

# ESTRATÉGIA DE OPERAÇÃO DO PÁTIO DE PLACAS DO LTQ NA ARCELORMITTAL TUBARÃO <sup>1</sup>

Juliana de Souza Lima <sup>2</sup>,  
José Almeida Simões <sup>3</sup>,  
Ângelo Campos Moreira <sup>4</sup>,  
Luiz Roberto Zorzanelli <sup>5</sup>,  
Rotian Sergio Fontana Barros <sup>6</sup>,  
Clovis Perin Filho <sup>7</sup>,  
Volnei dos Santos <sup>8</sup>,  
Gustavo Nucci Franco <sup>9</sup>

## Resumo

O aumento de capacidade produtiva de bobinas da ArcelorMittal Tubarão é parte da estratégia de investimentos da Arcelor Brasil. Passando sua capacidade de produção de bobinas laminadas para 4 milhões de toneladas por ano, investimentos no Laminador de Tiras à Quente visam garantir o alcance de suas metas. Com o foco na área de entrada do laminador, o Pátio de Placas do LTQ, este trabalho apresenta a experiência da ArcelorMittal Tubarão na utilização de modelos de Simulação em Computador para responder a suas principais questões. Com isso, foi possível prever investimentos que, embora de uma importância não tão significativa quanto os realizados nos processos produtivos, são fundamentais para o sucesso de todo plano de investimentos.

**Palavras-chave:** Aço plano; Laminação a quente; Pátio de placas; Simulação em computador.

## STRATEGY FOR THE LTQ'S SLAB YARD OPERATION IN ARCELORMITTAL TUBARÃO

### Abstract

Increasing the productivity capacity for ArcelorMittal Tubarão is part of an investing strategy of Arcelor Brasil. Its production capacity change to 4 million tons per year is based on Hot Strip Mill Plant investments, aiming to the warrant of theses goals achievement. This paper presents ArcelorMittal Tubarão's experience on the utilization of Computer Simulation based models to answer to its main questions, focusing on the LTQ's Slab Yard. Thus, it was possible to preview investments that, although not as important as the productive ones, are fundamental to the success of the whole investment plan.

**Key words:** Flat steel; Steel making plant; Hot strip mill; Slab yard; Computer simulation.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 44º Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 16 a 19 de outubro de 2007, Campos do Jordão – SP, Brasil.

<sup>2</sup> [juliana.lima@arcelor.com.br](mailto:juliana.lima@arcelor.com.br) – Arcelor Brasil

<sup>3</sup> Arcelor Brasil, [T99336@cst.com.br](mailto:T99336@cst.com.br)

<sup>4</sup> Arcelor Brasil, [angelo.moreira@arcelor.com.br](mailto:angelo.moreira@arcelor.com.br)

<sup>5</sup> Arcelor Brasil, [luiz.zorzanelli@arcelor.com.br](mailto:luiz.zorzanelli@arcelor.com.br)

<sup>6</sup> Arcelor Brasil, [rotian.barros@arcelor.com.br](mailto:rotian.barros@arcelor.com.br)

<sup>7</sup> Unisoma Matemática para Produtividade, [clovis@unisoma.com.br](mailto:clovis@unisoma.com.br)

<sup>8</sup> Unisoma Matemática para Produtividade, [volnei@unisoma.com.br](mailto:volnei@unisoma.com.br)

<sup>9</sup> Franco Arbeit Engenharia, [nfranco@francoarbeit.com.br](mailto:nfranco@francoarbeit.com.br)

## **INTRODUÇÃO**

Com base num Planejamento Estratégico arrojado, a Arcelor Brasil tem investido no aumento de capacidade produtiva de suas unidades. Na ArcelorMittal Tubarão, empresa com foco na ampliação da liderança como fornecedor preferencial de semi-acabados para o mercado mundial e na busca da liderança como fornecedor preferencial de laminados planos para o mercado regional, as perspectivas de crescimento são de 5 milhões para 7,5 milhões de toneladas por ano. Nesse contexto, seu plano de investimentos tem se mostrado uma ferramenta fundamental de garantia de sucesso no alcance de suas metas.

Tal estratégia atende ao objetivo principal da empresa de assegurar um retorno crescente e sustentável ao acionista, ao mesmo tempo em que se materializa na conquista e manutenção de uma posição de liderança amparada em qualidade e custos. O enobrecimento contínuo do mix de produtos, a custos altamente competitivos, dentro de uma visão de longo prazo, assegura que a ArcelorMittal Tubarão tenha a preferência dos clientes pelos ganhos de competitividade que proporciona.

Igualmente relevante, dentro da estratégia de negócio para a ArcelorMittal Tubarão, é a permanente atualização tecnológica da usina, a cuidadosa manutenção das unidades e equipamentos e, ainda, a disponibilidade de espaço para expansão em sua área industrial, a custos inferiores aos de qualquer novo empreendimento similar.

