

# Simulação Monte Carlo

Prof. Marcelo Xavier Guterres, Dr. Eng.

2 de agosto de 2023

## Objetivos do Módulo

1. Definir o conceito de Simulação Computacional;
2. Por que simular;
3. Vantagens e desvantagens da Simulação;
4. Áreas de aplicação;
5. Tipos de Simulação;

## Observação

Este material não substitui o livro texto, as referências recomendadas e nem as aulas expositivas.

Este material fez transcrições parciais e completas dos materiais listados na bibliografia.

# 1 Conceito de Simulação Computacional

Um **SISTEMA** é todo e qualquer objeto sobre o qual se pretende realizar um determinado estudo, enquanto o seu **MODELO** é uma representação qualquer desse objeto na qual se irá, efetivamente, executar tal estudo.

A **EXPERIMENTAÇÃO**, como se sabe, é realizada nos mais diversos campos da ciência. Sendo executada sobre o próprio **sistema**, estimulando-o de forma apropriada e registrando depois as alterações observadas nos parâmetros que definem o seu estado. Este método de abordar e de caracterizar sistemas tem vindo a ser usado desde os tempos mais remotos da ciência, permanecendo, ainda hoje, como o **procedimento mais eficaz no que respeita à fiabilidade dos resultados obtidos**.

Na **construção de modelos**, como é óbvio, tal processo introduz, só por si, uma **fonte de incertezas nos resultados**. Uma vez que o **modelo será sempre uma “aproximação” ao sistema real e não o verdadeiro sistema**. Esta é uma questão para a qual o analista deverá estar alertado, pois nem sempre poderão ser revestidos de significado os resultados obtidos através de experiências realizadas sobre um modelo. Tudo depende, como é de esperar, do **grau de precisão** com que esse modelo consegue representar o sistema, e, portanto, também da incerteza admissível associada aos resultados da experiência, ou seja, em última análise, dos objetivos que se pretendem atingir e da sensibilidade do próprio analista.

**Definição 1.** Taha [1] coloca que a **SIMULAÇÃO** é o segundo melhor procedimento depois da observação do sistema real. Trata de uma **IMITAÇÃO COMPUTADORIZADA** do **COMPORTAMENTO ALEATÓRIO** de um sistema com a finalidade de

**ESTIMAR** suas **MEDIDAS DE DESEMPENHO**.

**Definição 2.** De acordo com Shimizu [2], **SIMULAÇÃO** é essencialmente um trabalho com analogias. É uma modalidade de pesquisa que procura tirar conclusões por meio de exercícios com **MODELOS** que representam a **REALIDADE**.

**SIMULAÇÃO** é portanto um **PROCESSO** de imitar uma realidade por meio de modelos. Tais modelos podem conservar ou não, as características **FÍSICAS** e **LÓGICAS** do **SISTEMA REAL** imitado.

Em computação, **SIMULAÇÃO** consiste em empregar formalizações em computadores, tais como expressões matemáticas ou especificações mais ou menos formalizadas, com o propósito de imitar um processo ou operação do mundo real. Desta forma, para ser realizada uma simulação, é necessário construir um **MODELO COMPUTACIONAL** que corresponda à situação real que se deseja simular.

A simulação computacional de sistemas, ou apenas simulação, consiste na utilização de certas técnicas matemáticas, empregadas em computadores, as quais permitem imitar o funcionamento de, praticamente qualquer tipo de operação ou processo do mundo real. Ou seja, é o estudo do comportamento de sistemas reais através do exercício de modelos.

Existem diversas outras definições para a simulação, dentre elas podemos destacar:

“a simulação é um processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação”.

Desta maneira, podemos entender a simulação como um processo amplo que engloba não apenas a construção do modelo, mas todo o método experimental que se segue, buscando:

- *Descrever o comportamento do sistema;*
- *Construir teorias e hipóteses considerando as observações efetuadas;*
- *Usar o modelo para prever o comportamento futuro, isto é, os efeitos produzidos por alterações no sistema ou nos métodos empregados em sua operação;*

## 2 Por que Simular?

Imitar! Construir modelos que apresentam o maior número possível de características de sistemas reais, e então experimentar, para depois aprender [2].

