

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
**Departamento de Pró Reitoria de Pesquisa e Pós-graduação**

**Simulação Aplicada a  
Organização & Métodos  
no Processo de Manufatura**

**Donald Frederick Ayres**

Monografia apresentada à Pró-reitoria de Pesquisa e de Pós-graduação da Universidade de Taubaté, como parte dos requisitos para obtenção do Certificado de Especialização em MBA – Gerenciamento Empresarial

**Taubaté - SP**  
**2000**

## COMISSÃO JULGADORA

Data: 16/12/2000

Resultado: 8,0

Prof. Dr. Marco Antonio Chomon

Data: 16/12/2000

Resultado: 8,0

Prof. Dr. Antonio Paschoal Del' Arco Junior

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
**Departamento de Pró Reitoria de Pesquisa e Pós-graduação**

**Simulação Aplicada a  
Organização & Métodos  
no Processo de Manufatura**

**Donald Frederick Ayres**

Monografia apresentada à Pró-reitoria de Pesquisa e de Pós-graduação da Universidade de Taubaté, como parte dos requisitos para obtenção do Certificado de Especialização em MBA – Gerenciamento Empresarial

Orientador: Prof. Dr. Francisco C. L. Melo

**Taubaté - SP**  
**2000**

Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-graduação – Normas para elaboração e apresentação de monografias de Conclusão de curso de Especialização, dissertações de Mestrado e Teses de Doutorado – Taubaté, 1999. 29p. – Universidade de Taubaté.

## Errata

Dedico este trabalho ao meu  
Pai, a minha Mãe, ao meu irmão  
e a minha irmã, que estão  
sempre ao meu lado.

Ao meu filho, Ariel.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Prof. Dr. Francisco C. L. Melo pela habilidade com que orientou o meu trabalho.

À Paragon Rockwell, que cedeu o software e os materiais para a confecção deste estudo.

Ao Srs. Reinaldo Borsos e Antônio Celso Pimentel que contribuiu com o material para confecção desta Monografia.

## SUMÁRIO

<b>Resumo</b>	<b>1</b>
<b>1- Introdução</b>	<b>2</b>
<b>2- Tempos &amp; Métodos – “sua importância na indústria”</b>	<b>4</b>
<b>3- Simulação de Processos por Computador</b>	<b>09</b>
<b>4- Conclusões</b>	<b>28</b>
<b>5- Exemplo da Construção do Modelo</b>	<b>29</b>
<b>6- Resultados</b>	<b>34</b>
<b>7- Referências Bibliográficas</b>	<b>36</b>
<b>Abstract</b>	<b>37</b>



## RESUMO

Este estudo tem por objetivo demonstrar como a simulação está otimizando os Estudos de Processos de Manufatura, onde pode-se ser utilizada como uma ferramenta do dia-a-dia de um supervisor de turno, ou como uma ferramenta para redução de custos (matéria-prima, mão-de-obra, transporte e etc...).

O estudo a seguir está se desmembra em assuntos de Tempo & Métodos, dando um leve adendo no que é o profissional da área, e com mais enfoque, sobre a Simulação de Processos de Manufatura, onde os capítulos abrangem, Aplicação em Linha de Produção, onde tem-se a Modificação em sistemas existentes, um setor de produção totalmente novo pode ser planejado, melhor política de estoque pode ser obtida por meio de simulação.

A Simulação de Processos, que permite estudar o comportamento e o relacionamento entre diversos componentes de um sistema, considerando o fluxo de informações ou de elementos físicos dentro dele. que permite estudar o comportamento e o relacionamento entre diversos componentes de um sistema, considerando o fluxo de informações ou de elementos físicos dentro dele.

Também veremos um exemplo gráfico de como fica a simulação de um posto de trabalho através da simulação, baseado no conteúdo de cada capítulo específico.

## 1. INTRODUÇÃO

O mercado muda cada vez mais rapidamente e com maior intensidade. Este é um fato que tem sido observado com clareza nos últimos anos. A medida que o mercado se torna cada vez mais exigente nos quesitos qualidade, preço e personalização, novos desafios são impostos aos sistemas de manufatura, que precisam ultrapassar continuamente seus próprios limites.

Analisando os sistemas de manufatura utilizados até então, nota-se que é crescente a centralização nos desejos do cliente (Fioroni & Batocchio, 2000). Décadas atrás, a competição entre as empresas era focada no preço dos produtos, ou seja, os produtos mais baratos eram os mais competitivos. Ao longo do tempo, a qualidade e a disponibilidade vieram a se somar ao preço como fatores de competitividade. Dentro deste cenário, as empresas alcançavam a lucratividade através da produção seriada em escala, de modo a reduzir os custos por unidade (Kidd, 1994).

Atualmente, a pressão sobre os sistemas de manufatura é enorme, pois além dos fatores citados anteriormente, veio a se somar a personalização dos produtos. Portanto, além de desejar produtos baratos, de boa qualidade e sempre disponíveis, o mercado agora exige também variedade. Isso implica em mais opções de escolha e na redução do ciclo de vida dos produtos, que precisam inovar com frequência cada vez maior. A necessidade de atender aos desejos individuais dos clientes não pode ser atendida pelos sistemas de produção seriada, e a redução do ciclo de vida dos produtos não possibilita o uso da economia de escala como alternativa para que as empresas obtenham lucro significativo (Kidd, 1994). Assim, é necessário o desenvolvimento de um sistema de manufatura capaz de atender a esta nova situação do mercado.

Uma vez que o ambiente do mercado vem se tornando mais e mais competitivo, é necessário que a empresa busque continuamente obter recursos que a diferenciem de

seus concorrentes e a coloquem em posição privilegiada. Anos atrás, quando uma empresa fazia uma descoberta ou desenvolvia uma tecnologia inovadora, obtinha grande diferencial competitivo sobre as demais e se mantinha durante longo tempo na liderança do mercado, apenas aprimorando seu fator diferencial. O que se vê atualmente é que as descobertas e novos desenvolvimentos acontecem em velocidade crescente, alternando a posição de liderança do mercado e obrigando que as empresas permaneçam continuamente quebrando paradigmas e obtendo diferenciais competitivos significativos.

Demonstrando também como a simulação está otimizando os Estudos de Processo de Manufatura tendo como base os Estudos de Tempos & Métodos, onde pode-se ser utilizada como uma ferramenta do dia-a-dia de um supervisor de produção, ou como uma ferramenta para redução de custos( matéria-prima, mão-de-obra, transporte e etc...)

## **2.- TEMPOS & MÉTODOS – “Sua importância na indústria”**

Realmente, Tempos e Métodos no Brasil chegou com as multinacionais e ficou restrito a essas empresas, que usufruem de toda a sua potencialidade, enquanto que as micro, pequenas e médias indústrias brasileiras que representam a tecnologia nacional pura, relegam a sua utilização a um segundo plano devido ao descrédito dos administradores da terra, na técnica e nas suas possibilidades, causado pelo desconhecimento do que representa a análise do método, do que é um padrão de trabalho, da diferença entre Eficiência e Produtividade, enfim, da importância da Organização Científica do Trabalho, com todas as suas variáveis, nas tomadas de decisões, objetivando sempre redução de custo de forma coerente e progressiva.

Para se ter uma idéia do que outros países fazem a respeito, basta dizer que em todas as universidades dos Estados Unidos, já na década de 20 (Itys-Fields – 1998), esse assunto era matéria obrigatória nas áreas de Engenharia, Economia e Administração e por incrível que possa parecer, no Brasil, os profissionais com essa formação desconhecem completamente o assunto, nem mesmo tendo ouvido falar alguma coisa relativa, nos bancos escolares.

Para termos também uma idéia da importância dessa técnica, analisemos uma indústria em sua organização elementar.

Na determinação de quantos funcionários são necessários em uma fábrica ou um setor de fábrica, na área de produção.

Dependemos, para obtermos essa resposta, do programa de produção e do tempo de fabricação do produto ou peça, a este cálculo a técnica denomina CARGA DE MÃO DE OBRA.

Exemplo: uma industria de produzir 1000 produtos a cada dia (programa de produção) e sabendo-se que cada produto para ser fabricado tem o tempo de 6 horas, quantas pessoas são necessárias para cumprir essa tarefa?

Cálculo:

$$NÚM. DE PESSOAS = \frac{\text{Prog. de Prod. / Dia} \times \text{Tempo Fab. / Prod.}}{\text{Tempo de Trabalho / Pessoa / Dia}}$$

$$NÚM. DE PESSOAS = \frac{1000 \text{ Prod. / Dia} \times 6 \text{ hs. / Prod.}}{8 \text{ horas / Pessoa / Dia}} = \frac{1000 \times 6}{8} = \frac{6000}{8} = 750 \text{ pessoas}$$

Portanto 750 pessoas são necessárias para cumprir o programa de produção diário.