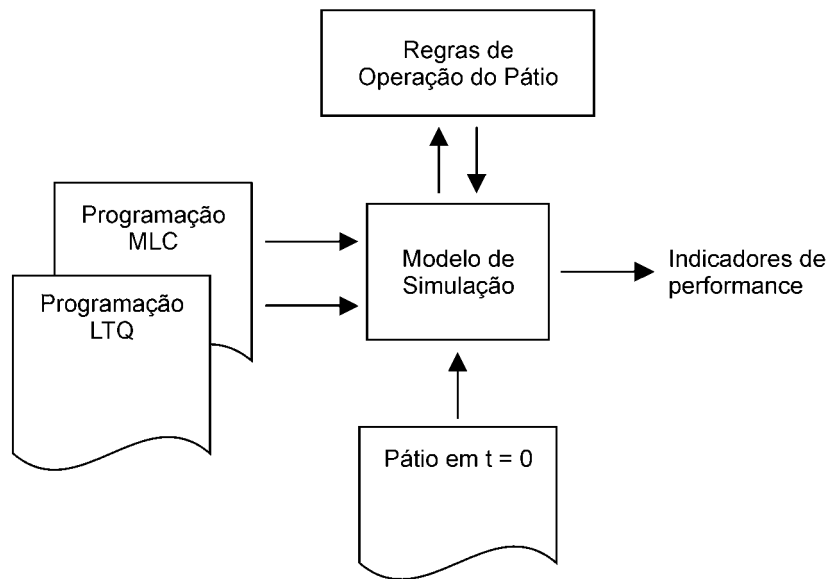
Nesse contexto, este trabalho foca os investimentos realizados para o aumento de sua capacidade para produção de bobinas laminadas, devendo chegar a 4 milhões de toneladas por ano em 2009. Com uma especial atenção nos processos produtivos, tanto a Aciaria quanto a Laminação vem recebendo aportes significativos. O Pátio de Placas do Laminador de Tiras à Quente chama a atenção por seu caráter restritivo: tornando-se um potencial gargalo, é uma área que pode comprometer todos os investimentos realizados.

Com base na experiência de um estudo que tratou as principais questões desse pátio de placas e buscou soluções práticas para garantir as metas estratégicas da Arcelor Brasil para a ArcelorMittal Tubarão, este trabalho trata da utilização da Simulação em Computador como ferramenta de apoio à tomada de decisões. Este artigo descreve o pátio de placas, com suas políticas e recursos próprios. Em seguida, descreve os modelos computacionais desenvolvidos, exemplificando sua utilidade através de duas das análises realizadas.

## **METODOLOGIA**

Como os critérios exigidos pela ArcelorMittal Tubarão em seus projetos demandam tecnologia e esforços que garantam respostas confiáveis a suas questões, foi adotada uma metodologia baseada no teste de alternativas por meio da Simulação em Computador<sup>(1)</sup> (Figura 1).

O elevado nível de incertezas contidas em alguns parâmetros de entrada do sistema analisado, sobretudo pelo fato de que situações futuras estarão sendo representadas, variáveis aleatórias foram utilizadas para descrever esse comportamento estocástico. O tratamento de problemas dessa natureza faz com que um elemento seja fundamental no problema de tomada de decisão: a análise de riscos. Quando uma decisão é tomada, há uma determinada probabilidade de que esta não produza o resultado esperado, o que implica numa perda em potencial.



**Figura 1** – Metodologia baseada na Simulação em Computador

E é justamente com esse tipo de problema que a Simulação em Computador é capaz de lidar. Através de observações das variáveis de entrada mais significativas, determinando as funções aleatórias que descrevam seu comportamento, experimentos são realizados para garantir que os resultados das medidas de desempenho estejam num intervalo de confiança satisfatório.

Com isso, ao final do projeto foi possível testar um grande número de alternativas para se buscar uma operação mais eficaz para o pátio e, uma vez alcançado um nível de confiabilidade elevado, as configurações mais adequadas puderam ser determinadas.

### **Pátio de Placas do LTQ**

O Pátio de Placas do Laminador de Tiras à Quente (LTQ) na ArcelorMittal Tubarão é um conjunto de equipamentos, pessoas e sistemas que recebe placas das Máquinas de Lingotamento Contínuo (MLC), do condicionamento e da mesa de rejeitos. Esse pátio não tem como função agregar valor ao produto, mas exerce papel fundamental, uma vez que garante a continuidade do processo da Aciaria para o LTQ.

A programação da Aciaria tem como objetivo garantir uma produção constante, sem quebra de seqüências, e com um custo satisfatório. Para isso, há um lote mínimo de produção em cada MLC para as dimensões da placa e para cada tipo específico de aço.

Os lotes de produção da Aciaria são conhecidos como corridas.

