



Universidade Federal do Paraná
Departamento de Administração Geral e Aplicada
MBA em Gerencia de Sistemas Logísticos

**Modelagem e Simulação da Movimentação de Bobina de
Aço Pré-pintado na CSN Araucária**

Aluno: Ubaldo Marques Silva Filho
Orientador: Prof. Darli Rodrigues Vieira

Monografia apresentada como requisito
parcial para obtenção do MBA em
Gerencia de Sistemas Logísticos da
Universidade Federal do Paraná.

Curitiba
2009

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS E TABELAS.....	4
1.0 INTRODUÇÃO	5
1.1 - Objetivo.....	7
2.0 DEFINIÇÃO DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO	8
2.1 - Introdução.....	8
2.2 - Definição de simulação.....	8
2.3 - Modelos de simulação.....	10
2.4 - Definição de modelagem.....	13
2.5 - Metodologia da simulação.....	15
3.0 SOFTWARES DE SIMULAÇÃO: UMA REVISÃO DA LITERATURA.....	20
3.1 - Introdução.....	20
3.2 – Seleção de <i>softwares</i> para simulação	20
4.0 ANÁLISE DO MACRO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE BOBINA DE AÇO NA CSN-PR.....	27
4.1 - Introdução.....	27
4.2 - Histórico da CSN-PR.....	27
4.3 - Fluxo do processo produtivo.....	29
5.0 PROCESSO DE MOVIMENTAÇÃO DE BOBINAS DE AÇO PRÉ-PINTADO NA CSN-PR.....	33
5.1 - Introdução.....	33
5.2 - Aplicação de modelagem e simulação na movimentação de bobinas de aço pré-pintado.....	33
5.3 - Construção do modelo computacional.....	42
5.4 – Rodando a simulação e resultados obtidos	44
6.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
7.0 – REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	57

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1: Simulação Contínua.....	12
Figura 2: Simulação de Eventos.....	12
Figura 3: Metodologia de simulação.....	15
Figura 4: Verificação e validação em simulação.....	18
Figura 5: Características de três <i>softwares</i> de simulação.....	26
Figura 6: Visão geral da planta CSN Araucária PR e o local onde será realizado o estudo de simulação – A03 (armazém 03).....	29
Figura 7: Macro processo produtivo CSN-PR.....	32
Figura 8: Diagrama do ciclo de atividades do armazém A03.....	35
Figura 9: Diagrama <i>box-plot</i> para identificação de <i>outliers</i>	38
Figura 10: Cálculos efetuados em planilha eletrônica para encontrar os <i>outliers</i> da amostra de dados LPC1.....	38
Figura 11: Histograma dos dados da amostra LPC1.....	39
Figura 12: Resultado estatístico dos dados de saída de bobinas de aço da LPC1.....	41
Figura 13: Representação do modelo computacional.....	43
Figura 14: Propriedades de configuração do relógio de simulação.....	45
Tabela 1: Características técnicas principais da LPC1.....	34
Tabela 2: Freqüência dos dados de saída de bobinas de aço LPC1.....	39
Tabela 3: Resultados estatísticos das amostras dos processos envolvidos.....	42
Tabela 4: Resultados da simulação do cenário 1.....	47
Tabela 5: Resultados da simulação do cenário 2.....	49
Tabela 6: Resultados da simulação do cenário 3.....	51
Tabela 7: Resultado consolidado comparativo dos 3 cenários.....	53

1.0 INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como premissa a modelagem e simulação da operação de movimentação de bobinas de aço pré-pintado na Companhia Siderúrgica Nacional em sua filial localizada em Araucária PR, doravante denominada simplesmente de CSN-PR, utilizando ferramenta de simulação de eventos discretos para análise do modelo atual e verificação e implantação de possíveis soluções para o problema de gargalos na movimentação dos produtos acabados na saída de linha de pintura contínua - LPC. Essa movimentação tem demonstrado preocupação pela criticidade nas atividades desenvolvidas na operação do depósito A03, devido as diversas movimentações executadas por apenas uma ponte rolante no processo deste armazém. Estas movimentações se resumem em envio de produtos acabados para área de embalagem, carregamento e descarga de insumos e produtos acabados, pesagem de bobinas de aço, mudança de eixo de bobinas de aço e recebimento de materiais oriundos de devolução por motivos de qualidade e/ou sinistros.

A simulação de eventos discretos vem sendo cada vez mais utilizada como ferramenta para solução de problemas em pequena escala e não somente focada para grandes projetos. Sua aplicação vai desde a verificação de possíveis gargalos existentes em uma determinada operação até a análise de um novo sistema (novo conceito), verificando se este não possui problemas antes mesmo de iniciá-lo. Para tanto, é necessário que todas as etapas do processo sejam cumpridas e aferidas (metodologia de simulação), tais como: correta coleta de dados, interpretação e análise dos dados, desenho ou modelagem do sistema, entrada de dados no sistema e por fim a análise dos resultados, verificação e validação da simulação.

O trabalho procurou seguir todas as etapas da metodologia de simulação e, através desta, somado a dados bem coletados e com o real conhecimento da situação foi possível obter a solução de melhor custo-benefício e este trabalho seguiu a sequência de estudo a saber:

No tópico 2 serão apresentadas definições sobre simulação dos principais pensadores do assunto, modelos de simulação e principalmente sobre a metodologia de aplicação de simulação, muito importante para o correto desenvolvimento do processo e aplicação de simulação de eventos discretos. A metodologia procura apresentar os principais pontos a serem observados em projetos de simulação e seus principais benefícios quando seguidos.

No tópico 3 procurou-se obter uma revisão de literatura dos principais *softwares* de simulação do mercado, com objetivo de adequar a melhor solução dado o tamanho de cada projeto, efetuando um estudo comparativo entre alguns destes softwares e suas principais aplicações, tamanho de sistema operacional necessário e possíveis saídas gráficas dos resultados obtidos.

No tópico 4 foi descrito o histórico e principais características do macro processo de produção de bobinas de aço em uma das unidades da Companhia Siderúrgica Nacional, objeto do estudo deste, para o correto entendimento de suas necessidades de melhoria. Foi possível conhecer melhor todo o processo e local a ser estudado a partir de um problema já observado pelos profissionais de logística que trabalham nesta companhia.

No tópico 5 foi tratado o processo de movimentação de bobinas de aço pré-pintado, seguindo a metodologia estudada no tópico 2 e revisão de softwares realizada no tópico 3. Neste ponto foi criado o modelo abstrato, executado a coleta dos dados e desenvolvimento do modelo computacional para o processo de simulação. O principal

desafio desta etapa foi criar o ambiente físico e melhor modelo a ser estudado de forma a obter os resultados desejados de melhoria do processo de movimentação no depósito ao menor custo possível. Os resultados após várias rodadas de simulação são avaliados e então é feita a tomada de decisão da melhor alternativa.

Finalmente no tópico 6 são apresentadas as considerações finais do estudo realizado bem como os próximos passos após aplicação do melhor cenário obtido. Nesta etapa final é possível verificar que existem muitas possibilidades de melhoria e novos desenvolvimentos para o local de estudo, cujo processo está apenas começando, com grande potencial de novas melhorias dos processos a longo prazo.

1.1 Objetivo

Este projeto objetiva principalmente a melhor solução para o problema de gargalos na movimentação de bobinas pré-pintadas no depósito de produtos acabados denominado A03, localizado na saída da linha contínua de pintura – LPC - que geram filas no processo de carga e descarga na planta da CSN-PR, dificuldades e problemas operacionais de produção gerando caos na movimentação e paradas de linha de produção. Também a análise das possibilidades de melhoria através de modificações de layout ou verificação de necessidade de investimentos na fábrica, seja em aumento de recursos empregados nesta movimentação, seja na ampliação de infra-estrutura.

2.0 DEFINIÇÃO DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO

2.1 Introdução

Este capítulo destina-se a apresentar as definições de modelagem, simulação e eventos discretos dentro de uma contextualização moderna, segundo autores e sites especializados nesta área a fim de defender as idéias e oportunidades geradas por esta ferramenta.

2.2 Definição de simulação

Em computação, simulação consiste em empregar técnicas em computadores com o propósito de imitar um processo ou operação do mundo real. Desta forma, para ser realizada uma simulação, é necessário construir um modelo computacional que corresponda à situação real que se deseja simular (WIKIPÉDIA, 06 de Setembro de 2008).

Segundo CHWIF & MEDINA (2007) os textos clássicos de simulação fornecem uma série de definições do que é simulação, porém para evitar repetições fizeram o inverso: comentaram o que a simulação não é:

- ◆ A simulação não é uma bola de cristal: ela não prevê o futuro, o que ela pode prever, com certa confiança, é o comportamento de um sistema baseado em dados de entradas específicos e respeitado um conjunto de premissas.
- ◆ A simulação não é um modelo matemático: embora se possam utilizar fórmulas matemáticas em um modelo de simulação, não existe uma “expressão analítica fechada”, não pode ser reduzida a um simples cálculo ou fórmula matemática.
- ◆ A simulação não é uma ferramenta estritamente de otimização: ela é uma ferramenta de análise de cenários.
- ◆ A simulação não é substituta do pensamento inteligente: não substitui o ser humano no processo de decisão.
- ◆ A simulação não é uma técnica de último recurso: Ela é uma das técnicas mais utilizadas na pesquisa operacional e na ciência da administração.
- ◆ *“A simulação não é uma panacéia que irá solucionar todos os problemas: corroborada pelo pensamento de HARREL & TUMAY (1995), a simulação possui uma classe de problemas bem específicos nos quais se adapta bem”* CHWIF & MEDINA (2007).

Os sistemas reais apresentam uma maior complexidade devido principalmente a sua natureza dinâmica, ou seja, o seu estado muda ao longo do tempo, e também por sua natureza aleatória, que é redigida por variáveis aleatórias. A simulação consegue através de um modelo capturar com maior fidelidade essas características, procurando repetir em um computador o mesmo comportamento que o sistema apresentaria quando submetidos às mesmas condições de contorno CHWIF & MEDINA (2007). Segundo SHANNON (1992), simulação é uma ferramenta que permite projetar o

modelo de um sistema real e realizar vários experimentos com o objetivo de entender seu comportamento nos diversos cenários possíveis e avaliar estratégias para sua operação. Para FREITAS (2001), a simulação consiste na utilização de fórmulas matemáticas, utilizadas em computadores, permitindo imitar o funcionamento de qualquer operação do mundo real. A simulação compreende a construção do modelo de concepção, abstrato e um método experimental que busca SHANNON (1992):

- Descrever o comportamento do sistema;
- Construir teorias ou hipóteses baseadas nas observações realizadas;
- Utilizar o modelo para prever o comportamento futuro, ou seja, os efeitos produzidos por alterações no sistema ou em seus métodos de operações.

Um modelo de simulação caracteriza matematicamente um sistema, cujo estado pode ser descrito, em um determinado instante, por um conjunto de variáveis estocásticas e determinísticas, conhecidas como variáveis de estado KOIDE (2006).

2.3 Modelos de simulação

Existem três modelos conhecidos de simulação computacional que podem ser classificados da seguinte forma: (A) simulação de "Monte Carlo" que se utiliza de geradores aleatórios de números para simular sistemas físicos ou matemáticos sem levar em consideração o tempo como uma variável. Sua utilização serve para solução de problemas matemáticos complexos que surgem no cálculo integral. Os outros dois tipos de modelos consideram a mudança de estado do sistema ao longo do tempo,

logo: (B) Simulação contínua é utilizada para modelar sistemas cuja característica é variar continuamente no tempo porém sem percepção notável de quando se inicia e termina cada evento. Esta se utiliza de equações diferenciais para o cálculo destas mudanças variáveis de estado ao longo do tempo. CHWIF & MEDINA (2007) utilizam como exemplo uma xícara de chá quente colocada à temperatura ambiente (figura 1) cujo fenômeno de resfriamento do chá é contínuo no tempo. Por fim a (C) simulação de eventos discretos, cujo estado muda em momentos discretos no tempo a partir da ocorrência de eventos, que podem ou não serem simultâneas. As ocorrências são separadas, ou seja, é possível observarmos as várias etapas de um processo. Seguindo o exemplo de da xícara de chá de CHWIF & MEDINA (2007), poderíamos comparar o estudo de preparação do chá como eventos discretos, onde temos: a colocação da água quente, posteriormente a colocação do chá na água quente e a consequente disponibilização do chá, como eventos que ocorrem de forma independentes e podem ser mensurados separadamente (figura 2).

