



# USO DE SIMULAÇÃO NA EXPANSÃO ARCELORMITTAL MONLEVADE – A EVOLUÇÃO EM PROJETOS LOGÍSTICOS<sup>1</sup>

Paulo Eduardo Melo da Cunha<sup>2</sup>

Leonardo Ribeiro do Vale<sup>3</sup>

Thiago Gurgel Rodrigues<sup>3</sup>

Carlos do Carmo Weidig<sup>4</sup>

Cléber Lúcio Martins<sup>5</sup>

Geraldo Magela Gomes<sup>6</sup>

Gustavo Lambert Boratto<sup>7</sup>

Ilemar Geraldo de Vasconcelos Júnior<sup>7</sup>

## Resumo

A expansão da ArcelorMittal Monlevade elevará o volume de produção de fio máquina de 1,2 Mtpa para 2,3 Mtpa. Nesse contexto, a logística terá o desafio de aumentar sua capacidade de recepção, armazenagem e expedição. Diante de restrições de espaço físico, de investimento e de segurança, o presente trabalho visa quantificar os recursos necessários para operação logística futura. O estudo foi conduzido utilizando a metodologia PDCA. Primeiramente foram coletadas informações e dados da operação atual. Com o auxílio de especialistas levantou-se possíveis condições de operação e os investimentos necessários para sua realização. Um modelo de simulação foi desenvolvido no software ProModel, com o propósito de avaliar as diferentes alternativas, identificar possíveis gargalos e propor soluções. O trabalho determinou o fluxo de insumos e produtos, considerando os respectivos impactos nas portarias e nos pontos de carga e descarga. Além disso, foi demonstrado que mudanças no layout e operação permitirão um aumento significativo na capacidade de estocagem. Para operação da estocagem serão necessárias empilhadeiras, pontes rolantes, além de estações de carregamento ferroviário e rodoviário. Foram sugeridas alterações nas linhas férreas com o intuito de minimizar os conflitos operacionais e um aumento de capacidade das estações ferroviárias.

**Palavras-chave:** Simulação; Logística; Expansão.

## SIMULATION OF ARCELORMITTAL MONLEVADE EXPANSION, AN EVOLUTION IN LOGISTICS PROJECTS

### Abstract

The expansion of ArcelorMittal Monlevade will raise the wire rod production from 1,2 to 2,3 ktpy. In this scenario, the logistics will have the challenge to increase its capacity of reception, storage and expedition within constraints room, investment and safety. The present work aims to quantify the necessary resources for future logistic operation. The study was conduct using PDCA methodology. First of all, it was consolidate the information and data of the current operation. Specialists supported data survey and appointed possible options for investment. A simulation model was developed with ProModel software, in order to evaluate different alternatives and to identify possible bottlenecks. The work determined the flow of each raw material and product, analyzing its impacts on the plant entrance and at load and discharge station. Moreover, it was concluded that layout and operational changes could allow significant increase on storage capacity. In order to operate the new shed, it will be demanded forklifts, rolling bridges, besides railroad and road shipment stations. An increase of railroad stations capacity, as well as changes in the actual railway lines had been suggested in order to minimize operational conflicts, providing an efficient logistic.

**Key words:** Simulation; Logistic; Expansion.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 29º Seminário de Logística – Suprimentos, PCP, Transportes, 17 e 18 de junho de 2010, Joinville, SC, Brasil.

<sup>2</sup> Consultor de Logística. ArcelorMittal Monlevade

<sup>3</sup> Engenheiro de Produção. ArcelorMittal Monlevade

<sup>4</sup> Gerente de transportes. ArcelorMittal Monlevade

<sup>5</sup> Coordenador de processo de transporte. ArcelorMittal Monlevade

<sup>6</sup> Projetista. ArcelorMittal Brasil

<sup>7</sup> Analista de planejamento e Logística. ArcelorMittal Monlevade



## 1 INTRODUÇÃO

O projeto de expansão da ArcelorMittal Monlevade elevará o volume de produção de fio Máquina de 1,2 para 2,3 ktpa através de investimentos da ordem de 1 bilhão de reais. O significativo aumento de produção resultará em conseqüente maior necessidade de matéria prima. Desta forma haverá maior necessidade de movimentação de materiais a montante e, jusante da cadeia produtiva.

