batches* em trânsito no mineroduto.

A existência de vários *batches* em trânsito num mesmo momento é uma peculiaridade do mineroduto que não se observa em processos convencionais em batelada. Nesses processos, existe uma sequência de tal forma que uma nova batelada só se inicia após o término da anterior, sem sobreposição. Enquanto isso, no mineroduto, um novo *batch* se inicia enquanto o anterior ainda se encontra em trânsito. Analisando de outra forma, se considerarmos uma posição fixa no mineroduto, por exemplo, o seu início, os *batches* estarão encadeados como em um processo em batelada convencional, porém um mesmo *batch* terá horários de início e fim diferentes para cada posição do mineroduto.

Ao longo do mineroduto existem cinco instalações operacionais: a estação de bombeamento inicial (EB1) localizada em Germano, uma estação intermediária (EB2), duas estações de válvulas (EV1 e EV2) que se destinam a desacelerar o fluido na descida da serra, e o ponto de entrega em Ubu.

## CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA MES

O sistema MES da SAMARCO se propõe, entre outras funções, a organizar e consolidar dados de sistemas de controle (supervisórios, PLC's e SDCD's) e de qualidade, integrando-os ao sistema corporativo SAP R/3. Devido a sua arquitetura flexível e a capacidade de integrar diferentes sistemas, o MES é capaz de incorporar também algumas funções de "alto nível" como o cálculo de índices especiais de processo (KPIs) e geração de relatórios gerenciais.<sup>(1)</sup>

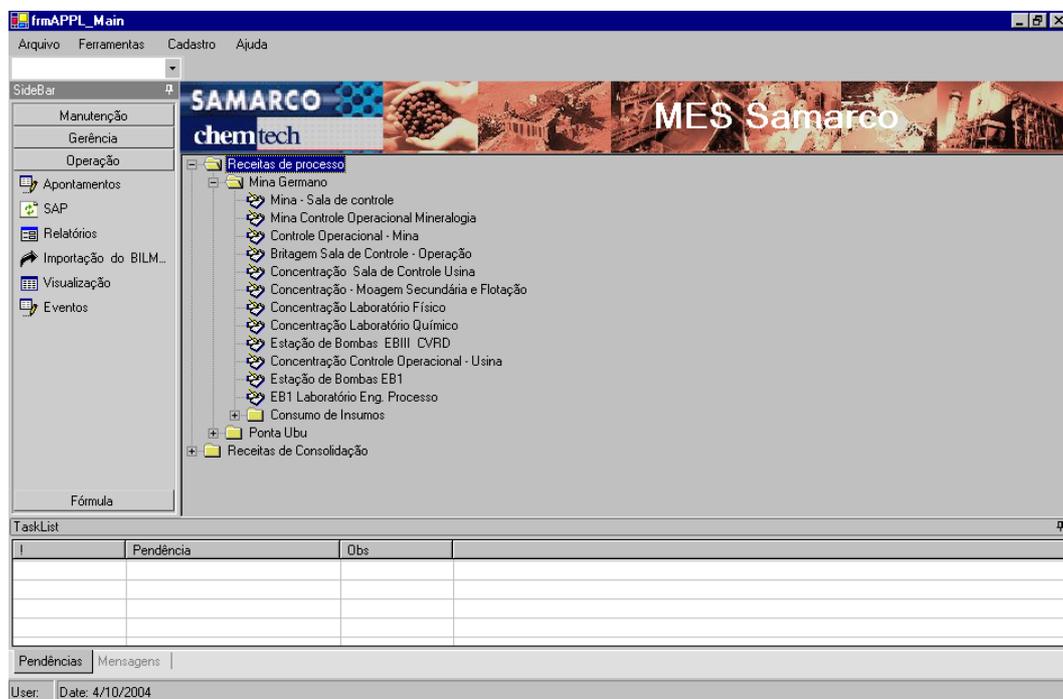


Figura 2. Tela principal do MES Samarco.

## METODOLOGIA

As características operacionais do mineroduto tornaram necessárias diversas modificações no sistema MES implementado inicialmente, que contemplava apenas processos contínuos.

Uma das dificuldades está relacionada à programação (*scheduling*) de apontamentos. O MES considerava apenas apontamentos realizados continuamente, de forma periódica, ou avulsos. Enquanto isso, os apontamentos do mineroduto são programados com base no horário em que o *batch* se inicia em cada local. São realizados apontamentos de processo em ambas as estações de bombeamento (EB1 e EB2) e no terminal em Ubu, e em cada um destes locais os apontamentos de um mesmo *batch* são programados em horários diferentes.

