



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

**Modelagem e Simulação de Eventos Discretos
Aplicado no Setor Automotivo para Apoio a
Tomada de Decisão**

Douglas Duarte de Freitas

Curitiba

2010



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

Modelagem e Simulação de Eventos Discretos Aplicado no Setor Automotivo para Apoio a Tomada de Decisão

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO GERAL E APLICADA
MBA EM GERÊNCIA DE SISTEMAS LOGÍSTICOS
NOME DO ALUNO: _____
NOME DO ORIENTADOR: _____

Aluno: Douglas Duarte de Freitas

Orientador: Darli Rodrigues Vieira

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

SÚMARIO

1 INTRODUÇÃO	4
1.1 Objetivo	5
2 DEFINIÇÕES GERAIS SOBRE MODELAGEM E SIMULAÇÃO	6
2.1 Introdução	6
2.2 Definição de Simulação	6
2.3 Modelos de Simulação	8
2.4 Definição de Modelagem de Sistemas	10
2.5 Metodologia em Modelagem e Simulação	12
2.6 Vantagens e Desvantagens da Simulação	16
2.7 Erros Comuns na Abordagem Via Simulação	17
3 ANÁLISE DO MACRO PROCESSO DE RECEPÇÃO E ARMAZENAGEM DE PEÇAS ..	19
3.1 Introdução	19
3.2 Fluxo do Processo de Recebimento	20
3.3 Fluxo do Processo de Armazenagem e Abastecimento	21
4 MODELAGEM DO PROCESSO DE ARMAZENAGEM	23
4.1 Aplicação de Modelagem e Simulação na Movimentação de Peças no Processo de Armazenagem	23
4.2 Construção do Modelo Computacional	29
4.3 Executando a Simulação e Resultados Obtidos	33
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1 - Simulação Contínua.....	8
Figura 2 – Simulação de Eventos Discretos	9
Figura 3 – Representação Esquemática de um Modelo de Sistema.....	11
Figura 4 - Ciclo de vida de modelo de simulação.....	12
Figura 5 - Passos de um Estudo de Modelagem e Simulação	14
Figura 6 – Macros Processos da Logística Industrial.....	19
Figura 7 – Fluxo de Recebimento.....	20
Figura 8 – Processos de Armazenagem.....	21
Figura 9 – Critério de Armazenagem.....	24
Figura 10 – Diagrama Box-plot para identificação de <i>outliers</i>	26
Figura 11 – Ambiente de Construção do Software Promodel.....	30
Figura 12 – Definição dos Processos.....	31
Figura 13 - Painel de controle das variáveis.....	32
Figura 14 - Planilha eletrônica para controle e inserção dos dados.....	32
Tabela 1 – Tratamento dos <i>outliers</i>	27
Tabela 2 – Tratamento Estatístico.....	28
Tabela 3 – Distribuição de Chegadas das peças.....	33
Tabela 4 - Resultados do Cenário Atual.....	36
Tabela 5 – Resultados do Cenário Proposto 1.....	37
Tabela 6 – Resultados do Cenário Proposto 2.....	38
Tabela 7 – Resultado da Utilização dos Recursos.....	38

1 INTRODUÇÃO

Toda decisão que diz respeito a um bem ou serviço possui um componente relativo de risco a ela associada. Segundo Pidd (1998), é impossível ter certeza do que acontecerá quando fazemos mudanças em sistemas complexos, uma vez que só teremos certeza do que ocorrerá quando tivermos completo controle sobre os eventos. Os atuais avanços na tecnologia da simulação têm tornado o uso de modelos mais aplicáveis às decisões de rotina, especialmente no projeto de sistemas de projeção de possíveis estados futuros baseados nos dados atuais.

A simulação auxilia na estimativa de custos em tarefas intensivas ou processos. Em especial importância, são os custos relacionados à movimentação e armazenagem de materiais. As tarefas de movimentação e armazenagem de materiais podem precisar de equipamentos de alto custo que essencialmente não agregam valor as operações. Com isso, a simulação permite diagnosticar com eficiência os sistemas de movimentação e armazenagem de materiais e experimentar alternativas como a variação de quantidade, velocidade, capacidade, alocação e tipos diferentes de processos.

O uso da simulação computacional e suas aplicações vão de encontro ao problema em relação à parametrização e capacidade de um armazém do setor automotivo, tendo em vista as inúmeras variáveis relacionadas ao crescente número de itens. Esses números variam de acordo com a sazonalidade do mercado, diferentes modelos, itens opcionais, novos projetos, itens em fim de série, peças para reposição das concessionárias, etc.

Para Strack (1984), a construção de modelos proporcionam uma maneira sistemática, explícita e eficiente dos analistas e administradores orientarem seus julgamentos e decisões. O autor ainda afirma que, o propósito dos modelos é permitir a realização de estudos sobre os sistemas, analisando sua reação ante as influências externas, internas ou sua abrangência no meio ambiente.

Devido à dinâmica do estoque, o propósito do uso da simulação para esse trabalho, visa encontrar a melhor localização do estoque através dos parâmetros de estocagem e análise do desempenho dos recursos empregados.

1.1 Objetivo

O tema proposto insere-se no contexto das decisões de questões de melhorias de processos, sendo bastante relevante para o uso de técnicas de simulação para que se possa entender e/ou melhorar os fluxos físicos internos com uso e aplicações de técnicas de simulação de eventos discretos.

Visando alcançar a compreensão do fenômeno a ser estudado, tal pesquisa encontra-se orientada a responder ao seguinte questionamento:

- ❖ Como a modelagem e simulação podem auxiliar a tomada de decisão?
- ❖ Qual o melhor *layout* e o melhor fluxo dentro do sistema que está sendo analisado?

Em termos específicos, para que esse projeto de pesquisa responda os questionamentos acima, os seguintes passos foram seguidos

- ❖ Correta coleta de dados;
- ❖ Interpretação e análise dos dados;
- ❖ Desenho ou modelagem do sistema;
- ❖ Entrada de dados no sistema;
- ❖ Análise dos resultados, verificação e validação da simulação;
- ❖ Elaboração e documentação dos resultados.

Tendo como foco responder estas questões, esta pesquisa aborda a tomada de decisão com base no uso de modelagem e simulação computacional, mais precisamente modelagem e simulação de eventos discretos, como forma de minimizar o risco e de gerenciar a complexidade.

2 DEFINIÇÕES GERAIS SOBRE MODELAGEM E SIMULAÇÃO

2.1 Introdução

Este capítulo tem como objetivo trazer uma breve revisão dos conceitos gerais que foram usados para o embasamento teórico da pesquisa em questão. Dentre as diversas áreas de aplicação, pretende-se abordar o uso da técnica no segmento logístico para definição da melhor política de estocagem e dimensionamento dos recursos.

2.2 Definição de Simulação

A simulação consegue capturar com mais fidelidade essas características, procurando repetir em um computador o mesmo comportamento que o sistema apresentaria quando submetido às mesmas condições de contorno (CHWIF & MEDINA, 2007).

Para Blanchard (1981) *apud* Harrel e Mott et al (2002) a simulação é um processo de experimentação com um modelo detalhado de um sistema real para determinar como o sistema responderá as mudanças em sua estrutura, ambientes ou condições de contorno. Um sistema, para os nossos propósitos, pode ser definido como uma combinação de elementos que interagem para cumprir um objetivo específico.

Os autores Harrel e Mott et al (2002), trazem uma abordagem interessante à respeito sobre o assunto. Os dois mais importantes desafios enfrentados na construção de modelo são:

- 1) “Qual deveria ser o escopo do modelo?”;

2) “Que nível de detalhe deve ser considerado?”.

Para responder a primeira questão, simplesmente é essencial incluir aqueles fatores que apresentam impacto significativo no comportamento do modelo. A resposta à segunda questão se apóia no entendimento sobre o que não é simulação. Simulação não é uma ferramenta de emulação com a qual o “modelista” se esforça em criar uma réplica exata do sistema.

Freitas (2001) define da seguinte forma:

“A simulação computacional de sistemas, ou simplesmente *simulação*, consiste na utilização de determinadas técnicas matemáticas, empregadas em computadores digitais, as quais permitem imitar o funcionamento de, praticamente, qualquer tipo de operação ou processo (*sistemas*) do mundo real.”

A simulação também permite a realização de estudos com bastante detalhe, ou com alto nível de agregação, dependendo do objetivo, já que pode ser maior ou menor detalhamento dos procedimentos. Pode-se dizer que o grau de realismo incorporado no modelo de simulação reflete-se diretamente no nível de detalhe incorporado. O grau de realismo, por seu turno, está vinculado ao custo (STRACK, 1984).

Na sua forma mais pura, é uma ferramenta para avaliar idéias. Com isso, os responsáveis pelas tomadas de decisão procuram formas de analisar o impacto de mudanças potencialmente positivas em sistemas extremamente complexos, estudos de simulação vêm se tornando cada vez mais comuns.

“Simulação é um dos muitos métodos existentes para estudar e analisar sistemas. No caso da simulação computacional, utiliza-se de modelos computacionais para este propósito” (FREITAS, 2001).