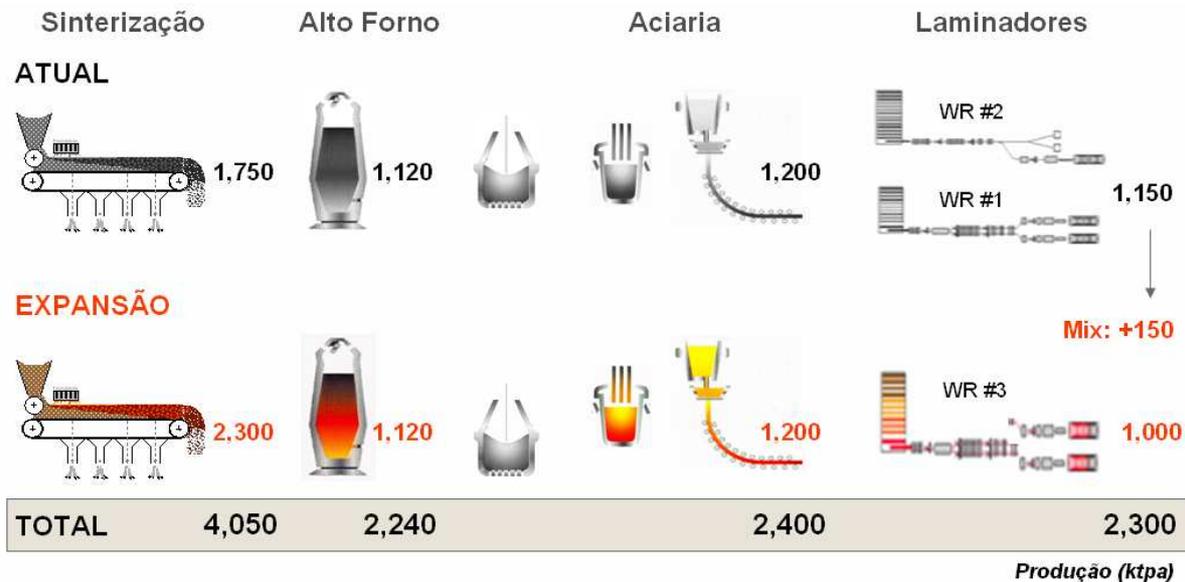


Figura 1. Fluxo produtivo proposto na expansão.

Diante do aumento da necessidade de movimentação e dos projetos propostos surgiram dúvidas quanto ao dimensionamento dos recursos propostos: estações e linhas férreas, portarias, pontos de carregamento e descarga, capacidade de estocagem, pontes rolantes, dentre outros. Sendo assim foi sugerida a condução de alguns trabalhos utilizando simulação a eventos discretos com o intuito de responder tais questionamentos.

Shannon<sup>(1)</sup> define simulação como sendo a modelagem de um sistema real para realização de experimentos com objetivo de entender o comportamento do sistema e identificar novas estratégias de operação. O presente trabalho visou fornecer auxílio à tomada de decisão, no que diz respeito aos investimentos em projetos relativos ao aumento da capacidade produtiva decorrentes do projeto de expansão da usina.

Fioroni et al.<sup>(2)</sup> conduziram estudos de simulação em um projeto de expansão de uma usina siderúrgica de aços planos. Através do estudo foi quantificado o número de recursos necessários para se alcançar a meta de produção desejada, e apontadas soluções operacionais com o intuito de reduzir gargalos produtivos.

Hamoen e Moens<sup>(3)</sup> desenvolveram um modelo de simulação que permite avaliar a dados (ocupação, tempo de fila etc.) referentes aos equipamentos produtivos e de transporte em uma usina siderúrgica. O estudo permitiu avaliar a partir dos dados e da animação o deslocamento do gargalo produtivo a partir da mudança de dados de processo.