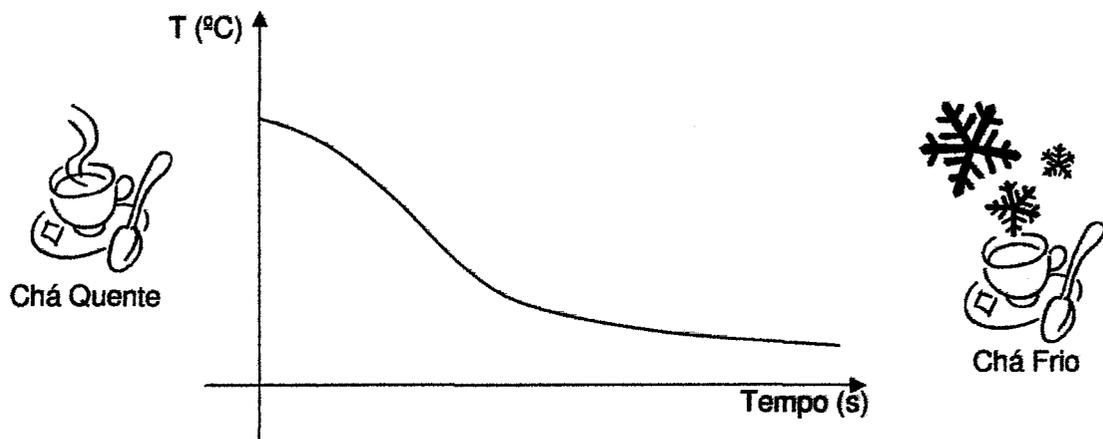


Figura 1: Simulação Contínua – Fonte: (Adaptado CHWIF & MEDINA – 2007).

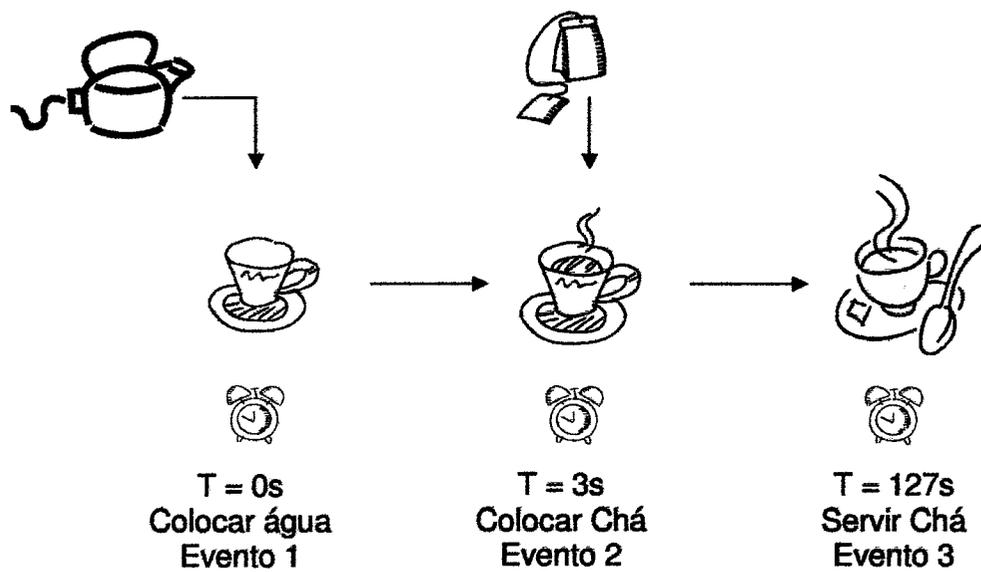


Figura 2: Simulação de Eventos Discretos – Fonte: (Adaptado CHWIF & MEDINA – 2007).

No pensamento de SILVA (2005), os modelos matemáticos de simulação, podem ser classificados em: *“(a) estáticos ou dinâmicos - denominam-se como modelos estáticos os que visam representar o estado de um sistema em um instante ou que em suas formulações não se leva em conta a variável tempo, enquanto os modelos dinâmicos são formulados para representarem as alterações de estado do sistema ao longo da contagem do tempo de simulação, (b) determinístico ou estocástico - são modelos determinísticos os que em suas formulações não fazem uso de variáveis aleatórias, enquanto os estocásticos podem empregar uma ou mais e (c) discretos ou contínuos - são modelos discretos aqueles em que o avanço da contagem de tempo na simulação se dá na forma de incrementos cujos valores podem ser definidos em função da ocorrência dos eventos ou pela determinação de um valor fixo”.*

Para o estudo objeto deste trabalho será utilizado a modelagem de eventos discretos, ou seja, o relógio de simulação sempre indicará um instante em que um evento acontece podendo ser simultâneo ou não.

2.4 Definição de modelagem

Modelagem ou modelo matemático, segundo EYKHOFF (1974) é uma representação dos aspectos essenciais de um sistema que apresenta conhecimento desse sistema em uma forma utilizável. No pensamento de DENN (1986) é um sistema de equações, cuja

solução, dado um conjunto de dados de entrada é representativa da resposta do processo. Este é o que mais se aproxima da idéia recente sobre modelagem. Já segundo SEBORG et al. (2004) um modelo nada mais é do que uma abstração matemática de um processo real.

A equação ou conjunto de equações que compõe o modelo é uma aproximação do processo real. Dessa forma, o modelo não pode incorporar todas as características, tanto macroscópicas quanto microscópicas, do processo real. Deve-se normalmente buscar um compromisso entre o custo de se ter o modelo e o nível de detalhe do mesmo, bem como os benefícios esperados de sua aplicação onde podemos considerar que o propósito do modelo determina sua precisão.

Os estudos destes sistemas podem dar-se sob diferentes formas de abordagem. A primeira seria interferindo diretamente sob rotinas operacionais promovendo implementações e, ou, alterações de procedimentos até que sejam obtidas as condições ideais. Estas ações fazem requerer do tomador de decisão a condução de estudos preliminares e experiência, para que as alterações não minorem a performance do sistema. A segunda refere-se a utilização de modelos que representem os sistemas reais. Os modelos podem apresentar-se como protótipos ou como modelos matemáticos, os quais podem prestar-se a soluções analíticas, como por exemplo um modelo de regressão, ou a simulação, permitindo assim, reconstituir a rotina funcional de um dado sistema real.

Diversos modelos matemáticos podem ser estudados, porém para este trabalho foi utilizado um software de simulação cujo modelo matemático estudado pode ser classificado como evento discreto.

2.5 Metodologia da simulação

Também conhecido como ciclo de vida de um modelo de simulação, o processo de simulação está dividido em três grandes etapas para definição e implantação de um modelo de simulação, são elas: concepção ou formulação do modelo, implementação do modelo e análise dos resultados do modelo (figura 3). Dentro de cada grande etapa são necessários eventos menores que deverão ser validados para a correta evolução do modelo a ser implementado ou estudado.

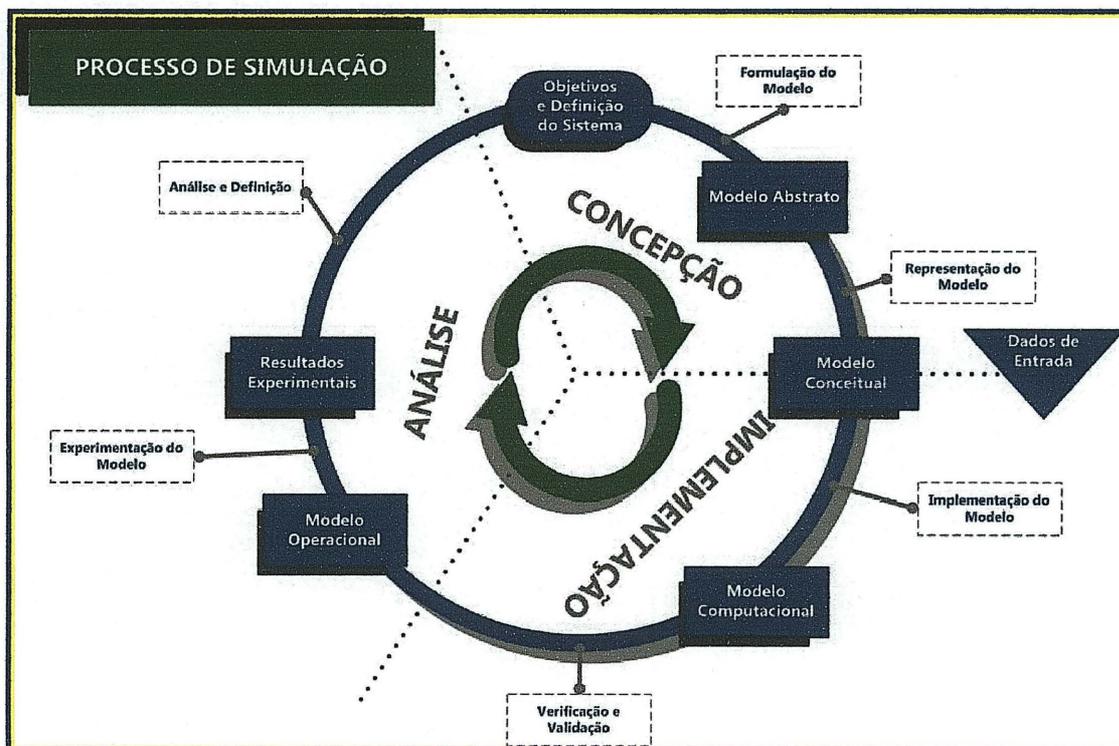


Figura 3: Metodologia de simulação - Fonte: CHWIF (1999)

Segundo CHWIF & MEDINA (2007) "na primeira etapa "concepção", o analista de simulação deve entender claramente o sistema a ser simulado e os seus objetivos,

através da discussão com analistas”. Um modelo deve estar idêntico a realidade ou muito próximo dela, por isso o envolvimento com pessoas relacionadas ao negócio, independentemente se o processo já existe ou não é de extrema importância para o correto desenho operacional. A definição de clareza de escopo e objetivos desejados com a simulação devem ser os primeiros pontos a serem discutidos antes do início das etapas de implementação e análise.

Os dados de entrada do modelo devem ser obtidos após a definição do escopo do modelo, suas hipóteses, seu nível de detalhamento e a avaliação deste levantamento devem ser cuidadosamente aferidos pois seus resultados é o exato espelho daquilo que se deseja como conclusão do estudo. Especialistas utilizam a seguinte expressão na engenharia de *software* “GIGO” (*garbage in, garbage out*) tradução para o português: “entra lixo, sai lixo” onde é imprescindível que os dados sejam corretos e aferidos para que todo o modelo não seja prejudicado. Importante ressaltar que o modelo em questão é quem deve dirigir a coleta de dados, pois pode-se perder muito tempo coletando dados que sequer serão aplicados no modelo CHWIF & MEDINA (2007). Também é na etapa de concepção que se define o modelo abstrato, e este se tornará o modelo conceitual que deve ser desenhado de tal forma que todos os envolvidos no processo tenham conhecimento e consigam entender o modelo.

Na segunda etapa do trabalho, a “implementação” conforme figura 3, é a fase onde “o modelo conceitual é convertido em um modelo computacional através de utilização de alguma linguagem de simulação ou de um simulador comercial” CHWIF & MEDINA (2007). O modelo computacional deve ser iniciado observando o formato do local onde está se aplicando o estudo e frente ao modelo conceitual ou abstrato, logo para melhor visualização da simulação, sugere-se que a localização física de cada recurso esteja

próximo a realidade. Para validação se o modelo computacional está de acordo com o conceitual, é necessário gerar alguns resultados, ou rodada do sistema para observar se o modelo está realmente com representação precisa da realidade, quando se conhece o processo.

Na terceira etapa, “análise” entende-se que o modelo computacional está pronto para realização dos experimentos, dessa forma se conclui que o modelo experimental ou modelo operacional pode ser utilizado CHWIF & MEDINA (2007). Neste momento são realizadas as diversas rodadas de simulação do sistema para que seus resultados e alternativas de cenários sejam analisadas e documentadas. ROBINSON (2004) enfatiza a não-linearidade de um estudo de simulação, lembrando sempre que esta não-linearidade deve ser considerada, embora a totalidade da literatura de simulação apresente para fins didáticos as etapas como sendo “estanques”.