2.3 Modelos de Simulação

A simulação computacional é basicamente classificada em três categorias: simulação de “Monte Carlo”, simulação contínua e simulação de eventos discretos, tais categorias são descritas por Chwif & Medina (2007):

- 1) *Simulação de Monte Carlo*: utiliza-se de geradores de números aleatórios para simular sistemas físicos ou matemáticos, nos quais não se considera o tempo explicitamente como uma variável;
- 2) *Simulação contínua*: leva em consideração a mudança de estado do sistema ao longo do tempo. É utilizada para modelar sistemas cujo estado varia continuamente no tempo;
- 3) *Simulação de eventos discretos*: é utilizada para modelar sistemas que mudam o seu estado em momentos discretos no tempo, a partir da ocorrência de eventos.

Já a simulação contínua e a simulação de eventos discretos levam em consideração a mudança de estado do sistema ao longo do tempo. A simulação contínua é utilizada para modelar sistemas cujo estado varia continuamente no tempo (CHWIF & MEDINA, 2007).

A maioria dos sistemas atuais são dinâmicos e estocásticos por natureza. Um sistema dinâmico implica em ações com fatores de influência mudando ao longo do tempo (HARREL & MOTT et al, 2002).

Na figura (1) e (2) a seguir pode exemplificar melhor as duas últimas categorias:

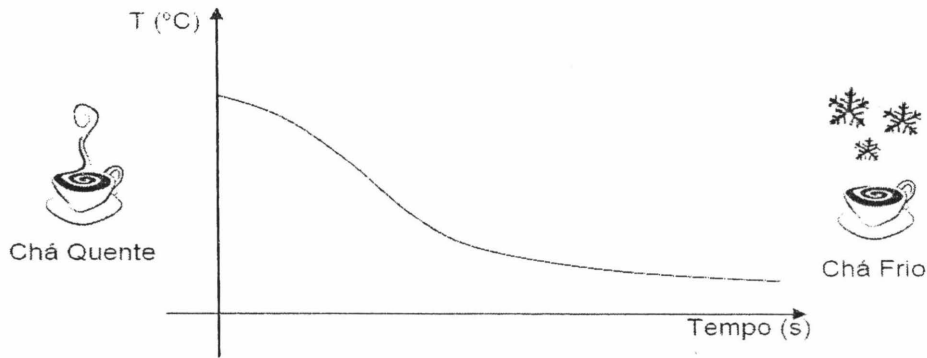


Figura 1 - Simulação Contínua
Fonte: Adaptado de Chwif & Medina, 2007

Modelos de mudança discreta ou modelos discretos: nos modelos assim classificados, as variáveis de estado mantêm-se inalteradas ao longo de intervalos de tempo e mudam seus valores somente em pontos bem definidos, também conhecidos como *tempo de ocorrência do evento* (FREITAS, 2001).



Figura 2 – Simulação de Eventos Discretos
Fonte: Adaptado de Chwif & Medina, 2007

Modelos de mudança contínua ou modelos contínuos: nestes modelos, as variáveis de estado podem variar continuamente ao longo do tempo (FREITAS, 2001).

Vários são os modelos matemáticos que podem ser estudados, porém para este trabalho foi utilizado um software de simulação para aplicação em modelagem e simulação de eventos discretos.

2.4 Definição de Modelagem de Sistemas

Sempre que abordado o tema em questão, é importante que se tenha claro alguns conceitos, como sistema, modelo e modelo de simulação. Para Soares (1992), "Um sistema é uma coleção de itens, entre os quais se possa encontrar ou definir alguma relação, que são objeto de estudo ou interesse". Prado (2009) define, "sistema é uma agregação de objetos que possuem alguma interação ou interdependência".

Um modelo é uma representação de parte da realidade vista pelas pessoas que desejam usá-lo para entender, mudar, gerenciar e controlar aquela parte da realidade (PIDD, 1998).

Chwif & Medina (2007), descreve que modelo é uma abstração da realidade, aproximando-se do verdadeiro comportamento do sistema, mas sempre mais simples do que o sistema real.

Num sentido mais amplo, o modelo é uma certa quantidade de informações e atributos sobre aquilo que é representado, conforme os objetivos e necessidades de análise (STRACK, 1984). Ou seja, o propósito dos modelos é o de permitir a realização de estudos sobre os sistemas, analisando sua reação ante as influências externas, internas ou sua abrangência no meio ambiente.

Já modelos para simulação podem ser definidos como aqueles representados por uma estrutura matemática/lógica, que pode ser exercitada de forma a mimetizar o comportamento do sistema. Através do experimento (simulação), várias observações são realizadas para dar subsídio às várias conclusões sobre o sistema (SOARES, 1992).

Uma das principais etapas consiste na modelagem do sistema sob estudo, para que se possa observar seu comportamento sob determinadas condições, de forma a, cientificamente, estudá-los e entendê-los. Neste processo, procura-se imitar e criar uma história artificial da atuação e desempenho do sistema real, o que implica na realização de um procedimento experimental (via simulação computacional), posterior à etapa de modelagem (FREITAS, 2001).

Para os autores Chwif & Medina (2007), que a maior intenção da modelagem é capturar o que realmente é importante no sistema para a finalidade em questão.

Complementando a composição desta revisão Freitas (2001), descreve:

“A modelagem pressupõe um processo de criação e descrição, envolvendo um determinado grau de abstração que, na maioria das vezes, acarreta numa série de simplificações sobre a organização e funcionamento do sistema real. Usualmente, esta descrição toma a forma de relações matemáticas ou lógicas que, no seu conjunto, constituem o que se denomina de *modelo*.”

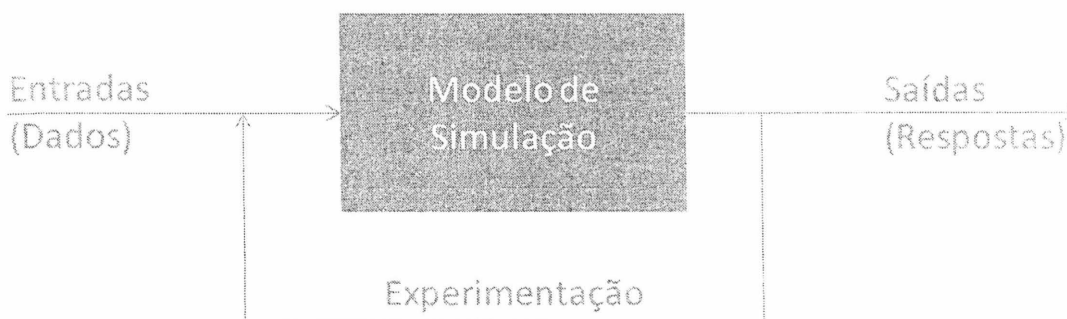


Figura 3 – Representação Esquemática de um Modelo de Sistema

Fonte: Adaptado de Freitas, 2001

Modelagem de um sistema dependerá, fundamentalmente, do propósito e da complexidade do sistema sob investigação. São vários os tipos de modelos que podem ser empregados, tais como modelos matemáticos, modelos descritivos, modelos estatísticos e modelos tipo entrada-saída (FREITAS, 2001).

No pensamento de Prado (2009), “Simulação é uma técnica de solução de problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital.”

2.5 Metodologia em Modelagem e Simulação

Mesmo os mais exaustivos estudos serão desvalorizados se não visarem a uma necessidade real. Geralmente, o modelo mais eficiente é aquele que considera apenas aquelas partes do sistema que necessitam ser estudadas para que proporcionem respostas a um problema potencial ou existente.

Uma vez definido que o uso da simulação para análise de um dado sistema é o que melhor se aplica, deve seguir alguns passos. Para Law e McComas (1991) *apud* CHWIF & MEDINA (2007), “os passos ou processos são conhecidos na literatura como “metodologias de simulação” ou ciclos de vida de um modelo de simulação”.

Um modelo de simulação compõe-se basicamente de três grandes etapas, ilustrados na figura (4) CHWIF & MEDINA (2007):

- ❖ Concepção ou formulação do modelo;
- ❖ Implementação do modelo;
- ❖ Análise dos resultados do modelo.

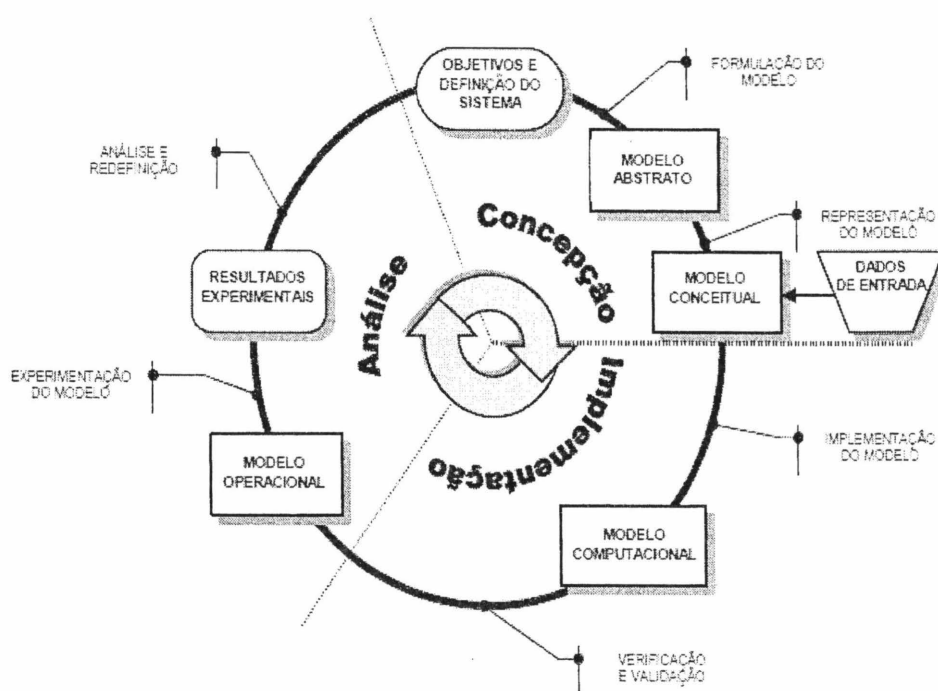


Figura 4 - Ciclo de vida de modelo de simulação

Fonte: Chwif & Medina, 2007

Em linhas gerais a primeira etapa consiste no real entendimento do sistema a ser simulado e os seus objetivos. Obter uma definição precisa e concisa do problema a ser estudado pode ser mais difícil do que parece. Os objetivos de um estudo de simulação fluirão naturalmente a partir da definição do problema, uma vez que o propósito de se executar mais tarde uma experimentação com o modelo será sempre resolver o problema (HARREL; MOTT et al 2002).

