

# SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSPORTE DE GUSA LÍQUIDO DA COMPANHIA SIDERÚRGICA DE TUBARÃO – FASE DE EXPANSÃO <sup>1</sup>

*Bruno Miessa de Barros <sup>2</sup>  
Juliana de Souza Lima Sommer <sup>3</sup>  
José Almeida Simões <sup>4</sup>*

## **Resumo**

Este projeto teve como objetivo desenvolver um modelo de simulação para os processos envolvidos no transporte de gusa líquido entre os Altos-fornos e a descarga na Aciaria. A simulação contemplou as áreas dos Altos-fornos, a Aciaria, as linhas férreas e os processos intermediários, tais como manutenções, dessulfuração, aquecimento, máquina de moldar gusa e limpeza, além dos recursos de transporte (CT's e locomotivas) que movimentam o gusa. Desta forma, permitiu avaliar parâmetros operacionais tais como: oferta de gusa dos altos-fornos no ritmo de produção para 7,5 Mt/a de produto acabado, a frota de carros-torpedo (CT) e de locomotivas, as respectivas taxas de ocupação, além de procedimentos operacionais nos poços de basculamento de gusa. No modelo desenvolvido, parâmetros (capacidades, velocidades, tempos de processos, intervalos entre ocorrências etc) podem ser alterados através de planilhas, construindo cenários para comparação e apoio a tomada de decisão. Estes cenários variam a quantidade de Altos-Fornos, de CT's e locomotivas, as regras de descarga na Aciaria e de carregamento dos CT's. Com os resultados, a CST pôde avaliar o desempenho de seu sistema de transporte de gusa líquido em situações semelhantes as atuais e também para situações futuras. Foi possível apontar, também, possíveis "gargalos" do processo, através dos resultados de produção dos Altos-fornos, vazão de descarga na Aciaria, quantidade de corridas realizadas, taxas de utilização dos recursos e bloqueios de fluxo em cada etapa do processo. Tais cenários permitiram avaliar melhorias a serem implantadas, além de subsidiar a decisão pelo aumento da frota de carros-torpedo e locomotivas nesse sistema.

**Palavras-chave:** Transporte; Gusa; Simulação; Modelo.

<sup>1</sup> *Contribuição Técnica ao IX Seminário de Automação de Processos, 05 a 07 de outubro de 2005, Curitiba- PR.*

<sup>2</sup> *Consultor da Belge Engenharia, São Paulo-SP..*

<sup>3</sup> *Analista Industrial da Divisão de Engenharia de Produção da Companhia Siderúrgica de Tubarão, Vitória - ES.*

<sup>4</sup> *Analista Industrial da Divisão de Engenharia de Produção da Companhia Siderúrgica de Tubarão, Vitória - ES.*

## 1 INTRODUÇÃO

A Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST) encontra-se em fase de expansão de sua produção, passando dos atuais 5,0 milhões de toneladas por ano para o patamar de 7,5 milhões de toneladas de produtos laminados planos de aço por ano. Como consequência deste crescimento (de cerca de 50%), a realização de estudos diversos sobre os processos do sistema produtivo, a fim de se constatar os itens de investimento em cada setor, teve de ser incrementada.

O presente projeto teve como objetivo desenvolver um modelo de simulação para os processos envolvidos no transporte de gusa líquido entre os Altos-fornos e a descarga na Aciaria. A simulação contemplou as áreas dos Altos-fornos, a Aciaria, as linhas férreas internas e os processos intermediários, tais como manutenções, dessulfuração, aquecimento, máquina de moldar gusa e limpeza, além dos recursos de transporte (carros-torpedo e locomotivas). Desta forma, foi possível avaliar parâmetros operacionais tais como: oferta de gusa dos altos-fornos no ritmo de produção para 7,5 Mt/a, a frota de carros-torpedo e de locomotivas, as respectivas taxas de ocupação, além de procedimentos operacionais nos poços de basculamento de gusa.

