

01

Mat2274 Estatística Computacional

Prof. Lorí Viali, Dr.
viali@mat.ufrgs.br
<http://www.ufrgs.br/~viali/>

Conceitos Básicos

Sistemas

Um sistema pode ser definido como um conjunto de elementos com alguma interação regular ou interdependência.

Exemplos

Sistema bancário, sistema comercial, sistema financeiro, sistema manufatureiro, sistema rodoviário do País, estado ou mesmo município.

Subsistemas

A caracterização de um sistema não é completa sem considerações sobre sua posição em uma hierarquia. Cada sistema é formado por componentes que podem ser decompostos em elementos menores.

Se dois níveis hierárquicos estão envolvidos em um dado sistema, o mais baixo é denominado de subsistema. Por exemplo, num sistema de manufatura os equipamentos de transporte e as máquinas podem ser considerados subsistemas.

Ambiente

Em qualquer situação particular é necessário definir o sistema sob consideração, especificando seus limites ou fronteiras. Qualquer coisa que permaneça fora da fronteira do sistema é denominado ambiente.

Um sistema não é isolado do seu ambiente. Quando material, energia e/ou informação passam do ambiente para o sistema, constituem as entradas (input) do sistema.

Quando passam do sistema para o ambiente constituem as saídas (output) do sistema. Aquilo que entra no sistema de uma forma e o deixa de outra forma é usualmente denominado throughput.

Classificação dos Sistemas

Os sistemas podem ser classificados por conveniência ou por semelhança. Uma das possíveis classificações consiste em considerar as seguintes classes de sistemas não necessariamente mutuamente exclusivas:

Sistemas

- Naturais e artificiais;
- Físicos e conceituais;
- Estáticos e dinâmicos;
- Determinísticos e probabilísticos e
- Discretos e contínuos.

Naturais e artificiais

A origem dos sistemas fornece a sua classificação. Sistemas naturais são aqueles formados em processos naturais. Sistemas artificiais são aqueles em que seres humanos interferem através de componentes, atributos ou relações [BLANCHARD e FABRYCKY, 1981].



Prof. Lorí Viali, Dr. - UFERS - Instituto de Matemática - Departamento de Estatística

Um sistema artificial ao ser criado está inserido no mundo natural. Interfaces importantes existem entre sistemas naturais e artificiais. Cada um afeta o outro de algum modo.



Prof. Lorí Viali, Dr. - UFERS - Instituto de Matemática - Departamento de Estatística

Os efeitos de sistemas artificiais sobre o mundo natural tornaram-se objeto de estudo, não faz muito tempo, principalmente, naquelas situações onde o efeito é indesejável.



Prof. Lorí Viali, Dr. - UFERS - Instituto de Matemática - Departamento de Estatística

Observe-se, por exemplo, o efeito de certos gases na camada de ozônio, da poluição no meio ambiente ou da contaminação de águas de rios, mares e oceanos.



Prof. Lorí Viali, Dr. - UFERS - Instituto de Matemática - Departamento de Estatística

Os sistemas naturais exibem, em geral, um alto grau de ordem e equilíbrio. Isto é exemplificado pelas estações, ciclo da água, etc.



Prof. Lorí Viali, Dr. - UFERS - Instituto de Matemática - Departamento de Estatística

Físicos e conceituais

Os físicos são aqueles que se expressam em termos de componentes reais. Eles contrastam com os conceituais, onde símbolos representam os componentes. Idéias, planos, conceitos e hipóteses, são exemplos de sistemas conceituais.



Prof. Lorí Viali, Dr. - UFERS - Instituto de Matemática - Departamento de Estatística

Um sistema físico ocupa espaço, enquanto um conceitual é formado por idéias organizadas.

Um exemplo de sistema conceitual é o conjunto de planos e especificações para um sistema físico antes de ser construído.

Sistemas conceituais, normalmente, desempenham papel essencial na compreensão de sistemas físicos.