Os dados de entrada também são coletados nesta fase. Segundo Pidd (2000) *apud* CHWIF & MEDINA (2007), “No entanto, é importante ressaltar que o modelo é que deve dirigir a coleta de dados, e não o contrario”.

Na próxima etapa, “implementação”, o modelo conceitual é convertido em um modelo computacional através da utilização de alguma linguagem de simulação ou de um simulador comercial. Ou seja, o modelo normalmente iniciará como uma abstração de detalhes adicionados à medida em que se procede o seu desenvolvimento. A implementação começa na verdade com o início do projeto de simulação. A extensão na qual as recomendações do estudo são colocadas em

prática depende amplamente da efetividade de cada uma das etapas anteriores (HARREL; MOTT et al, 2002).

Na terceira e ultima etapa, “análise”, o modelo computacional está pronto para a realização dos experimentos, dando origem ao modelo experimental ou modelo operacional. É nesta etapa que são feitas várias “rodadas” do modelo e os resultados da simulação são analisados e documentados. É dito que um modelo está pronto para ser verificado quando ele funciona de maneira pretendida. Para Harrel e Mott et al (2002), a validação é o processo de se assegurar que o modelo reflete a operação do sistema real em estudo de tal forma que dê encaminhamento ao problema definido.

Além de uma ferramenta de análise de problemas, a simulação é uma ferramenta que promove um melhor entendimento sobre os sistemas, conseqüentemente é interessante notar que, em diversas situações em que um estudo de simulação é iniciado, este não é completado, pois o próprio entendimento que o desenvolvimento do projeto promove, faz com que o problema seja solucionado antes mesmo do termino do estudo (CHWIF & MEDINA, 2007).

A metodologia a ser usada no trabalho é proposta por Freitas (2001) com base em textos clássicos de Banks (1984), Pedgen (1990) e Kelton Sadowski (1998) sendo dividida em quatro macro etapas conforme a figura abaixo:

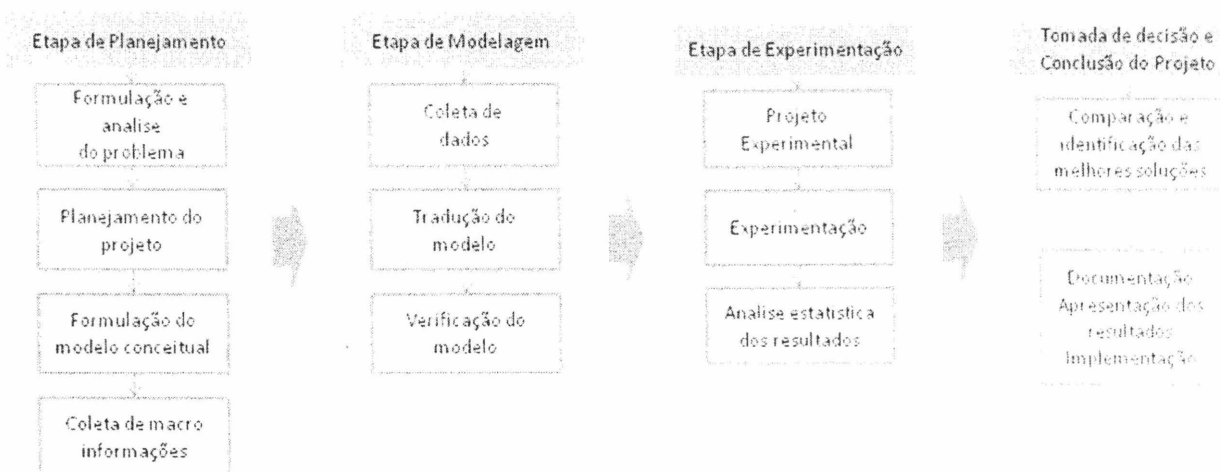


Figura 5 - Passos de um Estudo de Modelagem e Simulação

Fonte: Freitas, 2001

- *Formulação e Análise do Problema*: consiste em compreender o problema, o porquê ele está sendo estudado, o que deve ser considerado como premissa, quais os resultados esperados e como avaliar o sistema;
- *Planejamento do Projeto*: devem ser determinadas as necessidades de pessoal e recursos e definido um cronograma para o projeto. Além disso, devem ser definidos os cenários a serem considerados nas análises;
- *Formulação do Modelo Conceitual*: o modelo conceitual é um esboço do sistema, é nessa etapa que se define como o problema será tratado, determinando suas variáveis, parâmetros, componentes e interações lógicas. O nível de detalhamento do modelo conceitual será transferido para o modelo computacional, portanto deve-se ter muito cuidado na sua elaboração;
- *Coleta de Macro-Informações e Dados*: essa etapa consiste em coletar informações a fim de ser ter um embasamento que permita uma análise crítica do modelo. Os dados coletados serão usados para alimentar os parâmetros do modelo definidos na etapa anterior e devem ser tratados com muito cuidado. A qualidade dos dados está diretamente relacionada com a qualidade dos resultados emitidos pelo modelo;
- *Tradução do Modelo*: a tradução do modelo nada mais é do que a transcrição do modelo conceitual para uma linguagem de simulação;
- *Verificação e validação*: essa etapa é fundamental para a credibilidade do modelo, nela o modelo é testado para verificar e validar se os resultados que o mesmo gera são representativos dos resultados do modelo real;
- *Projeto Experimental Final*: consiste em projetar experimentos que irão gerar as informações desejadas e determinar como cada um dos processamentos computacionais no projeto será executado;
- *Experimentação*: executar as simulações dos cenários desejados a fim de se obter os dados para a realização das análises;
- *Interpretação e Análise dos Resultados*: com base nos indicadores gerados pelo modelo, analisar o resultado e verificar a necessidade de realizar mais rodadas do modelo a fim de conseguir maior precisão dos resultados;
- *Comparação de Cenários e Identificação das melhores soluções*: consiste na comparação dos cenários a fim de identificar a melhor alternativa;

- *Documentação, Apresentação dos Resultados e Implementação:* elaboração da documentação do sistema e resultados obtidos, seguidos pela apresentação dos mesmos para os clientes do projeto. Após a apresentação o projeto é implementado.

2.6 Vantagens e Desvantagens da Simulação

As principais vantagens da simulação dão descritas a seguir (FREITAS, 2001);

- Uma vez criado, um modelo pode ser reutilizado para avaliar projetos e políticas propostas;
- Avaliação de um sistema proposto com dados de entrada ainda sob a forma de rascunhos ou esquemas;
- Maior facilidade para aplicação quando comparado com métodos analíticos;
- Adapta-se a sistemas complexos com comportamento estocástico;
- Não é necessário um número muito grande de abstrações simplificadoras, sendo mais detalhado e preciso;
- As informações geradas pelos modelos de simulação permitem a análise de, praticamente, qualquer medida concebível;
- Permite a avaliação de novas políticas e procedimentos operacionais, regras de decisão, fluxos de informação, entre outros, sem que o sistema real seja perturbado;
- Controle do tempo: permite o estudo de fenômenos de maneira mais lenta ou acelerada;

- Permite a identificação de “gargalos” operacionais nos sistemas em estudo;
- Mostra como um sistema realmente opera, em oposição à maneira como todos pensam que ele opera;
- Excelente ferramenta para suporte a decisões.

Embora sejam as inúmeras vantagens da simulação, cabe ressaltar algumas desvantagens:

- A construção de modelos requer treinamentos;
- Os resultados da simulação são, às vezes de difícil interpretação;
- Devido a sua natureza estocástica, os modelos de simulação devem ser rodados várias vezes para que se possa prever o desempenho do sistema;
- A modelagem e a experimentação associada a modelos de simulação consomem muito tempo.

2.7 Erros Comuns na Abordagem Via Simulação

Vale comentar sobre os eventuais erros que se pode cometer (FREITAS, 2001):

1. Pouco conhecimento ou pouca prática com a ferramenta utilizada;
2. Objetivos com pouca clareza ou definição;
3. Construção de modelos muito detalhados;
4. Realização de conclusões com base em uma única replicação.

Chwif & Medina (2007) abordam os tipos de erros comuns na fase de validação do modelo:

Erro do tipo I: O modelo é válido, mas rejeitamos este modelo pensando que ele é inválido;

Erro do tipo II: O modelo é inválido, mas aceitamos este modelo como um modelo válido;

Erro do tipo III: Quando o modelo se desvia dos objetivos em questão (pode até ser válido, mas não é capaz de responder às perguntas em questão).