O gusa líquido, que sai dos Alto-Fornos em direção à Aciaria, é transportado por Carros-Torpedo (CT's) que são tracionados por locomotivas, utilizando-se a malha ferroviária interna da planta. A operação atual, de 5 milhões de toneladas por ano, funciona sem provocar "gargalos" nesta movimentação, sendo que o número de CT's e de locomotivas pode ser considerado suficiente. Estudos preliminares previam a necessidade de compra de uma quantidade desses recursos visando o aumento da capacidade de produção, porém com o detalhamento utilizando o modelo de simulação, foi possível verificar a necessidade ideal de recursos para cada situação implementada.

## 2 METODOLOGIA

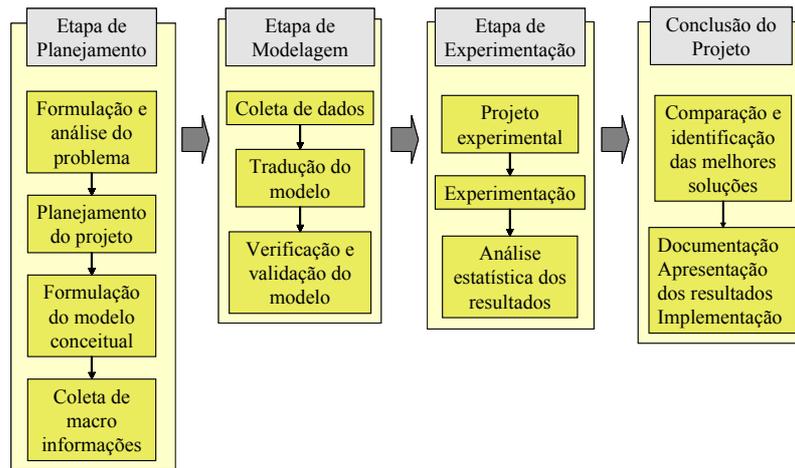
A simulação pode ser compreendida como a representação ou reprodução do funcionamento de um processo, fenômeno ou sistema relativamente complexo, por meio de outro, geralmente para fins científicos, de observação, análise e predição. Outra definição que pode ser dada é de experiência ou ensaio realizado com o auxílio de modelos, relativos a processos concretos que não podem passar por experimentação direta. Simular, segundo Bateman,<sup>(1)</sup> é fazer parecer real aquilo que não é, ou seja, reproduzir, da forma mais aproximada da realidade, certos aspectos de uma situação ou processo.

Como se observa, a simulação é um processo mais amplo, compreendendo, não somente a construção do modelo mas, também todo o método experimental que se segue, buscando:

- a) descrever o comportamento do sistema;
- b) construir teorias e hipóteses considerando observações efetuadas;
- c) usar o modelo para prever o comportamento futuro, isto é, os efeitos produzidos por alterações no sistema ou nos métodos empregados em sua operação.

O modelo de simulação aqui apresentado, foi desenvolvido em conjunto, entre a Belge Engenharia e a Divisão de Engenharia de Produção da CST, utilizando a tecnologia de simulação da ProModel, que permite a modelagem de sistemas de alta complexidade e a integração com o software Microsoft Excel, permitindo a alteração de parâmetros e a confecção de cenários de simulação.

A metodologia utilizada na construção do modelo de simulação, segundo Freitas,<sup>(2)</sup> é apresentada na Figura 1 abaixo. Esta metodologia é interativa e cada atividade é definida e algumas vezes redefinida com a interação, permite um detalhamento do estudo seguindo os passos básicos .