Estáticos e dinâmicos

Um sistema foi conceituado como um conjunto de elementos que apresentam interações regulares ou interdependências.

Se estas interações forem sempre fixas têm-se um **sistema estático** e se apresentarem modificações, **um dinâmico**.

Um sistema é estático apenas numa determinada estrutura de referência. Uma ponte caracterizaria um sistema estático e uma universidade com seus prédios, alunos, professores, regimento interno, etc., um dinâmico.

Determinísticos e probabilísticos

Sistemas podem ser caracterizados como tendo propriedades aleatórias. Em muitos sistemas, as **entradas** e **saídas** podem ser, realisticamente, descritas somente em termos probabilísticos.

Abertos e fechados

Um sistema fechado é aquele que não interage significativamente com o seu ambiente. Sistemas fechados exibem as características de equilíbrio resultante da rigidez interna que os mantêm, apesar da influência do ambiente.

Um sistema será **determinístico** se todas as suas entradas forem determinísticas. Se pelo menos uma entrada for aleatória, o sistema é caracterizado como probabilístico.

Sistemas abertos interagem com o ambiente, como por exemplo, sistemas ecológicos, organizações comerciais e industriais. Eles exibem a característica do **estado estacionário** (*steady state*) em que uma interação dinâmica dos elementos do sistema regula as mudanças no ambiente.

Sistemas fechados envolvem interações determinísticas com uma correspondência um-a-um entre estados iniciais e finais. Um sistema aberto permite que informações, energia e matéria prima cruzem suas fronteiras.

Aumento de entropia significa aumento da desorganização. Para se criar um sistema artificial deve ocorrer um decréscimo deliberado na entropia.

Em virtude do estado estacionário, sistemas abertos são auto-regulados e geralmente auto-adaptáveis.
Sistemas abertos ou fechados exibem as propriedades da **entropia**.

Discretos e contínuos

Um sistema discreto é aquele cujas entradas são discretas e cujas interações ocorrem somente em um conjunto discreto de pontos no tempo.

Todo sistema artificial, do mais primitivo ao mais complexo, consome entropia: a criação de estados mais ordenados a partir de estados menos ordenados.

Poucos sistemas na prática são exclusivamente discretos ou contínuos mas, desde que um tipo de mudança predomine é pode-se classificar um sistema como sendo discreto ou contínuo.

Um sistema contínuo é o que apresenta entradas contínuas e interações ocorrem continuamente sobre o tempo.

Conceito

Um modelo é uma abstração do sistema real, na qual somente aspectos relevantes para uma determinada análise deste sistema são considerados [HILLIER, e LIEBERMAN, 2002].

Modelos

Utilização

Um modelo pode ser usado como representação de um sistema a ser construído, analisar um sistema existente, para investigação experimental ou para tomar decisões em menos tempo e com menor custo do que manipulando diretamente o sistema.

Uma vez que é praticamente impossível que um modelo contenha todos os detalhes de um sistema, diferentes modelos podem ser formulados.

Eles podem ser classificados em:

- Físicos,
- Análogos,
- Esquemáticos e
- Matemáticos.

Tipos de modelos

Os modelos são projetados com o objetivo de representar um sistema em estudo em um quadro idealizado da realidade, de modo a se poder explorar as relações essenciais envolvidas.

Físico

Os modelos físicos se parecem com o que eles representam. São equivalentes geométricos visuais, miniaturas, ampliações ou duplicatas feitas na mesma escala.

Globos terrestres são um exemplo. Um modelo físico pode ainda ser representado por protótipos, modelos piloto e modelos em escala.

Os protótipos são modelos físicos que equivalem ao sistema real, são uma cópia contendo todos os detalhes e atributos.

Prof. Lorí Viali, Dr. - UFRGS - Instituto de Matemática - Departamento de Estatística

Os modelos piloto são uma versão operacional do sistema contendo os atributos essenciais da entidade modelada.