Além destas possibilidades, podem ser encontrados problemas na “validação” de modelos de sistemas novos que nunca entraram em funcionamento. Neste caso, a validação é mais difícil pela ausência dos dados históricos do sistema real.

3 ANÁLISE DO MACRO PROCESSO DE RECEPÇÃO E ARMAZENAGEM DE PEÇAS

3.1 Introdução

Este capítulo tem como intuito apresentar os macros processos de recebimento, armazenamento e abastecimento (consumo) de peças na planta no complexo no qual o armazém está inserido, com o objetivo de melhor compreender o problema em estudo.

Para compreender melhor o ambiente da aplicação do trabalho, a figura (6) a seguir exemplifica os três macros processos da logística industrial.

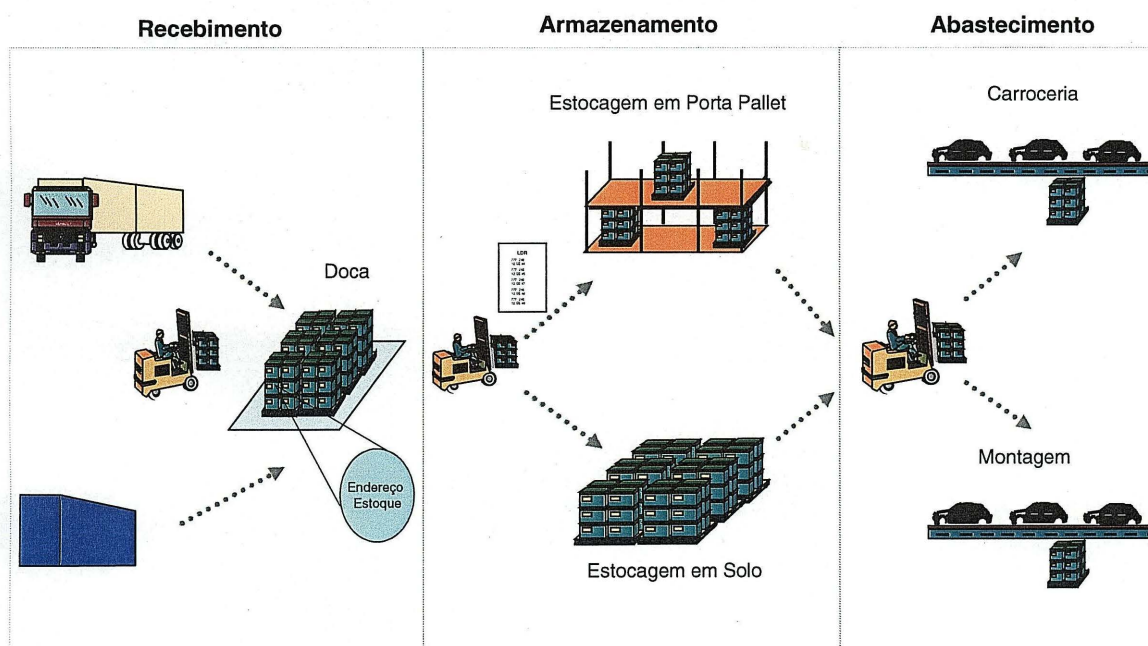


Figura 6 – Macros Processos da Logística Industrial

Fonte: O autor

3.2 Fluxo do Processo de Recebimento

Em linhas gerais, todo fluxo físico interno tem como objetivo atender a fabricação. Esta por sua vez está dividida em duas grandes etapas: Carroceria e Montagem.

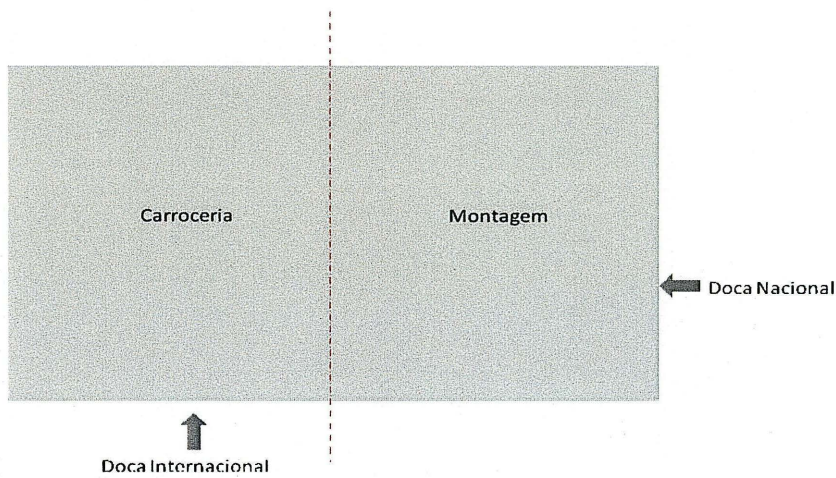


Figura 7 – Fluxo de Recebimento

Fonte: O autor

Desta forma o armazém também está parametrizado dividindo nestas duas grandes áreas. Porém as peças podem ser recebidas tanto na doca nacional, como na doca internacional, isso depende do modal no qual é transportada. Por exemplo: na doca nacional são recebidos os caminhões dos fornecedores nacionais, já na doca internacional, são recepcionados os contêineres e os caminhões que vêm direto do aeroporto.

Para efeito de construção do modelo as peças foram divididas em quatro grandes famílias:

- Peças de solo da carroceria;
- Peças de solo da montagem;
- Peças de porta pallets da carroceria;
- Peças de porta pallets da montagem.

3.3 Fluxo do Processo de Armazenagem e Abastecimento

Para compreender melhor todo o fluxo de como são parametrizadas foi montado um esquema conforme figura (8) onde estão divididas por cores as regiões predominantes.

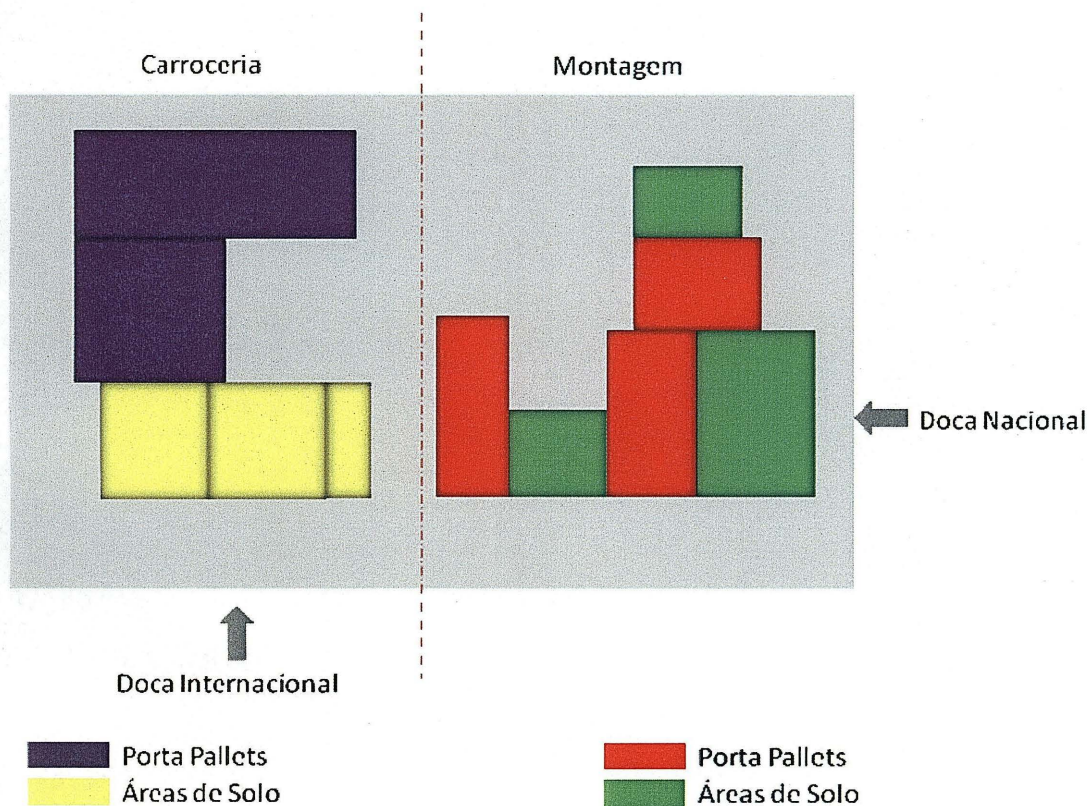


Figura 8 – Processos de Armazenagem

Fonte: O autor

No total, foram divididas em cinco regiões a área de carroceria e seis regiões na área de montagem. Neste processo, assim que as peças são liberadas nas docas, iniciasse o processo de armazenagem de acordo com a parametrização do software que faz a gestão e endereçamento do estoque.

Após o acondicionamento das peças nos locais pré-determinados, as peças vão para as linhas de produção conforme são requisitadas. Isso faz com que se complete todo o processo de recebimento e armazenagem conforme os objetivos traçados no escopo de projeto.

4 MODELAGEM DO PROCESSO DE ARMAZENAGEM

Neste capítulo destina-se ao estudo do processo de movimentação de peças das docas para o armazém conforme a parametrização dos estoques, utilizando a metodologia de simulação e aplicando um *software* de simulação de eventos discretos com o objetivo de analisar as parametrizações e otimizar os recursos destinados para este propósito, visando o melhor desempenho do conjunto de atividades do processo.