**Figura 1.** Passos na Formulação de um Estudo de Simulação.

O planejamento inicial (definição de objetivos, levantamento de restrições e preparação das especificações da simulação) e a definição do sistema foram realizados pela CST no início do contato com a Belge. Chegou-se, desta forma, a conclusões quanto aos processos mais significativos (que precisariam de mais detalhamento) e quanto às simplificações que deveriam ser realizadas. Os diversos processos significativos do sistema de transporte de gusa foram revisados e detalhados para que uma resposta mais próxima à realidade pudesse ser obtida.

### 3 O MODELO

A modelagem realizada pela Belge focou na identificação dos principais parâmetros operacionais elencados pela CST, tais como: suportar a oferta de gusa dos altos-fornos no ritmo nominal de produção; Frota de carros-torpedo; Frota de locomotivas e a respectiva taxa de ocupação e as regras operacionais nos poços de basculamento. Os esforços foram feitos para que o modelo apresentasse, primeiramente, um comportamento verossímil quando simulado com as configurações atuais (dois Alto-Fornos, número de recursos e regras da Aciaria atuais). Quando satisfeita essa validação do modelo, um cenário futuro foi construído (agora com três Altos-Fornos e a possibilidade de mais recursos e diferentes regras na Aciaria). A abrangência analítica do modelo permite:

- Alterar os parâmetros na planilha de entrada de dados, construindo cenários para comparação e apoio a tomada de decisão;

- Identificar possíveis “gargalos” do sistema através de variáveis de vazão dos Altos-Fornos e vazão de descarga na Aciaria;
- Identificar a carga de trabalho e velocidade de trajeto das locomotivas;
- Verificar trânsito intenso através da frequência de passagens nos nós ferroviários do layout.

A execução dos experimentos pode ser feita a partir da construção de cenários, cujas alterações são realizadas através de uma planilha eletrônica associada ao modelo de simulação, modificando por exemplo, os seguintes parâmetros: Liga/Desliga dos Altos-fornos, Vazão dos Altos-fornos, Tempo de espera de vazamento entre canais de corrida, Quantidade de CARROS-TORPEDO (CT) no sistema, Capacidade dos Carros-torpedo, Carga de Decisão para liberação nos Altos-fornos, Quantidade de LOCOMOTIVAS no sistema, Número de ciclos de limpeza dos carros-torpedo, Número de Corridas previsto total, Número de Corridas de KR (equipamento de dessulfuração), Regra de Descarga na Aciaria, Capacidade média da Painela de Gusa, Intervalo entre Chegada de Painelas, Tempo de troca do *Impeller* e o Intervalo de Parada da Aciaria e Tempo de Parada

Desta forma, o funcionamento básico do modelo consiste na integração entre a planilha eletrônica, o modelo desenvolvido no software Promodel e a análise dos dados de saída e gráficos gerados. A Figura 2 abaixo, apresenta a seqüência descrita. O horizonte de simulação (tempo total que a simulação engloba) é de um ano.

### Tabelas de Parâmetros de Entrada de Dados (Excel)

Código	Tipo de Manutenção	Não Simultâneo	Simultâneo	Tempo de Parada (h)
1	Inspeção & Limpeza & Frio (h)	500000.00	50000.00	144.00
2	Reparo de Telo (h)	500000.00	20000.00	150.00
3	Reparo de Lanta de Escova (h)	500000.00	20000.00	276.00
4	Reparo de Rolamento Torpedo (h)	500000.00	40000.00	576.00
5	Reparo de Rolamento Remanejar (h)	500000.00	10000.00	624.00
6	Eletrônica Simples & Topografia (horas) (h)	240.00		
7	Eletrônica Simples & Cálculo de Carga (horas) (h)	240.00		
8	Eletrônica Simples & Geral Carga (horas) (h)	240.00		
9	Manuf. A. Manera (h)	240.00		
10	Manuf. B. Manera (h)	240.00		

### Modelo de Simulação

### Resultados – Tabelas e Gráficos de Dados de Saída

Figura 2. Seqüência de Execução do Modelo.