Prof. Lorí Viali, Dr. - UFRGS - Instituto de Matemática - Departamento de Estatística

Os modelos de escala são aqueles de dimensão menor do que o sistema representado. São, por exemplo, os túneis de vento e os de pesquisa hidrodinâmicas.

Prof. Lorí Viali, Dr. - UFRGS - Instituto de Matemática - Departamento de Estatística

Análogo

Os modelos análogos comportam-se como o original. Análogo deriva da palavra grega analogia que significa proporção. O objetivo é a semelhança de relações e não a geométrica.

Prof. Lorí Viali, Dr. - UFRGS - Instituto de Matemática - Departamento de Estatística

Modelos análogos são normalmente sem sentido do ponto de vista visual. Estes modelos podem ser circuitos elétricos utilizados para representar sistemas mecânicos ou hidráulicos.

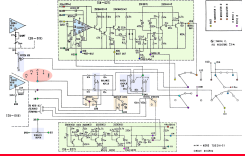
Prof. Lorí Viali, Dr. - UFRGS - Instituto de Matemática - Departamento de Estatística

Nos computadores o modelo análogo passa a ser abstrato, isto é, representado pelo programa computacional.

Prof. Lorí Viali, Dr. - UFRGS - Instituto de Matemática - Departamento de Estatística

Esquemático

São modelos que descrevem graficamente a situação ou processo. Um modelo esquemático é desenvolvido tomando um sistema e reduzindo-o a um gráfico ou diagrama.



Um modelo esquemático pode ou não se parecer com a situação real que ele representa. Um organograma organizacional é um exemplo de um modelo esquemático comum.



Matemático

Os modelos matemáticos representam simbolicamente os princípios da situação sendo estudada. Embora os símbolos utilizados em sua representação sejam mais complexos que os verbais, eles fornecem um grau de abstração mais alto e com maior precisão.



Quase todos os modelos matemáticos são usados para predição ou para controle. Modelos matemáticos dirigidos para o estudo de sistemas operacionais diferem dos usados tradicionalmente em ciências físicas de duas formas:



Primeiro, desde que o sistema estudado geralmente envolve fatores sociais e econômicos, estes modelos devem incorporar elementos probabilísticos para explicar seu comportamento.



Segundo, modelos matemáticos formulados para explicar operações incorporam duas classes de variáveis: aquelas controladas pelo decisor e as não-controladas.



$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

O objetivo é selecionar valores das variáveis sob controle de modo que algumas medidas de eficácia sejam otimizadas. Desta forma, estes modelos são de grande valia na análise de sistemas em geral.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Um modelo matemático pode ser classificado como:

Analítico;
Numérico e de
Simulação.

Analítico

Modelos analíticos se valem de métodos analíticos para analisar ou resolver o modelo. A solução é obtida por simplificações.

Numérico

Modelos numéricos empregam procedimentos computacionais e as soluções são obtidas de forma iterativa. Os modelos analíticos e numéricos são utilizados principalmente para analisar sistemas estáticos.

Modelos de Simulação

Numérico

Um modelo de simulação é um tipo particular de modelo matemático, utilizado principalmente para estudar sistemas dinâmicos estocásticos discretos. Entretanto a simulação tem sido vista de várias formas:

Atividade

Obter um conceito (definição)
de Simulação.

Conceitos:

Para Shannon (1975), a simulação não é uma metodologia de resolução de problemas. É um método de modelagem que não gera soluções por si, mas serve como técnica para atuar da mesma forma que o sistema modelado, de onde se obtém estatísticas de desempenho.

Ele conceitua simulação como o processo de projetar um modelo computadorizado de um sistema e conduzir experimentações com o objetivo entender o comportamento do sistema e avaliar estratégias de operação deste sistema.

Complementando, acrescenta: deste modo entendo que o processo de simulação abrange tanto a construção do modelo quanto o uso analítico deste modelo para estudar o problema.