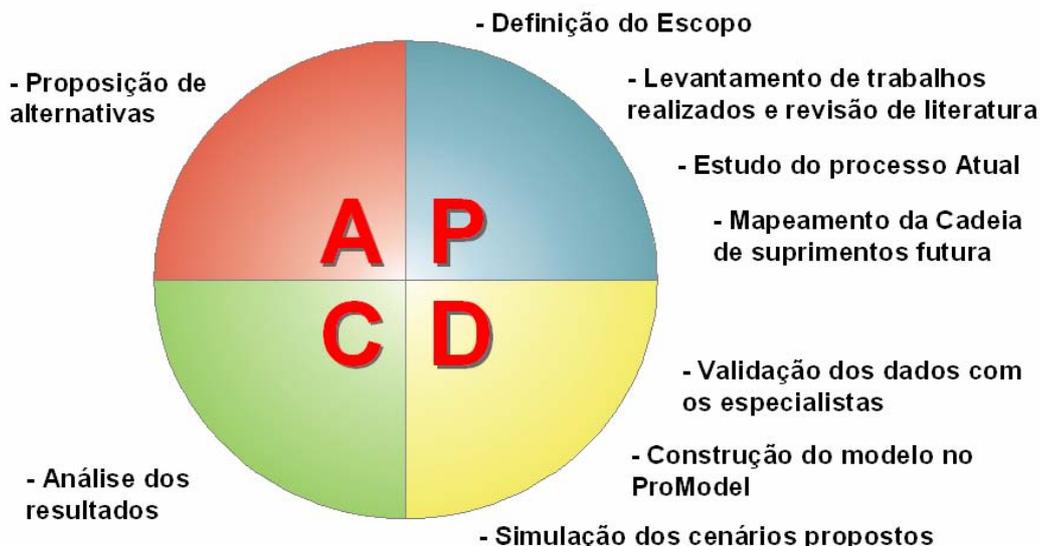
Neste trabalho serão apresentados os resultados e conclusões referentes aos seguintes estudos conduzidos: fluxo rodoviário, fluxo ferroviário e estocagem de fio máquina.



## 2 METODOLOGIA E FERRAMENTAS UTILIZADAS

Os estudos de simulação foram conduzidos levando em consideração o conhecimento de especialistas e operadores de cada área. Estes conhecimentos aliados às ferramentas de informática e uma metodologia eficiente permitiram obter os resultados desejados.

Qualquer projeto de simulação deve seguir uma série de passos a fim de alcançar sucesso.<sup>(4)</sup> As atividades desenvolvidas em todos os projetos de simulação foram conduzidas de acordo com método de análise e soluções de problemas.



**Figura 2.** Condução das atividades dos projetos de acordo com a metodologia PDCA.

Inicialmente foi definido o escopo de cada trabalho a ser conduzido. O delineamento de um trabalho de simulação é essencial no sucesso do projeto, pois os debates futuros serão norteados a partir do escopo acordado. Posteriormente foi conduzida uma revisão de literatura de trabalhos correlatos.

Paralelamente à etapa de revisão, iniciou-se o estudo da situação atual. Esse contemplou debates com especialistas e operadores, estudo de tempos e movimentos como também modelagem e análise estatística de dados. A análise estatística foi realizada com o auxílio do Minitab v.14 e do Excel 2007. Distribuições estatísticas foram ajustadas com o intuito de propiciar ao modelo um caráter mais próximo da realidade.

Os modelos foram desenvolvidos no software ProModel versão 7.0 e os resultados das simulações foram exportados para o Excel afim de facilitar a análise estatística dos dados.

Além da análise de processo existia a demanda por tomada de decisão no que tange à distribuição física e movimentação de alguns recursos. A fim de atender esse propósito foi construída uma animação gráfica no ProModel e desenvolvido em 3D um protótipo do galpão de estocagem no software Google SketchUp versão 6.4.



### 3 DESENVOLVIMENTO

Inicialmente foi realizado um mapeamento da cadeia de suprimentos da usina. Neste estudo foram consolidados 22 classes de insumos e cinco produtos. Para operacionalizar essa logística a usina contará com duas estações férreas, quatro portarias rodoviárias e cerca de 50 pontos de carga e descarga.



Figura 3. Layout da planta industrial

A análise dos fluxos movimentados foi o ponto de partida para os estudos de simulação. Os volumes de insumos e produtos foram convertidos em números de carretas e/ou vagões transportados. Foi realizado o levantamento dos acessos possíveis (rodoviário e ferroviário) para cada produto, considerando as vias atuais e as possíveis vias futuras e os respectivos volumes de cada material. O impacto de algumas variáveis como: horário de movimentação do material, velocidade do modal de transporte e intensidade do fluxo em condições normais, e intensas foram consideradas.