### 3.1 Fluxo do Processo

O fluxo do processo de transporte de gusa é retratado na descrição da Figura 3 abaixo, utilizando os símbolos padronizados do ambiente da Engenharia de Métodos.

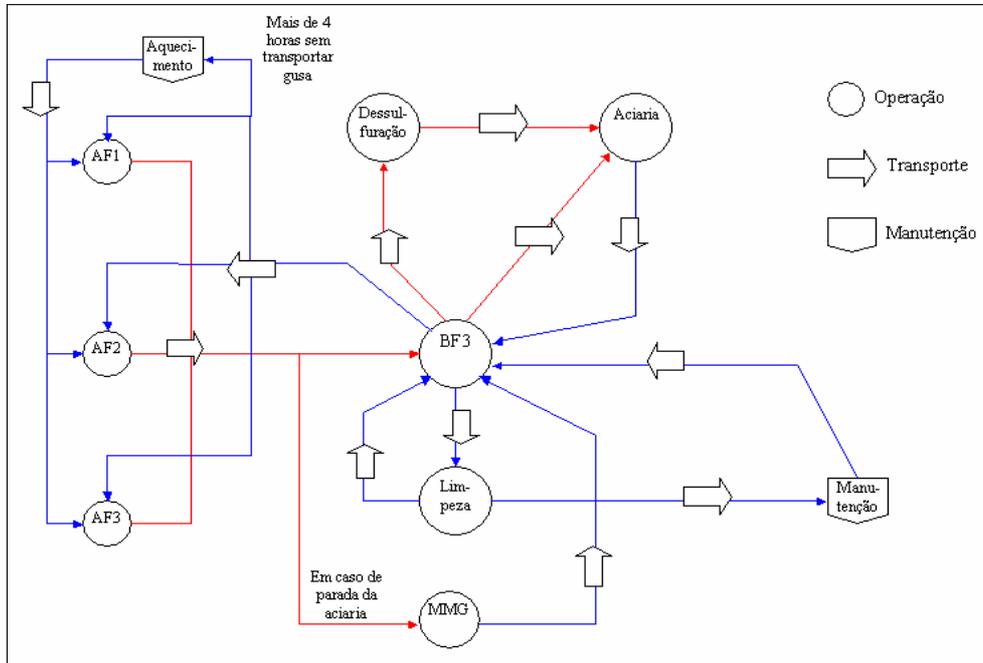


Figura 3. Detalhe parcial da planilha de parâmetros de entrada.

### 3.2 Layout do Modelo

A Figura 4 apresenta o modelo construído sobre um layout em CAD da região entre os Alto-Fornos e a Aciaria. Através da introdução da escala e das velocidades e acelerações das locomotivas, o simulador pode calcular todos os tempos de movimentação necessários.