4.1 Aplicação de Modelagem e Simulação na Movimentação de Peças no Processo de Armazenagem

O correto armazenamento das peças que vão para as linhas de produção é uma das primeiras etapas de fábrica eficiente em seus processos de fabricação.

Seguindo a metodologia de simulação, iniciamos o estudo constituindo o modelo abstrato do processo de movimentação de peças, com o objetivo de visualizar como o sistema físico está constituído.

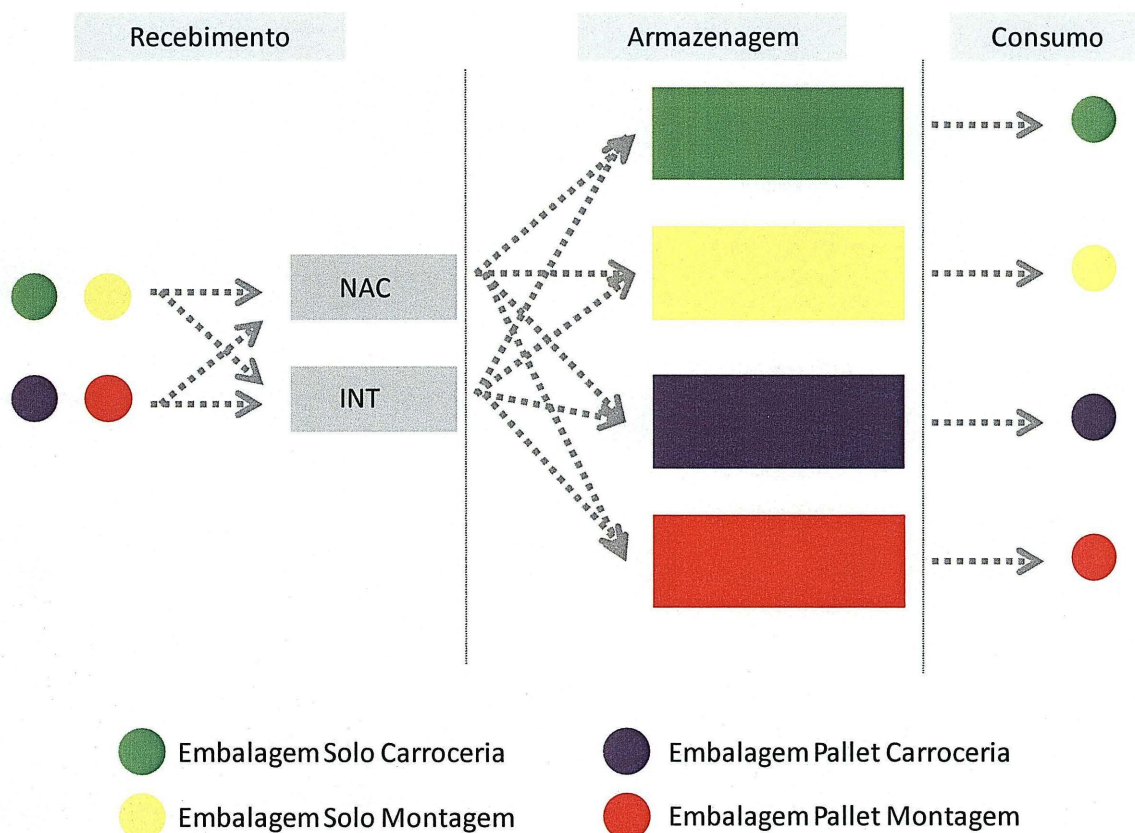


Figura 9 – Critério de Armazenagem

Fonte: O autor

Uma vez que o modelo abstrato e conceitual foi finalizado, passamos para determinação dos itens necessários para a coleta de dados, etapa vital para que os resultados de simulação tenham fidelidade com os procedimentos reais.

Foram coletadas as informações dos seguintes processos:

- Percentual de entrada de peças da doca nacional e na doca internacional;
- Percentual de entrada de peças, dividida por cada tipo de embalagem e ponto de entrada (docas);
- Situação atual de parametrização do armazém;
- Tempo de carregamento dos pallets pela empilhadeira na doca;

- Intervalo de tempo para a atividade de descarga da empilhadeira no local de destino;
- Percentual de consumo de cada região;

Após a coleta de dados e a inserção em planilhas eletrônicas, deu-se início a observação dos resultados estatísticos de cada processo para a 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 10).

Podem-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).

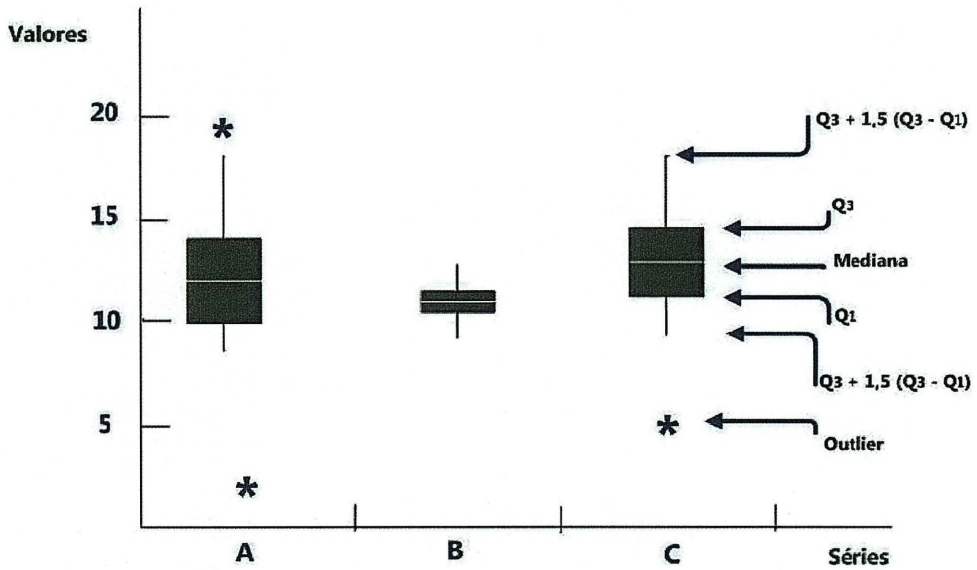
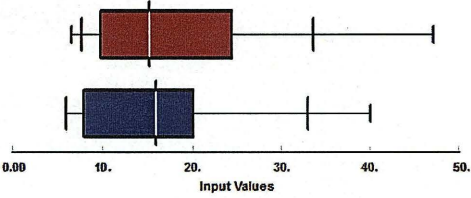
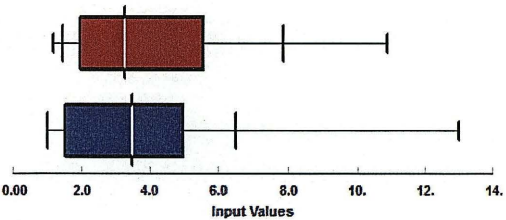
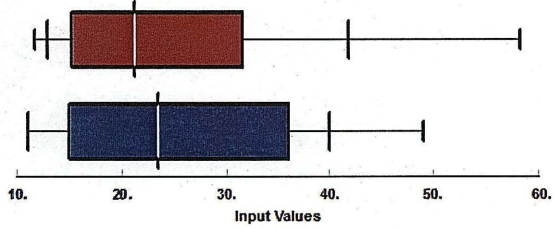
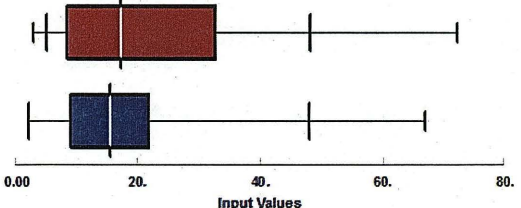
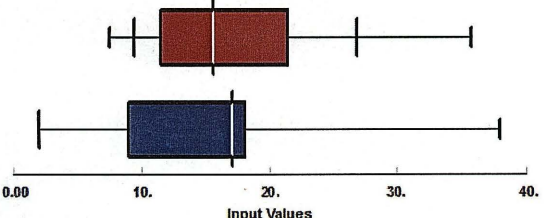
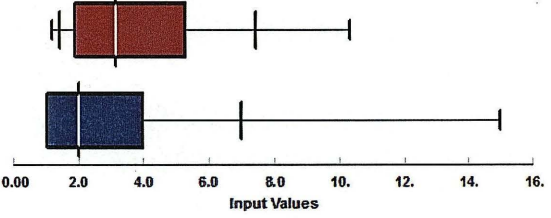
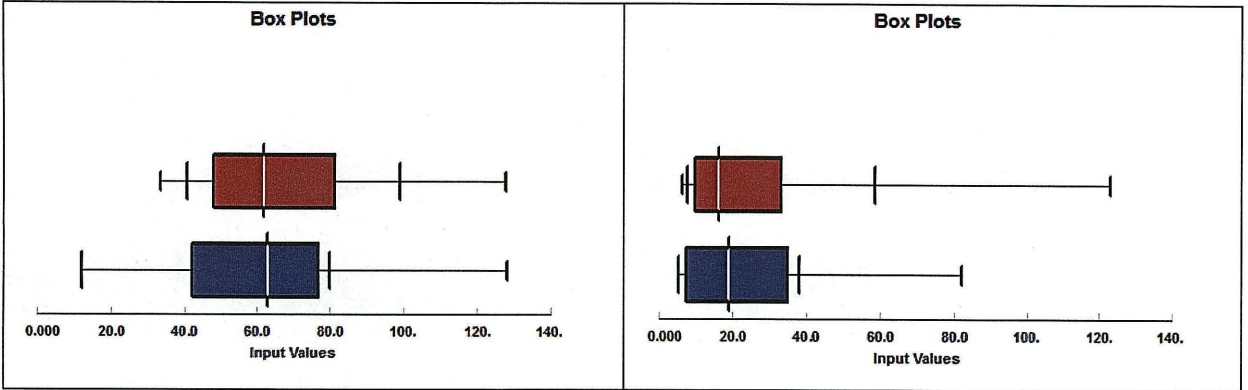


Figura 10 – Diagrama Box-plot para identificação de *outliers*
 Fonte: Chwif & Medina, 2007

Na tabela (1) a seguir estão alguns exemplos dos tratamentos dos *outliers* dos intervalos de chegada das embalagens nas docas.