Tabela 1. Dados de entrada do modelo

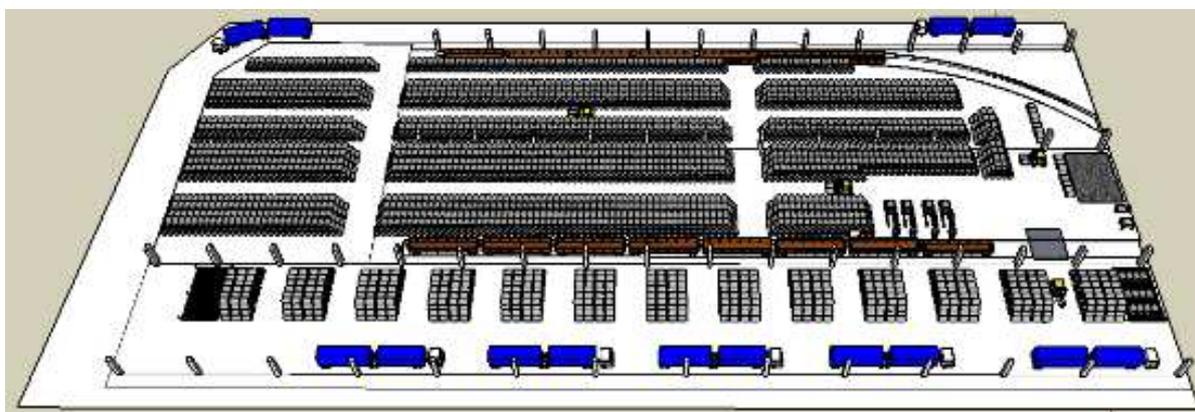
ID	PRODUTO	LOGÍSTICA	HORÁRIO	NORMAL	INTENSO	ORIGEM	DESTINO	TRANSPORTE
1	DESSULFURANTE	INBOUND	7-17	2	2	FORNECEDORES	ETG	BASCULA_CINZA
2	DIVERSOS	INBOUND	24h	15	25	FORNECEDORES	TODOS	INTERNO
3	DIVERSOS (PORTARIA 4)	INTERNAL	24h	30	30	TODOS	TODOS	INTERNO
4	ENTULHO	INTERNAL	7-17	20	20	TODOS	TODOS	INTERNO
5	ESCÓRIA ALTO FORNO	OUTBOUND	24h	71	80	PATIO_ESCORIA_AF	CLIENTES	BASCULA_MARROM
6	FINO COQUE	INTERNAL	24h	3	5	SINTER_1_ICP	SINTER_1_BT10	BASCULA_CINZA
7	FLUORITA	INBOUND	7-17/0-5	2	3	DEPÓSITO BAÚ	ACIARIA_SILO_EXTERNO	BASCULA_MARROM
8	FM	OUTBOUND	7-23	22	25	GALPÃO_TL13	CLIENTES	ARAMEIRA
9	FM	OUTBOUND	7-23	22	24	GALPAO_TL2	CLIENTES	ARAMEIRA

As informações referentes à movimentação dos insumos e produtos da usina foram verificadas e validadas com os especialistas de cada área produtiva. Como resultado, foi produzido um documento (*Supply Chain*), contendo as informações



necessárias para alimentar o modelo de simulação. Um modelo macro foi construído com o intuito de avaliar o fluxo nas portarias e o impacto nos pontos de carregamento e descarga rodoviários, bem como as interferências com o modal ferroviário. Outro modelo específico foi desenvolvido para dimensionar a capacidade das estações ferroviárias e avaliação do fluxo ferroviário. Ambos os trabalhos foram desenvolvidos em parceria com os responsáveis pela operacionalização da logística. O modelo foi validado com os dados atuais, garantindo assim confiança das respostas do modelo em relação ao cenário futuro.<sup>(5)</sup>

No que tange à recepção, armazenagem e despacho de fio máquina, no cenário pós-expansão, foi desenvolvido outro modelo de simulação para simular distintos cenários de volume e formas de operação logística (variação do modal de carregamento, mudança do layout de estocagem etc.). Além do modelo de simulação no ProModel, foi construído um modelo em 3D no software Google Sketchup para propiciar melhor visualização das alternativas propostas.