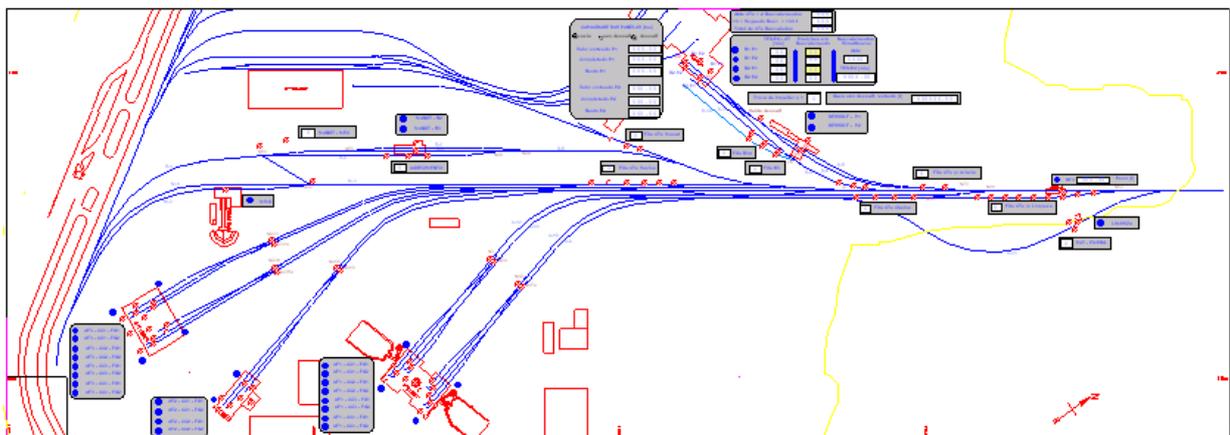


Figura 4. Layout simulado.

### 3.3 Levantamento e Tratamento dos Dados

O levantamento dos dados é um dos passos principais num projeto de simulação. Desta forma, esta etapa buscou identificar os tipos de informações que seriam essenciais à execução do modelo separadamente por região. A listagem abaixo apresenta as informações que foram coletadas por área:

a) ALTOS-FORNOS: Tempo de espera de vazamento entre canais de corrida; Programação de paradas dos canais em manutenção; Regra dos carros-torpedos para dreno de canal de corrida; Seqüência de programação dos canais para a próxima corrida; Estabelecer a aleatoriedade das corridas dos altos-fornos: Análise estatística dos valores de volume de corrida para os Altos-fornos 1, 2 e extrapolação para o AF-3; Amostra com histórico dos dados de corridas vazadas nos AF's 1 e 2 (Figura 5).

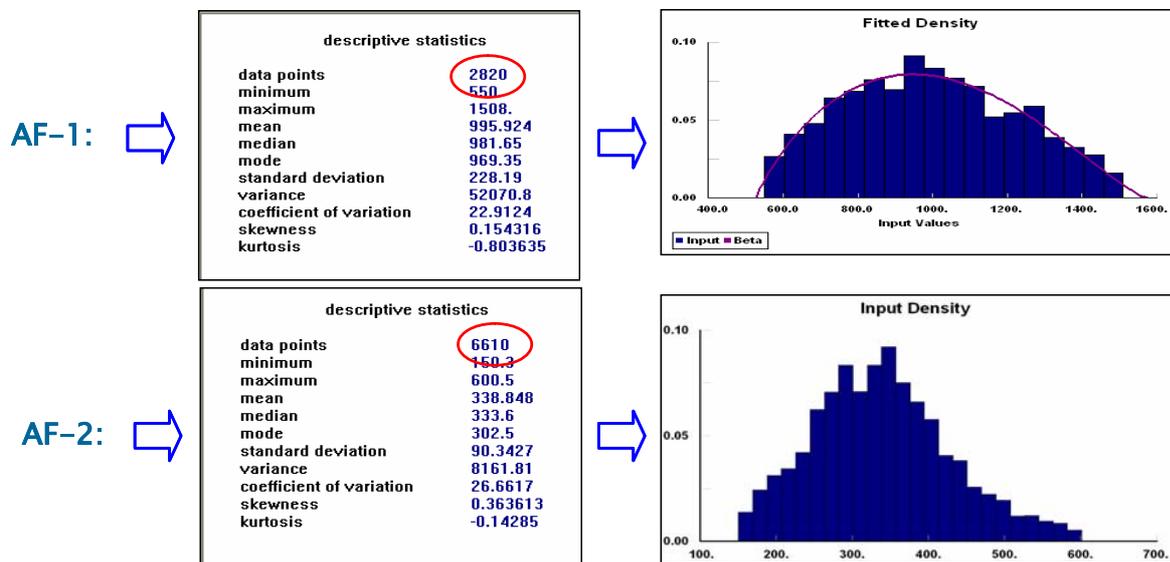


Figura 5. Curvas Históricas das Corridas dos AF's 1 e 2.