Um dos importantes processos na simulação é a etapa de verificação, validação e confiabilidade de modelos. Cabe a esta etapa a determinação se o modelo proposto está fidedigno conforme o sistema em estudo e esses preceitos devem ser observados nas várias fases do desenvolvimento de um modelo. SILVA (2005) propõe que a verificação consiste em assegurar que o modelo computacional funcione como se deseja e é a relação entre o modelo conceitual e o modelo computacional. Trata-se de um conjunto de ações para certificar se a forma conceitual adotada na formulação do modelo, foi transcrita corretamente ao utilizar-se das linguagens de programação ou de simulação. A validação é uma coletânea de ações utilizadas para analisar se um dado modelo representa com fidedignidade o sistema em estudo. Esse procedimento pode ser conduzido em conjunto com a verificação, fato que imprimirá maior confiabilidade ao modelo.

No pensamento de CHWIF & MEDINA (2007), a validação tem a ver com o modelo conceitual e serve para validar se está se desenvolvendo o modelo correto. Já a verificação está relacionada com o modelo computacional e seve por sua vez para verificar se o desenvolvimento do modelo vem sendo realizado corretamente, exemplificado através da figura 4 abaixo:

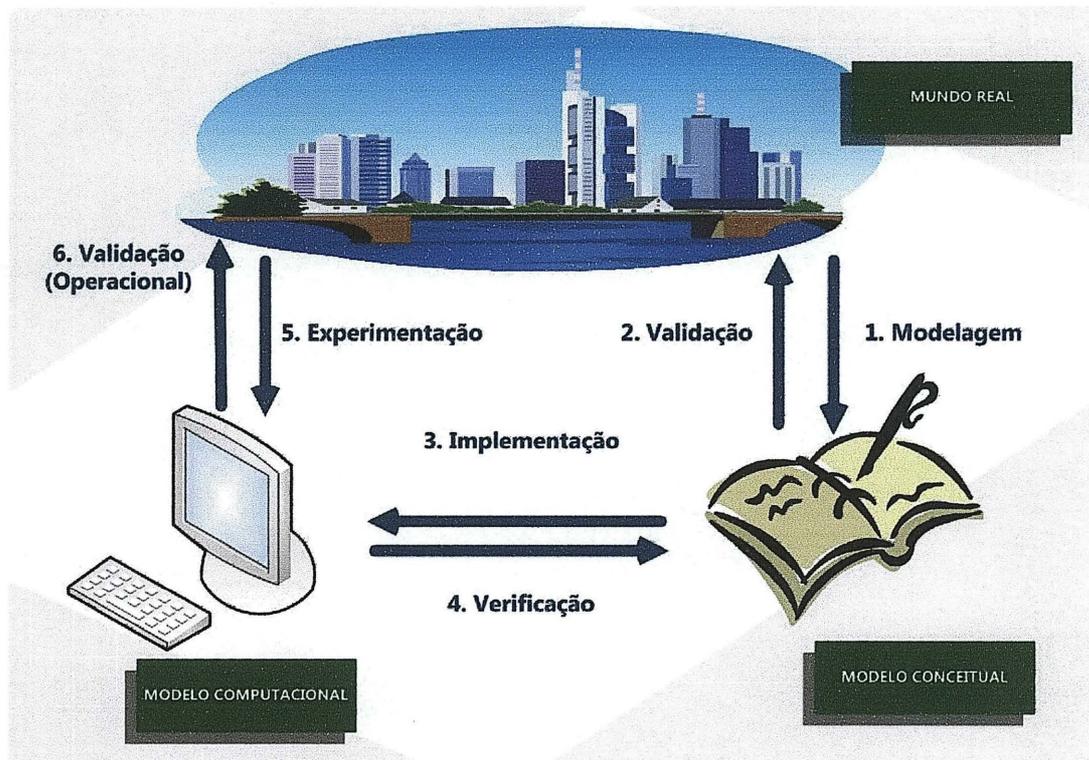


Figura 4: Verificação e validação em simulação - Fonte: Adaptado de CHWIF & MEDINA (2007).

Uma das formas de verificar se o modelo está de acordo com a necessidade proposta é através da experiência dos colaboradores envolvidos no processo que após rodada inicial do sistema são capazes de informar se as informações resultantes fazem sentido, porém isso não é possível para estudos de novos modelos. A revisão em grupo é uma

importante técnica de verificação e validação executada por vários especialistas, cuja finalidade é fazer com que no mínimo duas pessoas façam rodadas de sistema em diferentes momentos e analisem os resultados para validar o modelo.

Conclui-se que apesar de termos uma seqüência lógica na utilização da metodologia de simulação ela não deve ser seguida rigorosamente como forma metódica, pois a cada momento pode se verificar necessidades de ajustes e o ciclo deve ser reiniciado sempre que preciso e encontrado problemas em qualquer etapa do processo.

3.0 SOFTWARES DE SIMULAÇÃO: UMA REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Introdução

Neste capítulo trataremos dos principais estudos publicados que tratam da questão de avaliação de *softwares* de simulação de eventos discretos que foram motivados pela diversidade e opções disponíveis no mercado, também pelo motivo da simulação estar cada vez mais popular e crescente na modelagem e análise dos problemas em diferentes áreas, mas principalmente na logística. A revisão bibliográfica desenvolvida neste capítulo tem como principal objetivo a busca de problemas representativos de sistemas logísticos, verificando atualmente como está a utilização de *softwares* de simulação de eventos discretos e suas características, modelos construídos e suas principais aplicações.

3.2 Seleção de softwares para simulação

Existem diversos modelos e tamanhos de *softwares* disponíveis para simulação no mercado atualmente. Conforme recente publicação da *ORMS Today* (2007) através do *Simulation Software Survey* (levantamento de *softwares* de simulação) foram

identificados mais de 65 *softwares* de simulação e dentre eles vários com pacotes adicionais de informações incluindo *softwares* de estatística que acompanham o desenvolvimento de simulação. Dessa forma a decisão de qual *software* utilizar se torna de certa forma complexa, dada a quantidade de oferta disponível no mercado, por isso devemos utilizar alguns parâmetros de decisão, tais como: custos, sistema mínimo operacional necessário, características funcionais, o objetivo do estudo a ser realizado ou características do processo dentre outros.

Conforme descrito por BANKS (1992), inúmeros fatores técnicos possibilitaram o surgimento dessa gama de *softwares* de simulação e contribuíram para a rápida evolução, dos quais destaca-se:

- Aumento da capacidade de microcomputadores permitindo a adição de novos *softwares* com maior capacidade de cálculos e novos recursos sem grandes incrementos de tempo no seu processamento;
- A constante evolução de *hardwares* dos processadores de imagens gráficas;
- A redução de custos de fabricação de discos armazenadores de informações ou discos rígidos (*hard disks*) permitindo maior armazenamento de sistemas operacionais e diversos outros *softwares*;
- A tendências de desenvolvimento de novos *softwares* mais amigáveis, de fácil utilização e programação;

Dessa forma, um analista de software experiente pode demandar meses de pesquisa para tomada de decisão de compra do sistema que mais se encaixe em suas necessidades. Como tentativa de facilitar este trabalho de busca de melhor opção de

softwares, BANKS (1991) apresentou um conjunto de critérios capaz de auxiliar na avaliação de *softwares* de simulação de eventos discretos classificado em 5 categorias:

- Critérios de entrada, onde deve-se verificar: Interface com outros softwares, capacidade de análise de dados de entrada, sintaxe, flexibilidade de entrada, depuração interativa, flexibilidade de modelagem (aplicada somente às linguagens de simulação e concisão na modelagem (aplicada somente às linguagens de simulação);
- Critérios de processamento, onde deve-se verificar: velocidade de execução, tamanho do modelo, capacidade de manuseio de materiais (esteiras, robôs, guindastes, etc.), gerador de variáveis aleatórias, período de aquecimento (*warm-up period*), numero de replicações independentes (conjunto de números aleatórios diferentes), variáveis globais, roteamento condicional entre outros;
- Critérios de saída, onde deve-se verificar: relatórios pré-existentes ou padronizados com medidas de desempenho, personalização de relatórios, análises estatísticas descritivas, geração de diversos tipos de gráficos, criação de arquivos compatíveis com planilhas eletrônicas, bancos de dados e capacidade de manutenção de banco de dados;
- Critérios de suporte onde deve-se verificar: facilidade do uso, de aprendizagem, qualidade da documentação gerada, capacidade de animação (duas dimensões, 3 dimensões, qualidade das figuras, suavidade de movimentos, portabilidade com *softwares* CAD e suporte ao cliente dentre outros;

- Critérios de custo, que podem ser verificados da seguinte forma: Aquisição da licença do *software*, requisitos mínimos de hardware, tempo necessário para treinamento do *software* e tempo necessário para construção do modelo.

Dentre as 5 categorias, o autor destaca ser importante conhecer quais são os critérios apropriados para cada caso em particular, como exemplo a utilização de modelo tridimensional de apresentação somente se for necessário ou exigência do solicitante, e isso pode trazer redução considerável de custo nos pacotes oferecidos pelos fornecedores.

Com base nos critérios apresentados, ainda há uma sugestão de BANKS (1991) para que seja utilizado uma forma de modelo de pontuação (*scoring model*) a partir da lista dos sistemas sugeridos, com objetivo de reduzir o número de opções e assim facilitar a definição de qual será o *software* mais indicado para a compra.

Corroborando com este pensamento, NIKOUKARAN, HLUPIC e PAUL (1998) apresentaram diversos critérios para avaliação de *softwares* de simulação de eventos discretos que foram estruturados hierarquicamente em sete categorias principais:

- Critérios do fornecedor: histórico do fornecedor, tempo no mercado, outros produtos, documentação, suporte e facilidades de pré-vendas;
- Critérios de desenvolvimento do modelo de entrada: construção do modelo, roteamento condicional, distribuições estatísticas, aspectos de codificação e entrada de dados;
- Critérios de execução: Controle de velocidade, múltiplas rodadas, execuções automáticas, período de aquecimento, capacidade na reinicialização de

estatísticas, inicialização em estados não vazios, paralela e modelos executáveis;

- Critérios de animação: integração da animação (correlação com outros softwares), biblioteca de ícones e figuras, execução da animação, *layout* de tela (organização da tela) e ferramentas para desenvolvimento da animação;
- Critérios de eficiência e teste: rastreamento, armazenamento dos valores instantâneos de variáveis, execução passo-a-passo, validação e verificação do modelo, relógio reverso, interação com o modelo em execução, multitarefa, pontos de parada, gerador de modelo conceitual, limites e características de exibição da tela;
- Critérios de saída: disponibilização de arquivos, relatórios, banco de dados, integração de planilhas eletrônicas, sistemas de gerenciamento de banco de dados, *softwares* estatísticos, análises diversas (intervalos de confiança, testes de aderência de curvas, regressões) e por fim gráficos diversos (barras, histogramas, entre outros estatísticos ou dinâmicos).
- Critérios do usuário: tipo de simulação (Monte Carlo, discreta, contínua), orientação a aplicações específicas, tipo de *hardware* mínimo necessário, dispositivos de segurança, o tipo de sistema operacional mínimo necessário, se há versão para rede, questões financeiras (custo de licenças, manutenção, treinamentos) e se é necessária experiência em simulação para uso do *software*.

Segundo os autores, a seleção de critérios para avaliação de *softwares* de simulação é imprescindível para a seleção da melhor opção do mercado. Quando se torna mais ágil a aprendizagem e testes de recursos dos *softwares* pode-se dizer que é possível

reduzir o tempo gasto com a atividade de seleção contribuindo diretamente para a redução dos custos envolvidos.