Tabela 1 – Tratamento dos outliers

Internacional	Nacional
Chegada – Embalagens Solo (Carroceria)	
<p style="text-align: center;">Box Plots</p>  <p style="text-align: center;">Input Values</p>	<p style="text-align: center;">Box Plots</p>  <p style="text-align: center;">Input Values</p>
Chegada – Embalagens Solo (Montagem)	
<p style="text-align: center;">Box Plots</p>  <p style="text-align: center;">Input Values</p>	<p style="text-align: center;">Box Plots</p>  <p style="text-align: center;">Input Values</p>
Chegada – Embalagens Porta Pallets (Carroceria)	
<p style="text-align: center;">Box Plots</p>  <p style="text-align: center;">Input Values</p>	<p style="text-align: center;">Box Plots</p>  <p style="text-align: center;">Input Values</p>
Chegada – Embalagens Porta Pallets (Montagem)	

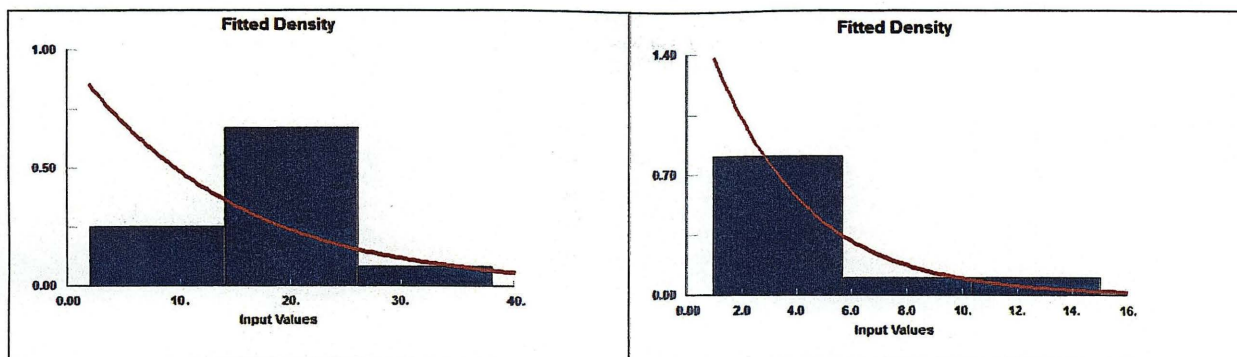


Fonte: O autor

Posteriormente ao tratamento dos dados foram extraídas as curvas estatísticas de cada processo conforme tabela (2):

Tabela 2 – Tratamento Estatístico

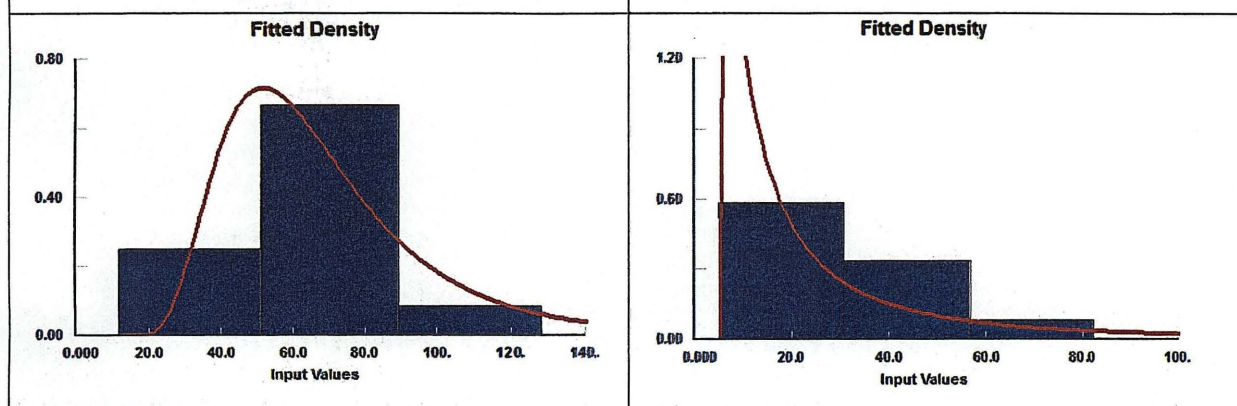
Internacional	Nacional
Chegada – Embalagens Solo (Carroceria)	
Exponencial: $6.+E(13.3)$	Exponencial: $1.+E(3.3)$
Chegada – Embalagens Solo (Montagem)	
Exponencial: $11.+E(14.8)$	Exponencial: $2.+E(22.2)$
Chegada – Embalagens Porta Pallets (Carroceria)	
Lognormal: $2.+L(15.6, 8.8)$	Exponencial: $1.+E(3.4)$



Chegada – Embalagens Porta Pallets (Montagem)

Lognormal: 12.+L(56.2, 28.9)

Lognormal: 5.+L(28.3, 65.6)



Fonte: O autor

4.2 Construção do Modelo Computacional

Depois da definição dos objetivos e do correto entendimento de todos os processos do sistema, foi possível realizar a modelagem computacional. Em linhas gerais, o modelo foi construído seguindo as seguintes etapas como representada na figura (11) na interface de construção do software:

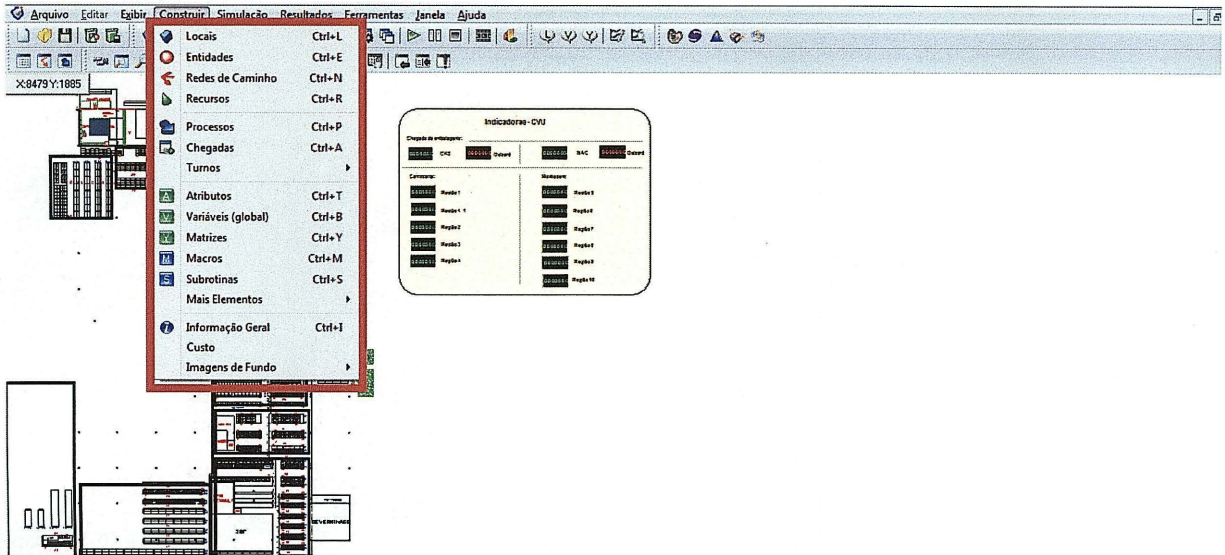


Figura 11 – Ambiente de Construção do Software Promodel
Fonte: O autor

❖ **Locais:** Pontos fixos através dos quais as entidades se movem são definidos como Locations. Estes pontos podem estar em qualquer lugar onde uma entidade é processada.

- Docas;
- Regiões do estoque.

❖ **Entidades:** entidades são itens processadas através do sistema. Eles podem representar peças, pessoas, documentos de trabalho ou tudo mais que requer do sistema.

- Peças de solo carroceria;
- Peças de solo montagem;
- Peças de porta pallet carroceria;
- Peças de porta pallet montagem.

❖ **Processamento:** a lógica de processamento define as operações e o roteamento de cada tipo de entidade em cada location no sistema. O processamento é definido para cada tipo de entidade em cada location, onde esta entidade sofre alguma ação ou simplesmente aguarda o acesso a uma location subsequente. As informações de roteamento indicarão normalmente o nome da entidade quando esta deixa o location e o próximo location para qual a entidade de dirigirá.