Cada vez mais procuramos resolver os nossos problemas por meio de uma analogia com a realidade. Muitas vezes somos obrigados a isso, pela impossibilidade de testar, diretamente no sistema real, as nossas técnicas e hipóteses de resolução [2].

Seria o caso, por exemplo, dos nossos “ancestrais” - os símios - testados como primeiros astronautas [2].

Outras vezes a limitação está no tempo, como as experiências feitas no campos da genética aplicada, de resultados bastantes lentos, deixando sempre muito a desejar [2].

Nos problemas de gerência, onde o “tempo-dinheiro” assume proporções “alarmantes”, as decisões de negócios reclamam um teste prévio em simuladores os mais avançados possíveis, para que se possa avaliar as suas consequências dentro de um tempo e confiabilidade admissíveis [2].

## ESTUDOS DE SISTEMAS - SIMULAÇÃO

*Simulação não é uma técnica de otimização: estima-se medidas de performance de um sistema modelado*

### 3 Vantagens e desvantagens da Simulação

As vantagens principais da simulação são, de acordo com Santos [3]:

- Novas políticas, procedimentos operacionais, regras de negócio, fluxos de informação, etc..., podem ser estudadas sem se alterar o mundo real.
- Novos equipamentos, layouts, sistemas de transporte, etc..., podem ser testados sem se comprometer recursos na sua aquisição.
- Hipóteses sobre como e porque certos fenômenos ocorrem podem ser testados visando verificar sua praticabilidade.
- O tempo pode ser comprimido ou expandido permitindo acelerar ou retardar o fenômeno sob investigação.

- Pode-se entender melhor sob a interação das variáveis do sistema.
- Pode-se entender melhor a participação das variáveis na performance do sistema.
- Um modelo de simulação pode ajudar a entender como um sistema funciona como um todo, em relação a como se pensa que o sistema opera individualmente.
- **Questões do tipo “e se...” podem ser respondidas. Isto é extremamente útil na fase de design de um projeto.**

Com mais sofisticação tem-se:

- *Estudar as interações internas de um sistema complexo, ou de um subsistema dentro de um sistema complexo;*
- *Realizar alterações nas informações, na organização e no ambiente do sistema para observar seus efeitos;*
- *Experimentar novos projetos ou novos procedimentos antes de implementá-las, e assim estar preparado para o que puder acontecer.*
- *Identificar as variáveis mais importantes de um sistema e como elas interagem através do estudo dos sinais de entrada e das saídas resultantes.*
- *Verificar soluções analíticas, sendo neste caso utilizado como um instrumento de validação.*
- *Adquirir maior conhecimento sobre o modelo de simulação e sobre o processo de desenvolvimento do modelo para melhorias do sistema.*

As desvantagens a serem consideradas são, de acordo com Santos [3]:

- A construção de Modelos de Simulação requer treinamento especial. É uma arte que é aprendida com tempo e experiência. Além disto se 2 modelos são construídos por 2 profissionais competentes, eles terão semelhanças, mas será altamente improvável que sejam iguais.
- Os resultados de uma Simulação podem ser difíceis de interpretar. Como a maioria das saídas de uma simulação são **variáveis aleatórias (elas estão normalmente baseadas em entradas aleatórias)**, é difícil determinar se uma observação é o resultado do relacionamento entre as variáveis do sistema ou consequência da própria aleatoriedade.
- A construção e análise de Modelos de Simulação pode consumir muito tempo e, como consequência, muito dinheiro. Economizar por sua vez pode levar a modelos incompletos.
- A Simulação é usada em muitos casos onde uma solução analítica é possível. A simulação não dá resultados exatos.