Conceitos:

A simulação, para Wagner et al (1988), é caracterizada como o processo de validação do modelo de um sistema. O modelo é implementado na forma de um programa computacional.

A validação é feita pela execução repetida do programa para diferentes casos de teste, caracterizados por um estado inicial do modelo e por um conjunto de seqüências de estímulos para os sinais de entrada do sistema.

Conceitos:

Para Hillier e Lieberman (2002) a simulação é uma técnica de fazer experimentos amostrais no modelo de um sistema. Elas a caracterizam como um braço experimental da pesquisa operacional.

Ela não é um método de validação que garanta a correção do sistema para todas as possíveis condições de funcionamento real, uma vez que a mesma fica limitada aos casos de teste. O método é também limitado pela precisão do modelo.

Terminologia

A questão da terminologia em simulação é por si só um problema. A este respeito, tem-se algumas considerações.

Pidd (1997) coloca, algumas terminologias empregadas em simulação discreta são altamente variadas. Escritores usam o mesmo termo para indicar coisas diferentes e isto pode levar a confusão.

Da mesma forma Nance e Tech (1981) discutindo o assunto colocam: “as mais sérias distorções foram criadas pelas diferenças sutis nos significados aplicados aos mesmos termos em diferentes linguagens de simulação”.

Um evento, por exemplo, pode ser descrito como: um ponto no tempo, uma mudança de estado ou uma mudança de estado num ponto do tempo.

Um evento é caracterizado como limitando um processo ou limitado por um processo. É, ainda, descrito como iniciando ou terminando uma atividade e a atividade (iniciando ou terminando) é caracterizada como causando um evento.

Um evento é definido em termos de uma mudança no estado do sistema em um caso e, a mudança no estado é declarada na ocorrência de um evento em outra definição.

Estas definições não devem ser julgadas certas ou erradas, pois podem ser justificadas pelo contexto. O objetivo, no entanto, é harmonizar os conceitos dentro de um contexto claro e coerente. Assim as seguintes definições serão consideradas (Nance e Tech, 1981).

Instante, intervalo e espaço

Um **instante** é um valor do tempo do modelo no qual o valor de um objeto pode ser fixado ou alterado.

Um **intervalo** é a duração entre dois instantes sucessivos.

Um **espaço** é uma sucessão adjacente de um ou mais intervalos.

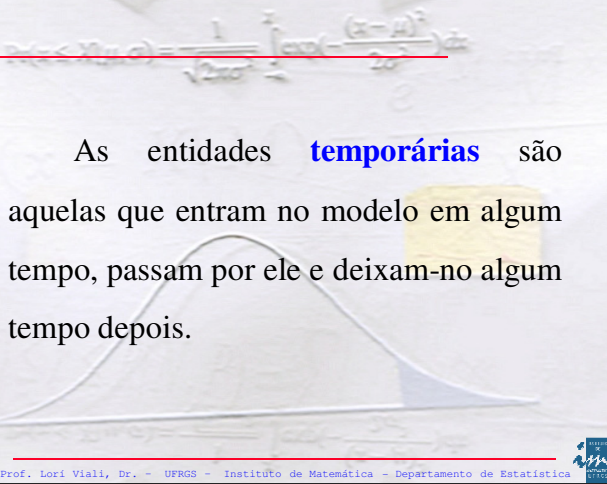
Estas definições estabelecem **três** medidas de tempo: um ponto (instante), a duração entre dois pontos (intervalo) e a sucessão adjacente de durações (espaço).

Entidades

As **entidades** são os objetos do modelo e podem ser permanentes ou temporárias.