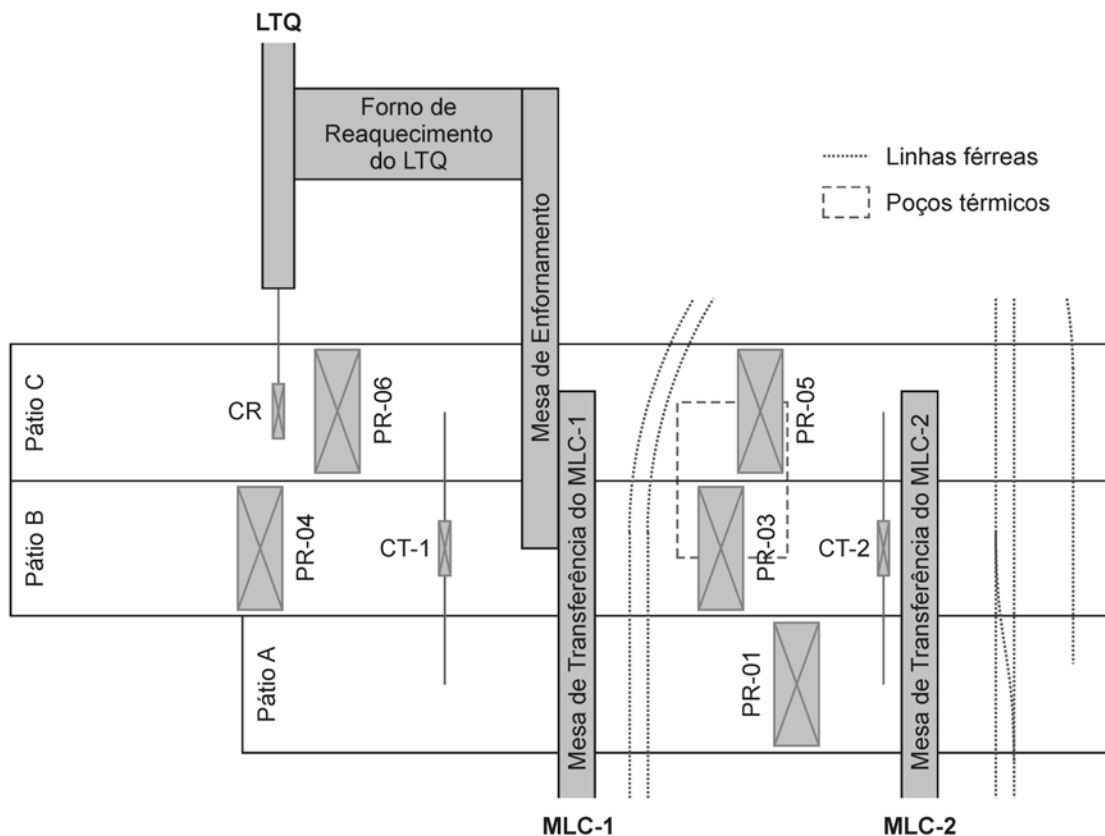
Já o LTQ busca um ponto ótimo divergente da Aciaria. Seu objetivo é formar agrupamentos de largura e espessura que otimizem a utilização dos cilindros de trabalho, evitando-se, assim, que ocorram desvios de qualidade do perfil transversal das bobinas (high-spot) ou de qualidade superficial (carepa) decorrente de um desgaste acentuado desses cilindros. Ainda, saltos de espessura, largura e carbono equivalente limitados favorecem o atravessamento estável da tira no trem acabador e contribui para os acertos dimensionais requeridos pelos clientes.

A esses agrupamentos dá-se o nome de Instruções de laminação.

O pátio do LTQ se torna, dessa forma, um pulmão que garante que as placas necessárias para a formação de uma Instrução de laminação estejam disponíveis independentemente das corridas produzidas na Aciaria. Dessa forma, o funcionamento do pátio se torna contínuo e estável.

#### *Layout do Pátio de Placas do LTQ*

Na verdade, existem três pátios de placas distintos alimentando o LTQ, os quais são comumente chamados de A, B e C, como pode ser visto na Figura 2. As placas lingotadas na MLC-1 e na MLC-2 chegam através de Mesas de Transferências e são transportadas para as pilhas existentes no pátio através de Pontes Rolantes (PR). Havendo a necessidade de se transferir placas entre os pátios, Carros de Transferência (CT) podem ser utilizados. O envio de placas para o LTQ ocorre através da Mesa de Enfornamento, a qual alimenta o Forno de Reaquecimento do LTQ. As placas armazenadas no Pátio A devem ser transferidas para o Pátio B ou C antes de serem enfornadas.



**Figura 2** – Layout esquemático do Pátio de Placas do LTQ

Uma vez atingida a temperatura de laminação, cada placa é retirada do forno, entrando no LTQ. Caso uma placa já enfornada tenha de ser desviada (e.g. por problema de qualidade), há um Carro de Rejeito (CR) que leva a placa diretamente para o pátio C.

Antes de serem enfornadas, as placas são levadas para uma área próxima a mesa de enfornamento conhecida como área de campanha. Essa operação visa garantir a alimentação do forno de maneira constante e na seqüência definida pela instrução de laminação, sem que haja interrupções por problemas no pátio.