As duas formas apresentadas de avaliação de *softwares* de simulação apresentam características semelhantes que devemos observar no momento da escolha de aquisição, portanto podemos concluir que para a tomada de decisão da compra do *software* devemos ter em mente primeiramente qual o objetivo do estudo e projetos a serem executados e adquirir a ferramenta mais adequada. Os simuladores para microcomputadores mais comuns utilizados atualmente no Brasil são os constantes na figura 5:

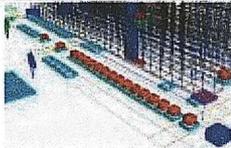
	Arena	AutoMod	Promodel
Nome da Empresa	<i>System Modeling Corp.(USA)</i>	<i>AutoSimulations Inc.(USA)</i>	<i>Promodel Corp. (USA)</i>
Nome do Produto	Arena	AutoMod	Promodel
Necessidades Mínimas de Soft/Hardware	32 MB RAM em MS Windows	32 MB RAM em MS Windows	32 MB RAM em MS Windows
Plataformas Suportadas	PC, SUN, DEC, HP, IBM/RS/ 6000	PC, SGI, HP, SUN	PC
Tamanho Máximo do Modelo	Sem limite	Sem limite	Sem limite
Módulos	<i>Input analyzer, Output Analyzer</i>	<i>AutoView, AutoStat, Kinematics, Power&Free, Pipe & Tanks, Communications Module</i>	<i>Curve fitting, optimization, scheduling, graphics</i>
Características	Análise dos custos dos produtos, Sistema de análise das saídas, Animação 2D, Projeto de Experimentos	Análise dos custos dos produtos, Sistema de análise das saídas (<i>AutoStat</i>), Animação 3D, Projeto de Experimentos	Análise dos custos dos produtos, Sistema de análise das saídas, Animação 2D, Projeto de Experimentos
Saída Gráfica			
Maiores Informações	www.sm.com	www.autosim.com	www.promodel.com
Representante Brasileiro	www.paragon.com	www.autosim.com	www.belge.com.br

Figura 5: Características de três *softwares* de simulação - Fonte: Adaptado de IIE *Solutions* (1996).

4.0 ANÁLISE DO MACRO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE BOBINA DE AÇO NA CSN-PR.

4.1 Introdução

Este capítulo destina-se ao estudo do macro-processo produtivo da unidade da Companhia Siderúrgica Nacional em Araucária PR e observar toda a relevância e oportunidades inerentes a logística na simulação dos processos produtivos com objetivo de melhoria em toda sua cadeia produtiva. Seguindo a metodologia de simulação, deveremos entender o processo e analisar o ambiente para concepção do melhor modelo de simulação a ser implementado.

4.2 Histórico da CSN-PR

Implantada com o propósito de introduzir no Brasil as mais modernas tecnologias de produção de chapas de aço para a construção civil e utilidades domésticas, a CSN-PR foi fundada em julho de 1998 com a denominação social CISA (CSN-IMSA Indústria de Aços Revestidos S/A), como resultado de associação da CSN (Companhia Siderúrgica Nacional) com a mexicana IMSA (Indústrias Monterrey S/A), para implantação em

Araucária - PR (município da região metropolitana de Curitiba, capital do Paraná) de uma unidade relaminadora de aços planos.

O projeto da planta industrial incluiu, além das linhas de decapagem química, laminação a frio, galvanização , pré-pintura, um Centro de Serviços com linhas de corte de bobinas transformando em chapas e slitters (rolos). Os investimentos propiciariam à CSN ser pioneira no Brasil e líder latino-americana na produção de galvalume (aço revestido com liga alumínio-zinco), e líder no fornecimento de aço pré-pintado no mercado doméstico.

Em outubro de 1999 foi concedida Licença Prévia para as obras de implantação da CISA, pelo Instituto Ambiental do Paraná, e foi dado início aos serviços preparatórios de terraplanagem.

Em abril de 2000, a IMSA retirou-se da Sociedade e a CSN assumiu integralmente a continuidade do projeto. Em novembro do mesmo ano, o Centro de Serviços iniciou a produção de tiras e chapas destinados à indústrias da construção civil, principalmente, utilizando bobinas provenientes da CSN Volta Redonda.

A partir de junho de 2001, a CSN entregou a operação do Centro de Serviços da CSN-PR à INAL, empresa controlada que atua como beneficiadora e distribuidora de produtos do Grupo CSN. Ao mesmo tempo, continuavam as obras de implantação dos estágios produtivos de relaminação e revestimento de aços planos, que se completaram com a ativação dessas unidades no período de agosto a dezembro de 2003.

Durante o ano de 2004, a CSN-PR atingiu o ritmo nominal em todas as linhas, garantindo em volume e qualidade o cumprimento da estratégia de penetração de seus produtos no mercado brasileiro, com exportação do excedente da produção. Em 2008,

foram produzidas mais de 150 mil toneladas de galvalume e 40 mil toneladas de pré-pintadas. A partir de setembro de 2005, a operação do Centro de Serviços é incorporada como mais um processo da CSN-PR. Desenho da planta conforme figura 6 dando a localização de onde será realizado o estudo proposto.

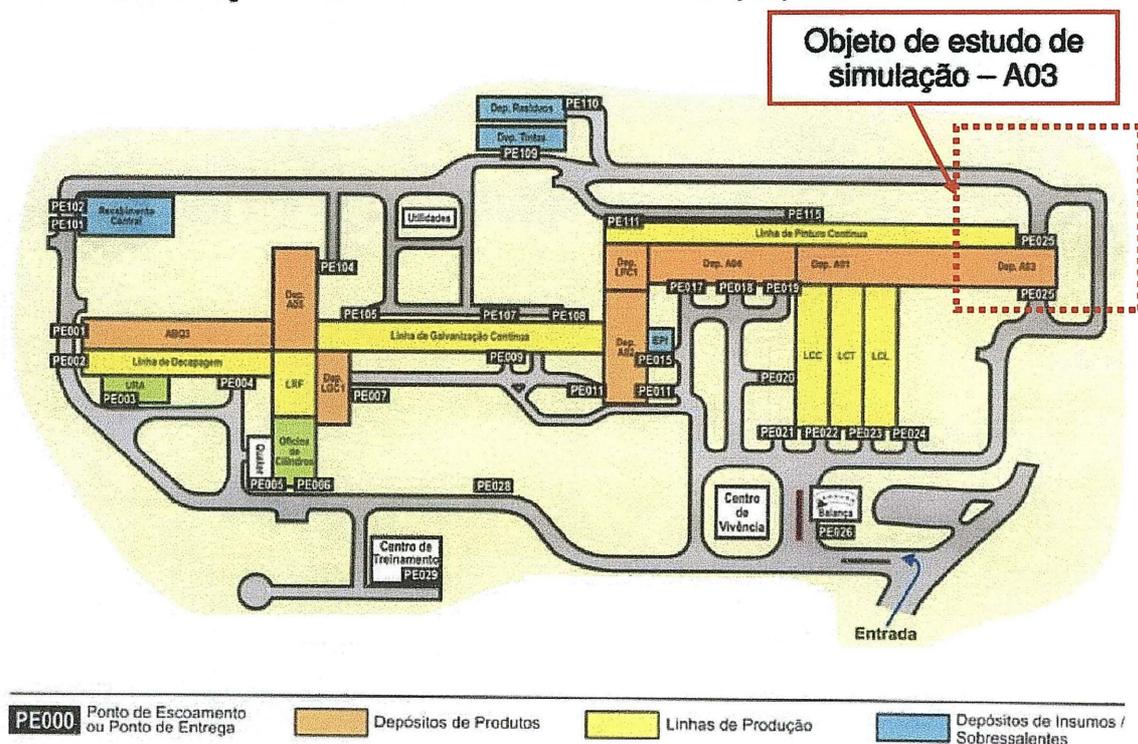


Figura 6: Visão geral da planta CSN Araucária PR e o local onde será realizado o estudo de simulação – A03 (armazém 03).

4.3 Fluxo do processo produtivo

Seu fluxo produtivo é focado principalmente ao atendimento à construção civil, linha branca e iniciando atendimento a automobilística. A principal matéria prima é oriunda de

sua matriz localizada na cidade de Volta Redonda – RJ cujo aço base laminado a quente após a chegada em Araucária PR recebe diversos tratamentos de superfície, especialidade da unidade. Inicia-se o processo pela linha de decapagem semi contínua (1 - LDS) aplicando ácido clorídrico na superfície da chapa cujo objetivo é a limpeza de impurezas e estágios de oxidação natural do produto bruto e o produto final é chamado de bobinas de aço laminadas a quente decapadas. Após o processo de decapagem (o excedente pode ser vendido diretamente) as bobinas de aço são enviadas para o laminador reversível a frio (2 - LRF) nesta etapa o objetivo é a redução de espessura da chapa. Neste processo as bobinas passam a se chamar de bobinas “*Full Hard*” e sua tradução mais aproximada para o português seria “alto grau de dureza” devido a característica física do aço após o processo de laminação. Estas bobinas serão recozidas no processo de galvanização para obtenção de dureza conforme padrões solicitados pelos clientes. Na seqüência as bobinas BFH passam para o processo seguinte (o excedente pode ser vendido diretamente) chamado de galvanização na linha de galvanização contínua (3 – LGC), considerado o coração dos produtos com revestimentos que garantem a integridade e maior tempo de vida ao aço. Este processo transforma as BFH’s em bobinas de aço galvanizadas que podem ser tanto bobinas de aço galvanizadas zincadas (BZN) ou bobinas de aço galvanizadas Galvalume® (BGL) cuja patente e licença de operação é concedida pela *BIEC International CO.*

Após o processo de galvanização por imersão, os produtos podem tanto serem vendidos ao mercado nacional quanto internacional e/ou encaminhados para a linha de

pré-pintura contínua (4 – LPC) ou para o centro de serviços de aço (5 – CS) onde serão cortados conforme solicitações dos cliente.

O processo de pré-pintura é caracterizado por aplicação de película de tinta em uma ou ambas as faces da bobina de aço. Esta linha de produção é reconhecida pelas excelência e alta tecnologia empregada em seu processo produtivo. O ponto de saída destes produtos é o objeto de estudo deste trabalho. As bobinas pré-pintadas podem ser vendidas no mercado nacional e internacional, ou enviado para o centro de serviços de aço (5 – CS) onde são executados os diversos sistemas de corte atualmente existentes no mercado de aço. A aplicação de cortes serve justamente para uma aplicação mais direta aos principais grandes clientes desta unidade, como segmento de linha branca, construção civil e automotiva.

A representação do fluxo produtivo, pode ser analisado através da figura 7.

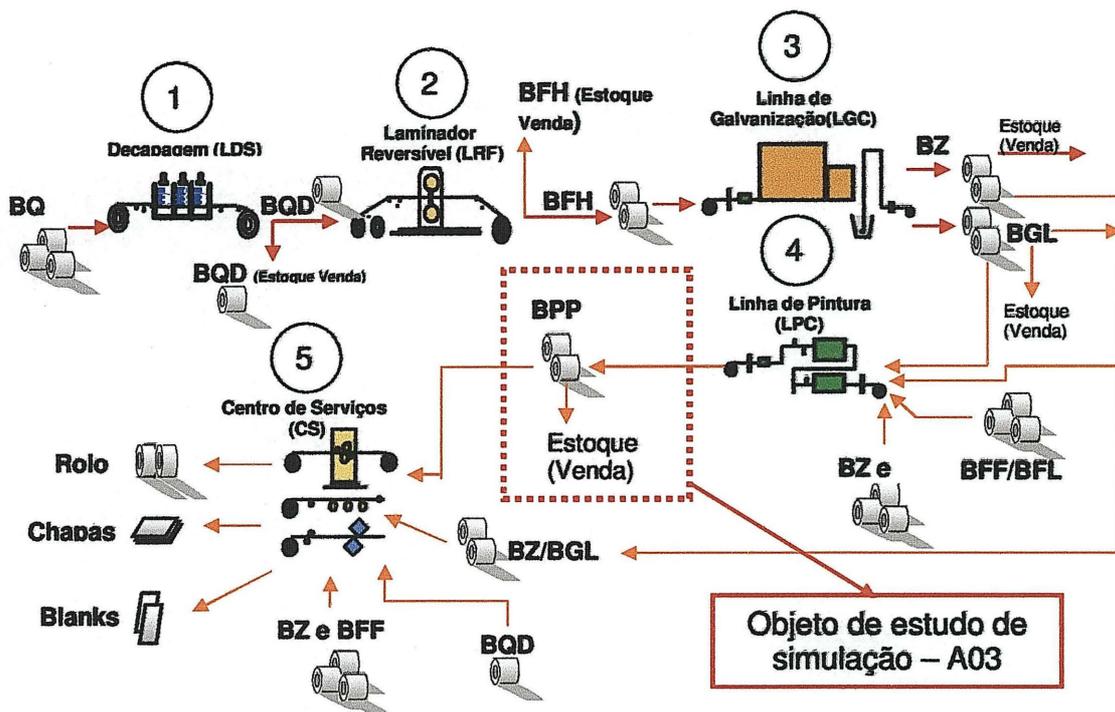


Figura 7: Macro processo produtivo CSN-PR onde:

BQ – Bobina de aço laminada a Quente;

BQD – Bobina de aço laminada a quente Decapada;

BFH – Bobina de aço *Full Hard* (alto grau de dureza);

BZ – Bobina de aço Zincada;

BGL – Bobina de aço Galvalume;

BFF – Bobina de aço Fina a Frio;

BFL – Bobina de aço Flandres;

LDS – Linha de Decapagem Semi Contínua;

LRF – Laminador Reversível a Frio;

LGC – Linha de Galvanização Contínua;

LPC – Linha de Pintura Contínua;

5.0 PROCESSO DE MOVIMENTAÇÃO DE BOBINAS DE AÇO PRÉ-PINTADO NA CSN-PR

5.1 Introdução

Este capítulo destina-se ao estudo do processo de movimentação das bobinas pré-pintadas localizada no depósito A03 utilizando a metodologia de simulação e aplicando um *software* de simulação de eventos discretos com objetivo de conhecer melhor a operação e através dos resultados obtidos encontrar os gargalos existentes nesta operação propondo melhorias e ajustes necessários para o melhor desempenho do processo.