Verifica-se ser um cálculo simples para a determinação de uma carga de Mão de Obra, porém para se chegar ao tempo de fabricação do produto, há necessidade do conhecimento profundo de Tempos e Métodos.

O mesmo acontece na:

- determinação da carga de máquina (sendo o quanto uma máquina está ocupada durante um dia de trabalho).

Na determinação da:

- Eficiência e da Produtividade;
- Do Balanceamento de Linhas de Produção;
- Na análise de um “lay-out”;

- Nos incentivos salariais e controle de produção;
- Na determinação do custo industrial
- Etc, etc, etc...

## **2.2- A TÉCNICA**

O Estudo de Tempos e Métodos é a análise dos métodos, materiais, ferramentas e instalações utilizadas na execução do trabalho, esta análise tem por finalidade:

- Conhecer o processo e os métodos de fabricação, levando o descritivo do processo. O conhecimento do fluxograma de produção é imprescindível a qualquer trabalho;
- Questionar os métodos de trabalhos e otimizá-los ou reorganizá-los (implica em redução de custos e aumento de produtividade);
- Levantamento dos tempos das atividades e determinação do tempo padrão (que é usado em custos e PCP);
- Encontrar a forma mais econômica de executar-se o trabalho;
- Padronizar os métodos, materiais, ferramentas e instalações;
- Determinar exatamente o tempo necessário para que uma pessoa competente realize o trabalho com um ritmo normal;
- Ajudar a aprendizagem do operador no método novo;

Por exemplo, podemos estar analisando uma atividade pertencente a um processo: a usinagem num torno de uma peça do processo de fabricação de ventiladores. Mede-se o tempo gasto para fabricar um lote de "n" peças, depois divide-se para obter o tempo unitário.

Digamos "X" minutos por peça. Isto tem, no mínimo, um custo de mão-de-obra e de utilização do equipamento (aluguel, depreciação da máquina, manutenção, área física ocupada, pastilhas), dependentes do tempo. Esta etapa, sendo obrigatória e

representando um tempo de execução, é importante na programação da produção. Além de tudo, ainda é passível de se formarem estoques intermediários.

A seguir detalhamos toda a seqüência do aprendizado na determinação de um Tempo Padrão.

### **2.3- SISTEMAS DE MEDIDA DE TEMPO**

Desde a mais remota antigüidade o homem preocupa-se com o tempo de todas as maneiras, e uma delas é como medi-lo. A evolução e o progresso trouxeram várias formas de solução do problema e uma delas, mecanicamente, através dos relógios. Não contente ainda ele criou vários sistemas de medidas de tempo sendo o mais conhecido por nós o Sistema Sexagesimal de Minuto, onde o minuto é dividido em 60 partes, das quais cada uma é chamada de segundo.

O que estaremos tratando em nosso trabalho é o sexagesimal.

### **2.4- RACIONALIZAÇÃO INDUSTRIAL**

Tem como base o processo, a operação e seus elementos. É a ferramenta básica da Organização e Racionalização Industrial. Tem como característica principal a lógica, o bom senso, criatividade e iniciativa dos homens que comandam as ações em um industria, tornando sempre eficiente um trabalho com objetivos definidos, tendo como meta final única o trinômio qualidade, quantidade e custo, maximizando os primeiros e minimizando o último.

Talvez seja o Balanceamento de Linhas, ou seja, modular a linha de montagem de tal forma que ele atenda o máximo de eficiência com menor número de operadores , mantendo a qualidade do que se está produzindo e dentro de um ritmo adequado para operação, como o parâmetro mais importante da Racionalização Industrial, ele espelha

realmente a organização racional do trabalho, nele nota-se claramente a mão do homem melhorando o método cadenciando e ritmando os movimentos, distribuindo corretamente a mão de obra em uma linha de montagem ou de produção, de maneira lógica e sensata.

Enquanto que o racionamento um corte de necessidades é feito sem critério, a Racionalização antes de tudo, analisa o problema e racionalmente distribui os meios disponíveis coerentemente, para alcançar determinados resultados, de maneira uniforme e criteriosa, sem afetar o conjunto harmônico do universo atingido, objetivando sempre uma economia.

E é partindo deste princípio que estaremos utilizando a simulação como uma ferramenta que vêm para otimizar e estruturar o trabalho do profissional da área de O & M.



### **3- Simulação de Processos por Computador**

Um grande avanço tecnológico teve lugar nas últimas décadas. Assuntos que há poucos anos eram tema exclusivo de filmes de ficção científica, hoje fazem parte do nosso dia a dia. E o desenvolvimento de novas tecnologias parece evoluir de forma exponencial, criando cada vez mais rapidamente, aparatos ainda mais revolucionários.

Estes avanços trouxeram à nossa sociedade um grande conforto e possibilitam realizar façanhas antes inimagináveis. Alguns exemplos disso são os telefones celulares, notebooks, fornos de microondas, acesso à Internet, entre outros, apenas para ficar entre exemplos do dia a dia doméstico.

Ocorre que avanços semelhantes ocorreram no campo industrial/empresarial, na forma de computadores cada vez mais avançados e softwares poderosos. Entre estes softwares, figuram os sistemas ERP e os simuladores de processos, entre muitos outros. Com a ajuda destas ferramentas, a tarefa de administrar e tomar decisões torna-se cada vez mais fácil.

Da mesma forma que o telefone celular veio facilitar a comunicação entre as pessoas e o forno de microondas aumenta a praticidade no preparo dos alimentos, os softwares de Simulação de Processos auxiliam de forma tremenda o processo de tomada de decisões nas empresas. Mais do que um mero acessório, torna-se cada vez mais uma ferramenta essencial incorporada ao processo de tomada de decisão, assim como o celular e o microondas fazem parte da rotina da maioria das pessoas.

O presente estudo se dedica a explicar sobre esta ferramenta tão importante à tomada de decisões nas empresas, abordando suas técnicas, recursos disponíveis, área de aplicação e limites, fornecendo uma visão geral sobre ela. Adicionalmente, o pacote comercial ARENA será abordado com mais ênfase, graças às suas características únicas que facilitam sua operação e permitem a sua aplicação nas mais diversas áreas.

Imagine-se assistindo, em uma tela, ao funcionamento de uma célula após a introdução de um novo processo ou a mudança de seu lay-out. E isto sem a necessidade de fazê-lo na realidade, sem o desembolso de grande quantia de dinheiro. A simulação permite às pessoas enxergar no monitor de um computador as mudanças que pretendem implementar em suas organizações, quer seja analisando diferentes possibilidades e identificando gargalos, quer seja otimizando os processos atuais.

A simulação é uma técnica altamente usada no mundo atual, principalmente no ambiente das grandes empresas, desde a década de setenta,. Importantes trabalhos têm sido realizados, possibilitando grandes economias ou evitando prejuízos, sendo que os realizados por empresas dos setores siderúrgicos e automobilístico são os mais conhecidos e divulgados. Ultimamente temos observado uma maior popularização desta técnica em empresas de porte médio.

A década de setenta foi chamada de “década de ouro da simulação”, em virtude da enorme quantidade de trabalhos que se produziu, o que somente foi possível pelo surgimento de computadores main-frame de alta capacidade. Atualmente estamos vivendo a era do computador pessoal, onde convivem altas capacidades de processamento, recursos gráficos e funções de software. Por isso, a simulação está novamente na “ordem do dia”. Diversas empresas têm lançado novos softwares, firmas de consultoria têm se estabelecido e nas universidades o assunto ganhou um novo aquecimento. O assunto já está sendo ensinado inclusive em escolas técnicas de nível médio.

### **3.1- APLICAÇÃO EM LINHA DE PRODUÇÃO**

Está é a área que tem apresentado a maior quantidade de aplicações de simulação. Inúmeros cenários se encaixam neste item, desde empresas manufatureiras até minerações. Os seguintes casos podem ser analisados.

- Modificação em sistemas existentes, tais como as produzidas pela expansão da atual produção, pela troca de equipamentos, ou pela adição de novos produtos, que vão afetar a dinâmica do processo atual.

Pode-se antecipar onde serão formados os gargalos oriundos de modificações apropriados (tais como modificações no fluxo, alterações na programação das atividades, ou pela adição de novos recursos), após algumas tentativas pode-se chegar ao melhor modelo que incorpore as modificações requeridas.

- Um setor de produção totalmente novo pode ser planejado, obtendo-se o melhor fluxo dentro dele.
- A melhor política de estoque pode ser obtida por meio de simulação. O modelo de incluir a função “solicitação de material” e a função “atendimento pelos fornecedores”. Como resultados se obtém o “ponto de pedido” e a “quantidade do pedido”.

Veremos com o desenvolvimento as aplicações práticas da simulação através de casos práticos, onde iremos exemplificar estática e dinamicamente os exemplos que serão citados.