## 4 Áreas de aplicação

Santos [3] enumera algumas possibilidades:

- *Simulação das operações de uma companhia aérea para testar alterações em seus procedimentos operacionais.*
- *Simulação da passagem do tráfego em um cruzamento muito grande, onde novos sinais estão para ser instalados.*

- *Simulação de uma siderúrgica para avaliar alterações nos seus procedimentos operacionais.*
- *Simulação da economia de um setor de um país para prever o efeito de mudanças econômicas.*
- *Simulação de batalhas militares visando avaliar o desempenho de armas estratégicas.*
- *Simulação de sistemas de distribuição e controle de estoque, para melhorar o funcionamento destes sistemas.*
- *Simulação de uma linha de produção em determinada indústria, para avaliar efeitos de mudanças previstas no processo produtivo.*

## 5 Tipos de Simulação

### 5.1 Sistemas contínuo e discreto

**Os sistemas reais devem ser vistos como uma função do tempo. Sendo  $y = f(t)$  a variável de interesse.**

**MODELOS CONTÍNUOS:** Tratam de sistemas cujo o comportamento muda continuamente ao longo do tempo. Esses modelos costumam usar equações diferenciais para descrever as interações entre os diferentes elementos do sistema. Um exemplo típico trata da dinâmica da população mundial.

Exemplos clássicos de simulação de sistemas contínuos - é de um avião voando - e a passagem de água por uma barragem.



**MODELOS DISCRETOS:** Os sistemas cujos estados se possam considerar discretos, ou seja, que variem de forma discreta ao longo do intervalo de valores da variável independente.

O estado do sistema muda somente no instante que ocorre um evento, para todos os demais instantes de tempo, nada muda no sistema. Para isto, utiliza-se os conceitos de Filas.

**A simulação de um sistema discreto caracteriza-se por eventos onde as mudanças ocorrem de maneira descontínua, ou seja, sofrem mudanças bruscas.**

Um exemplo seria a simulação de uma agência bancária onde entre a chegada (ou a saída) de clientes, o estado do sistema não se altera

A Fig. 1 ilustra essa diferença entre os tipos de simulação de modelos discreto e contínuo.

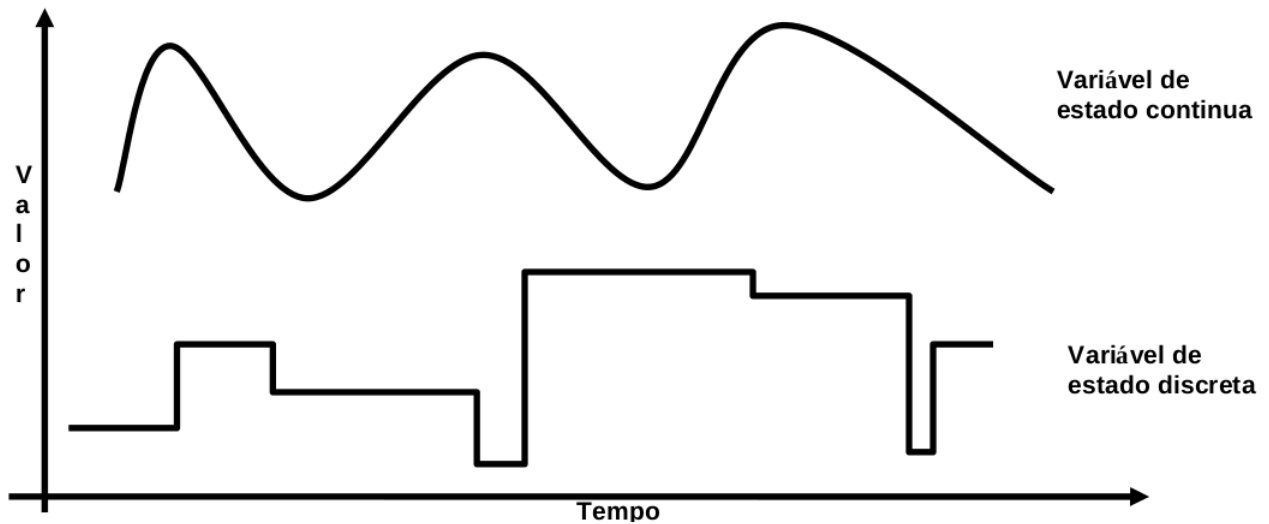


Figura 1: Simulação de sistemas contínuo versus discreto

## 5.2 Modelo estático e dinâmico

**O MODELO DE SIMULAÇÃO ESTÁTICA** é a representação de um sistema em um dado momento. É um modelo onde a passagem do tempo é irrelevante.