5.2 Aplicação de modelagem e simulação na movimentação de bobinas de aço pré-pintado

A linha de pintura contínua (LPC) é o penúltimo processo produtivo na cadeia de produção da CSN-PR, conforme figura 7. Ela é responsável pela produção dos produtos com maior valor agregado da companhia que responde aproximadamente por 27% do volume total faturado da unidade. A tabela 1 demonstra as características técnicas com os limites superiores e inferiores com estimativa de produção por minuto e capacidade nominal.

Características Técnicas Principais LPC1

Substrato	Aço Laminado a Frio, Galvanizado e Galvalume
Espessura do Substrato (min/max)	0,25 mm a 1,55 mm
Largura da Tira (min/max)	700 mm a 1600 mm
Diâmetro Interno Saída	508 mm ou 610 mm
Diâmetro Externo Saída (min/max)	610 mm a 2100 mm
Peso Máximo Saída	25 t
Velocidade da Linha	100 m / min
Produção Nominal	100.000 t / ano
Temperatura de Pico da Chapa (max)	260°C

Tabela 1: Características técnicas principais da LPC1

A movimentação na saída da linha, objeto deste estudo, é feita por uma ponte rolante com capacidade de carga de até 15 toneladas e que possui um elevado percentual de utilização já conhecido devido aos diversos movimentos necessários para atendimento tanto na retirada de produtos da linha de produção, quanto ao efetivo carregamento dos produtos nos caminhões para entrega aos clientes.

Seguindo a metodologia de simulação, iniciamos o estudo constituindo o modelo abstrato do processo de movimentação de bobinas pré-pintadas, com o objetivo visualizar como o sistema físico está constituído. Após esta etapa passamos para o modelo conceitual, também conhecido como *Activity Cycle Diagrams - ACD* (traduzido para o português: diagrama do ciclo de atividades) onde foi possível conhecer o fluxo do sistema que estaremos representando de forma computacional. O modelo conceitual do armazém A03 está representado conforme figura 8.

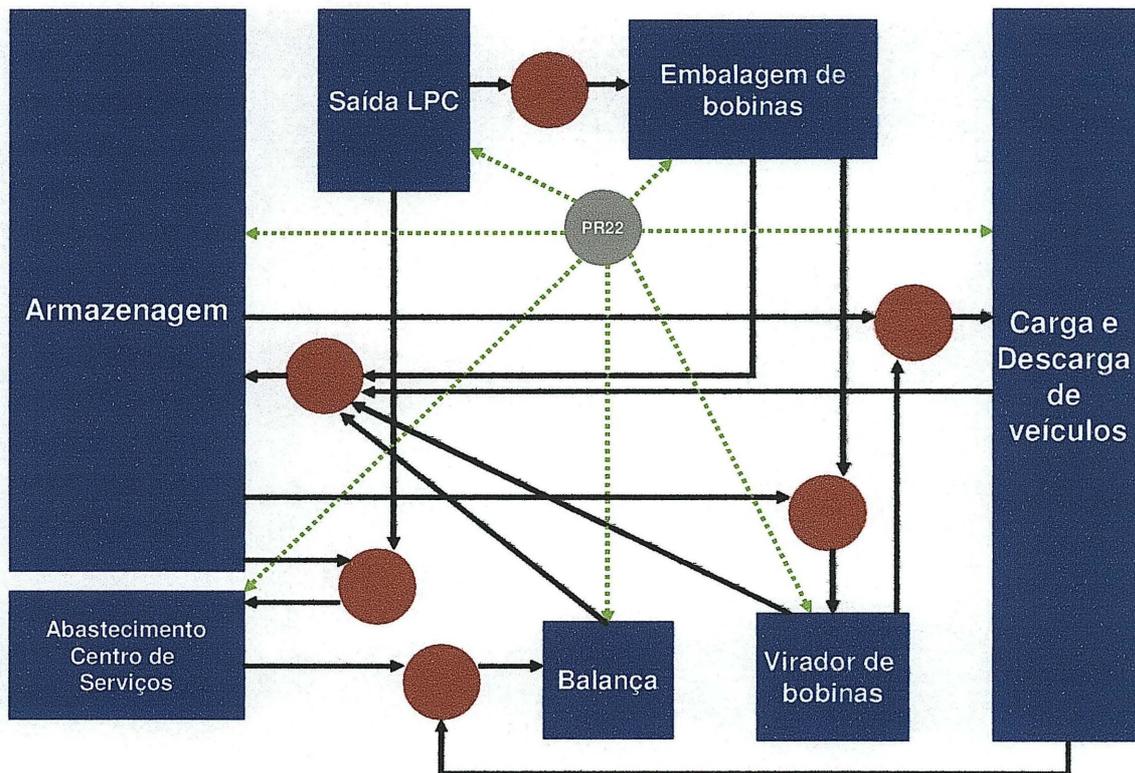


Figura 8: Diagrama do ciclo de atividades do armazém A03

Uma vez que o modelo abstrato e conceitual foram finalizados, passamos para a determinação dos itens necessários para coleta de dados, etapa vital para que os resultados da simulação tenham garantia com o que deve acontecer na vida real. Foram necessárias 3 semanas de observação de todo o processo, considerando apenas as variáveis de estudo, e destes foram coletados informações dos seguintes processos:

- Intervalo de saída de produtos da linha de pintura contínua (considerando os vários sistemas (*mix*) de produção. É necessário considerar que a capacidade nominal do equipamento não é totalmente conhecido, uma vez que seu mix de produção pode variar substancialmente ao longo de cada mês, por isso será

aplicado no simulador as situações extremas, ou seja, de maior e menor capacidade de produção conforme cada largura x espessura e substrato utilizado para a produção.

- Intervalo de tempo de carregamento dos veículos;
- Intervalo de tempo de descarga dos veículos;
- Intervalo de tempo do processo de embalagem (inclui a movimentação de colocação e retirada dos produtos na área de embalagem);
- Intervalo de tempo do processo de envio e retirada de bobinas para o virador de bobinas, equipamento utilização para alteração de eixo das bobinas de aço (de horizontal para vertical);
- Intervalo de tempo do processo de pesagem de produtos (aferição de pesos de materiais oriundos de devolução por motivos de qualidade ou processo interrompido de corte no Centro de Serviços);
- Intervalo de tempo no processo de armazenagem (organização e movimentação de estoque, excluído o processo necessário no carregamento e descarga dos veículos);
- Intervalo de tempo no processo de abastecimento das linhas de produção do Centro de Serviços;

Foram também considerados outros levantamentos de tempo, tais como: parada da ponte rolante para manutenção, troca de operadores, tempo ocioso e troca de equipamentos de movimentação (tenaz mecânica para movimentação de bobinas no eixo horizontal e cintas de nylon/poliéster para içamento de bobinas no eixo horizontal).

Após o processo de coleta de dados e inserção destes em planilhas eletrônicas, deu-se início a observação dos resultados estatísticos de cada processo para aplicação dos mesmos no modelo computacional (simulador). A verificação inicial foi na aferição para constatação se não existiam pontos fora da curva nas distribuições estatísticas, chamados de *Outliers* (tradução para o português: fora das linhas da distribuição estatística). Para conhecer os *Outliers*, foi necessário primeiramente encontrar o 1º e 3º Quartil da amostra, que pode ser localizado utilizando planilha eletrônica e através dos seguintes cálculos encontrar os pontos fora da curva:

Outlier: elemento que está acima de $Q3+1,5(Q3-Q1)$ ou abaixo de $Q1-1,5(Q3-Q1)$, onde Q3: 3º Quartil e Q1: 1º quartil da amostra de dados.

Estes pontos podem distorcer os dados e tendenciar o resultado da amostra e são facilmente detectados através de análise estatística *Box-plot* (ver figura 9). Pode-se considerar duas situações como pontos fora da curva:

- ◆ Erro na coleta de dados: Este tipo de *outlier* é o mais comum, principalmente quando o levantamento de dados é feito por meio manual.
- ◆ Eventos Raros: Nada impede que situações totalmente atípicas ocorram na coleta de dados. Alguns exemplos: Um dia de temperatura negativa no verão da cidade do Rio de Janeiro; um tempo de execução de um operador ser muito curto em relação aos melhores desempenhos obtidos naquela tarefa; Um tempo de viagem de um caminhão de entregas na cidade de São Paulo, durante o horário de rush, ser muito menor do que fora deste horário CHWIF & MEDINA (2007).

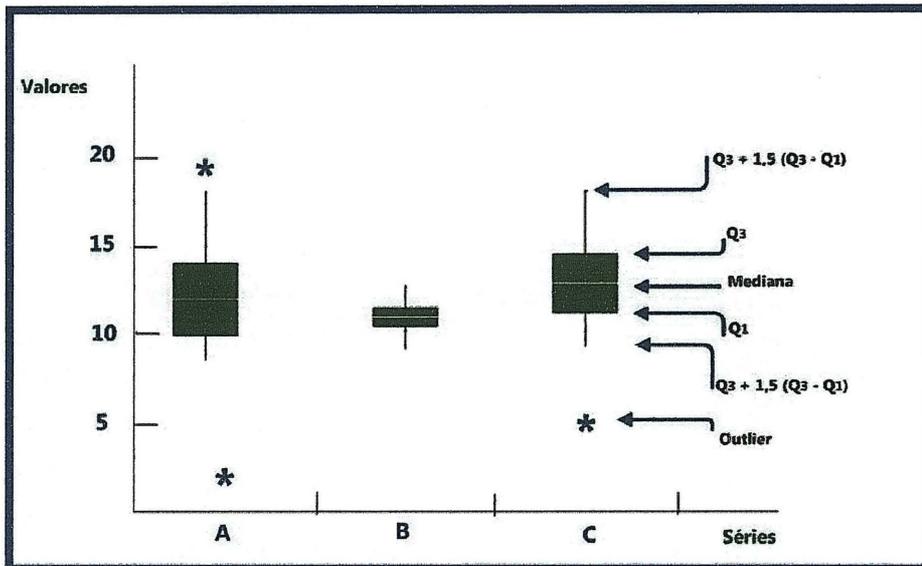


Figura 9: Diagrama *box-plot* para identificação de *outliers* CHWIF e MEDINA, (2007).

Alguns *outliers* encontrados no processo de produção das bobinas de aço pré-pintado na LPC1 estão representados na figura 10.