### **3.2- Simulação de Processos**

A Simulação de Processos por computador já existe desde a década passada, mas somente nos últimos anos vem sendo difundida mais amplamente tanto no meio acadêmico quanto empresarial, graças ao avanço significativo nos sistemas computacionais e à popularização do computador (Kelton & Sadowsky 1998),.

Por "simulação", entende-se uma imitação de parte da realidade em uma escala menor, sujeita às mesmas leis físicas e operacionais que o sistema real, com a finalidade de testar alternativas e estudar seu comportamento. Tal imitação é denominada "modelo".

A simulação de modelos é amplamente utilizada, por exemplo, pela indústria aeronáutica, que testa a aerodinâmica de novos projetos em túneis de vento.

A Simulação por Computador transporta esse conceito para o campo da informática, tornando o computador uma espécie de "túnel de vento" virtual, onde se pode testar protótipos e obter informações detalhadas sobre seu comportamento de forma extremamente cômoda e barata.

A Simulação de Processos por Computador é uma ramificação da Simulação por Computador, que permite estudar o comportamento e o relacionamento entre diversos componentes de um sistema, considerando o fluxo de informações ou de elementos físicos dentro dele. Trata-se de uma ferramenta poderosa na análise de sistemas muito complexos, já que o computador fica encarregado de monitorar todas as variáveis, alterar os estados e comportamentos conforme programado e gerar estatísticas de todo o experimento. O seu uso é possível graças à disponibilidade de ambientes computacionais voltados para a simulação, como por exemplo o software ARENA.

Tais ambientes computacionais permitem que se "descreva" o funcionamento do processo, agregando a este uma parte gráfica que apresenta visualmente o

comportamento da simulação. Deste modo, além de se obter estatísticas, é possível visualizar o seu funcionamento e detectar possíveis erros ou problemas no sistema.

Apesar dos muitos tipos diferentes de simulação existentes atualmente, baseados ou não em computador, este estudo irá se restringir à simulação de eventos discretos. Trata-se de uma simulação onde os eventos ocorrem pontualmente ao longo do tempo, diferente dos sistemas contínuos, nos quais as variáveis do processo se alteram continuamente ao longo do tempo.

### **3.3- Aplicações da Simulação de Processos**

Os ambientes computacionais de Simulação de Processos são bastante flexíveis, permitindo a modelagem e estudo de sistemas variados, como o fluxo de papéis em um escritório, atendimento clientes em uma agência bancária, o cronograma de manutenção de aeronaves, produção de aço em siderúrgicas e mesmo sistemas avançados de manufatura.

Sua aplicação tem enfoque diferente, dependendo do tipo de processo a ser analisado, e mesmo quais aspectos serão relevantes ao estudo. Os tipos de análise mais frequentes são:

#### **3.3.1- Estudo de Alteração em um Sistema Existente**

A aplicação mais tradicional da Simulação de Processos. Destina-se a estudar os efeitos de uma alteração em um sistema já existente e conhecido. Aplica-se na verificação de planos de melhoria do processo, estudo de compra de novas máquinas, alterações de layout, alteração no número de funcionários, etc. Basicamente, dispõe-se de um sistema já bem conhecido, operacional, e em funcionamento. Um modelo de simulação é criado sobre este sistema e ajustado até corresponder em detalhes ao sistema real. Sobre este modelo, são aplicadas as alterações desejadas, e seus efeitos observados.

### **3.3.2- Estudos Comparativos**

Quando se pretende comparar dois sistemas segundo um mesmo aspecto, como escolha entre lay out de célula em U ou em L, diferente número de operadores, movimentação por esteiras ou por empilhadeira, são construídos dois modelos adotando-se os mesmos parâmetros, alterando-se apenas a característica a ser estudada. Os resultados obtidos pelos dois modelos serão comparados no sentido de se descobrir qual é a melhor situação (por exemplo: o transporte por esteiras é mais produtivo que por empilhadeiras). Não há o compromisso específico de que qualquer dos modelos represente com exatidão todos os aspectos de uma situação real, pois a informação desejada é comparativa entre os dois (ou mais) modelos. Portanto, pode-se adotar várias simplificações nos modelos, tornando o trabalho de modelagem mais fácil. Atendo-se ao exemplo das esteiras e empilhadeira, não é necessário incluir no modelo o Setup das máquinas, uma vez que este teria conseqüências semelhantes nos dois sistemas de transporte, portanto não é relevante para o estudo.

### **3.3.3- Estudo de um Sistema não Existente**

Diferente dos casos explanados anteriormente, existem situações em que um sistema é totalmente projetado com recursos ou características não presentes no sistema atualmente existente. Neste caso, pode-se coletar dados de situações semelhantes, ou estimar os dados de trabalho, considerando-se a correspondente margem de erro, visto que a simulação é uma ferramenta excepcionalmente valiosa para este tipo de análise.

### **3.4- Modelos de Simulação: Definição e Construção**

Conforme mencionado anteriormente, a simulação de processos trabalha sobre "imitações" da realidade chamadas modelos. Um modelo de simulação é uma

representação fiel do sistema real ou parte dele, em uma escala menor. O modelo deve possuir as mesmas propriedades e apresentar as mesmas reações que o seu correspondente real.

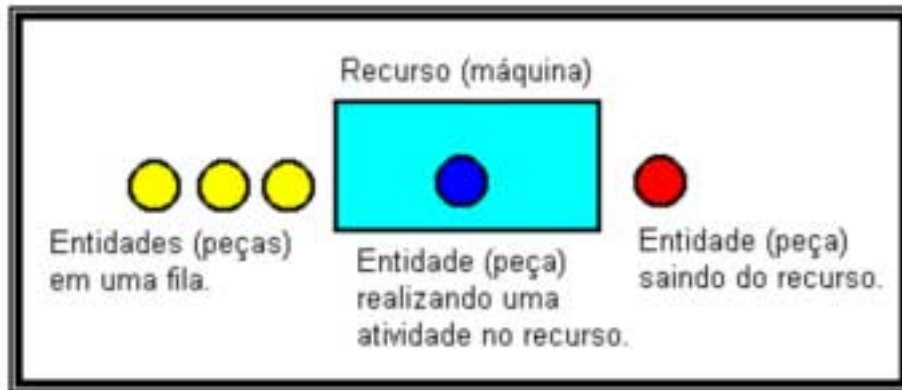
Desta forma é possível, dentro de certas limitações, estudar as reações futuras do sistema real baseado nas reações apresentadas pelo modelo. Desta forma, pode-se realizar experiências com o sistema que de outra forma seriam muito dispendiosas e, em alguns casos, perigosas.

Antes de construir o modelo, é necessário estudar atentamente o sistema real (caso este exista) e definir qual aspecto será estudado. O modelamento toma rumos diferentes dependendo da análise que se deseja fazer. Isto é necessário para evitar esforço de modelamento com aspectos não relevantes ao estudo.

Na simulação de eventos discretos podemos encontrar os seguintes elementos (Carrie - 1988):

- Entidades: São os elementos do sistema, divididos em temporários ou permanentes. As entidades permanentes, ou recursos, são aquelas que permanecem no sistema do início ao fim da simulação (como máquinas, operadores, etc.). As temporárias são aquelas que entram no sistema a qualquer momento durante a simulação, "circulam" pelo sistema e saem também a qualquer momento (peças, clientes, etc.).
- Atividades: São as operações que as entidades fazem ou deveriam fazer dentro do sistema.
- Eventos: São os instantes do tempo em que ocorrem mudanças no estado do modelo, como início ou término de uma atividade.
- Filas: Quando uma ou mais entidades aguardam para realizar uma atividade, formam o elemento chamado fila.

- Atributos: São as características específicas de cada entidade, como cor, momento de entrada no modelo, tempo de espera na fila, etc.
- Estados: São as alterações que sofrem as entidades ao longo do modelo.



**Figura 01 - Representação de entidades interagindo com um recurso**

A Figura 01 apresenta um exemplo de entidades interagindo com um recurso dentro da simulação. Neste caso, o recurso representa uma máquina que realiza sua atividade dentro de um determinado espaço de tempo e as entidades representam peças que sofrem processos. No lugar de uma máquina, poderia ser representado um médico (recurso) atendendo pacientes (entidades).

A construção do modelo é realizada combinando-se os vários processos existentes no sistema, bem como as suas regras de funcionamento. Uma vez construído, são inseridas as entidades, que o percorrem em um fluxo estabelecido pelas regras, passando pelos recursos, onde realizam atividades. O fluxo é controlado pelo chamado "calendário de eventos", que controla os tempos de início e término das atividades, bem como os tempos de entrada e saída de entidades.