Outro problema está relacionado à associação entre os apontamentos e as Ordens de Processo (OPs) do SAP R/3. As OPs são específicas para cada área do processo, e não podem se sobrepor, estando o início de uma OP condicionado ao término da OP anterior, não existindo, em uma mesma área, apontamentos simultâneos referentes a OPs diferentes. Para o mineroduto, estas restrições não são válidas, pois devido ao tempo de percurso, quando uma nova OP é aberta, existem *batches* em trânsito referentes à OP anterior, que só poderá ser fechada após o término destes *batches*.

Tempo = 0 dias. OP ativa = OP 1



Tempo = 3 dias. OP ativa = OP 2



Figura 3. Sequência possível de *batches* e ordens de processo.

Neste exemplo, decorridos 3 dias, o *batch* 1 está chegando a Ubu, onde estão sendo feitos apontamentos referentes à OP 1; enquanto isso, o Batch 4 está saindo de Germano, e seus apontamentos estão relacionados à OP 2.

Finalmente, o MES realiza diversas consolidações e cálculos que, para o mineroduto, devem considerar o *batch* a que os apontamentos se referem, por exemplo, o cálculo do total de minério bombeado em um *batch*. Anteriormente o sistema considerava apenas intervalos fixos e contínuos de tempo.

Para resolver estes problemas, foi estabelecida uma relação entre o *batch* e o apontamento, e entre o *batch* e a Ordem de Processo. A rigor, a identificação do *batch* passa a ser mais um atributo identificador do apontamento, como a data-hora. Estes relacionamentos possibilitam a filtragem de dados e os cálculos para um

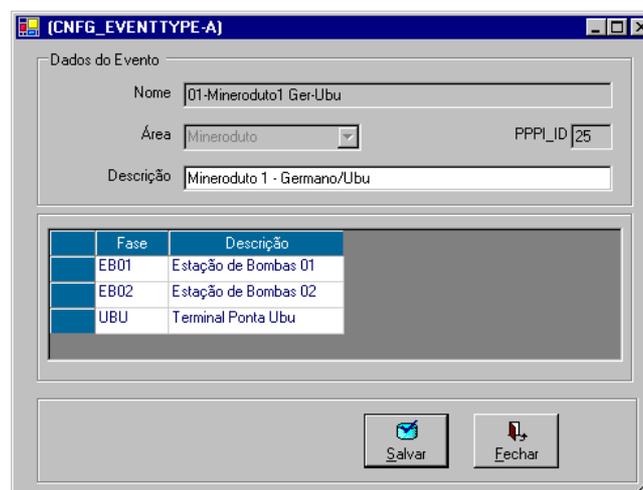
determinado *batch*, e estabelecem uma relação direta entre um apontamento e a OP a que se refere. Isto permite a associação correta entre apontamento e OP quando existirem apontamentos simultâneos para diferentes OPs.

Para permitir o *scheduling* independente para cada seção do mineroduto, a estrutura do *batch* foi dividida em fases, sendo cada fase correspondente a um ponto-chave do mineroduto, EB1, EB2 e Ubu. Cada fase tem seus próprios horários de início e fim de *batch*. Os apontamentos que estão relacionados aos *batches* do mineroduto são associados ao local (fase) em que são apontados. Desta forma, o *scheduling* e as validações podem ser feitas tendo por base os horários da fase correspondente, e não do *batch* como um todo.

## IMPLEMENTAÇÃO

Para manter as premissas de flexibilidade que nortearam o desenvolvimento do MES SAMARCO, buscou-se adotar um modelo genérico que pudesse contemplar diferentes processos em batelada, não apenas o mineroduto e suas particularidades. Isto visa possibilitar alterações futuras, como por exemplo, a implementação do MES para outras áreas que também operem em bateladas, ou alterações na configuração do mineroduto.

Foi criada uma estrutura flexível para definir uma batelada, que foi denominada Evento. Dentro do sistema MES, podem ser cadastrados diferentes Tipos de Evento, sendo que cada tipo tem sua própria estrutura de Fases configurada pelo usuário. No caso do Mineroduto, o Tipo de Evento correspondente terá as três fases anteriormente mencionadas (EB1, EB2 e Ubu). Um processo em batelada convencional seria representado por um Tipo de Evento com apenas uma fase. Um Tipo de Evento é associado a uma determinada área do processo.