LOTE_PROD	PESO	DATA	HORÁRIO	INTERVALO	Minutos	1º Quartil	3º Quartil	Outlier Superior	Outlier Inferior	Q3 - Q1
L291240106	2624	01/04/09	05:51:29	0:54	54	19,25	37	63,625	-7,375	17,75
L291240107	1867	01/04/09	06:46:24	1:37	97					
L293420300	1000	01/04/09	12:35:54	0:35	35					
L293420400	9199	01/04/09	13:11:02	0:12	12					
L293420500	3200	01/04/09	13:23:57	0:27	27					
L293420600	7105	01/04/09	13:51:23	0:40	40					
L293420700	10662	01/04/09	14:31:50	0:40	40					
L293420800	10614	01/04/09	15:12:13	0:41	41					
L293420900	10692	01/04/09	15:53:18	0:41	41					
L293421000	10748	01/04/09	16:34:34	0:42	42					
L293421100	10998	01/04/09	17:16:37	0:43	43					
L293421200	11206	01/04/09	17:59:37	0:42	42					
L293421300	11150	01/04/09	18:42:06	0:40	40					
L293421400	10610	01/04/09	19:22:55	0:42	42					
L293421500	11182	01/04/09	20:05:49	2:02	122					
L293421600	2622	01/04/09	22:08:35	0:30	30					
L293421700	8092	01/04/09	22:38:41	0:41	41					
L295100800	9431	01/04/09	23:20:15	0:08	8					
L295101000	7379	02/04/09	00:01:18	0:42	42					
L295101100	9640	02/04/09	00:43:32	0:43	43					
L295101200	9837	02/04/09	01:26:46	0:43	43					
L295101300	9777	02/04/09	02:09:52	0:56	56					
L295101400	9387	02/04/09	03:05:57	0:48	48					
L295101700	10334	02/04/09	05:19:19	0:43	43					

Figura 10: Cálculos efetuados em planilha eletrônica para encontrar os *outliers* da amostra de dados LPC1

As freqüências de saída de bobinas de aço pré-pintadas da linha de produção dada pelo intervalo de tempo de produção de cada bobina de aço está representado através da tabela 2.

<i>Bloco</i>	<i>Freqüência</i>	<i>% cumulativo</i>	<i>Bloco</i>	<i>Freqüência</i>	<i>% cumulativo</i>
10	8	1,46%	40	189	34,55%
20	148	28,52%	20	148	61,61%
30	97	46,25%	30	97	79,34%
40	189	80,80%	Mais	40	86,65%
50	28	85,92%	60	37	93,42%
60	37	92,69%	50	28	98,54%
Mais	40	100,00%	10	8	100,00%

Tabela 2: Freqüência dos dados de saída de bobinas de aço LPC1

O histograma dos dados da amostra LPC1 representando as maiores freqüências de saída estão representados conforme figura 11.

Histograma LPC1

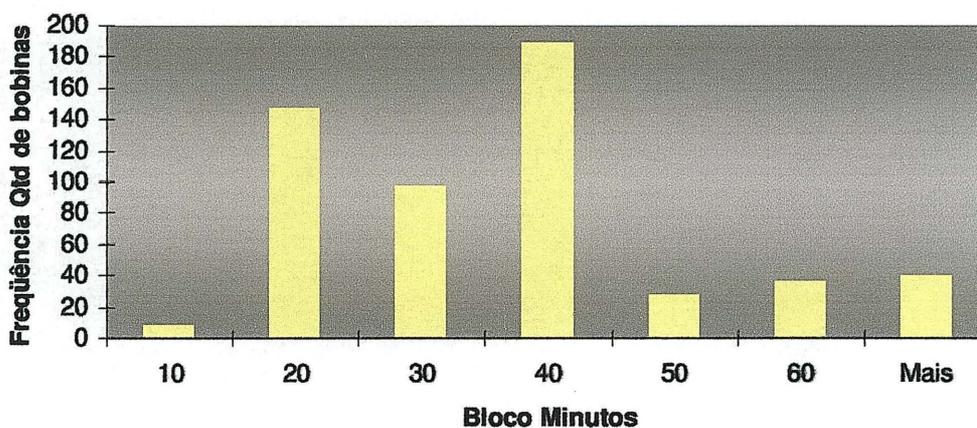


Figura 11: Histograma dos dados da amostra LPC1

Foi também necessário a utilização de *software* de ajuste de curvas, cujo objetivo é ajustar uma massa de dados de acordo com uma distribuição matemática conhecida para que esta esteja de acordo com a distribuição dos dados. O estudo realizado com os dados de saída da LPC1 apresentou os resultados conforme figura 12, após aplicado no sistema estatístico.

Dentre outros, os mais importantes resultados estatísticos obtidos após aplicação no sistema de ajustes de curvas, ao qual deverão ser aplicados no simulador foram os seguintes:

- ◆ Intervalo mínimo de saída de bobina da linha de produção: 8 minutos;
- ◆ Intervalo máximo de saída de bobina da linha de produção: 56 minutos;
- ◆ Média de saída de bobina da linha de produção: 33,46 minutos;
- ◆ Desvio padrão de saída de bobinas da linha de produção: 9,93 minutos;
- ◆ Curva estatística de maior aderência (100%): Lognormal;

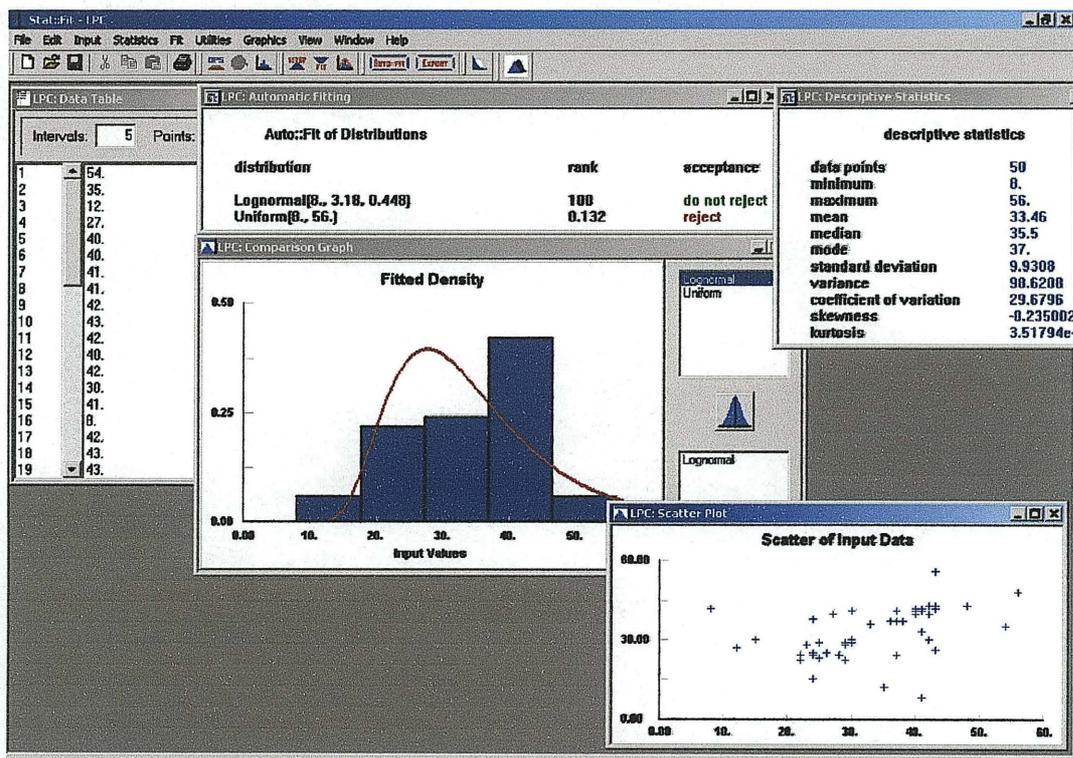


Figura 12: Resultado estatístico dos dados de saída de bobinas de aço da LPC1

A tabela 3 apresenta os resultados estatísticos consolidados de todas as amostras após aplicação do *software* de ajuste de curvas, cujo dados foram inseridos no simulador para gerar as informações do modelo computacional. Estes dados fazem parte inicial do estudo e foi através deles que foi possível efetuar a primeira verificação se o modelo abstrato está em conformidade com a realidade.

Centro de trabalho	Curva de distribuição estatística	Média em min	Desvio Padrão em min	Mediana em min	Moda em min	% Disponível para utilização
Produção bobinas LPC1	Lognormal	33,4	9,9	35,5	37	95%
Descarga de veículos	Fixo / Uniforme	100	-	-	-	98%
Carga de veículos	Lognormal	30,8	24,6	24,5	25	98%
Movimentação estoque	Exponencial	4,6	3,3	4	3	98%
Movimentação Balança	Normal	2,6	0,7	2,5	2	98%
Processo de embalagem	Poison	2,1	0,9	2	2	99%
Abastecimento CS	Lognormal	3,7	1,1	4	3	100%
Virador de bobinas	Fixo / Uniforme	10	-	-	-	98%

Tabela 3: Resultados estatísticos das amostras dos processos envolvidos

Conhecidas as distribuições e ajustes de curvas de cada processo necessário para o estudo, as informações foram inseridas no modelo computacional, que seu fluxo através do *ACD* já foi inserido previamente no *software* de simulação. Para o processo em questão foi utilizado o *software Simul8®* representado no Brasil pela *Simulate Tecnologia em Simulação Ltda.*

5.3 Construção do Modelo computacional

Com o *ACD* em mãos foi possível convertê-lo para o simulador. Deu-se início montando o desenho no sistema, colocando primeiramente os dados nos referidos *Work Center* (atividade), *Work Entry point* (entrada) e *Work Exit Point* (saída). A figura 13 demonstra a representação no modelo computacional.

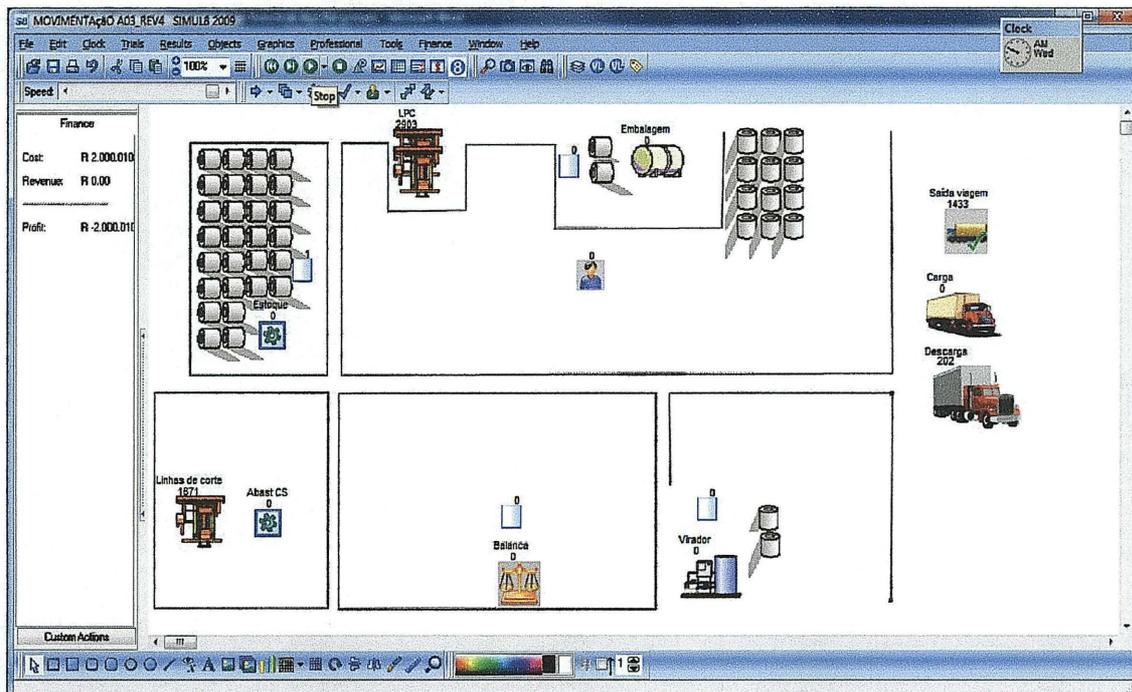


Figura 13: Representação do modelo computacional

É importante ressaltar que a simulação e aplicação da ferramenta não é apenas uma representação gráfica da situação em estudo. O resultado de todo o estudo e a aplicação dos mesmos deve ser o foco de todo e qualquer trabalho, onde a representação física em desenhos é um mero detalhe em toda a análise. Nesta condição não foi aplicado representação gráfica em 3 ou 2 dimensões pois o objeto de estudo não era para representar uma venda de um projeto e sim o conhecimento do sistema e possíveis alternativas de melhorias.

Não que a representação física seja menos importante, ela faz parte da simulação, mas deve-se sempre buscar a melhoria e correta busca de dados para a representação do processo. Isso é o que realmente interessa.