A representatividade do modelo deve ser verificada através do processo chamado validação. Por validação, entende-se a comparação entre o funcionamento do modelo com o sistema real, considerando-se taxas de produção pelo mesmo período de tempo, comportamento idêntico dos processos, etc. Esta tarefa tem se tornado cada vez mais



fácil, graças aos recursos de representação visual disponíveis atualmente nos pacotes de simulação mais modernos. Através deste recurso, é possível visualizar na tela do computador uma animação representativa do sistema, de modo a permitir a identificação imediata de qualquer comportamento errôneo. Em paralelo a isto, é feita também a comparação dos dados estatísticos (produção, percentuais de ocupação, etc.). Uma vez validado, o modelo é considerado pronto para realizar os experimentos.

### **3.5- Coleta e Análise de Informações para o Modelo de Simulação**

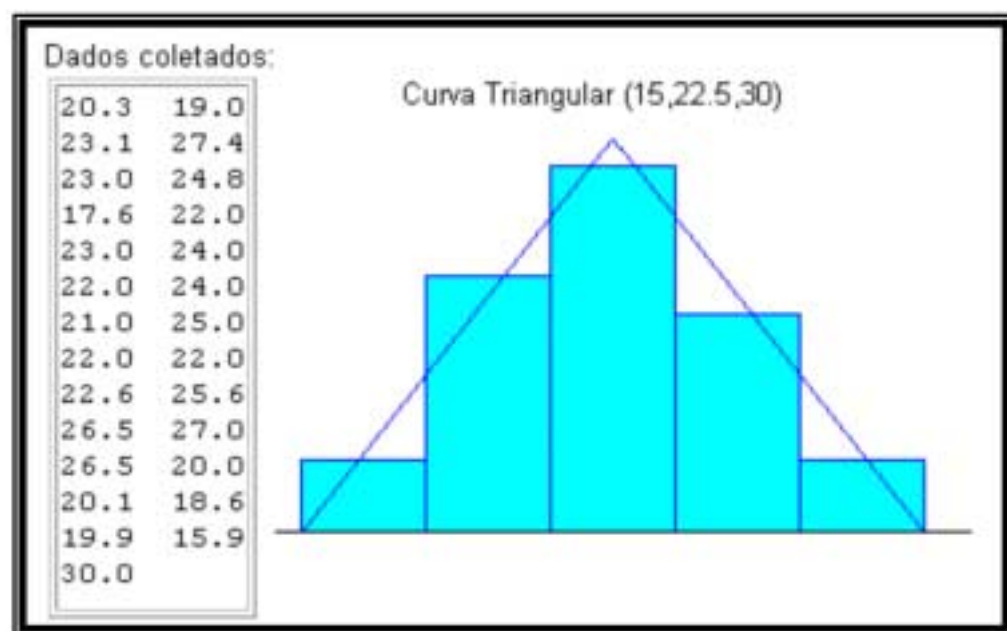
A construção do modelo depende das informações de funcionamento do sistema real, que deve ser estudado levando-se em conta o enfoque do modelo. Uma vez combinados os recursos e definidas as regras de fluxo, deve-se coletar as informações de tempo. Este trabalho é muito importante para a representatividade do modelo, pois aqui são inseridas as variações aleatórias inerentes a várias operações (Kelton & Sadowski – 1998).

Usualmente, em operações automatizadas os tempos de processo são fixos ou sofrem variações insignificantes, o que não é verdade para as operações realizadas, por exemplo, pelas pessoas. Estas estão sujeitas a muitas variações, que devem ser consideradas no modelo. Os pacotes de simulação possuem recursos poderosos para representar estas variações, através de curvas de comportamento. Basicamente, os softwares geram números aleatórios controlados por tais curvas, que são usadas para representar o tempo de operação de uma determinada tarefa, o tempo de deslocamento de uma entidade de um local para outro, ou mesmo o intervalo de tempo entre as entradas de entidade no modelo.

Para se determinar a curva de comportamento de uma operação, é necessário estudá-la ao longo do tempo. Realizando-se várias tomadas de tempo da mesma operação em momentos distintos (diferentes horários do dia, e em diferentes dias da semana). Tais

valores são reunidos graficamente em um histograma, que representa o seu comportamento. A Figura 02 apresenta um exemplo de dados coletados e o histograma correspondente.

Para cada operação realizada pelo sistema em que haja variabilidade, devem ser coletadas informações de tempo e geradas as respectivas curvas de comportamento. O modelo, assim construído, terá condições de representar fielmente o sistema real. Ocasionalmente, podem ocorrer eventos imprevistos ao longo da tomada de tempo (por exemplo, o operador se machuca ou deixa cair uma ferramenta) que acabam por prolongar o tempo da operação. Neste caso, este valor deve ser desconsiderado e uma anotação deve ser feita, registrando o ocorrido, que será modelado de outra forma. Isto é necessário pois caso este tempo seja inserido junto com os outros dados para a geração do histograma, este acabará por fornecer uma curva de comportamento imprecisa, sem uma boa aderência ao gráfico. Imprevistos como o citado podem ser modelados tomando-se por base os registros históricos destas ocorrências, que irão gerar uma curva de comportamento distinta.



**Figura 02 - Curva de comportamento gerada a partir de tempos cronometrados**

As curvas de comportamento mais comuns são: Normal, Triangular, Exponencial, Uniforme, Gama e Weibull, entre outras. Uma frase comum no meio da simulação é "Trash in - Trash out", ou seja, se forem colocadas informações incorretas no modelo, este responderá incorretamente também.

### **3.6- Definição de Cenários**

Os modelos de simulação que realizam testes de diferentes alternativas para um mesmo sistema são chamados de cenários. Os cenários são aplicados principalmente quando se deseja estudar as alterações em um sistema já existente. Portanto, é necessária a construção de um modelo que seja fiel ao sistema existente, devidamente validado (Kelton & Sadowski – 1998). A partir dele, são aplicadas as melhorias pretendidas, ou modificações de qualquer ordem. O objetivo é comparar o desempenho de todos os cenários entre si e com a situação original, de modo a constatar qual é a melhor opção ou opções de melhoria.

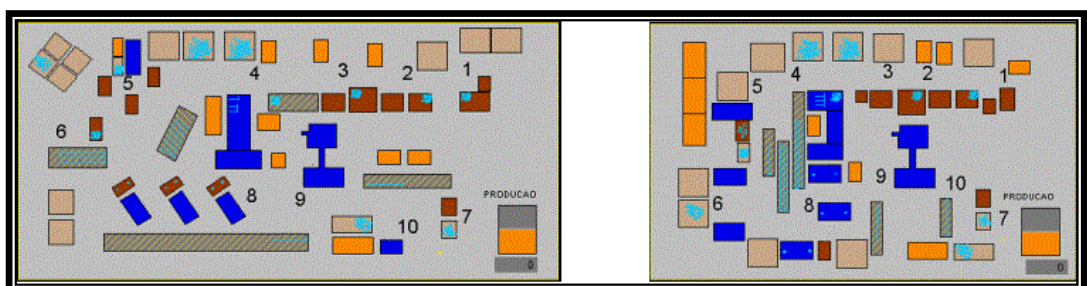
Uma vez definido o melhor cenário, este passa a ser estudado em detalhes para eliminar eventuais novos gargalos que podem ter surgido devido às mudanças. Fatores como custo de implementação e impacto social devem ser considerados na análise, evitando-se ultrapassar certos parâmetros, uma vez que o ambiente de simulação não impõe limites à criação de novas situações e o operador poderia facilmente gerar uma situação irreal. Devido a isso, é importante que o modelamento dos cenários seja realizado com base em um estudo ou projeto de melhoria do processo. A simulação de processos é uma ferramenta de auxílio ao projetista, e não uma solução em si para os problemas da empresa.

O estudo através da análise de cenários é bastante proveitoso, pois ultrapassada uma fase inicial mais trabalhosa, que trata da análise do sistema e modelamento da situação

original, passa-se a uma fase de experimentação onde vários cenários podem ser produzidos apenas alterando-se alguns aspectos do modelo original. Desta forma, muitas alternativas de melhoria podem ser realizadas em espaço de tempo bastante curto, com esforço relativamente pequeno. No entanto, um erro produzido no modelo original pode invalidar também todos os cenários criados a partir dele, o que implica em especial atenção na validação do modelo.

O desenvolvimento de cenários para a simulação é similar ao realizado na Administração Estratégica quando realiza a previsão ambiental (Certo & Peter, 1993) onde a equipe selecionada, baseada em informações já existentes, tenta criar situações de mercado hipotéticas e preparar a empresa para uma nova situação antes que esta ocorra. Tais cenários de mercado podem até mesmo ser simulados em um pacote comercial, uma vez definidos alguns parâmetros e guardadas certas limitações. Baseados neste fato, já temos notícia de "business games" que fazem uso de simulação, (Cornélio, Freitas & Tubino 1998).