**Representam sistemas e como eles se comportam em função apenas dos eventos atuais, isto é não se considera os eventos passados.**

**O MODELO DE SIMULAÇÃO DINÂMICA** é a representação de um sistema no decorrer do tempo.

**Representam sistemas e como eles se comportam em função dos eventos passados e com o decorrer do tempo.**

Esse tipo de simulação é apropriado para a análise de sistemas de manufatura e serviços que sofrem influência do tempo. Um exemplo

é a simulação das atividades ocorridas em um banco ao longo de suas oito horas de funcionamento diárias.

### 5.3 Modelo determinístico ou estocástico

Modelos de simulação que **não contém nenhuma variável aleatória são classificados como determinísticos**, ou seja, para um conjunto conhecido de dados de entrada teremos um único conjunto de resultados de saída.

Um **modelo estocástico** de simulação que tem uma ou mais variáveis aleatórias como entrada. Onde, estas entradas aleatórias levam a saídas aleatórias que podem somente ser consideradas como estimativas das características verdadeiras de um modelo.

**Assim, por exemplo, a simulação (estocástica) do funcionamento de uma agência bancária envolve variáveis aleatórias como o intervalo entre chegadas e a duração dos serviços prestados. Logo, medidas como o número médio de clientes esperando e o tempo médio de espera de um cliente, devem ser tratadas como estimativas estatísticas das medidas reais do sistema.**

### 5.4 Simulação terminante e não terminante

**A Simulação é terminante** quando o objetivo é estudar um sistema num dado intervalo de tempo, ou seja, conhecer seu comportamento ao longo deste intervalo, sendo definidas as **datas de início e término da simulação**.

Exemplos são simulações realizadas em postos de cobrança de pedágio onde se deseja definir o número de postos em funcionamento de acordo com a hora do dia; assim, o intervalo de interesse está entre zero e vinte e quatro horas.

**A simulação pode ser classificada como não terminante** quando o objetivo é estudar o sistema a partir do momento em que este atinge um estado estável, alcançado após um período de aquecimento, onde se determina e elimina as tendências iniciais.

Presumindo que a simulação poderia continuar infinitamente **sem nenhuma mudança estatística no comportamento**. Assim, uma simulação do comportamento das pás de uma turbina pode ser considerada não terminante, desde que o interesse seja estudar as características de seu escoamento em condições estáveis, após um período de aquecimento.

SISTEMA	MODELO		SIMULAÇÃO
<b>DISCRETO:</b> Variáveis envolvidas assumem valores finitos ou infinitos numeráveis.	<b>DETERMINISTICO:</b> Variáveis assumem valores determinados.	<b>ESTÁTICO:</b> Estuda o sistema sem levar em conta sua variabilidade com o tempo.	<b>TERMINANTE:</b> Há interesse em se estudar o sistema num dado intervalo de tempo.
<b>CONTÍNUO:</b> Variáveis mudam constantemente com o tempo.	<b>ESTOCÁSTICO:</b> Variáveis assumem valores diversos segundo uma determinada distribuição de probabilidades.	<b>DINÂMICO:</b> Representa o sistema a qualquer tempo.	<b>NÃO TERMINANTE:</b> Há o interesse em estudar o sistema a partir de um determinado estado estável, podendo o estudo, prolongar-se indefinidamente.

Figura 2: Classificação de Sistema, Modelo e Simulação

## Referências

- [1] Taha H. Pesquisa operacional: uma visão geral. 8th ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil; 2008.

- [2] Shimizu T. Simulação em computador digital. 1st ed. São Paulo: Edgard blucher ltda; 1975.
- [3] dos Santos MP. Introdução a simulação discreta. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro; 1999.