O enformamento das placas pode ser classificado em três tipos: (1) enformamento direto, (2) enformamento a quente e (3) enformamento a frio. Para garantir uma melhor utilização do forno de reaquecimento, com um menor consumo para levar as placas à temperatura de laminação, é priorizado o enformamento de placas com a maior temperatura possível.

### **Sistema de Gerenciamento do Pátio: o SYM**

O pátio de placas do LTQ é gerenciado por um sistema chamado de SYM, sendo este responsável por:

- Comunicação com outros sistemas;
- Mapeamento e rastreabilidade de placas;
- Mapeamento das mesas de rolos;
- Gerenciamento de instruções de transporte de placas;
- Gerenciamento do pátio para formação de placas nas pilhas;
- Interface com o usuário;

É papel do SYM, por exemplo, gerenciar as instruções de alocação de placas no pátio. Através de informações vindas de sistemas de um nível superior, planejamento e controle de produção, o SYM toma a decisão sobre a pilha onde uma placa vinda de uma MLC será alocada e gera as instruções necessárias para que todas as movimentações de pontes rolantes, carros de transferência e mesas de rolos sejam executadas.

Enquanto um sistema de tomada de decisão, o SYM é uma tentativa de se obter um sistema de Inteligência Artificial, seguindo uma arquitetura já descrita por Steels<sup>(2)</sup>, sendo então chamada de *subsumption architecture*. No entanto, tratando-se de um sistema meramente reativo, o qual responde a seu ambiente com ações pré-programadas, o SYM está baseado em um conjunto de regras e na hierarquização dessas regras.

Pode-se descrever esse sistema em duas características básicas. Primeiro, a tomada de decisão é realizada através de um conjunto de comportamentos para o cumprimento de tarefas. Cada comportamento pode ser pensado como uma função individual, a qual continuamente monitora o ambiente e o mapeia numa ação a ser executada. Ainda, esses comportamentos podem ser divididos em módulos que atendam a determinadas tarefas.

A segunda característica é que vários comportamentos podem ser disparados simultaneamente. Assim, deve haver um mecanismo capaz de selecionar entre as diferentes ações, quais são adequadas para uma determinada situação. Para isso, Brooks propõe a utilização de uma *subsumption hierarchy*,<sup>(3)</sup> a qual arranja os comportamentos em camadas. Nessa hierarquia, camadas superiores podem ser capazes de inibir comportamentos das camadas mais baixas.

No SYM, a implementação dessa arquitetura é através da programação de regras, sendo que cada uma dessas possui uma prioridade específica. Porém, o conjunto de regras descritas por esse sistema na ArcelorMittal Tubarão é incompleto, sendo complementado por comandos manuais lançados pelos operadores do pátio.

### **Modelo de Simulação em Computador**

O modelo é composto por entidades (placas de aço) que são lingotadas, processadas, transportadas e enformadas. Cada entidade é identificada por um número de série e possui outros atributos como peso, comprimento, largura,

espessura, tipo de aço e outros, que são constantes, assim como temperatura e tempo de permanência no pátio, que são variáveis ao longo do tempo.

O modelo considera atividades de transporte que são expressas com o auxílio de regras operacionais que atuam na entrada de placas para o pátio (máquinas de lingotamento contínuo e vagões com placas condicionadas), no transporte (pontes rolantes e carros de transferência) dessas placas para pilhas no pátio e em seu enformamento. É claro que também outras regras são necessárias para evitar a interferência entre pontes rolantes, reproduzir os tempos e as capacidades de transporte, respeitar as condições de armazenamento em pilhas no pátio, etc. Vamos denominar de tarefa (*job*) cada um dos exemplares de realização de uma atividade. Assim, uma tarefa é executada uma única vez e a atividade associada pode ser realizada muitas vezes, cada vez com uma placa diferente.

Os instantes de início e término de uma tarefa são instantes de tempo importantes, denominados eventos. Diversos eventos são programados para ocorrer em instantes específicos da simulação. Neste caso, é necessário manter uma lista de eventos futuros que contém os eventos que ainda não ocorreram, mas que já estão programados.

O modelo é formado por um conjunto de recursos (pontes rolantes, carros de transferência, etc.) utilizados para o processamento (transporte principalmente) de placas.

Cada recurso pode estar associado a uma fila (*queue*) que é responsável por manter a ordem das tarefas já requisitadas, que excedem a sua capacidade de processamento corrente, de modo que a serem processados no futuro. Cada fila pode ser com ou sem prioridades. O recurso de uma fila sem prioridades processa as tarefas por ordem de chegada. O recurso de uma fila de prioridades processa primeiramente as tarefas de maior prioridade.

### **Ambiente de simulação, análise e animação**

Todo modelo foi desenvolvido em linguagem Java.<sup>(4)</sup> Para isso, foram utilizadas bibliotecas proprietárias desenvolvidas pela UniSoma Matemática para Produtividade e pela Franco Arbeit Engenharia. O resultado foi uma ambiente completo de simulação, análise de resultados e animação do sistema, como está ilustrado na Figura 3.