Na Figura 03 podemos observar a apresentação visual de dois modelos usados para estudo em uma empresa brasileira do ramo de autopeças. O primeiro Layout é o da situação original. Foram aplicados diversos programas de melhoria do processo, visando diminuir o espaço físico ocupado pela linha e diminuir os estoques intermediários. O cenário criado para a situação projetada após as melhorias é apresentado no segundo Layout.



**Figura 03 - Duas situações diferentes de Layout analisadas com simulação**

Uma vez decididas e implantadas as melhorias no sistema real, o cenário modelado é novamente validado com o novo sistema real, de modo a ajustar eventuais discrepâncias. Desta forma, mantêm-se sempre uma cópia do modelo atualizada, que irá proporcionar agilidade no processo de tomada de decisão, caso se pretenda realizar novas modificações no processo.

### **3.7- Simulação de Sistemas Inexistentes**

Graças à grande liberdade de criação proporcionada pelas ferramentas de simulação existentes atualmente, é possível criar modelos de sistemas que ainda não foram completamente desenvolvidos, ou mesmo completamente utópicos.

No estudo de tais sistemas, devem ser montados protótipos funcionais, que são aperfeiçoados gradativamente conforme o avanço dos estudos. No entanto, a montagem de um protótipo real é bastante dispendiosa, e a sua montagem no início do trabalho geralmente não apresenta resultados práticos, uma vez que pouco se sabe sobre o sistema (Kelton & Sadowski – 1998) . A medida que o estudo avança, novos investimentos são necessários para alterar o protótipo, e assim até o término do trabalho. Este fato pode inviabilizar a pesquisa, já que nem sempre é possível dispor de tais recursos. Sendo assim, a simulação desponta como uma alternativa bastante razoável para a criação de protótipos e o estudo destes, reservando os recursos para a montagem do protótipo real quando o estudo já estiver em bases mais sólidas.

A criação de um modelo de sistema não existente apresenta alguns obstáculos adicionais, a saber:

- Ausência de uma origem para os dados estatísticos, que deveriam gerar as curvas de comportamento;
- Ausência de sistema real para validar o comportamento do modelo;

- Dificuldade em parametrizar o comportamento de determinada parte do modelo, quando este requer uma máquina ou recurso que ainda não existe para cumprir a tarefa estabelecida.

Estas dificuldades são contornáveis em parte e, a despeito delas, o resultado final é compensador, se for considerada a economia que o modelo virtual proporciona.

A ausência de dados estatísticos para o modelo pode ser suprida de várias formas. Uma é estudando-se um processo semelhante e extrapolando o comportamento para o modelo. Alguns comportamentos são já bem conhecidos, como a distribuição de chegada de pessoas em um local, que geralmente segue uma distribuição exponencial. Caso não exista qualquer processo semelhante, o tempo deve ser estimado baseando-se no que já se conhece sobre o processo, aliado ao bom senso.

A impossibilidade de se validar o modelo comparando-o com um sistema real não é tão crítica em um protótipo, uma vez que geralmente seus objetivos já estão traçados. Quando se pesquisa um novo sistema de manufatura, espera-se que este seja melhor do que os já existentes. Quando isto não ocorre com o modelo, existe um erro. É tarefa do projetista descobrir se o erro está no modelo, ou se o sistema desenvolvido é que realmente não atende às expectativas.

Quando houver a necessidade de se inserir um recurso no modelo que ainda não exista, o projetista deve usar de bom senso para estabelecer limites e criar uma "caixa preta", que cumpra sua função no modelo. O conteúdo da "caixa preta" deve ser objeto de novas pesquisas. Na realidade, esta é uma grande vantagem da simulação para o estudo de sistemas inexistentes, pois é possível incluir no modelo recursos que ainda não tiveram sua tecnologia totalmente desenvolvida, mas que serão necessários para o sistema como um todo. Portanto, é possível estudar a interação entre os dispositivos antes mesmo que todos eles tenham sido desenvolvidos

### **3.8- Análise dos Resultados Gerados pela Simulação**

Sob o aspecto de coleta de dados, os modelos de simulação podem ser classificados em "terminais" ou "não-terminais" (Kelton & Sadowski – 1998).

Os modelos terminais são aqueles que tem início e fim bem definidos por determinadas condições. Por exemplo, um estabelecimento comercial abre suas portas às 8 horas da manhã e encerra seu expediente às 5 da tarde, no entanto, permanece funcionando até que todos os clientes tenham saído da loja. Portanto, as condições de término são o horário e a ausência de clientes na loja. O tempo de simulação, portanto, pode variar de acordo com o comportamento do modelo. Os modelos não-terminais são aqueles que funcionam ininterruptamente, sem condições específicas para término. Por exemplo, uma ala de emergência em um hospital funciona 24 horas por dia. Neste caso, o projetista deve estabelecer um tempo razoável de simulação, suficiente para gerar a quantidade de dados adequada para a tomada de decisões.

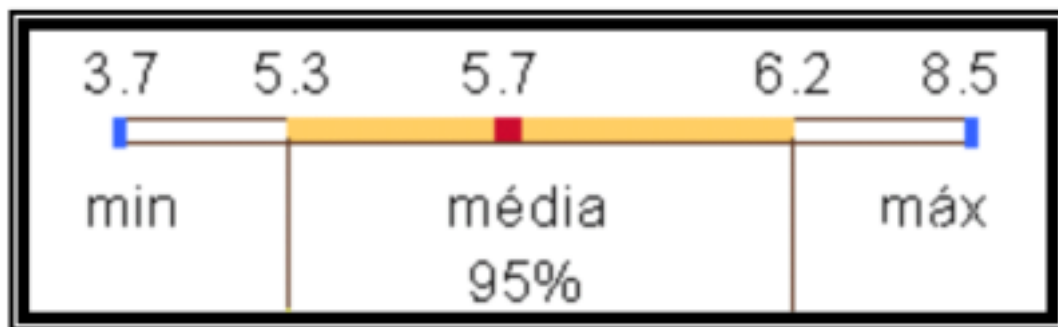
Dependendo do tipo de simulação, são aplicadas técnicas diferentes de execução e coleta de dados.

#### **3.8.1- Estudo de Sistemas Terminais**

Para os sistemas terminais, a execução da simulação é feita em "replicações". Cada replicação representa um período de tempo, no qual o sistema (Kelton & Sadowski – 1998) . Portanto, no caso do estabelecimento comercial citado anteriormente, uma replicação seria um dia de trabalho. Supondo que se deseje medir o número médio de clientes na fila do caixa ao longo do dia, a simulação executa várias replicações, cada qual fornecendo o valor médio de um dia. Estes valores são, então, usados para calcular o intervalo de confiança do modelo.

O número de replicações necessárias para a obtenção de um bom intervalo de confiança varia de acordo com o modelo. Devem ser feitas várias tentativas, aumentando-se o número de replicações, até a obtenção de um intervalo aceitável. Os pacotes comerciais de simulação mais modernos são capazes de gerar automaticamente tais intervalos.

A Figura 04 mostra um exemplo de intervalo de confiança gerado pelo pacote ARENA.



**Figura 04 - Intervalo de Confiança gerado pelo Arena**

### 3.8.2- Estudo de Sistemas Não Terminais

Para os sistemas não-terminais, a execução da simulação é feita de modo contínuo. No entanto, um problema para o projetista é que a maioria dos sistemas não se inicia vazia, ou seja, sem peças ou sem pessoas. Para que as estatísticas sejam válidas, é necessário que sejam coletadas com o sistema em pleno funcionamento, ou "em regime". Para contornar este problema, após iniciada a simulação, é estabelecido um tempo de "warm-up", ou aquecimento, durante o qual o sistema entrará em regime. O tempo de "warm-up" também varia conforme o modelo, e deve ser determinado por tentativas (Kelton & Sadowski – 1998).

Uma vez determinado o tempo de "warm-up", a simulação pode se processar da mesma forma que os sistemas terminais, através de replicações de determinados períodos de tempo. A única observação é que o tempo de "warm-up" só deve ser aplicado à primeira replicação, e o sistema não deve ser reinicializado, ou seja, esvaziado. Neste caso, no



final de uma replicação, todas as peças e/ou pessoas permanecem no sistema e a replicação seguinte já se inicia com elas (Kelton & Sadowski – 1998).

### **3.9- O Pacote de Simulação ARENA**

O pacote ARENA é comercializado pela atualmente pela Hockwell Software que adquiriu o direito sobre o pacote Arena da Systems Modeling S./A., uma empresa pioneira em softwares de simulação. Ela foi a primeira a portar uma linguagem de simulação, o SIMAN, para IBM-PC e a primeira a incorporar uma interface gráfica de animação, o CINEMA, que trabalhava em conjunto com o SIMAN.