**Figura 4.** Novo galpão de estocagem de fio máquina (Google Sketchup).

O fio máquina deverá ser transportado até o novo galpão de estocagem, localizado a cerca de 80 metros do fim da laminação. Perpendicular ao trajeto das bobinas existe uma via rodoviária e ferroviária de fluxo intenso ( $\mu > 30$  veículos/h). Perante tal circunstância era de interesse avaliar alternativas de transferência do fio máquina para o novo galpão de estocagem:

- transportador automático;
- pontes rolantes operando em paralelo; e
- túnel.

A movimentação interna das bobinas no novo galpão poderia ser realizada com pontes rolantes e/ou empilhadeiras, entretanto a escolha da forma de operação teria seu reflexo no custo operacional e na capacidade de estocagem. Outros fatores também influenciariam a capacidade de estocagem e foram levados em consideração. Dentre eles podemos citar a dimensão das ruas e baias, políticas de estocagem, o layout do galpão, nº de andares de estocagem.

A expedição de fio máquina deveria ser realizada através do modal ferroviário ou rodoviário. Dessa forma era de interesse identificar o mix ideal de expedição e qual impacto ele traria para o sistema logístico da usina e comunidade.

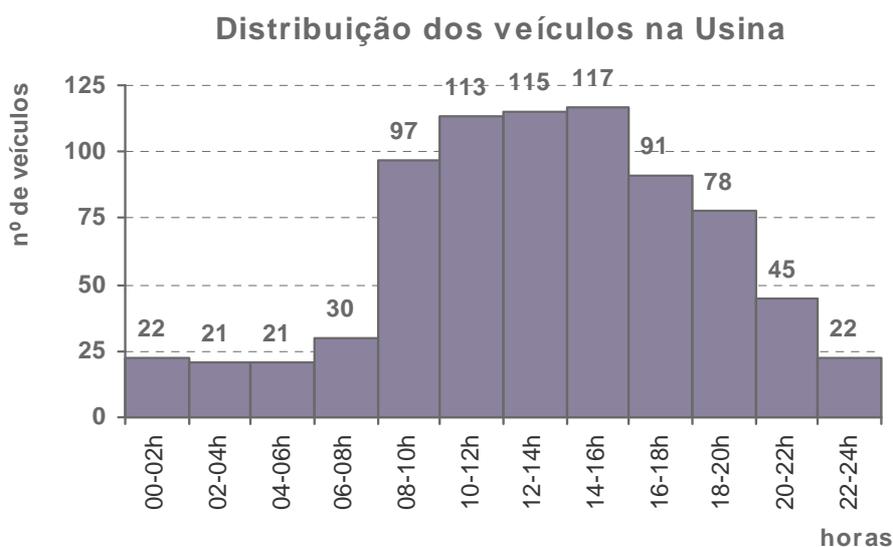


## 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Diversos cenários foram elaborados no que diz respeito ao volume de produção, à capacidade de recursos produtivos e de transporte e às formas de operação

### 4.1 Fluxo Rodoviário / Ferroviário

O aumento da produção demandará por conseqüência a necessidade de mais insumos, o que dobrará o número médio de veículos na usina, de acordo com o cenário atual. A utilização de uma nova portaria, já esperada no projeto inicial, é essencial para operacionalização do aumento de capacidade.