Uma das principais vantagens dessa abordagem foi a maior robustez do sistema computacional diante de um modelo de grande porte. O problema da ArcelorMittal Tubarão demandou uma modelagem onde cada uma das milhares de placas armazenadas no pátio em mais de 250 pilhas pudessem ser tratadas individualmente. Além disso, o sistema fica constantemente verificando dezenas de regras do SYM, como para alocar as placas em pilhas ou para decidir como essas devem ser movimentadas.

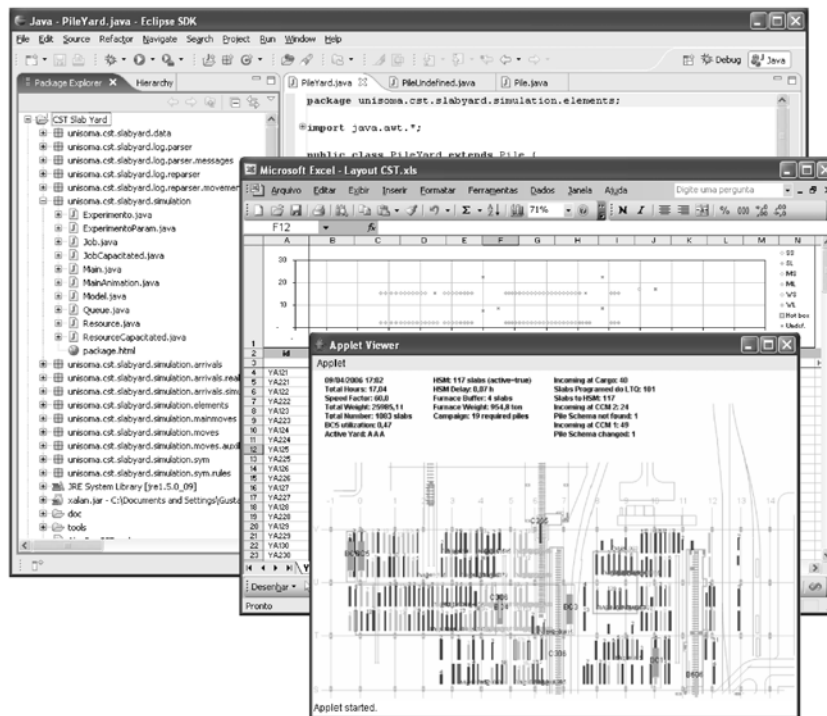


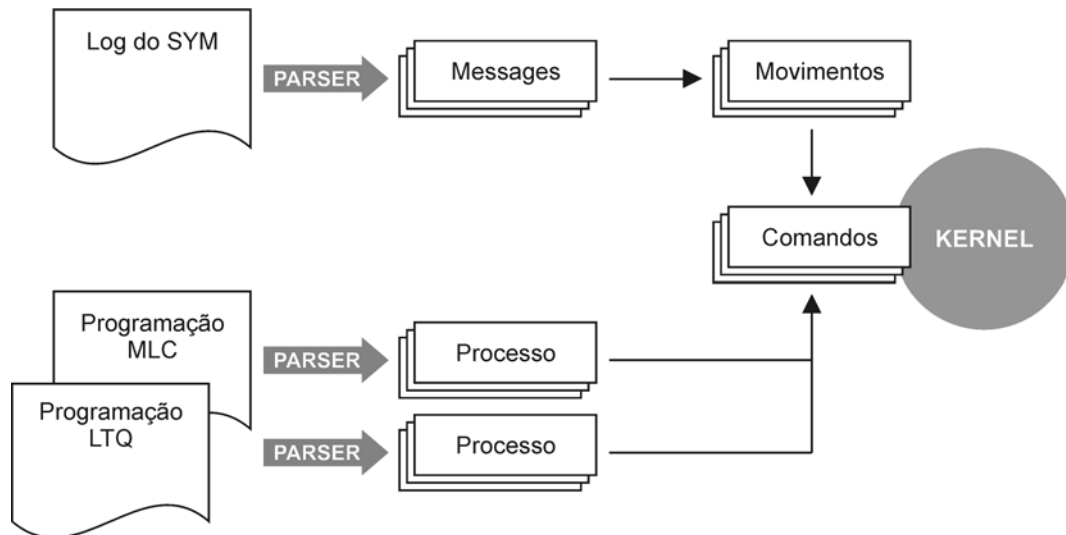
Figura 3 – O ambiente desenvolvido

Há, ainda, regras não definidas pelo SYM, mas que são manualmente adotadas pelos operadores para que o fluxo de placas pelo pátio seja garantido. Uma vez implementado no modelo computacional, apenas o conjunto de regras atualmente programado no SYM não foi capaz de operar o pátio, mostrando que esse conjunto é insuficiente para tal. Após observar a operação do pátio e identificar um conjunto de regras complementares baseado nas decisões manuais tomadas pelos operadores, foi possível identificar que é possível operar o pátio de maneira totalmente automática.