Seus softwares foram evoluindo até o estágio atual, chamado de ARENA 4.0, para Windows 95/98/NT. O pacote Arena 4.0 roda em uma computador pessoal comum, sendo a sua configuração mínima um Pentium 75Mhz, com 16M de memória RAM.

Algumas características deste pacote merecem destaque:

#### **3.9.1- Modelagem Visual**

Diferente de uma linguagem de programação tradicional, o ARENA trabalha com uma interface totalmente gráfica, onde o modelo é construído de forma semelhante à montagem de um (Kelton & Sadowski – 1998). Este recurso facilita o trabalho do projetista tanto no processo de modelagem como na verificação de erros. A lógica de modelamento compartilha o mesmo espaço usado para criar a parte visual do modelo, como animação e telas explicativas. Esta integração provê grande facilidade para documentação do modelo, onde todos os recursos de desenho podem ser usados para dar destaque ou esclarecer partes da lógica.

### **3.9.2- Integração com Microsoft Office**

As versões mais atualizadas do Arena possuem recursos avançados de integração com outros aplicativos de uso comum, como o pacote Office da Microsoft. Tal facilidade é possível através da linguagem Visual Basic for Applications, que foi licenciada pela Systems Modeling e inserida no Arena.

Através dela, é possível criar um modelo que leia informações de uma planilha do MS Excel, simule com os novos dados, e grave os resultados também em uma planilha do MS Excel, ou mesmo no MS Word, completando dados em um relatório pré formatado, ou no MS Powerpoint, enriquecendo uma apresentação sobre os resultados do projeto. Também é possível criar interfaces amigáveis com o usuário, de modo que o operador do modelo não necessite possuir conhecimentos sobre o Arena. Uma janela padrão do Windows solicita as informações necessárias e aciona o modelo automaticamente.

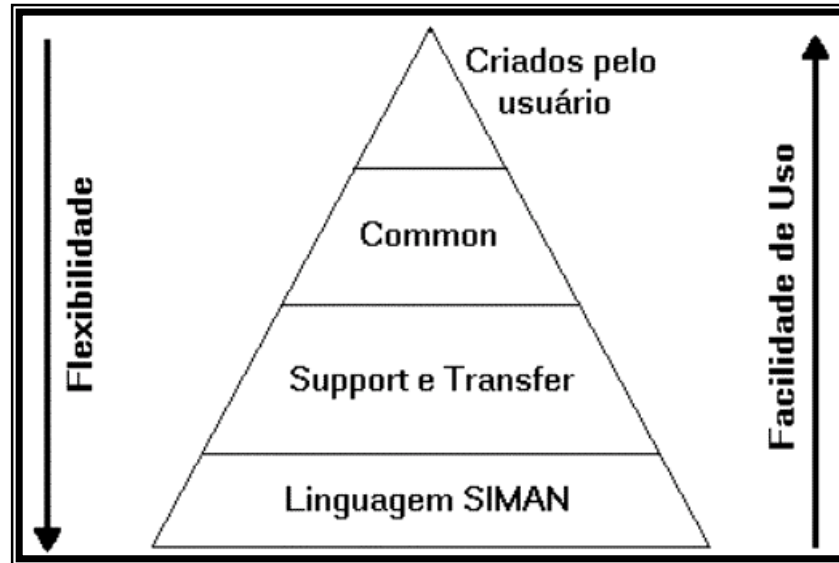
Este recurso vem ampliar de forma significativa a flexibilidade do pacote, permitindo integrá-lo às outras ferramentas que já fazem parte da cultura da empresa. No entanto, caso esta não seja usuária dos produtos Microsoft, esta integração será bem mais limitada.

### **3.9.3- Recursos para Análise de Entrada e Saída de Dados**

Juntamente com o pacote do Arena, são fornecidos dois softwares adicionais, o Input Analyzer e o Output Analyzer, que permitem realizar todas as operações necessárias ao tratamento e análise de dados estatísticos para inserir no modelo, assim como os resultados fornecidos pelo Arena ao final da simulação. Entre seus recursos, estão:

- Geração de histograma de dados de entrada e ajuste de curva com várias distribuições estatísticas;

- Leitura de arquivos de dados gerados pelo Arena, e apresentação de intervalos de confiança (Figura 05) para avaliação do modelo. Vários outros gráficos também estão disponíveis;
- Tratamento de resultados gerados pela simulação, agrupando dados de várias replicações ou eliminando valores incompatíveis com o estudo.



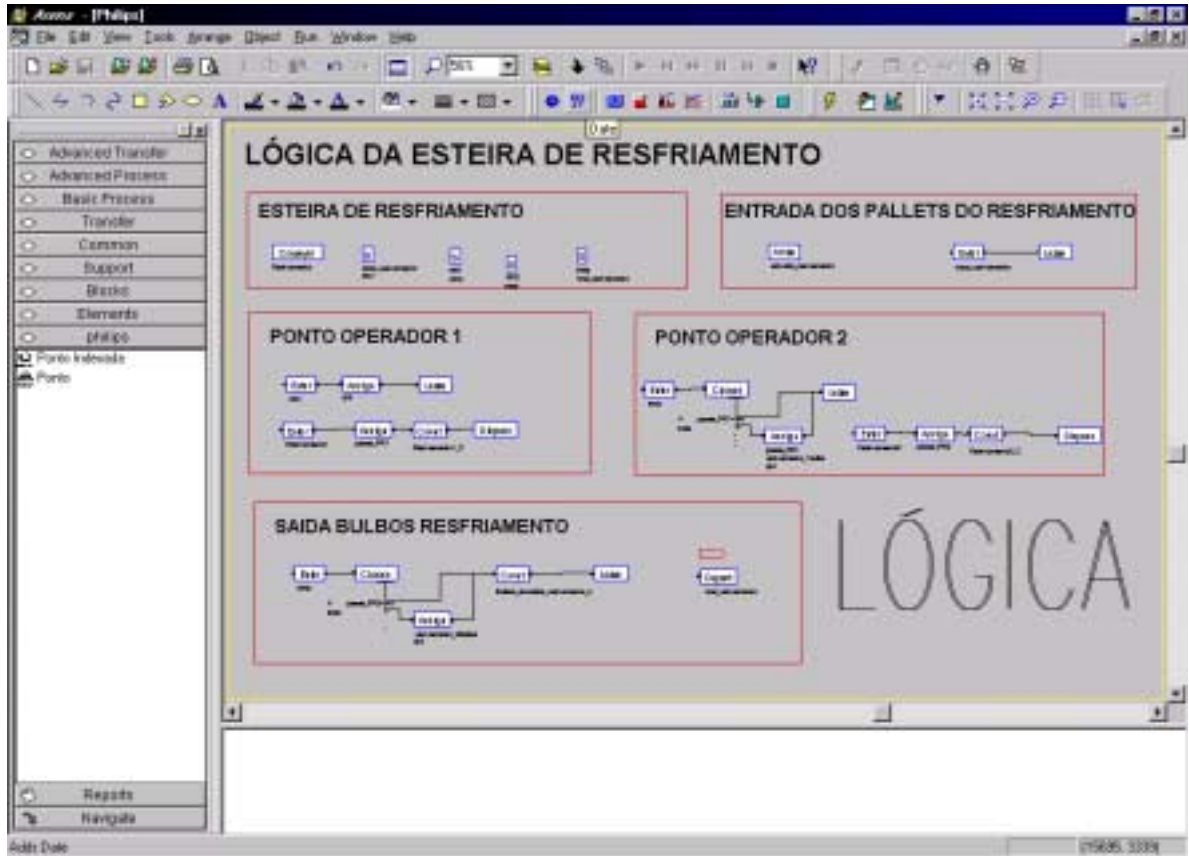
**Figura 05 - Os Templates do Arena e suas características**

#### **4 Conclusão (considerações)**

Este estudo conclui que com a necessidade de se ter processo flexível e ágil com as mudanças que o dia-a-dia nos reserva nas empresas, industrias, independentemente do ramo de atividades, nos deparamos com diversos obstáculos que no dia-a-dia não temos condições de resolver sem uma ferramenta adequada, e mesmo quando a temos é difícil de ser ter uma definição que venha a nos dar um a clareza e precisão dos fatos desejados. A Simulação vem para somar esforços junto com as técnicas já utilizadas hoje, mas com um adendo muito importante, a possibilidade de ser simular condições reais, chegando a situação de se espelhar a realidade de uma maneira segura e concreta, dando condições para se tomar decisões que com as técnicas usuais é impossível quando você tem uma margem de erro quase que inexistente. 60 Este diferencial é que está revolucionando o mercado, pois como já foi mencionado, estamos em um mercado competitivo , onde que tiver mais informações, terá condições de sobreviver em um mercado competitivo.