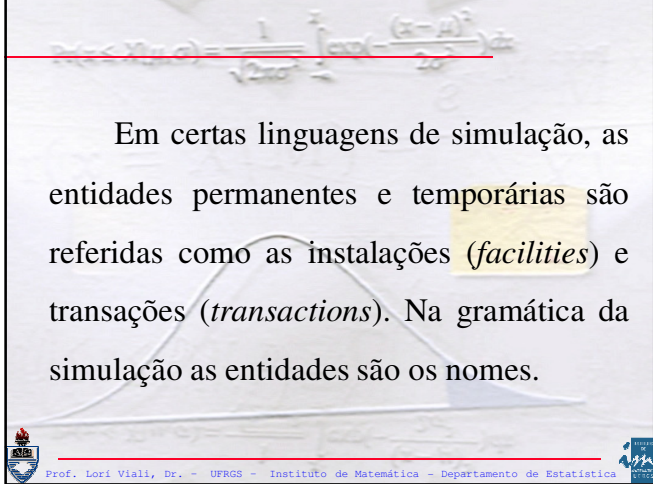
Uma entidade é dita **permanente** se ela permanece no modelo enquanto durar o experimento de simulação.

As entidades **temporárias** são aquelas que entram no modelo em algum tempo, passam por ele e deixam-no algum tempo depois.



Prof. Lorí Viali, Dr. - UFRGS - Instituto de Matemática - Departamento de Estatística

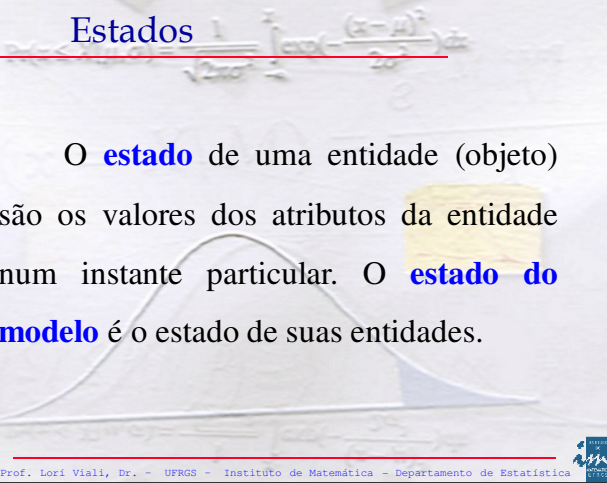
Em certas linguagens de simulação, as entidades permanentes e temporárias são referidas como as instalações (*facilities*) e transações (*transactions*). Na gramática da simulação as entidades são os nomes.



Prof. Lorí Viali, Dr. - UFRGS - Instituto de Matemática - Departamento de Estatística

Estados

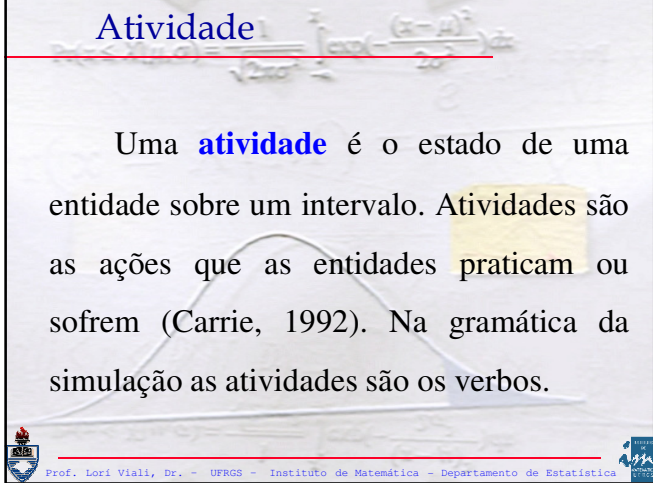
O **estado** de uma entidade (objeto) são os valores dos atributos da entidade num instante particular. O **estado do modelo** é o estado de suas entidades.