Uma indicação clara dessa conclusão é a capacidade do simulador de operar o pátio de maneira eficaz, uma vez implementadas nesse algumas das regras manuais.

Outra questão importante foi a flexibilidade do sistema. Tanto a adição de novos recursos e alterações de layout como a alteração e adição de regras podem ser feitas através de um ambiente prático. Uma vez utilizadas abordagens de orientação a objetos e orientação a processos, o modelo se tornou flexível e totalmente expansível.

Como resultado, a ArcelorMittal Tubarão conta hoje com um sistema capaz de simular situações atuais e futuras. Esse é, ainda, capaz de reproduzir ocorrências passadas através da leitura do arquivo de *log* do próprio SYM, o qual utiliza de complexos recursos de compilação e parseamento (Figura 4).



**Figura 4** – Operação do ambiente de simulação

## Indicadores de performance

A análise de cada cenário e configuração se baseia no tratamento das respostas do modelo e em sua tradução em indicadores de performance que sejam claros para qualquer operador envolvido com a operação do pátio de placas. Para isso, diversas medidas foram coletadas e apresentadas, sendo as principais apresentadas nas seções seguintes.

### Medidas globais

Eficiência do Pátio: indica a eficiência do pátio em atender às necessidades do forno de reaquecimento.

### Medidas de recurso

Produtividade Média de Enfornamento: resultado, em toneladas por hora, da taxa de enfornamento realizado pelo modelo de simulação.

Indicadores Básicos de Recurso: dados como nível de utilização e tempo de espera por recursos diversos (e.g. Ponte Rolante, Carro de Transferência, etc).

### Medidas de movimento

Quantidade de Movimentos: número de ocorrências dos movimentos mais significativos.

Taxa Movimento de Realocação: razão entre o número de realocações geradas e a soma de todos os movimentos que poderiam gerar realocação de placas (enfornamento e montagem da Área de Campanha). Por realocação, entende-se o transporte de uma ou mais placas de uma pilha para outra, devido à necessidade de se coletar uma ou mais placas posicionadas abaixo das mesmas. Um alto número de realocações pode comprometer a Eficiência do Pátio.

Taxa de Interferência entre Pontes: razão entre o número de interferências entre pontes e o número de movimentos que poderiam ter gerado tais interferências.

### Medidas de pátio

Ocupação Média do Pátio: média da simulação; o acompanhamento ao longo do tempo pode ser visto na planilha de análise de estoque correspondente.

### Medidas de programação

Tamanho da Instrução: média e desvio padrão do número de placas nas chances.

Tamanho da Instrução: média e desvio padrão da tonelagem das chances.



Intervalo de Chegada: média e desvio padrão do intervalo entre chegada de chances.

Tempo de Ciclo: média e desvio padrão do intervalo entre a chegada de uma chance e do enformamento de sua última placa.

Enformamento Médio Diário: média diária de enformamento.

Medidas de eventos

Ocorrências: número de ocorrências de diversos eventos ocorridos durante a simulação, como, por exemplo, impossibilidade de realizar realocações, recebimento de placas, recusa de recebimento de placas, falta de endereço para alocação e saída de placas.

## **Exemplos de Análise**

Uma vez desenvolvido e validado, o modelo de Simulação em Computador foi utilizado para o teste de configurações alternativas e novos cenários para a operação do pátio. Cada combinação de configuração e cenário foi simulada e analisada para que conclusões pudessem ser feitas a respeito de seu potencial ganho futuro.

A seguir, apresenta-se dois exemplos de análises realizadas, uma envolvendo o estudo de novas regras e outra com uma mudança de conceito do pátio de placas.

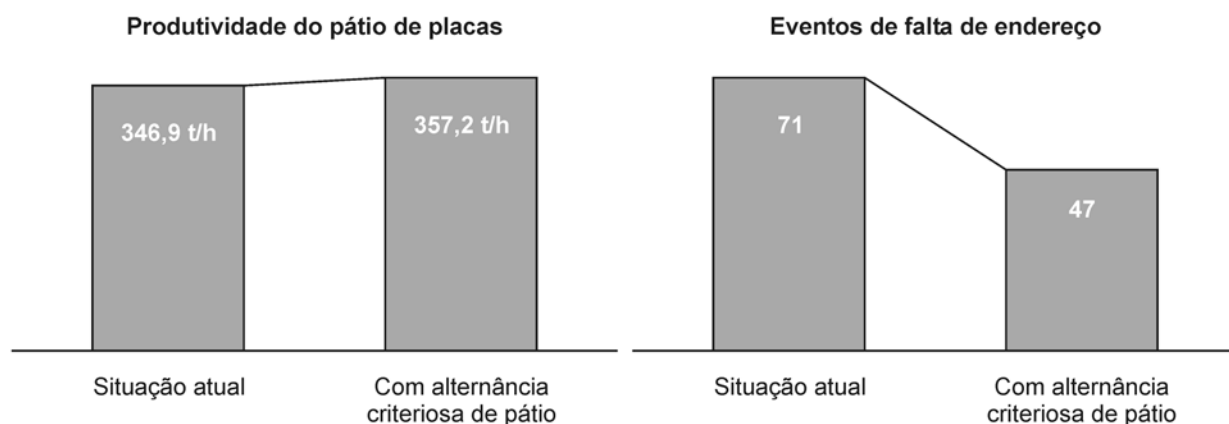
### *Análise de Novas Regras de Operação*