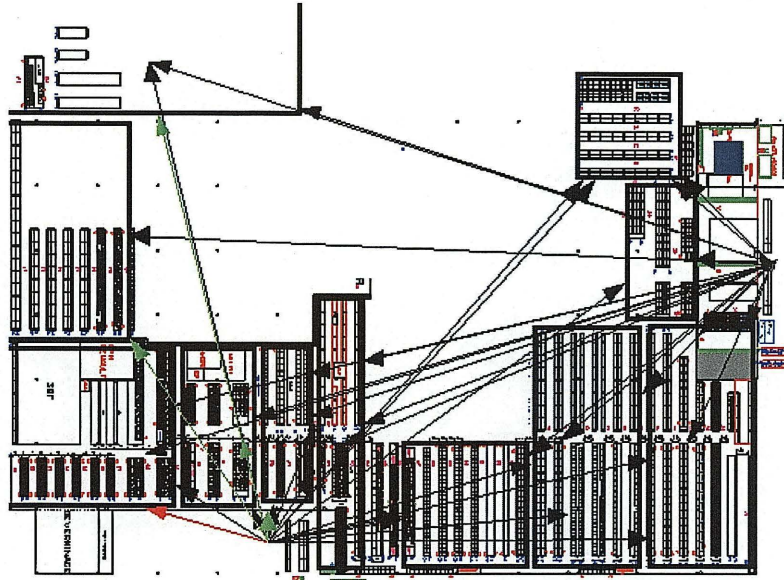


Figura 12 – Definição dos Processos
Fonte: O autor

- ❖ Chegadas: a introdução de entidades no sistema é especificada em Arrivals. Um chegada no location é especificada como sendo um quantidade ou tamanho do lote para cada tipo de entidade.
- ❖ Recursos: um recurso, como definido no Promodel, é uma pessoa, um equipamento ou um transportador necessário para efetuar uma ação, mas não é um location, como descrito anteriormente.
 - Chegada de peças nas docas;
- ❖ Redes de Percurso: os percursos de location a location são definidos Path Networks. Entidades auto-transportáveis, tais como pacientes de hospital, podem seguir estes percursos por si próprias se especificada no processo.
 - Caminho das empilhadeiras da doca até o estoque;
- ❖ Turnos: recursos e locations podem ser alcançados a programações de turnos de trabalho específicas.
- ❖ Gráficos de fundo: a fim de criar um modelo mais rico em informações ou simplesmente para dar mais graça à animação, o especialista em simulação pode definir desenhos de fundo para enfatizar certas estatísticas.

- ❖ Variáveis: uma variável pode ser definida pelo construtor do modelo como sendo um contador, uma chave lógica, um dispositivo de acompanhamento ou para qualquer propósito adicional.
 - Variáveis de controle das regiões do estoque e controle de chegada das docas e variáveis de controle do *Debord*, quando excede as regiões do estoque;

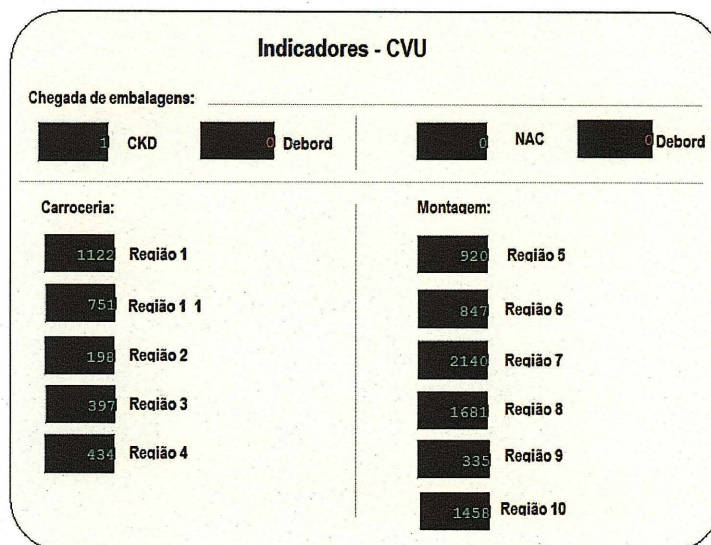


Figura 13 - Painel de controle das variáveis
Fonte: O autor

- ❖ Matriz: um array é uma matriz de valores que pode ser definida como ferramenta que economiza tempo na construção do modelo.

CARROCERIA		
Total Endereços		4650
Endereços Livres		1441,5
Taxa de Ocupação		69%

MONTAGEM		
Total Endereços		8510
Endereços Livres		368,7666667
Taxa de Ocupação		96%

Região 1		
Capacidade		2000
Endereços livres		780
Taxa de Ocupação	61%	1220
Taxa de Consumo/Dia		T(80,96,98)

Região 5		
Capacidade		1300
Endereços livres		52
Taxa de Ocupação	96%	1248
Taxa de Consumo/Dia		T(180,210,220)

Região 2		
Capacidade		700
Endereços livres		483
Taxa de Ocupação	31%	217
Taxa de Consumo/Dia		T(22,28,36)

Região 6		
Capacidade		900
Endereços livres		0
Taxa de Ocupação	100%	900
Taxa de Consumo/Dia		T(52,64,74)

Figura 14 - Planilha eletrônica para controle e inserção dos dados
Fonte: O autor

Posterior a etapa de construção do sistema uma das formas de verificar se o modelo computacional está de acordo com a situação física foi através da experiência dos envolvidos nos processos. Outra maneira foi comparar a taxa de ocupação real do armazém no período testado, e comparado aos indicadores dos processos. Após as verificações, constatou-se que o modelo estava de acordo com real. A discussão e revisão com a equipe de trabalho foi uma importante técnica de verificação e validação do modelo.

4.3 Executando a Simulação e Resultados Obtidos

Foram adotados três cenários entre diversos simulados, para a apresentação dos resultados e possíveis melhorias, sendo este composto pelo cenário atual, cenário proposto 1 e cenário proposto 2. Foi simulado um período de uma semana de produção para um volume determinado de veículos.

Terminado o processo de verificação e validação, foi simulado o cenário atual, conforme distribuição da tabela (3) abaixo. Como pode ser observado, existia não conformidade com distribuição de peças no armazém.

Tabela 3 – Distribuição de Chegadas das peças

CENÁRIOS	Chegada (Doca)	Regiões	Atual	Cenário 1	Cenário 2
Peças Pallet Carroceria	Internacional	R1	46%	50%	50%
		R1_1	45%	50%	50%
		R2	7%	0%	0%
		R3	2%	0%	0%
		R4	0%	0%	0%
		R5	0%	0%	0%
		R6	0%	0%	0%
		R7	0%	0%	0%
		R8	0%	0%	0%
		R9	0%	0%	0%
		R10	0%	0%	0%
Peças Pallet Carroceria	Nacional	R1	53%	50%	50%
		R1_1	11%	50%	50%
		R2	11%	0%	0%

		R3	18%	0%	0%
		R4	3%	0%	0%
		R5	0%	0%	0%
		R6	0%	0%	0%
		R7	1%	0%	0%
		R8	0%	0%	0%
		R9	0%	0%	0%
		R10	4%	0%	0%
Peças Pallet Montagem	Internacional	R1	15%	0%	0%
		R1_1	0%	0%	0%
		R2	0%	0%	0%
		R3	0%	0%	0%
		R4	0%	0%	0%
		R5	21%	25%	26%
		R6	1%	1%	0%
		R7	25%	30%	36%
		R8	16%	20%	15%
		R9	0%	0%	0%
		R10	23%	24%	23%
Peças Pallet Montagem	Nacional	R1	7%	0%	0%
		R1_1	0%	0%	0%
		R2	0%	0%	0%
		R3	0%	0%	0%
		R4	0%	0%	0%
		R5	17%	20%	23%
		R6	1%	2%	2%
		R7	42%	43%	43%
		R8	23%	25%	23%
		R9	0%	0%	0%
		R10	10%	10%	9%
Peças Solo Carroceria	Internacional	R1	21%	25%	25%
		R1_1	5%	15%	15%
		R2	36%	35%	35%
		R3	29%	20%	20%
		R4	9%	5%	5%
		R5	0%	0%	0%
		R6	0%	0%	0%
		R7	0%	0%	0%
		R8	0%	0%	0%
		R9	0%	0%	0%
		R10	0%	0%	0%
Peças Solo Carroceria	Nacional	R1	22%	25%	25%
		R1_1	22%	15%	15%
		R2	14%	25%	25%
		R3	29%	30%	30%
		R4	13%	5%	5%
		R5	0%	0%	0%
		R6	0%	0%	0%
		R7	0%	0%	0%
		R8	0%	0%	0%
		R9	0%	0%	0%
		R10	0%	0%	0%

Peças Solo Montagem	Internacional	R1	7%	0%	0%
		R1_1	0%	0%	0%
		R2	0%	0%	0%
		R3	0%	0%	0%
		R4	10%	5%	7%
		R5	10%	10%	10%
		R6	25%	20%	20%
		R7	15%	20%	20%
		R8	29%	35%	35%
		R9	4%	6%	6%
		R10	1%	4%	2%
Peças Solo Montagem	Nacional	R1	2%	0%	0%
		R1_1	0%	0%	0%
		R2	0%	0%	0%
		R3	0%	0%	0%
		R4	0%	0%	0%
		R5	2%	5%	7%
		R6	35%	32%	32%
		R7	25%	25%	25%
		R8	22%	23%	21%
		R9	5%	5%	7%
		R10	8%	10%	8%

Fonte: O autor

A composição dos cenários testados foi efetuada com uma distribuição das chegadas para os locais pré-determinados. As células em destaque (vermelho) mostram as alterações na distribuição de um cenário para outro.