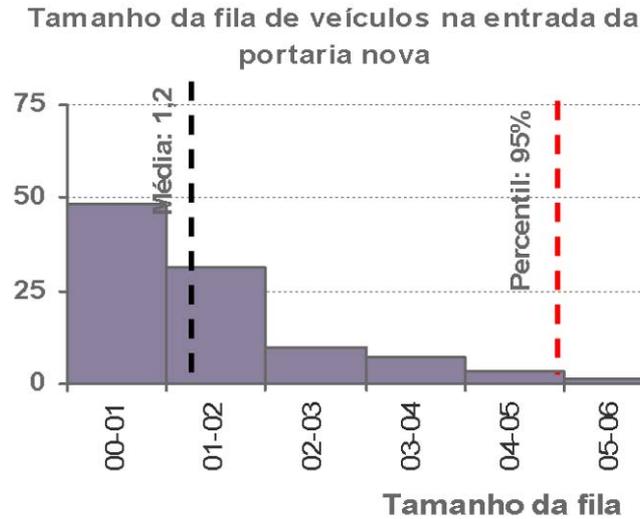


**Figura 5.** Histograma do fluxo de veículos na Usina.

A concentração do fluxo rodoviário durante o período administrativo acarretaria em maiores conflitos na movimentação e altos tempos de fila, devido ao significativo número de veículos na usina ao mesmo tempo e às restritas vias de transporte. Portanto, uma alternativa para mitigar os efeitos decorrentes do aumento do fluxo rodoviário seria deslocar o horário de movimentação de algumas matérias primas para horários noturnos, buscando um fluxo de movimentação mais balanceado.

Após direcionamento de cada produto à respectiva portaria de entrada e saída foram avaliados os indicadores de desempenho.

O tamanho de fila foi satisfatório, apresentando um resultado médio de 1,2 veículos na fila de entrada, sendo que 95% do tempo haverá uma fila menor que 5 veículos.



**Figura 6.** Fila na entrada da nova portaria

A via de acesso principal à usina possuirá uma inclinação de 10%(6°). Isso demandou um projeto considerando duas faixas para subida a fim de minimizar possíveis filas devido à subida de veículos lentos.



**Figura 7.** Status atual do acesso à nova portaria da usina.

As demais portarias apresentaram cenários favoráveis, de acordo com as premissas consideradas

No que diz respeito à avaliação dos principais pontos de carregamento e descarga, foi realizada uma análise considerando os projetos apresentados pela área de Engenharia e Projetos e constatou-se que os projetos previstos atenderiam as necessidades no cenário futuro.

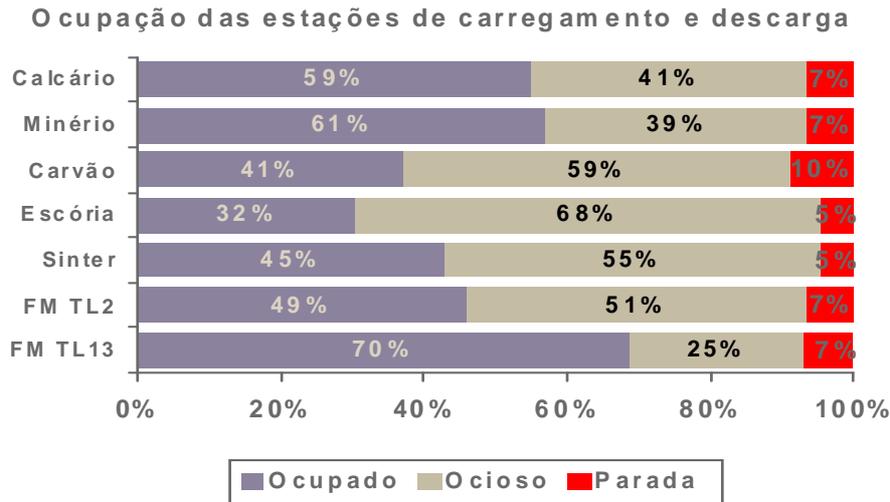


Figura 8. Histograma do fluxo de veículos na Usina.

Foram realizados experimentos considerando os fluxos esperados de matérias primas e produtos acabados. A usina dispõe de duas estações férreas e no cenário de expansão seria aumentada as suas capacidades atuais. Diante da presente situação foram elaborados três cenários de operação (OP1, OP2 e OP3), variando a estação de recepção das matérias primas e expedição dos produtos acabados.