Dentro da estratégia adotada pela ArcelorMittal Tubarão para melhoria do Pátio de Placas do LTQ, o trabalho dos operadores foi acompanhado para determinar as decisões humanas que poderiam ser transformadas em regras automatizadas. Com isso, uma série de propostas foi apresentada, sendo que o modelo de simulação determinou quais eram viáveis ou não. Uma dessas regras, mostrada a título de exemplificação, foi chamada de “Alternância Criteriosa de Pátio” e diz respeito a decisão para qual dos três pátios a placa será levada.

De acordo com o SYM, há uma alternância de pátios que segue uma seqüência circular C-B-A. Isso acontece para garantir a disponibilidade de ponte rolante, mas a necessidade dessa alternância na alocação de novas placas vindas do MLC nem sempre é óbvia, uma vez que há uma redução na altura das pilhas quando placas semelhantes e lingotadas na mesma seqüência são levadas a pátios diferentes.

A nova regra proposta diz que a alternância de pátios, seguindo-se a seqüência circular, só seria realizada quando não houver tempo hábil para a ponte rolante fazer a movimentação. Tal informação poderia ser calculada de maneira aproximada, baseando-se na distância dos endereços de destino.

Os resultados simulados mostraram que a aplicação dessa regra garante ao pátio um ganho de pouco mais de 10 t/h movimentadas, conforme o gráfico da Figura 5. No entanto, há a vantagem de se obter ganhos significativos no empilhamento, o que se reflete na medida de eventos críticos que indica a falta de endereço. Isso mostra que a aplicação dessa regra ajuda numa melhor organização do pátio de placas.



**Figura 5** – Ganho simulado com a nova regra

### **Mudança de Paradigma: especialização de pátios**

A análise de novas regras mostrou uma clara limitação do pátio, a qual poderia impedir que a ArcelorMittal Tubarão alcançasse suas metas. Assim, mudanças mais significativas se mostraram necessárias, as quais motivaram os envolvidos no projeto a repensarem o pátio.

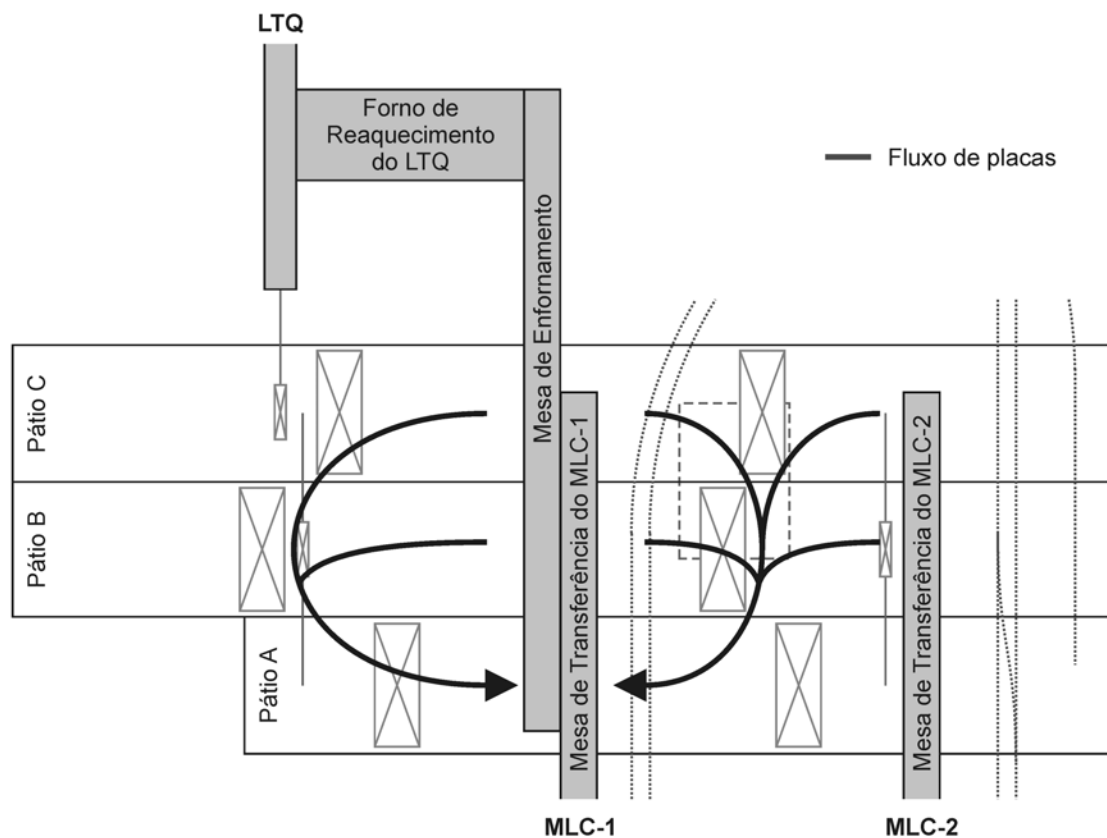
Dentre as alternativas simuladas, uma atendeu as necessidades da ArcelorMittal Tubarão de maneira surpreendente: a especialização de pátios. Como um novo paradigma, as placas lingotadas são enviadas apenas para os pátios B e C. O Pátio A passa a ser considerado como uma grande área de campanha, sendo responsável pelo enformamento.