Prof. Lorí Viali, Dr. - UFRGS - Instituto de Matemática - Departamento de Estatística

Atividade

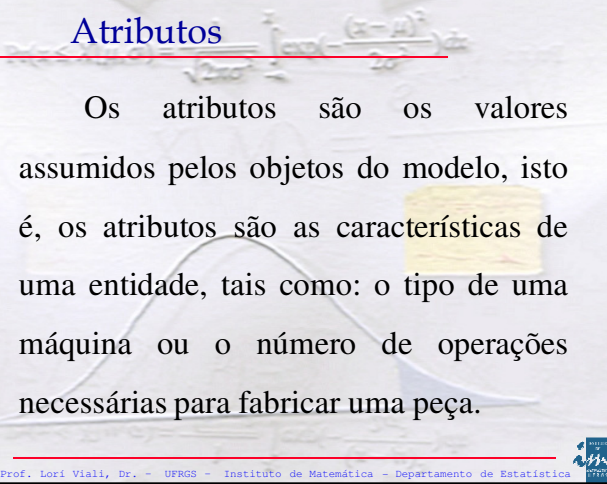
Uma **atividade** é o estado de uma entidade sobre um intervalo. Atividades são as ações que as entidades praticam ou sofrem (Carrie, 1992). Na gramática da simulação as atividades são os verbos.



Prof. Lorí Viali, Dr. - UFRGS - Instituto de Matemática - Departamento de Estatística

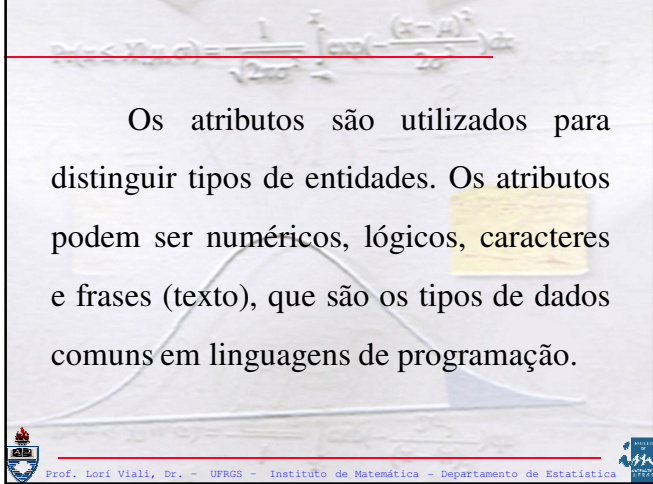
Atributos

Os atributos são os valores assumidos pelos objetos do modelo, isto é, os atributos são as características de uma entidade, tais como: o tipo de uma máquina ou o número de operações necessárias para fabricar uma peça.



Prof. Lorí Viali, Dr. - UFRGS - Instituto de Matemática - Departamento de Estatística

Os atributos são utilizados para distinguir tipos de entidades. Os atributos podem ser numéricos, lógicos, caracteres e frases (texto), que são os tipos de dados comuns em linguagens de programação.



Prof. Lorí Viali, Dr. - UFRGS - Instituto de Matemática - Departamento de Estatística

Na gramática da simulação os atributos são os **adjetivos**.

Os atributos de uma entidade variam no decorrer do tempo e por isto são denominados de **variáveis**.

Os atributos definem o estado de uma entidade ou modelo, por isto podem ser, também, denominados de **variáveis de estado**.

Qualquer modelo de simulação deve ter um atributo indexado, isto é, um atributo de um objeto do modelo que permita transição de estados. **O tempo é o atributo indexado mais comum.**

Eventos

Um evento é um instante que altera o estado de uma entidade. Sua ocorrência é uma função do tempo do modelo.

Tipos de Eventos

Um evento é **determinado** ou **limite** se a única condição para sua ocorrência é uma função do tempo do modelo. De outro modo, o evento é **contingente** ou **condicional**.

Eventos podem ainda ser **endógenos** ou **exógenos**. Eventos endógenos ou internos são os que ocorrem no interior do modelo, tais como o término de uma operação.

Eventos **exógenos** ou **externos** são aqueles que ocorrem fora do modelo, tais como a chegada de uma tarefa do exterior ao ambiente do modelo.