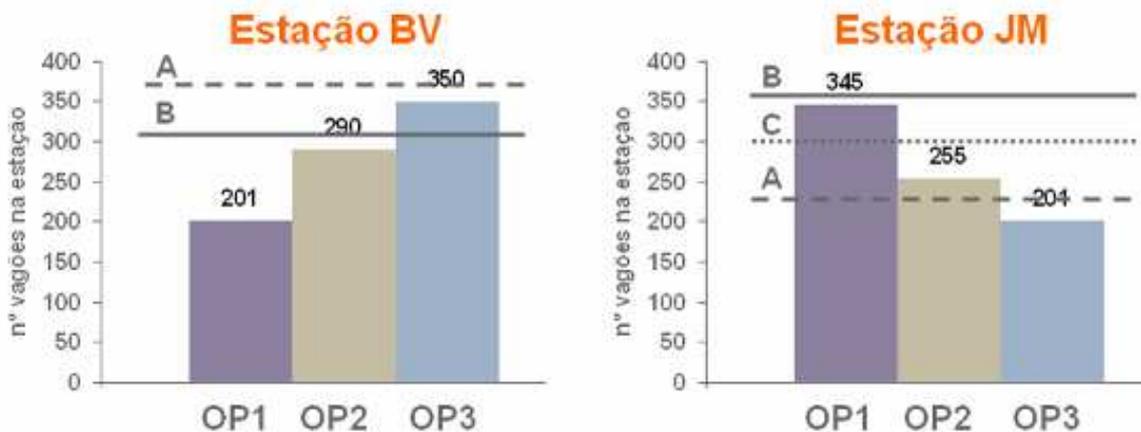


Figura 9. Propostas de estação férreas e modo de operação.

No projeto das estações férreas, dispunha-se de duas alternativas de investimento (A e B) para a estação BV e três alternativas para estação JM (A, B e C). Entretanto, o modo de operação dos insumos e produtos influenciava diretamente na escolha do investimento, pois a maior utilização de uma estação acarretava em menor utilização da outra. Dentre os três modos de operação simulados, a operação intermediária (OP2) emergiu como a melhor opção de operação. Pois, além de propiciar um fluxo mais balanceado necessita de um menor investimento para viabilizar sua operação. Dessa forma, foi possível optar pelo investimento B na estação BV e investimento C na estação JM, alcançando um mix de propostas mais interessantes que o apresentado inicialmente.



Uma central de tráfego será demandada para realizar o controle do fluxo rodoviário e ferroviário. Câmeras deverão ser instaladas em pontos estratégicos para fornecer ao controle visualização dos pontos críticos.

## 4.2 Estocagem

Devido à restrição de espaço físico, foi disponibilizada a área de 20.000 m<sup>2</sup> (100m x 200m). Dentre as três opções de transporte do fio máquina dos laminadores para o galpão a opção de transferência por túnel foi a mais viável. A transferência por pontes, apesar de ser financeiramente mais atrativa, operacionalmente não era interessante, pois uma parada maior que quatro horas poderia acarretar até mesmo na parada de um dos laminadores devido à falta de espaço para armazenagem. A opção do transportador é interessante, entretanto devido ao seu alto custo de implantação foi descartada.

A modelagem do galpão em 3D permitiu avaliar a disposição física de várias políticas de estocagem. A estocagem com muitas ruas e baias curtas ofereceria maior facilidade de movimentação, em contrapartida acarretaria em baixa capacidade de estocagem (13.000 t). A estocagem em blocos proporcionaria capacidade de estocagem em torno de 17.000 t. Entretanto, a falta de flexibilidade decorrente da alta dependência de pontes rolantes não seria operacionalmente viável. A política adotada foi a de corredores, pois além de proporcionar uma capacidade de estocagem intermediária (15.000 t) com o ganho de desempenho decorrente da estocagem em quatro andares de altura (hoje estoca-se em três andares), proporcionaria maior flexibilidade ao processo de movimentação.

Mesmo com as melhorias propostas, a capacidade de estocagem não seria suficiente para atender a necessidade projetada no cenário de expansão. Dessa forma foi levantada a possibilidade de realizar uma mudança na forma de operação da logística externa atual com o objetivo de reduzir o tempo médio de estocagem. Uma alternativa proposta foi liberar o produto para os clientes antes de obter a liberação da qualidade ou buscar maneiras de reduzir o tempo dos testes de qualidade. Esta ação possibilitaria uma redução do estoque médio em 2.600 t, saltando de 14.600 t para 12.000 t.