Dados do Evento

Nome: 01-Mineroduto1 Ger-Ubu

Área: Mineroduto PPPI\_ID: 25

Descrição: Mineroduto 1 - Germano/Ubu

Fase	Descrição
EB01	Estação de Bombas 01
EB02	Estação de Bombas 02
UBU	Terminal Ponta Ubu

Botões: Salvar, Fechar

Figura 4. Definição de Tipos de Evento.

Durante a operação, a cada nova batelada o usuário do MES deve abrir um novo Evento do tipo correspondente. Cada Evento (batelada) tem suas datas de início e término (para cada fase e para o Evento como um todo) e está associado a uma OP.

**Dados do Evento**

Ano: 2005 ID: 28 Tipo de Evento: 01-Mineroduto1 Ger-Ubu Área: Mineroduto

Ordem de Processo: 1100000864 Produto:

Data Início OP: 15/01/2005 01:01 Data Final OP: 31/01/2005 23:59

Data/Hora Inicial: 28/01/2005 00:00 Data/Hora Final: 31/01/2005 13:30

**Fases do Evento**

	Fase	Descrição	Início	Término
1	EB01	Estação de Bombas 01	28/01/2005 00:00	28/01/2005 23:59
2	EB02	Estação de Bombas 02	29/01/2005 00:36	30/01/2005 00:37
3	UBU	Terminal Ponta Ubu	30/01/2005 14:28	31/01/2005 13:30

Fechar Evento Visualizar Editar Salvar Fechar

**Figura 5.** Diálogo de Abertura/Edição de Evento.

A associação entre o apontamento, evento e fase é estabelecida no cadastro de itens de receita de processo. Este cadastro já era usado anteriormente para estabelecer a periodicidade do apontamento, utilizada no *scheduling*, tendo sido apenas acrescentados os itens referentes ao Evento.

**Definição da Frequência de Apontamento**

Fase Processo: 240020020 Fase Processo: EB11

Item Controle: 607 Item Controle: KQT

Tipo Processo: AB Área Resp: EB2

Temporizado:

A cada: 1 H Data-Hora Base: 01/01/2004 01:00

Toda: 0  Substituir 00:00 por 23:59

Por Eventos:

Tipo de Evento: 01-Mineroduto1 Ger-Ubu

Fase do Evento: EB02

Tempo para primeiro apontamento: 01:00

Opções: Considera 00 min

OK Cancelar

**Figura 6.** Cadastro da Frequência de Apontamento.

No exemplo acima, o apontamento será programado para a fase EB02, com intervalo de 1 h, e iniciando-se na primeira hora cheia após o início da fase. São configuráveis no tempo até o primeiro apontamento e o tipo de arredondamento a ser usado: considera o minuto em que a fase se iniciou, se arredonda para os próximos 30 min, ou para a próxima hora cheia.

Para o Mineroduto, foram implementadas funcionalidades específicas, com o objetivo de substituir e complementar os recursos anteriormente disponíveis no sistema legado. Estas funcionalidades têm o objetivo de prever a cada instante a posição de cada *batch* e interfaces de água, e estimar o horário de chegada ao final de cada seção do mineroduto.

Para realizar estes cálculos, foram incorporados ao MES os algoritmos já utilizados pelo sistema legado. A SAMARCO utiliza dois métodos de cálculo diferentes (denominados KQT e Volume) para as previsões de posição e tempos de chegada dos *batches*. No sistema MES, ambos os métodos foram implementados, sendo possível realizar comparações imediatas entre os resultados de ambos, o que não era possível no sistema legado.

**Cálculo de Posições (MES\_VIEW\_PIPELINEPOSITIONS)**

ID do Mineroduto: 01-Mineroduto1 Ger-Ubu      Data: 21/12/2004 13:40       Obter KQT do PIMS       Exibir dados detalhados     