O estado do modelo como um todo e de cada uma das entidades muda somente quando um evento ocorre. Durante uma atividade o estado de uma entidade é considerado constante.

Processos

Um processo é a sucessão de estados de uma entidade sobre um espaço (ou a sucessão adjacente de uma ou mais atividades de uma entidade).

É uma sequência de eventos em ordem cronológica e é, muitas vezes, utilizado para representar toda, ou parte, da vida de uma entidade (PIDD, 1997).

Relações

A relação entre **evento**, **atividade** e **processo** é mostrado abaixo:



Fonte: Wilson & Pritsker, 1982.

Conjuntos

Um conjunto é um grupo de entidades do sistema com uma determinada característica em comum. É um termo empregado para agrupar entidades em um modo conveniente qualquer.

Filas

O termo classe é também utilizado. Por exemplo, num modelo de um sistema de produção temos o conjunto das peças que precisam de quatro operações e o das peças que requerem apenas duas operações.

As filas são conjuntos (classes) de entidades em um estado particular. O estado de uma entidade em uma fila é denominado estado ocioso ou estado morto.

Uma entidade passa para um estado ativo, isto é, sofrendo alguma atividade, pela ocorrência de um evento. A retirada ou colocação de uma entidade em uma fila depende do valor de certos atributos desta entidade.

Recursos

Os recursos são elementos da simulação que não têm características, mas agem como restrições nas atividades das entidades.

Recursos

Num sistema hospitalar, os pacientes são entidades e as camas são recursos. Os pacientes podem ser identificados individualmente, as camas não são caracterizadas (DAVIES e O'KEEFE, 1989).

Exemplos:

Modelo	Entidade	Atributo	Atividade	Evento	Variáveis
Banco	Clientes	Saldo da Conta	Depositar	Chegada, saída	Número de caixas
Metrô	Passageiros	Origem, destino	Viajar	Chegar, sair	Número de passageiros
Produção	Máquinas	Ocupada, ociosa	Soldagem, Estampagem	Início, fim	Velocidade, capacidade
Estoque	Armazém	Capacidade	Armazenar, Remover	Demanda	Nível de estoque

Fonte: Banks & Carson, 1994

Referências

LAW, Averill M. , KELTON, W. David. **Simulation Modeling and Analysis**. New York: McGraw-Hill Higher Education, 1997.

BLANCHARD, Benjamin S., FABRYCKY, Wolter J. **Systems Engineering and Analysis**. Englewood Cliffs (NJ): Prentice-Hall, 1981.

CARRIE, Allan. **Simulation of Manufacturing Systems**. Great Britain: John Wiley & Sons, 1992, 417 p.

DAVIES, Ruth M. Davies, O'KEEFE, Robert M. **Simulation Modeling with Pascal**. UK: Prentice-Hall Ltd, 1989, 303 p.



HILLIER, F. S., LIEBERMAN, G. J. **Introduction to Operations Research**. New York (NY): McGraw Hill, 2002. Seventh Edition. 805 p.

NANCE, Richard E., TECH, Virginia. The Time and State Relationships in Simulation Modeling. *Communications of the ACM*. USA, v. 24, n. 4, p. 173-79, Apr. 1981.

PIDD, M. **Computer Simulation in Management Science**. New York: John Wiley & Sons, 1997, 5nd ed., 307 p.



SHANNON, Robert E. Simulation: A Survey with Research Suggestions. *AIIE Transactions*. USA, v. 7, n. 3, p. 289-301, Sept. 1975.

WAGNER, F. R. et al. Métodos de validação de sistemas digitais. *VI escola de computação*. Campinas (SP): CPGCC/ UFRGS, 1988.

WILSON, James R., PRITSKER, A. Alan B. Computer Simulation. In: *Handbook of Industrial Engineering*. Gavriel Salvendy (editor), USA: John Wiley & Sons, 1982.