Um item interessante nessa fase foi definir como seria a distribuição das corridas do AF-3, visto que ele ainda não foi construído, conseqüentemente não possuindo dados históricos para composição de uma curva de distribuição estatística. O cálculo da vazão para o Alto-forno 3 foi utilizada através de extrapolação em função do alto-forno 1. Para tanto, foi usada seguinte relação:

$$\text{Fator de redução AF-3} = (\text{produção AF-3 em t/dia}) / (\text{produção AF-1 em t/dia}).$$

b) CARROS-TORPEDOS:

- Capacidade de transporte; Manutenções periódicas por tempo e por tonelagem transportada; Critérios de decisão para aquecimento do carro-torpedo; Critérios de liberação do Carro-torpedo na Aciaria; Regras de enchimento dos carros-torpedos nos altos-fornos.

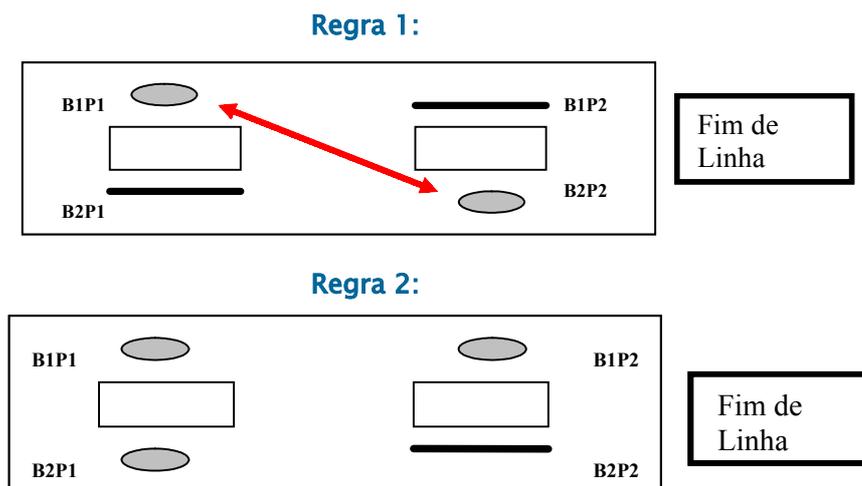
### c) PROCESSOS INTERMEDIÁRIOS ENTRE OS ALTOS-FORNOS E A ACIARIA:

- Pesagem na Balança Ferroviária nº 3 (BF-3); Dessulfuração Tradicional no carro-torpedo (quantidade de carros dessulfurados, frequência ao longo do dia, regras para parada do KR); Ciclos de Limpeza na BF-3.

### d) ACIARIA:

- Tempos de processo (chegada de painéis, basculamento, movimentação e liberação dos carros-torpedos); Posição de filas na entrada da Aciaria; Definição de prioridades de entrada e saída da Aciaria; Critérios de envio dos carros-torpedos para a máquina de moldar gusa; Estabelecer a aleatoriedade da carga de gusa na panela;

Uma informação bastante discutida foi qual a regra de basculamento, independente da condição operacional, que seria adotada no modelo. Ficou acertado que haveria experimentação com duas regras de posicionamento dos CT's na região do basculamento. Conforme mostra a Figura 6, o modelo permite testar cenários escolhendo qual a regra de posicionamento estará ativada, verificando assim a *performance* do sistema como um todo.



**Figura 6.** Regras de Posicionamento de CT's

### e) MALHA FERROVIÁRIA E LOCOMOTIVA:

- Análise do layout da malha ferroviária, distâncias entre os trajetos, inclusive os aparelhos de mudança de via (AMV) e os tempos de trajeto; Construção do layout a ser considerado no estudo; Não adoção de locomotivas dedicadas por área de atuação; Posições de filas durante o trajeto (fila da balança, fila na limpeza, fila de carros vazios para os altos-fornos); Velocidades das locomotivas nas condições: tracionando e escoteira.