	Batch	Hora de partida	Seção	km (KQT)	km (Vol)	Fluido	KQT acumulado	Prev. chegada (KQT)	Prev. chegada (Vol)
1	2004-350	19/12/2004 23:00	2	396	400	Polpa	1248282	21/12/2004 12:54	21/12/2004 12:12
2	2004-351	20/12/2004 00:30	2	389.07	395.95	Polpa	1198011	21/12/2004 14:50	21/12/2004 14:18
3	2004-352	21/12/2004 00:30	2	229.04	231.12	Polpa	394670	22/12/2004 21:44	22/12/2004 17:04
4	2004-352	21/12/2004 04:47	2	203.05	204.67	Água	258203	23/12/2004 02:59	23/12/2004 14:30
5	2004-352	21/12/2004 07:55	2	186.25	187.5	Polpa	169620	23/12/2004 06:24	24/12/2004 22:51
6	2004-352	20/12/2004 09:00	1	154	154.63	Polpa	775185	21/12/2004 12:45	21/12/2004 11:35
7	2004-353	21/12/2004 00:00	1	60.34	63.94	Polpa	292075	22/12/2004 03:45	22/12/2004 10:17
8	2004-353	21/12/2004 03:17	1	38.57	42.23	Água	186726	22/12/2004 07:02	23/12/2004 05:37
9	2004-353	21/12/2004 07:42	1	35.1	38.77	Polpa	169931	22/12/2004 07:33	23/12/2004 10:56

Figura 7. Cálculo das posições dos *batches* e interfaces de água.

**Cálculo de Horários (MES\_VIEW\_PIPELINETIMES)**

Identificação do Batch  
 ID do Mineroduto: 01-Mineroduto1 Ger-Ubu     

Horário do cálculo: 17/02/2005 10:48

Opções de Cálculo  
 ID do Batch: 46 - 2005       Obter KQT on-line do PIMS       KQT       Volume     

Período do Batch  
 Início: 15/2/2005 00:00      Final: 18/2/2005 21:23      Status: Ativo

Horários

	Previsão de Chegada	Início	Final
EB1		15/2/2005 00:00	15/2/2005 23:59
EB2		16/2/2005 01:16	17/2/2005 01:30
Ubu		17/2/2005 16:33	18/2/2005 21:23

Figura 8. Cálculo dos horários referentes a um *batch*

Adicionalmente, foram implementados gráficos de acompanhamento da posição dos *batches*, de duas formas: identificando separadamente a distância percorrida por cada *batch*, e um gráfico da topografia do mineroduto, onde são mostradas a posição dos *batches* e interfaces de água ao longo do relevo atravessado pelo mineroduto. Através deste gráfico pode-se identificar se uma interface de água está subindo ou descendo, uma informação de interesse para o processo que também não estava disponível anteriormente.