Outra maneira de controlar e avaliar a capacidade de cada região foi o controle das variáveis definidas como *debord*, usa para absorver uma quantidade de embalagens superiores a capacidade das regiões.

Tabela 4 - Resultados do Cenário Atual

Cenário atual

Name	Total Changes	Avg Time Per Change (MIN)	Minimum Value	Maximum Value	Current Value	Avg Value	Taxa de Ocupação (Avg)
vRegião1	707	12	0	1335	1335	1240	62%
vRegião1 1	297	29	0	866	866	759	76%
vRegião2	191	44	0	231	225	213	30%
vRegião3	187	46	0	437	415	393	79%
vRegião4	114	74	0	465	462	435	97%
vRegião5	411	21	0	1252	413	751	58%
vRegião6	411	21	0	935	900	869	97%
vRegião7	761	11	0	2477	1718	2014	79%
vRegião8	613	14	0	1806	1806	1710	92%
vRegião9	66	125	0	353	350	329	91%
vRegião10	402	21	0	1544	1544	1488	96%
vDoca NAC	3065	3	0	100	26	15	-
vDoca CKD	5347	2	0	63	63	3	-
vDebord Região1	0	0	0	0	0	0	-
vDebord Região2	0	0	0	0	0	0	-
vDebord Região3	0	0	0	0	0	0	-
vDebord Região4	60	471	0	27	23	7	-
vDebord Região5	0	0	0	0	0	0	-
vDebord Região6	188	53	0	81	72	24	-
vDebord Região7	0	0	0	0	0	0	-
vDebord Região8	0	2864	0	0	0	0	-
vDebord Região9	0	0	0	0	0	0	-
vDebord Região10	28	33	0	9	9	1	-
vDebord Região1 1	37	221	0	2	0	0	-

Fonte: O autor

Cenário Atual: Conforme citado anteriormente, a não conformidade na parametrização causava *debord* nas regiões, em destaque na tabela de resultados (4), ou seja, não era um problema na falta capacidade, mas sim na falta de revisão dos parâmetros, o que causou para as regiões 4, 6 e 1 uma extrapolação da capacidade. Isso comprova algumas dificuldades sofridas pela operação, o que reforça a conformidade do que foi simulado com sistema real.

Cenário 1 (Proposto): neste cenário foram redistribuído as peças no armazém com outros percentuais, tabela (5). O que pode-se observar um melhor arranjo e equilíbrio dos estoques. Confira na tabela (3) como o simulador permite alterar com flexibilidade todo o fluxo de peças de armazém. Como pode ser observado, as regiões 8 e 10, foram impactadas, de forma moderada, porém com oportunidade de melhoria.

Tabela 5 – Resultados do Cenário Proposto 1

Cenário 1

Name	Total Changes	Avg Time		Minimum Value	Maximum Value	Current Value	Avg Value	Taxa de Ocupação (Avg)
		Per Change (MIN)						
vRegião1	455	19		0	1225	1087	1122	56%
vRegião1 1	404	21		0	974	974	819	82%
vRegião2	164	52		0	220	198	192	27%
vRegião3	122	69		0	417	339	362	72%
vRegião4	54	153		0	442	407	406	90%
vRegião5	489	18		0	1252	514	804	62%
vRegião6	356	24		0	896	851	837	93%
vRegião7	816	11		0	2479	1758	2036	80%
vRegião8	699	12		0	1895	1895	1751	95%
vRegião9	61	138		0	346	342	330	92%
vRegião10	447	19		0	1596	1594	1506	97%
vDoca NAC	3028	3		0	108	22	10	-
vDoca CKD	5187	2		0	57	57	2	-
vDebord Região1	0	0		0	0	0	0	-
vDebord Região2	0	0		0	0	0	0	-
vDebord Região3	0	0		0	0	0	0	-
vDebord Região4	0	0		0	0	0	0	-
vDebord Região5	0	0		0	0	0	0	-
vDebord Região6	11	60		0	4	0	0	-
vDebord Região7	0	0		0	0	0	0	-
vDebord Região8	79	191		0	62	62	7	-
vDebord Região9	0	0		0	0	0	0	-
vDebord Região10	127	73		0	72	70	13	-
vDebord Região11	89	96		0	3	0	0	-

Fonte: O autor

Cenário 2 (Proposto): Nesta simulação foram alterados de forma bastante sutil os percentuais, o que causou um impacto positivo frente aos cenários anteriores. Acompanhando na tabela (6) abaixo, pode-se observar as regiões estão mais equilibradas. O impacto disto na operação é a melhoria dos fluxos, tanto de entrada de material, como de saída, assim como um melhor aproveitamento das áreas disponíveis.

Tabela 6 – Resultados do Cenário Proposto 2

Cenário 2								
Name	Total Changes	Avg Time		Minimum Value	Maximum Value	Current Value	Avg Value	Taxa de Ocupação (Avg)
		Per Change (MIN)						
vRegião1	453	19	0	1224	1089	1124	56%	
vRegião1 1	403	21	0	972	972	819	82%	
vRegião2	162	52	0	221	197	192	27%	
vRegião3	128	66	0	417	345	365	73%	
vRegião4	65	128	0	444	416	411	91%	
vRegião5	526	16	0	1252	553	824	63%	
vRegião6	339	26	0	892	833	828	92%	
vRegião7	909	10	0	2480	1858	2090	82%	
vRegião8	607	14	0	1802	1801	1701	92%	
vRegião9	76	114	0	359	357	338	94%	
vRegião10	400	21	0	1554	1548	1491	96%	
vDoca NAC	3028	3	0	108	22	10	-	
vDoca CKD	5187	2	0	57	57	2	-	
vDebord Região1	0	0	0	0	0	0	-	
vDebord Região2	0	0	0	0	0	0	-	
vDebord Região3	0	0	0	0	0	0	-	
vDebord Região4	0	0	0	0	0	0	-	
vDebord Região5	0	0	0	0	0	0	-	
vDebord Região6	8	82	0	2	0	0	-	
vDebord Região7	0	0	0	0	0	0	-	
vDebord Região8	1	343	0	1	1	0	-	
vDebord Região9	10	206	0	6	6	1	-	
vDebord Região10	20	183	0	9	5	1	-	
vDebord Região11	86	97	0	3	0	0	-	

Fonte: O autor

Junto a análise de capacidade e controle do *debord*, também foi avaliado o desempenho dos recursos aplicados nestas atividades. O ganho de performance dos recursos fica evidente com percentual de utilização, confira na tabela (7) as diferença em porcentagem no desempenho dos recursos.

Tabela 7 – Resultado da Utilização dos Recursos

	Cenário 1	Cenário 2
Recursos NAC	13,41%	13,33%
Recursos INT	7,47%	8,30%

Fonte: O autor

Este quadro comparativo refere-se ao desempenho dos recursos comparado ao cenário atual, ou seja, em linhas gerais o cenário 2 apresentou uma melhora significativa na utilização dos recursos, 13,33 % e 8,30% o que representam que estes recursos apresentaram um índice menor na utilização, o leva a concluir que também existe oportunidade de ganho com a otimização dos recursos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na atualidade para se ter um planejamento coeso, deve ser ter como base instrumentos e métodos que auxiliem nesses processos, a fim de minimizar os riscos. Com este intuito, este trabalho mostra a modelagem e simulação, como uma importante ferramenta de apoio a tomada de decisão.

Todos os dados foram manipulados através do software de simulação Promodel e também através de planilhas eletrônicas. A interface que o software faz com que as planilhas possibilitassem uma forma fácil para manipulação dos dados de entrada, permitindo a composição de diferentes cenários.

Pode-se concluir que os resultados foram satisfatórios, em relação a parametrização mais eficiente do estoque, o que conseqüentemente permitiu avaliar o desempenho dos recursos. O modelo aqui demonstrado, também permite a realização de teste frente aos diferentes volumes e *mix* de produção, no planejamento da recepção de materiais e no planejamento da capacidade do armazém, isto ressalta o diferencial que a ferramenta e sua correta aplicação no que diz respeito à investimentos envolvidos no processo.

Com isso, o objetivo, que era um estudo de modelagem e simulação aplicado a logística de armazenagem foi alcançado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARTON, Richard F. Manual de simulação e jogo. Petrópolis, 1973.

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 USP, Departamento de Engenharia Mecânica, 1999.

FILHO, Ubaldo Marques Silva. Modelagem e simulação de bobina de aço pré-pintado da CSN Araucária PR. Monografia (MBA em Gerência de Sistemas Logísticos). Universidade Federal do Paraná, 2009.

FREITAS, Paulo José de. Introdução à modelagem e simulação de sistemas (Com aplicações em Arena). Florianópolis, 2001

HARREL, Charles R. et al. Simulação (Otimizando Sistemas). Instituto Iman. São Paulo, 2002.

PIDD, Michael. Modelagem empresarial (Ferramentas para tomada de decisão). Porto Alegre, 1998.

PRADO, Darci Santos do. Usando o Arena em Simulação. Belo Horizonte, 2004.

PRADO, Darci Santos do. Teoria das filas e da simulação. 4 Ed. Nova Lima, 2004.

SOARES, Luiz Fernando Gomes. Modelagem e simulação discreta de sistemas. Rio de Janeiro, 1992.

STRACK, Jair. GPSS - Modelagem e simulação de sistemas. Rio de Janeiro, 1984.