## 4 RESULTADOS

Durante a execução, a análise da simulação pode ser observada através dos diversos indicadores de desempenho (Figuras 7 e 8).

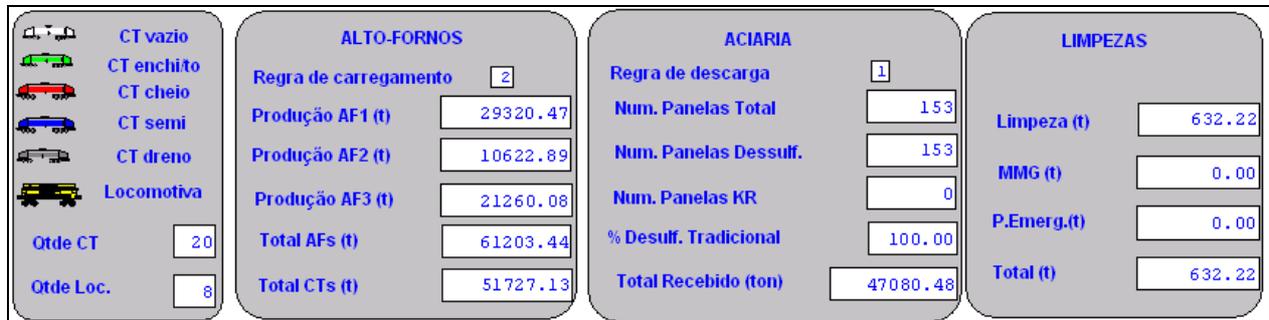


Figura 7. Indicadores de desempenho Gerais.

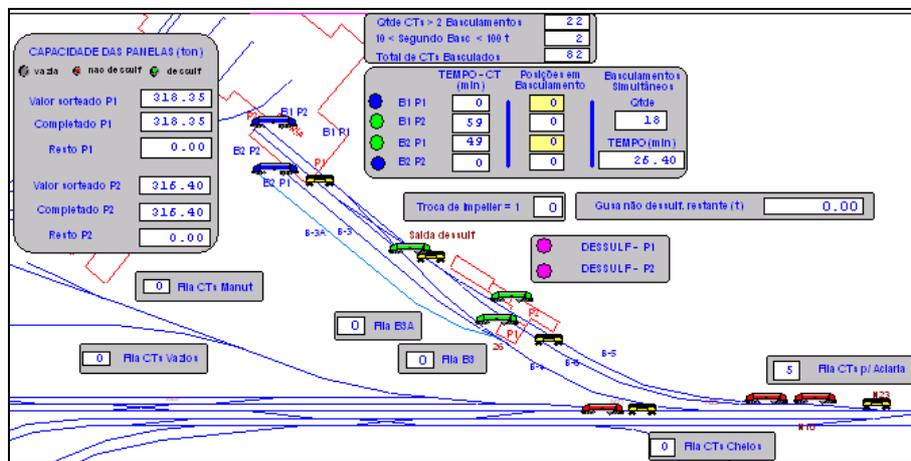


Figura 8. Indicadores de desempenho na Aciaria.

Os resultados da simulação provêm de indicadores de desempenho do modelo e de dados exportados para a planilha eletrônica, após o término da simulação. Gráficos são gerados referentes às variáveis de decisão utilizadas no modelo (Figura 9).