Para cada *Work Center* (centro de trabalho) foi necessário adicionar um “recurso”, que são as atividades consideradas como secundárias no ACD e, antes de cada atividade,

foi necessário acrescentar os *storages bins* (filas), pois nelas é que se concentram as filas de cada atividade. Cada item foi verificado antes de ser adicionado ao sistema de maneira ordenada para evitar falsos resultados no momento da simulação. Vários “*checks*” (verificação) são necessários para constatação de aplicação e ligação correta de todos os recursos e filas.

Após aplicação no sistema, uma das formas de verificar se o modelo computacional estava de acordo com a situação física foi através da experiência dos colaboradores envolvidos no processo. Outra forma utilizada foi através dos números de veículos que permaneciam em espera para carga e descarga, bem como o número de produção diária de bobinas de aço pré-pintado que multiplicado ao tempo de simulação gerou um volume muito próximo ao real, comprovando que o sistema computacional estava de acordo com o real. A revisão realizada com o grupo de trabalho que conhecia as atividades do local de estudo foi uma importante técnica de verificação e validação.

5.4 Rodando a simulação e resultados obtidos

Algumas definições importantes são necessárias para começar a simulação, tais como: Quanto tempo será necessário rodar o sistema? Quantas replicações (repetição de uma rodada de simulação) serão necessárias?

Foram configuradas as propriedades do relógio de simulação por meio da opção “*Clock/Clock Properties*”. A unidade padrão do Simul8 é “minutos” (caso esta unidade seja alterada para segundos, horas ou dias, todos os tempos serão considerados nesta

nova unidade), porém todo o modelo está baseado em minutos. Como período de simulação (*results collection period*), adotou-se 100.000 minutos, ou 2 meses e 10 dias, e como período de aquecimento (*warm-up*), adotou-se 5.000 minutos em uma operação 24h, 7 dias na semana ou seja, ininterrupta. Estas configurações estão ilustradas na figura 14. Como replicações (*run trials*), foi utilizado o número de 20 “sementes” lançadas no sistema a cada rodada de simulação.

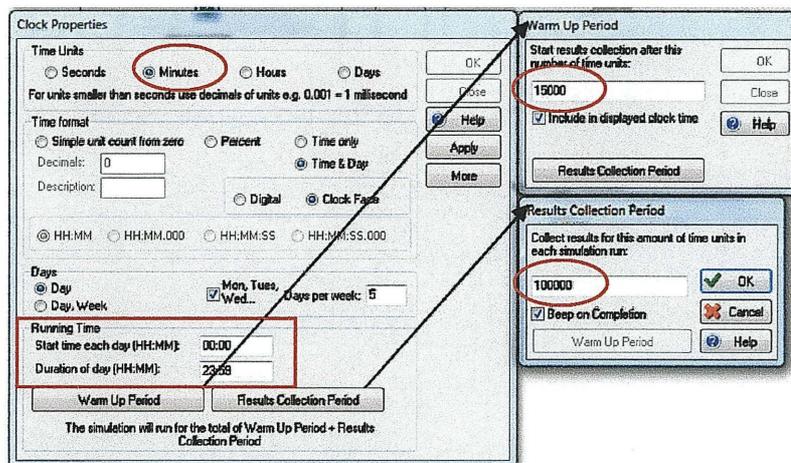


Figura 14: Propriedades de configuração do relógio de simulação

O período de *warm-up* serve para determinar o tempo de aquecimento do sistema somente utilizado em simulações do tipo “em regime” neste caso transitório, ou seja, é a fase inicial da simulação onde o sistema está se aquecendo. Durante o período de aquecimento, o simulador não gera estatísticas sobre o sistema. Logo, quanto maior o valor do *warm-up*, mais se está a favor da segurança.

Após o ajuste do relógio de simulação o estudo de movimentação finalmente pode ser iniciado. Apesar das distribuições e dos parâmetros de entrada serem os mesmos,

como os números aleatórios gerados são diferentes, cada replicação terá uma saída diferente também. Por isso o sistema foi rodado diversas vezes e verificado através dos "KPI's" (*key performance indicators*, traduzindo para o português: indicadores chave de performance) como o sistema se comporta para então iniciar com o aprimoramento das necessidades de melhoria ou tomadas de decisão. Foram adotados 3 cenários dentre os vários simulados, para apresentação dos resultados e possíveis melhorias a serem sugeridas para a tomada de decisão:

A. Cenário 1: Modelo da operação atual, conhecendo os gargalos e pontos possíveis de melhorias, ou melhor "onde deveremos atuar". Foi possível constatar que no cenário atual o número total de bobinas de aço produzidos no período simulado, com 95% de confiança foi de 1.407 bobinas. O número de veículos carregados no período com 95% de confiança neste galpão foi 704 veículos. O que mais chamou a atenção foi o percentual atual de utilização da ponte rolante, que ficou com 99,91% de utilização. Representa exatamente o que era esperado, uma vez que este equipamento é utilizado para efetuar todas as atividades do armazém. O operador deste equipamento também possui um grande desgaste e apresentou o expressivo número de aproximadamente 8 km percorridos ao longo de sua jornada de trabalho. A área de embalagem completou 652 embalagens completas, concluindo 100% dos produtos entregues para esta atividade. O virador de bobinas completou 209 inversões de eixo neste período também completando 100% dos trabalhos a ele solicitados. A linha de pintura esteve 49% do seu tempo aguardando que a PR23 (ponte rolante) efetuasse as retiradas de produtos de sua linha, dado ao grande volume de trabalho deste equipamento. Porém não houve paradas de produção em função

desta espera uma vez que o equipamento possui 3 berços na saída de linha e com isso podem esperar até 100 minutos para a próxima retirada de produto. A preferência de atividade do equipamento de movimentação de bobinas prioriza sempre a retirada de bobina da linha de produção, seguindo para o abastecimento do centro de serviços, área de embalagem, virador de bobinas, carregamento e descarregamento dos veículos seguindo posteriormente as demais atividades. O tempo médio de carregamento dos veículos ficou em 132 minutos, um tempo alto se comparado aos outros portões de embarque. Os resultados totais obtidos do cenário 1 podem ser verificados através da tabela 4.

Resultado Cenário 1				
Simulation Object	Performance Measure	Low -95% range	Average	High 95% range
LPC1	Waiting %	48	49	49
	Working %	46	46	47
	Number Completed Jobs	1.375	1391	1.407
Queue for Embalagem	Average queue size	0,15	0,15	0,16
	Maximum queue size	2	2	2
	Items Entered	631	641	652
Embalagem	Number Completed Jobs	631	641	652
Carga	Average use	0,21	0,21	0,22
	Maximum use	1	1	1
	Number Completed Jobs	689	697	704
	Waiting %	78	79	79
	Working %	21	21	22
Chegada para descarga	Net Number Entered	126	133	139
Virador	Number Completed Jobs	195	202	209
Balanca	Number Completed Jobs	8	9	10
	Waiting %	99,7	99,7	99,8
	Working %	0,03	0,03	0,02
Abast CS	Number Completed Jobs	816	827,7	839
Linhas de corte	Number Completed	815	827	839
	Minimum Time in System	8	9	10
	Average Time in System	81	82	83
	Maximum Time in System	419	501	583
PR23	Utilization %	99,91	99,91	99,91
Saída viagem	Number Completed	689	697	704
	% In System less than time limit	49	50	51
	Minimum Time in System	33	34	36
	Average Time in System	130	131	132

Tabela 4: Resultados da simulação do cenário 1

Cenário 2: considerando duplicação de recurso (adicional de ponte rolante e mais um operador por turno) no entreposto "A03". Foi possível constatar que na hipótese de termos duas pontes rolantes e dois operadores por turno dedicados ao processo o número total de bobinas de aço produzidos no período simulado, com 95% de confiança seria de 2.856 bobinas. Isso devido a possibilidade de manter a produção do equipamento LPC1 com o máximo de velocidade possível. O número de veículos carregados no período com 95% de confiança seria de 1.236 contra 704 veículos no cenário 1, ou seja, um acréscimo de 75%. O percentual de utilização da ponte rolante, que ficou com 99,91% de utilização no cenário 1 ficaria ainda com alto grau de utilização com 71%. O operador de cada ponte rolante por sua vez estaria trabalhando menos, reduzindo desta maneira seu desgaste apresentando cerca de 4km percorridos ao longo de sua jornada de trabalho. A área de embalagem completou 1.327 embalagens completas contra 652 no cenário 1 apresentando um acréscimo de 103% nesta atividade, concluindo 100% dos produtos entregues para esta atividade. O virador de bobinas completou 439 inversões de eixo neste período também completando 100% dos trabalhos a ele solicitados. A linha de pintura esteve apenas 0,3% do seu tempo aguardando que a PR23 (ponte rolante) efetuasse as retiradas de produtos de sua linha, um resultado muito expressivo. A preferência de atividade da PR23 continua priorizando sempre a retirada de bobina da linha de produção, seguindo para a área de embalagem. As demais atividades como virador de bobinas, carregamento e descarregamento dos veículos estava sendo realizada pela sua réplica, ou seja a PR24 (ponte rolante 24). O tempo médio de carregamento do veículos caiu para 89 minutos, se igualando ao prazo médio dos demais portões de carregamento. Os resultados totais obtidos do cenário 2 podem ser verificados através da tabela 5.

Resultado Cenário 2				
Simulation Object	Performance Measure	Low -95% range	Average	High 95% range
LPC1	Waiting %	0,3	0,4	0,4
	Working %	94	95	95
	Number Completed Jobs	2.822	2.839	2.856
Fila para Embalagem	Average queue size	0,0	0,0	0,0
	Maximum queue size	0,9	1,1	1,2
	Items Entered	1.298	1.313	1.327
Embalagem	Number Completed Jobs	1.298	1312,4	1.327
Carga	Average use	0,37	0,38	0,38
	Maximum use	1	1	1
	Number Completed Jobs	1.215	1.226	1.236
	Waiting %	62	62	63
	Working %	37	38	38
Chegada para descarga	Net Number Entered	996	996	996
Virador	Number Completed Jobs	418	429	439
Balanca	Number Completed Jobs	68	72	75
	Waiting %	99,8	99,8	99,8
	Working %	0,2	0,2	0,2
Abast CS	Number Completed Jobs	2.596	2.612	2.627
Linhas de corte	Number Completed	2.594	2609,25	2.625
	Minimum Time in System	6	7	8
	Average Time in System	67	67	67
	Maximum Time in System	428	491	555
PR23	Utilization %	71,32	71,40	71,48
Saída viagem	Number Completed	1.215	1226	1.236
	% In System less than time limit	83	83	84
	Minimum Time in System	23	25	28
	Average Time in System	88	89	89

Tabela 5: Resultados da simulação do cenário 2

Cenário 3: Retirada do processo de descarga dos veículos no portão PE025, depósito A03, para abastecimento externo do centro de serviços. Esta atividade poderia ser desviada para o portão PE019, através do armazém A04, cuja atividade da ponte rolante que trabalha neste galpão é apenas para carregamento e movimentações de estoque dos produtos provindos da linha de galvanização e conseqüente carregamento dos produtos acabados, possuindo uma utilização de apenas 58%. Neste cenário, seria mantido somente a PR23 (ponte rolante) executando todas as atividades, excluindo a necessidade de descarga de veículos, somente o carregamento de produtos acabados. Foi possível constatar que nestas condições o número total de bobinas de aço

produzidos no período simulado, com 95% de confiança seria de 2.683 bobinas. Mantendo desta maneira a possibilidade de manter a produção do equipamento LPC1 com o máximo de velocidade possível. O número de veículos carregados no período com 95% de confiança seria de 1.210 contra 704 veículos no cenário 1, ou seja, um acréscimo de 71%. O percentual de utilização da ponte rolante, que ficou com 99,91% de utilização no cenário 1 ficaria ainda com alto grau de utilização com 81%, porém menor do que o apresentado anteriormente. O operador por sua vez estaria trabalhando menos, reduzindo desta maneira seu desgaste apresentando cerca de 5,4km percorridos ao longo de sua jornada de trabalho. A área de embalagem completou 1.246 embalagens completas contra 652 no cenário 1 apresentando um acréscimo de 91% nesta atividade, concluindo 100% dos produtos entregues. O virador de bobinas completou 409 inversões de eixo neste período também completando 100% dos trabalhos a ele solicitados. A linha de pintura esteve apenas 6,26% do seu tempo aguardando que a PR23 (ponte rolante) efetuasse as retiradas de produtos de sua linha, um resultado muito expressivo. A preferência de atividade da PR23 continua priorizando sempre a retirada de bobina da linha de produção, seguindo para a área de embalagem e demais atividades, conforme já apresentado no cenário 1. O tempo médio de carregamento do veículos caiu para 86 minutos, se igualando ao prazo médio dos demais portões de carregamento, um resultado muito bom, pois irá ajudar que o tempo total médio de carregamento irá ser reduzido. Os resultados totais obtidos do cenário 3 podem ser verificados através da tabela 6.