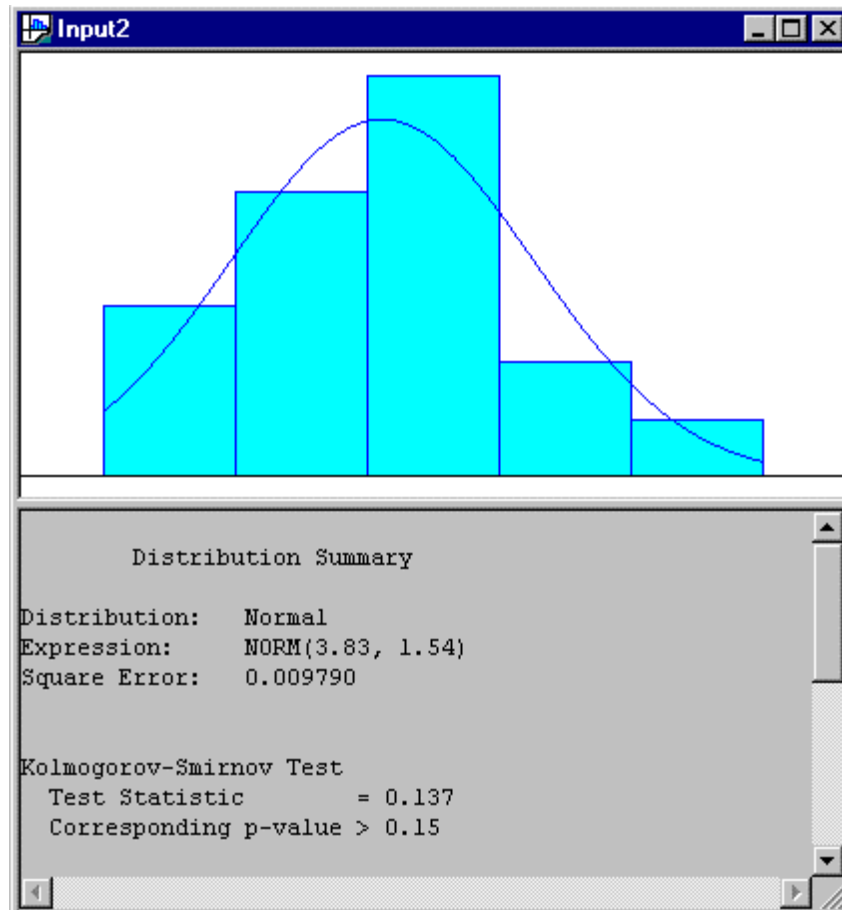
## 5- Exemplo da Construção do Modelo

- Fluxo da Estrutura Lógica do Simulador, onde a sua configuração e lay out são semelhantes ao fluxograma, aqui está o coração do modelo de simulação, onde são inputados todos os parametros e variaveis do modelo.

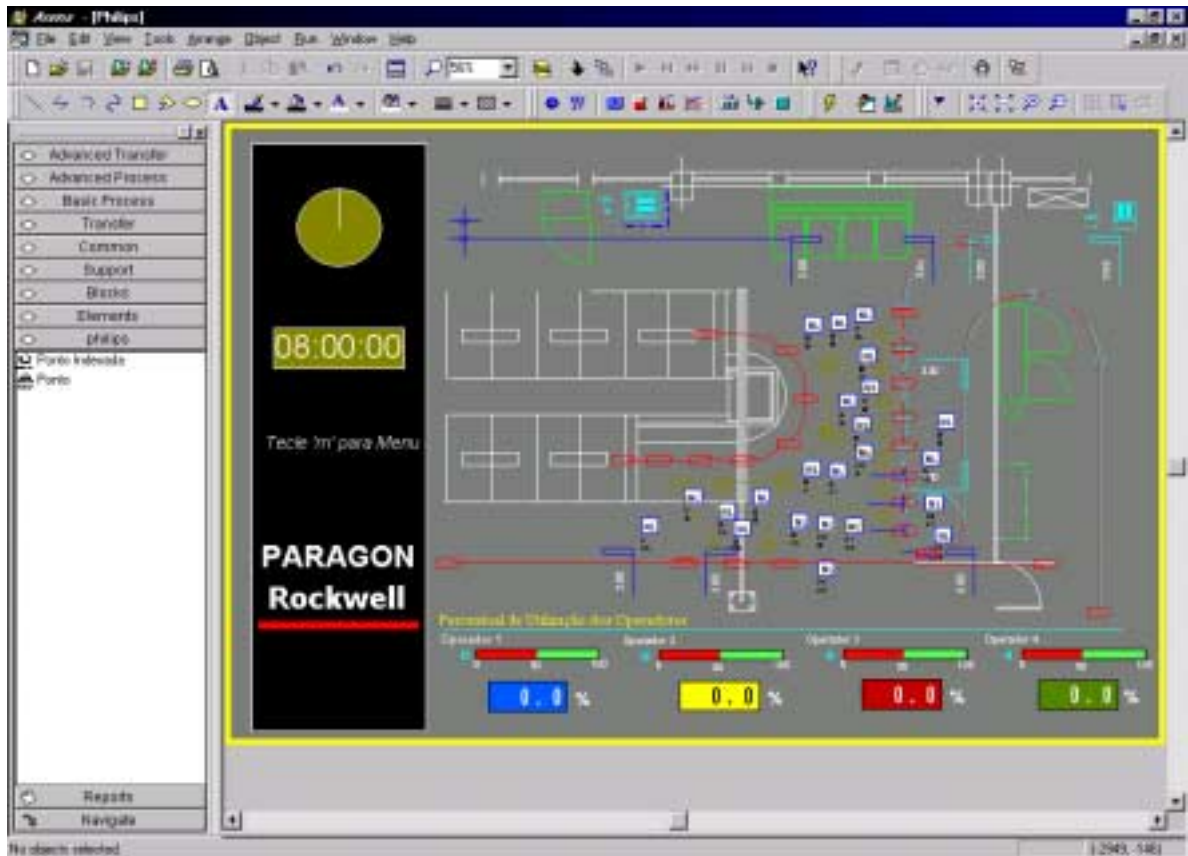


Exemplo do Fluxo desde o início da coleta de dados até o modelo final.

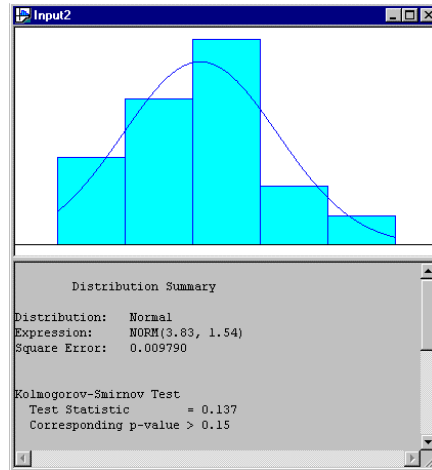
- Estudo prévio do processo e coleta de informações.  
O processo e suas etapas são analisados e todos os tempos envolvidos são coletados, possibilitando gerar “Curvas Estatísticas” de comportamento, onde é definido o a melhor curva para cada modelo e imputado na lógica do modelo.



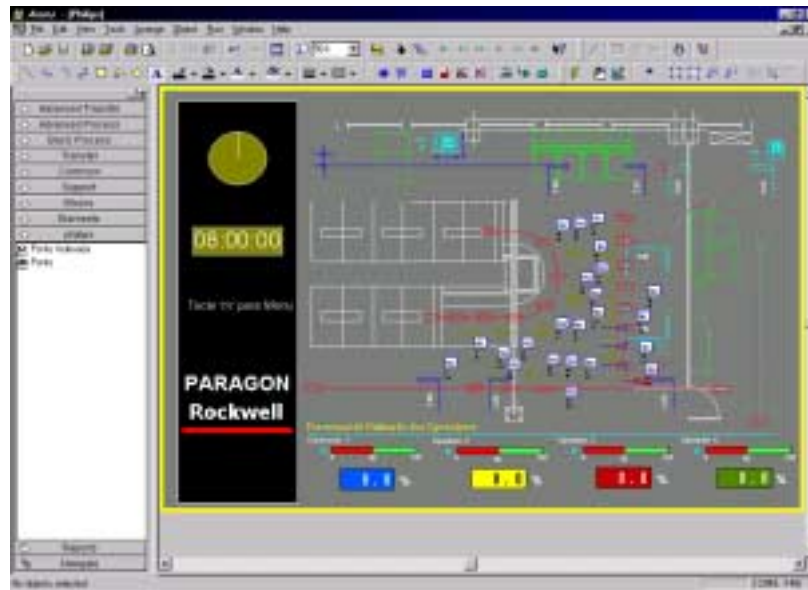
- Criação de um “modelo” do processo no computador através de um software de simulação. Neste passo, é feito a construção do layout do posto de trabalho, que pode ser através de um layout do Autocad ou através de um desenho montado através editor de desenho e inserido na área de trabalho do simulador. Após o primeiro passo, iremos colocar no layout do modelo os pontos da animação, onde após iniciado o modelo os objetos do layout terão animação.