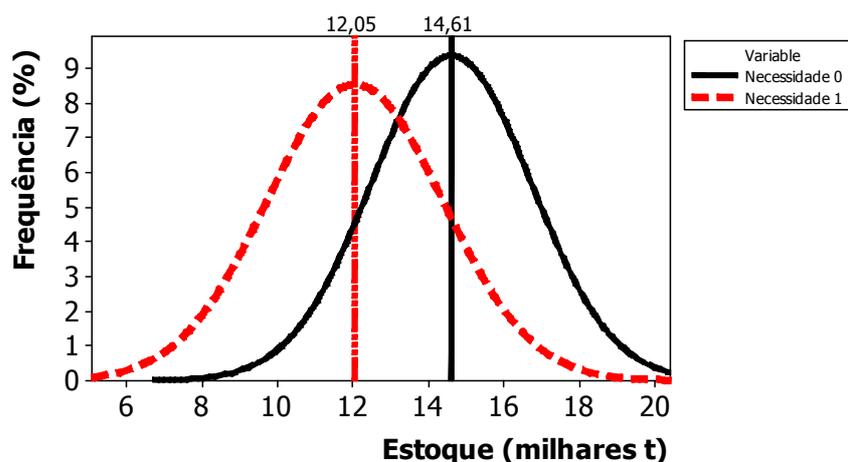


Figura 10. Redução do estoque com diminuição do tempo de liberação.

A operação de estocagem seria realizada com empilhadeiras e o carregamento ferroviário, com pontes rolantes. No cenário de expansão será possível expedir até 75% através do modal ferroviário. Hoje, o percentual é de 60%. Caso confirme esta



tendência, investimentos para aumentar a capacidade ferroviária deverão ser destinados ao carregamento de fio máquina, como na instalação de mais uma ponte rolante.



**Figura 11.** Foto do status atual da construção do galpão.

As obras de infra-estrutura do projeto de expansão já estão avançadas, conforme fotos apresentadas. Após a crise mundial a velocidade de execução do projeto foi diminuída. Entretanto a demanda aquecida pelos produtos do segmento de mercado atendido pela usina aumenta as expectativas quanto à retomada do ritmo acelerado de execução do projeto.

## 5 CONCLUSÕES

A oportunidade de avaliar a distribuição física dos equipamentos e a movimentação de recursos (empilhadeiras, pontes-rolantes, caminhões, locomotivas e vagões) foi um dos maiores benefícios oferecidos pelos modelos elaborados. Quantificar o impacto de cada decisão nos resultados esperados (produção, ocupação projetada e tempo de fila) forneceu subsídios aos responsáveis pelos projetos para mudar as soluções inicialmente concebidas, mitigando assim o efeito de gargalos produtivos na futura instalação.

A abordagem a partir da simulação permitiu avaliar as propostas de projeto de forma sistêmica, considerando as correlações e interferência do projeto em sua totalidade. Essa visão é fundamental na tomada de decisão já que a cadeia é integrada e a mudança de variáveis locais pode afetar o resultado global.

A utilização de simulação apontou caminhos para um projeto mais eficiente, reduzindo assim o custo de um projeto mal dimensionado, que geraria transtornos na operação futura.

## Agradecimentos

Aos especialistas e operadores de cada área produtiva pela grande contribuição na etapa de construção e validação do modelo conceitual e computacional.

Ao Eng. Marcelo Fugihara, representando a Belge Engenharia, pelo constante apoio na condução dos projetos e suporte no uso do software ProModel.



## REFERÊNCIAS

- 1 Shannon, R.E. System Simulation, The Art of Science, Prentice-Hall (1975).
- 2 Fioroni, M. et al. Simulation Based Decision for Steelmaking Operations Challenges. *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, ed. M. E. Kuhl, N.M. Steiger, F. B. Armstrong, and J. A. Joines (2005).
- 3 Hamoen, Steven C. and Moens Dirk-Jan. Logistic Simulator for Steel Producing Factories. *Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*, ed. E. Yücesan, C.-H. Chen, J. L. Snowdon, and J. M. Charnes (2002).
- 4 Banks, J. Carson II, J.S. and Nelson, B.L. Discrete Event System Simulation, 2nd edition, pp.375 (1999).
- 5 Schlesinger et al. Terminology for Model Credibility, *Simulation*, 32, 3 pp. 103 - 104 (1979).