Resultado Cenário 3				
Simulation Object	Performance Measure	Low -95% range	Average	High 95% range
LPC1	Waiting %	6,0	6,1	6,3
	Working %	88	89	90
	Number Completed Jobs	2.648	2665,55	2.683
Queue for Embalagem	Average queue size	0,04	0,04	0,05
	Maximum queue size	1,7	1,9	2,0
	Items Entered	1.217	1.232	1.247
Embalagem	Number Completed Jobs	1.217	1.232	1.247
Carga	Average use	0,36	0,37	0,37
	Maximum use	1	1	1
	Number Completed Jobs	1.186	1.198	1.210
	Waiting %	63	63	63
	Working %	36	37	37
Virador	Number Completed Jobs	388	399	409
Balanca	Number Completed Jobs	1	1	2
	Waiting %	99,90	99,90	99,99
	Working %	0,10	0,10	0,01
Abast CS	Number Completed Jobs	1.453	1.469	1.486
Linhas de corte	Number Completed	1.452	1.468	1.484
	Minimum Time in System	6	8	9
	Average Time in System	52	52	52
	Maximum Time in System	395	459	523
PR23	Utilization %	81	81	81
Saída viagem	Number Completed	1.186	1.198	1.210
	% In System less than time limit	89	89	90
	Minimum Time in System	24	26	29
	Average Time in System	85	85	86

Tabela 6: Resultados da simulação do cenário 3

Os Investimentos estimados para cada cenário estão relacionados abaixo:

- ◆ **Cenário 2:** Estima-se um investimento na ordem de R\$ 3,5 milhão para aquisição de equipamento para movimentação de cargas – ponte rolante – mais 5 novas vagas para operadores, com custo anual de mão de obra estimado em R\$108.000,00. Logo esta seria a última opção, até porque promoveria ociosidade em determinados momentos neste depósito, além é claro do alto valor a ser investido;
- ◆ **Cenário 3:** Não haverá investimento algum para efetuar esta alteração de descarga do portão PE025 para o portão PE019 uma vez que já possuem operadores para desempenhar esta nova atividade. O que deve ser

verificado é o quanto poderá representar em atraso na performance de carregamento deste portão, porém este já é o que apresenta o melhor resultado da planta.

O resultado consolidado comparativo dos três cenários pode ser verificado através da tabela 7 e apresenta que o cenário 3 é o mais apropriado em relação ao custo benefício atendendo as necessidade previstas de melhorias sem a necessidade de investimento financeiro.

Os resultados da simulação no cenário 3 demonstra que a linha de produção consegue permanecer 90% de seu tempo trabalhando, garantindo que não houveram paradas aumentando desta forma sua eficiência e utilização. Foi possível embalar uma quantidade maior de bobinas, completando 100% dos trabalhos a esta linha exigidas. A necessidade de carregamento também acompanhou as mudanças e houve uma considerável melhoria em relação ao cenário atual, indicando um acréscimo de 71% passando de 704 veículos para 1.210 veículos. O virador de bobinas também acompanhou o processo completando 100% dos trabalhos a ele confiados com o total de 409 bobinas. A balança pode ser retirada do local, pois sua principal função era efetuar a pesagem de bobinas oriundas de devolução de clientes ou sinistradas, podendo ser realocada para outro depósito de menor volume de operação ou percentual de utilização. O tempo médio de abastecimento ao Centro de Serviços que era de 83 minutos passou para 52, uma melhora significativa que pode proporcionar em expressivo aumento de sua produtividade, e até mesmo mais prazos para manutenções preventivas. Os equipamentos do Centro de Serviços possuem alta utilização e qualquer melhoria no processo de entrada e saída possibilitava ganhos de produção.

Por fim observamos ainda que 100% dos veículos carregados completaram o ciclo no prazo abaixo de 30 minutos, que corrobora com uma melhoria significativa da meta de tempo máximo de permanência de veículos na planta e saíram para viagem, garantindo desta forma o faturamento dos produtos.

Resultado Consolidado Comparativo				
Simulation Object	Performance Measure	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
LPC1	Waiting %	49	0,4	6,3
	Working %	47	95	90
	Number Completed Jobs	1.407	2.856	2.683
Fila de Embalagem	Average queue size	0,16	0,0	0,05
	Maximum queue size	2	1,2	2,0
	Items Entered	652	1.327	1.247
Embalagem	Number Completed Jobs	652	1.327	1.247
Carga	Average use	0,22	0,38	0,37
	Maximum use	1	1	1
	Number Completed Jobs	704	1.236	1.210
	Waiting %	79	63	63
	Working %	22	38	37
Chegada para descarga	Net Number Entered	139	996	-
Virador	Number Completed Jobs	209	439	409
Balança	Number Completed Jobs	10	75	2
	Waiting %	99,8	99,8	99,99
	Working %	0,02	0,2	0,01
Abast CS	Number Completed Jobs	839	2.627	1.486
Linhas de corte	Number Completed	839	2.625	1.484
	Minimum Time in System	10	8	9
	Average Time in System	83	67	52
	Maximum Time in System	583	555	523
PR23	Utilization %	99,91	71,48	81
Saída viagem	Number Completed	704	1.236	1.210
	% In System less than time limit	51	84	90
	Minimum Time in System	36	28	29
	Average Time in System	132	89	86

Tabela 7: Resultado consolidado comparativo dos 3 cenários

6.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A evolução comercial mundial movimentada a roda da tecnologia e da administração moderna. As expansões dos mercados abrem portas a todos os setores da economia mundial. Foi esta evolução que ocasionou grandes mudanças na área de certos departamentos como almoxarifado, compras, expedição, recepção de materiais, departamentos estes que eram geridos por outras áreas como a gerência comercial, produção e outras gerências. Estes departamentos hoje são englobados sob uma ótica muito mais ampla, a da Logística. Os custos de logística vêm subindo ano a ano e com ele aumenta também a importância deste departamento.

A Logística deve buscar sempre avanços tecnológicos, a exemplo de aplicação de simulações uma vez que começa a tomar importância à medida que os custos começam a se tornar significativos e a busca incessante pela melhoria dos processos de operação se torna diferencial competitivo perante seus concorrentes.

Em uma ótica puramente administrativa, os custos envolvidos com a Logística, de uma forma ou de outra sempre existirão, cabem aos gestores deste departamento empregar a tecnologia disponível a serviço de uma administração incisiva no cumprimento de normas e inovações necessárias. A redução dos custos será tanto significativa quanto forem constantemente analisados. A informatização se torna mister na função de fornecer informações e agilizar os processos de distribuição tanto interna quanto externa dos produtos e peças aos estoques ou equipamentos de produção, bem como em otimizar o descarte de material inservível.

A modelagem de um problema, sem a necessidade de hipóteses simplificadoras, comumente adotadas pelos métodos analíticos, e a possibilidade de visualizar seu comportamento e compará-lo ao desempenho pelo sistema real, entre outras características, impulsionaram o uso destes *softwares* em inúmeros problemas ligados aos sistemas logísticos, entre eles a análise de capacidades, a avaliação dos impactos das mudanças realizadas em processos, a alocação dos recursos limitados, a experimentação de diferentes parâmetros nas operações, a validação de projetos, etc. Conclui-se que a simulação tem uma função nobre e tornar-se-á um dos maiores diferenciais competitivos entre as empresas, já que influenciará nas opiniões dos dirigentes e diretamente na lucratividade dos acionistas.

Pode-se considerar o estudo realizado como um caso de sucesso, já que o mesmo atingiu os objetivos de melhorar a utilização da ponte rolante, bem como reduzir o desgaste provocado ao pessoal de operação. Também propiciou uma oportunidade de acréscimo de produção projetada ao equipamento, caso seja mantido um *mix* de produção com alta espessura ou substrato diferenciado mantendo sua velocidade de produção superior ao atual. Os resultados foram aceitos e estão em processo de implantação na CSN-PR, provando que os mesmos estavam corretos e de total acordo com a realidade da operação.

Fica clara a importância do processo de modelagem e simulação, evidenciado pelo fato de que o senso comum poderia trazer uma solução diferente da apontada pelo caso. O estudo gerou uma grande economia de tempo e recursos financeiros, considerando o cenário aceito e expectativas da direção para a resolução do problema analisado, gerando maior valor aos acionistas com a economia obtida.

Os próximos passos projetados serão: primeiramente na análise dos resultados reais a serem obtidos após aplicação do cenário proposto como sendo a solução da melhoria de operação do armazém A03. Após este acompanhamento, deverá ser aplicado novamente o modelo computacional adequado a esta nova realidade, avançado o estudo e verificando novas necessidades de utilização de determinadas atividades que continuam impactando em grandes aumentos das movimentações do equipamento utilizado na movimentação (PR23). Outra análise que deverá ser feita é em relação a necessidade de aumento de produção da linha de pintura contínua, possibilitando alteração de *mix* de produção mais apropriado para o equipamento dada a melhoria encontrada na retirada de um dos processos do local estudado. Outro ponto a ser observado é que o processo de descarga e devolução de produtos no qual foi migrado para outro portão, não se torne novamente um gargalo em outro processo de carregamento e descarga, corroborando com a teoria das restrições (*TOC*). Na sequência um novo modelo deverá ser desenvolvido neste local, aplicando a mesma metodologia para verificação das necessidades e impactos que podem ser gerados.

Por fim, é possível inferir a necessidade de constante estudo em demais processos existentes, possibilitando melhorias expressivas e novos avanços do real conhecimento das operações desta unidade.

7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANKS, J. Software for Simulation. In: Proceedings of the winter simulation conference, pp. 15-20, 1991.

BANKS, J. Simulation Languages and Simulators, In: Proceedings of the winter simulation conference, pp. 88-96, 1992.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. Modelagem e simulação de eventos discretos, teoria & aplicações. 2 ed. São Paulo, 2007.

CHWIF, L. Redução de modelos de simulação de eventos discretos na sua concepção: uma abordagem causal. Tese de doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica, 1999.

EYKHOFF, P. System Identification: parameter and state estimation. Chichester, England, 1974.

FORRESTER, J. W. Principles of systems. Cambridge: Wright-Allen Press Inc., 1968.

HARREL, C. R.; TUMAY, K. Simulation made easy: a manager's guide. Norcross: Engineering and Management Press, 1995.

HILLIER, F. S.; LIEBERMANN, G. J. Introduction to Operation Research, 6 ed., McGraw Hill, 1995.

MAZZIOTTI, B. W. Get More Mileage from Flexible Simulation. IIE Solutions, May 1996: pp. 54-63, 1996.

NIKOUKARAN, HLUPIC e PAUL. Criteria for simulation software Evaluation. Winter Simulation Conference, vol. 1, pp. 399-406, 1998.

**ORMS Today. Simulation Software Survey. Disponível em:
<<http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/Simulation/Simulation1.html>>. Acesso em 19 abr. 2009.**

PIDD, M. Tools for thinking: modelling in management science. 4 ed., Chichester: John Wiley & Sons, 2000.

ROBINSON, S. Simulation: the practice of model development and use. Chichester: John Wiley & Sons, 2004

SILVA, A. K. Método para avaliação e seleção de *softwares* de simulação de eventos discretos aplicados à análises de sistemas logísticos. Dissertação de Mestrado. Escola politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes, 2006.

SILVA, L. C. Simulação de processos. Disponível em:
<<http://www.agais.com/simula.htm>>. Acesso em 20 mai. 2009.

SILVA FILHO, U. M. Modelagem e Simulação da Operação de Carga e Descarga: Estudo de caso da Planta CSN Araucária – PR. Revista Mundo logística n.8, ano II. pp 44-53, jan/fev. 2009.

TOCHER, K. D. The art of simulation. London: English Universities Press, 1963.

WIKIPÉDIA, Simulação. Disponível em:
<<http://pt.wikipedia.org/wiki/Simula%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em 06 set. 2008.