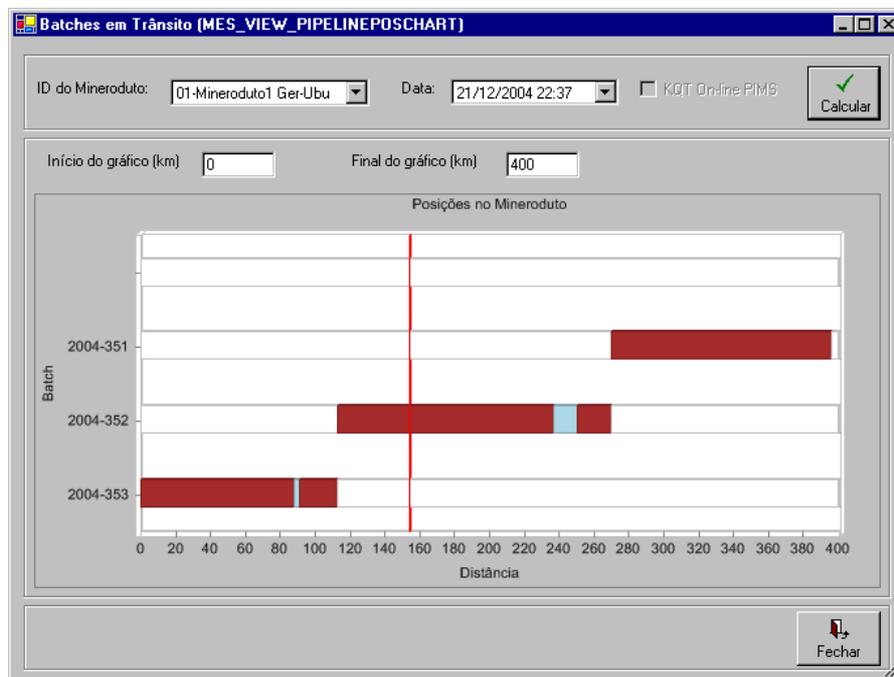


Figura 9. Gráfico de *batches* em trânsito

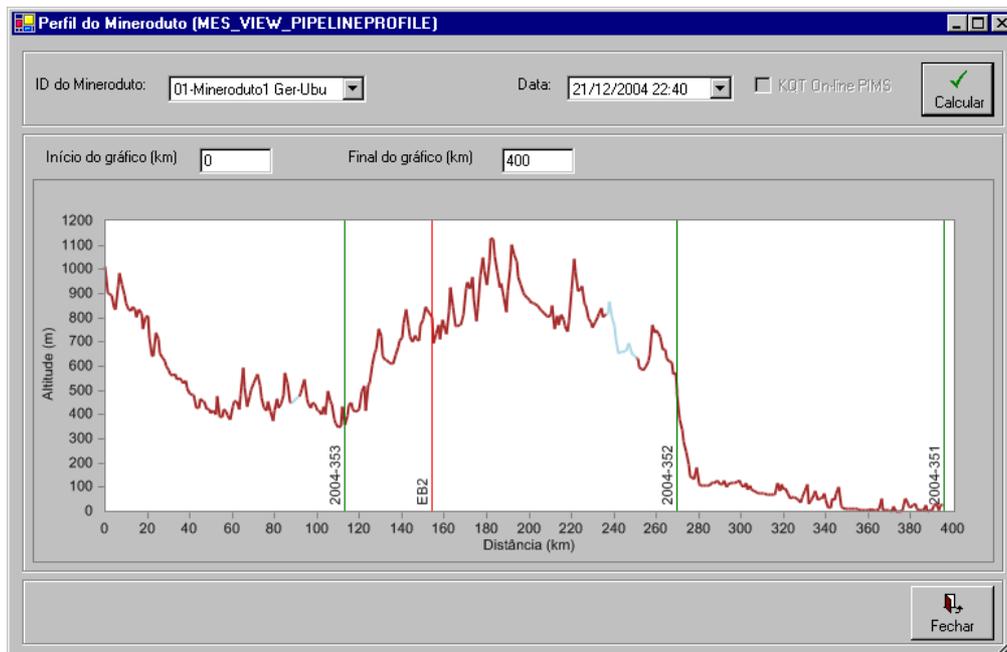


Figura 10. Gráfico de perfil topográfico do mineroduto.

## **CONCLUSÃO**

O modelo apresentado foi implementado com sucesso ao MES SAMARCO substituindo com eficiência o sistema legado e oferecendo novas funcionalidades que não estavam disponíveis nesse sistema. Esta implementação foi um passo adicional para a consolidação da camada MES na estrutura de sistemas de informação da SAMARCO, integrando em um só sistema as informações do processo produtivo considerando Beneficiamento, transporte de minério de ferro e Pelotização.

Foi também comprovada a flexibilidade do Framework MES implementada, que foi capaz de incorporar estas novas funcionalidades sem a necessidade de uma reestruturação mais profunda do sistema.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 RODRIGUEZ, M.T.D., COSTA, L.B.L, PEREIRA, C.S., AMARAL, C.C., SILVA, A.M. MES-Solução para Integração entre Sistemas Chão-de-Fábrica e Corporativos. In: VIII Seminário de Automação de Processos, 06 a 08 de outubro de 2004, Belo Horizonte – MG.

# MANAGEMENT OF TRANSPORT BY PIPELINE ON A MES APPLICATION

*Alécia Mol e Silva  
Gerci Lisboa  
Marco Tulio Duarte Rodriguez  
Rafael Silva Netto*

## **Abstract**

The transport of fluids and solid suspensions through pipelines is an operation that features high levels of economy and safety, in comparison with other transport modalities. Most of the pipeline's characteristics allow it to be monitored as a typical industrial process operation. This work presents the modeling of the processes related to SAMARCO Mineração iron ore pipeline and its integration to the existent MES layer. A modeling of the pipeline transport was developed, to be applied in processes involving one or more fluids, having or not intermediate pumping stations. The development aimed the monitoring of solid suspension transport, but may be applied to any pipeline transport with similar characteristics. It is presented a process model that conjugates the transport batches' oddities with the other structures of the MES, and also calculation strategies and visualization modules used on the pipeline transport management. The calculation modules are able to estimate the position time of arrival of each batch in the line. The visualization features present graphically the batches' positions, and also a topographic diagram where the fluids' movement can be followed along the terrain elevation on the pipeline's path.

**Key-words:** MES; Pipeline; Batch.