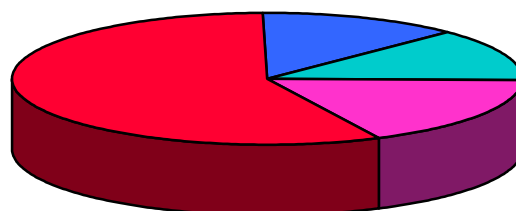
- Alimentação do modelo com as informações do processo e obtenção dos resultados.  
Colocando as informações de tempo no modelo, este irá produzir resultados como se fosse o processo real atual.



**Curvas de comportamento**



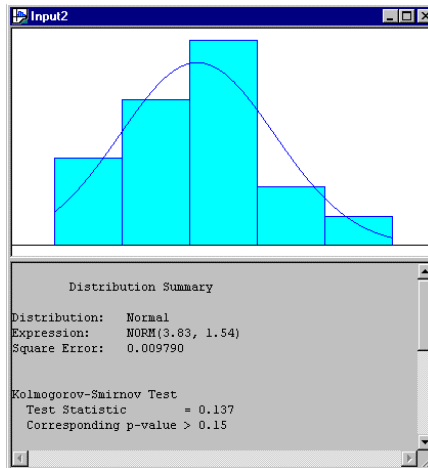
**Modelo**



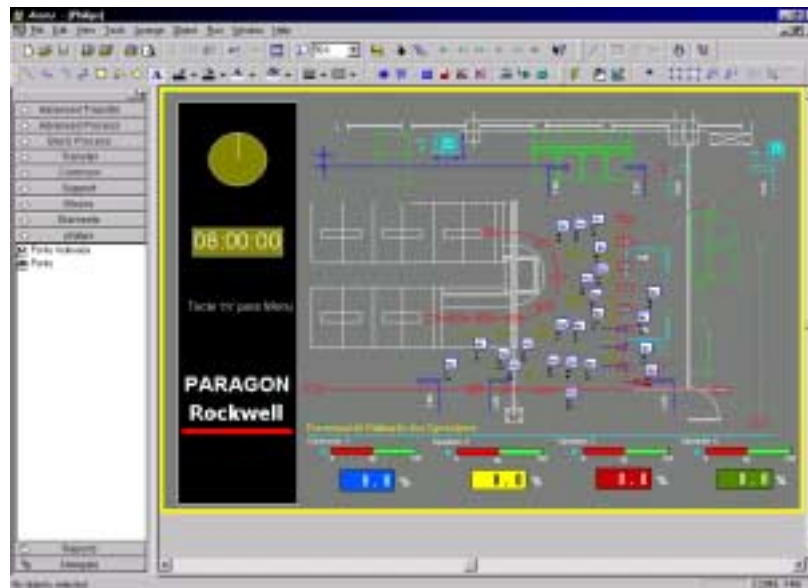
**O processo e suas etapas são analisados e todos os tempos envolvidos são coletados, possibilitando gerar RESULTADOS**



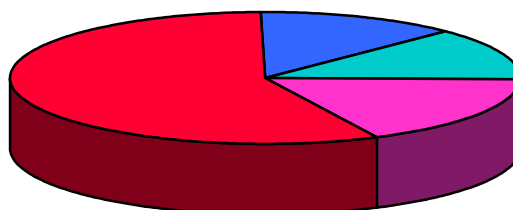
- A partir dos resultados do modelo, pode-se propor variações visando a otimização do processo. Essas variações irão gerar novos resultados e prosseguirão até que se atinja uma situação otimizada.



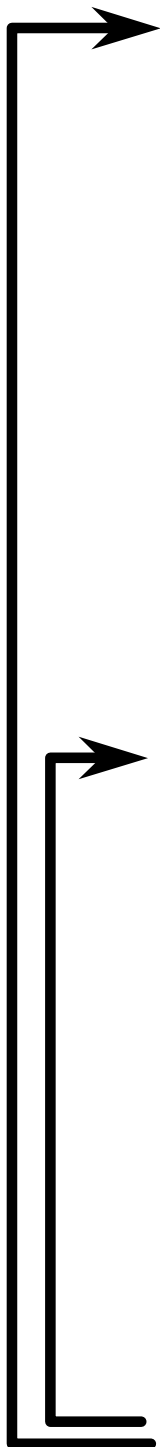
**Novas  
Informações**



**Modelo  
Alternativo**



**O processo e suas  
envolvidos  
possibilitando gerar  
são coletados etapas  
são analisados e todos  
os tempos , NOVOS  
RESULTADOS**



## **6- Resultados**

Os resultados obtidos com a Simulação, são surpreendentes quando aplicados de forma racional, tendo em vista a sua aplicação no âmbito de resultados matemáticos e visual, onde os resultados matemáticos demonstram a capacidade de um projeto à ser aprovado com uma margem de erro menor do que 5%, e o marketing visual da Simulação que é utilizado em conjunto com os resultados matemáticos para se vender o projeto, onde a visualização dos resultados na forma estática através de planilhas de cálculos, deixa o cliente inseguro quanto aos resultados obtidos, bem como a margem de erro ser maior do que 10%.

Em um recente evento patrocinado pela PARAGON ROCKWELL, onde parte deste evento foi destinado a apresentação de casos práticos de usuários do ARENA, onde como exemplo temos duas das maiores empresas do mundo / nacional no seu segmento, sendo a Embraer, que com a Simulação conseguiu para um determinado tipo de aeronave uma redução de custo por unidade de US\$ 18.000,00 e uma redução no peso da aeronave de 32 kg, onde sabemos que reduzir peso em aeronave é um feito importantíssimo na aviação, o projeto de simulação aplicado pela Embraer, foi o de utilizar um equipamento que marca-se toda a fiação da aeronave de tal forma que haja rastreabilidade dos mesmo, a proposta era de trocar o equipamento atual por um a laser, com isso poderia-se também reduzir a bitola da fiação proporcionando uma redução do peso da fiação.

Outro exemplo, é o da Coopersucar, que consegue com projetos de Simulação um ganho / redução anual em torno de US\$ 1.000.000,00 /ano. Com projetos realizados noem suas plantas e nas plantas de seus fornecedores e parceiros.

Este exemplos mostram claramente como a Simulação está sendo importante nestas empresas na redução de gastos, e com isto obtêm-se um resultado mais concreto com

erros muito baixo, a satisfação destas empresas e de outras que participaram do evento é muito promissora, e a Simulação é uma ferramenta que para estas empresas é indispensável no dia-a-dia para se alcançar resultados competitivos e com qualidade.

## **7- Referências Bibliográficas**

- Fioroni, M.M.; Batocchio, A. Arquitetura dos Sistemas de Manufatura. Anais do Congresso Nacional de Engenharia Mecânica 2000, Recife, RN, 2000.
- Cornélio, P. F.; Freitas, P. J.; Tubino, D. F. - O Uso do Software de Simulação Arena para o Desenvolvimento de Jogos de Empresas - O Protótipo GPCP-1. Encontro Nacional dos Estudantes de Engenharia de Produção, , 1998 - Anais ; Rio de Janeiro-RJ.
- Kelton, W. D.; Sadowsky, R. P.; Sadowsky, D. A. - Simulation With Arena; McGraw Hill. Pittsburgh, - U.S.A - 1998.
- Kidd, P.T. Agile Manufacturing - Forging New Frontiers. Addison-Wesley Publishing Company, New York, 1994.
- Certo, S. C., Peter, J. P. Administração Estratégica. Makron Books do Brasil, São Paulo, 1993.
- Carrie, A. - Simulation of Manufacturing Systems; John Wiley & Sons - United Kingdon - 1988.
- Toledo, Itys-Fields - Tempos e Métodos – São Paulo, 1988
- Toledo, Itys-Fields – Cronoanálise – São Paulo, 1988

## **Abstract**

This study has the objective to demonstrate how simulation is optimising the Studies of Processes of Manufacture, where it can be used day-by-day as a tool of a turn supervisor, or as a tool for the reduction of costs (raw material, man power, carriage etc...).

The study to follow dismembers into subjects of Time & Methods, giving a added light to the professional in that area, with more of a approach, on the Simulation of Processes of Manufacture, where the chapters enclosed, Application in String of Production, where it is had Modifications in existing systems, a total new sector of production can be planned, better politics of supply can be got by means of simulation. The Simulation of Processes, that allows to study the behaviour and the relationship between diverse components of a system, considering the stream of information or physical elements within the system.

We will also see a graphic example of how to simulation the work place through the simulation, based on the content of each specific chapter.