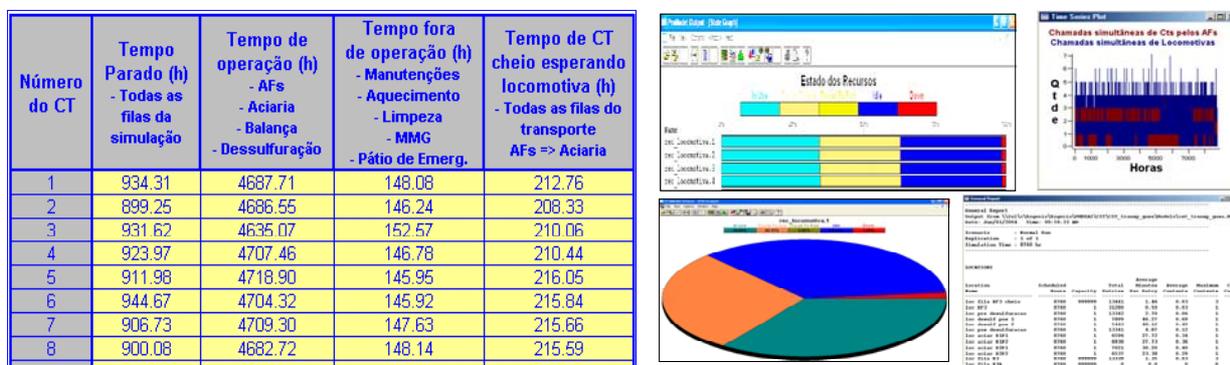


Figura 9. Exemplos de Resultados do Modelo.

## 5 CONCLUSÃO

O Modelo desenvolvido apontou que a vazão de descarga na Aciaria mostra ser gargalo para situação de funcionamento do AF-3 para alguns cenários específicos testados.

Além disso, um grande número de CT's fica preso nas posições de basculamento, aguardando panelas para descarregar pequenas quantidades de gusa (menores em torno de 50 t), que gastam praticamente o mesmo tempo de basculamento para um CT cheio.

Também foi observado que existem também panelas que aguardam CT's para serem preenchidas com pequenas quantidades de gusa e que acabam gerando ao longo do tempo um número maior de basculamentos e uma diminuição da quantidade de panelas que podem ser preenchidas, limitando a vazão de descarga na Aciaria.

Um outro ponto importante foi à identificação da quantidade de recursos no sistema para a situação futura, criando embasamento para as decisões de compra dos mesmos (CT's e locomotivas).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 BATEMAN, R. E. **System improvement using simulation**. Utah: Promodel Corporation, 1997.
- 2 FREITAS, P. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas**. [S.l.]: Visual Books, 2001.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 SHANNON, R. E. **Systems simulation: the art and science**. [S.l.]: Prentice-Hall, 1975.
- 2 GORDON, G. **System simulation**. 2. ed. [S.l.]: Prentice-Hall, 1978.
- 3 LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**. 3. ed. New York: MacGraw-Hill, 2000.

# **SIMULATION OF THE PIG IRON TRANSPORTATION SYSTEM IN COMPANHIA SIDERURGICA DE TUBARÃO**

## **ABSTRACT**

The objective of this project is to develop a simulation model for the processes involving pig iron transportation between the blast furnaces and its discharge in the steelmaking plant. The simulation contemplated the blast furnaces, the steelmaking plant, the internal railways and the intermediate processes, besides transport resources (torpedo-car (TC) and locomotives) that carry the pig iron. Thus, it allowed the evaluation of operational parameters such as: blast furnaces offer of pig iron in the 7.5 Mt/y production rhythm, torpedo-car fleet (TC) and locomotives, the respective occupation rates, besides other operational procedures. In the developed model the parameters (capacities, speeds, times of processes, time between arrivals, etc) can be altered through spreadsheets, building scenarios for comparison and decision making support. In these scenarios the amount of blast furnaces, TC's and locomotives, discharge rules in steelmaking plant and shipment of TC's may vary. Through the results, CST could evaluate the pig iron transport system in situations similar to current ones and also to future situations. It was also possible to verify potential bottle necks in the process through the results of blast furnaces production, discharge flow in steelmaking plant, amount of accomplished runs, rates of resources use and flow blocks in each stage of the process. Such scenarios allowed the evaluation of the improvements to be implemented, and gave the support to the decision of increasing the number of torpedo-cars and locomotives in the system.

Keywords: transportation, pig iron, simulation, model