A primeira consequência da especialização de pátios é a mudança drástica no fluxo de placas, conforme mostrado na Figura 6.

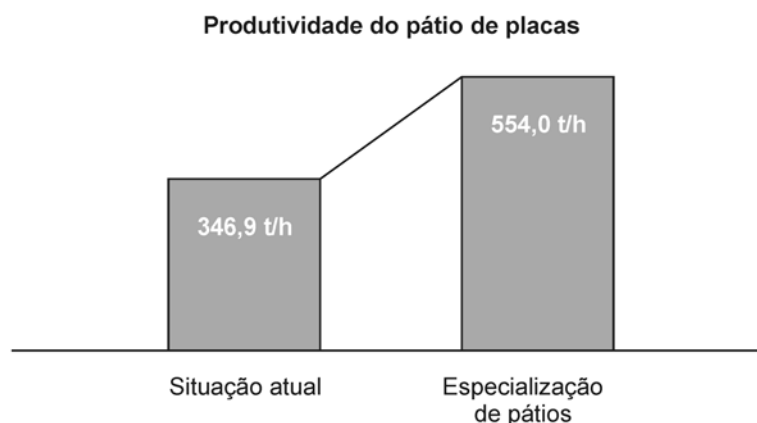
Em resposta a esse novo fluxo, pode-se notar uma redução significativa na interferência de recursos, sobretudo as pontes rolantes, o que se traduziu num aumento de capacidade de movimentação (Figura 7). Os resultados simulados mostraram que a utilização da especialização de pátios garante ao pátio de placas do LTQ um ganho de quase 60% na produtividade do pátio.

### **CONCLUSÕES**

As análises computacionais mostraram que a atenção dada ao Pátio de Placas do LTQ na ArcelorMittal Tubarão foi realmente válida. A Simulação em Computador foi uma ferramenta útil à medida que as limitações do pátio puderam ser medidas e soluções buscadas de forma prática. E foi fundamental descobrir que o pátio, tal qual se encontrava no início do projeto, limitaria o alcance das metas estratégicas da Arcelor Brasil para a ArcelorMittal Tubarão.



**Figura 6** – Fluxo de placas com a especialização de pátios



**Figura 7** – Ganho simulado com a especialização de pátios

O gerenciamento do pátio feito pelo SYM é uma tentativa de se obter um sistema totalmente automatizado, mas o conjunto de regras atualmente programadas mostrou-se insuficiente para tal. No entanto, observando-se algumas das decisões manuais tomadas pelos operadores do pátio e realizando estudos simulados para mostrar a efetividade das mesmas, chegou-se a um conjunto de regras complementares que indicam que tal objetivo pode ser alcançado. O modelo simulado com essas regras implementadas foi capaz de gerenciar o pátio a contento.

Além das já utilizadas pelos operadores, novas regras foram propostas pela equipe de executores do projeto para que resultados melhores fossem conseguidos na operação do pátio de placas. Uma vez testadas via Simulação em Computador, foi possível determinar quais são mais e quais são menos viáveis no apoio ao aumento de capacidade de movimentação de placas no pátio.

Resultado importante mostrado pela metodologia adotada, a pouca efetividade das regras na melhoria do desempenho do pátio levou a necessidade de mudanças conceituais na forma como esse é operado. Assim, surgiram propostas mais inovadoras, como a “Especialização de Pátio”, cujo desempenho atende às necessidades da ArcelorMittal Tubarão.

## REFERÊNCIAS

- 1 LAW, A.M., KELTON, W.D. Simulation Modelling and Analysis. Third edition. 784 pp. McGraw Hill Higher Education, 2000.
- 2 STEELS, L. Cooperation between distributed agents through self organization. In Y. Demazeau and J.P. Muller, editors, *Decentralised AI – Proceedings of the First European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World (MAAMAW-89)*, p. 175-196. Amsterdam (Holanda): Elsevier Science Publishers, 1990.
- 3 BROOKS, R. A. A robust layered control system for a mobile robot. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, v. 2, p. 14-23, 1986.
- 4 ARNOLD, K., GOSLING, J., HOLMES, D. The Java (TM) Programming Language. 4th edition. 928 pp. Prentice Hall PTR, 2005.