



**SIMULAÇÃO EM GESTÃO DE OPERAÇÕES E LOGÍSTICA: TOMADA DE DECISÕES EM MELHORIA DE PROCESSOS – CAPÍTULO 1: O QUE É SIMULAÇÃO**  
Roberto Ramos de Moraes

2020	Morais, Roberto Ramos de Simulação em gestão de operações e logística: tomada de decisões em melhoria de processos – São Paulo Blog Macklogs
	519.2

***A prática deve ser sempre fundamentada por uma sólida teoria  
(LEONARDO DA VINCI, 1510).***

## **Alfabeto grego (Maiúscula, minúscula)**

A, α: alfa

B, β: beta

Γ, γ: gama

Δ, δ: delta

E, ε: epsílon

Z, ζ: zeta

H, η: eta

Θ, θ: teta

I, ι: iota

K, κ: kapa

Λ, λ: lambda

M, μ: mi

N, ν: ni

Ξ ξ: csi

O, ο: ômicron

Π, π: pi

P, ρ: ro

Σ, σ: sigma

T, τ: tau

Υ, υ: upsílon

Φ, φ: fi

X, χ: qui

Ψ, ψ: psi

Ω, ω: ômega

## **1 O QUE É SIMULAÇÃO**

### **1.1 Objetivos do capítulo**

Mudanças de processos, implantação de novas tecnologias, novos turnos de trabalho, impacto nos custos, etc. Os gestores utilizam planilhas, projeções, análises de mercado, mas com abordagens determinísticas e de forma isolada.

A simulação pode englobar as variáveis mais importantes do sistema e, a partir de suas interrelações, analisar o comportamento deste sistema e servir como apoio à decisão. Com o avanço das tecnologias e consequentes aumentos de capacidade de armazenagem e processamento, a simulação aproxima-se dos comportamentos reais, permitindo antever resultados e falhas e propor possíveis melhorias.

Este livro trata do uso desta técnica nas áreas de operações e logística, fundamentais para alcançar os objetivos globais da organização. Os objetivos de estudo deste capítulo são:

- Conceituar simulação;
- Conhecer os diversos tipos de simulação;
- Entender quais os elementos que compõem um modelo de simulação;
- Compreender a utilidade de simulação;
- Vislumbrar o potencial das técnicas de simulação com o avanço da tecnologia.

### **1.2 Gestão de operações**

Para início, é necessário entender gestão de operações e logísticas, que constituem a base operacional da empresa que viabiliza o alcance dos objetivos estratégicos da organização. Conforme Correa e Correa (2015):

A gestão de operações ocupa-se da atividade de gerenciamento estratégico dos recursos escassos (humanos, tecnológicos, de informação e outros), de sua interação e dos processos que produzem e entregam bens e serviços visando a atender necessidades e ou desejos de qualidade, tempo e custo de seus clientes.

Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009) classificam clientes em:

- **Cientes externos:** são os usuários finais ou intermediários (fabricantes, distribuidores, varejistas) que adquirem os produtos da empresa;
- **Cientes internos:** funcionários ou processos que dependem dos resultados de outros processos da empresa para realizar suas atividades.

Já Slack, Brandon-Jones e Johnston (2017) utilizam o termo administração de produção e a definem como “a atividade de gerenciar recursos que criam e entregam serviços e produtos”.

Uma vez que os recursos são escassos, deve-se utiliza-los da melhor maneira possível, por meio de planejamento, sequenciamentos de pedidos, arranjos físicos, escalas de trabalho, etc.

Slack, Brandon-Jones e Johnston (2017) classificam os recursos como:

- **Recursos transformados:** todos aqueles que passarão por um processo de transformação, tendo em vista o atendimento às necessidades/solicitações dos clientes. Como exemplo, tem-se: matérias primas, dados/informações, clientes (no caso de serviços).
- **Recursos de transformação:** são aqueles que agem sobre os transformados alterando suas características para adequá-los às necessidades/solicitações dos clientes. Por exemplo, máquinas, equipamentos, mão de obra, computadores, etc.

A capacidade produtiva está ligada ao potencial que a empresa tem de atender à demanda atual e suas possíveis flutuações futuras. Para tanto, o planejamento de produção, baseado em previsões ou em pedidos em carteira, é a definição das atividades necessárias para se atingir um determinado objetivo de volume de produção, tendo a capacidade produtiva como fator limitante. Dessa maneira, planejamento e controle de capacidade são definidos como o estabelecimento da capacidade efetivada operação para o atendimento a essas demandas (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2017).

Em outros capítulos há o detalhamento de atividades de operações e como simula-las.

### 1.3 Logística

Logística, por sua vez, é definida como:

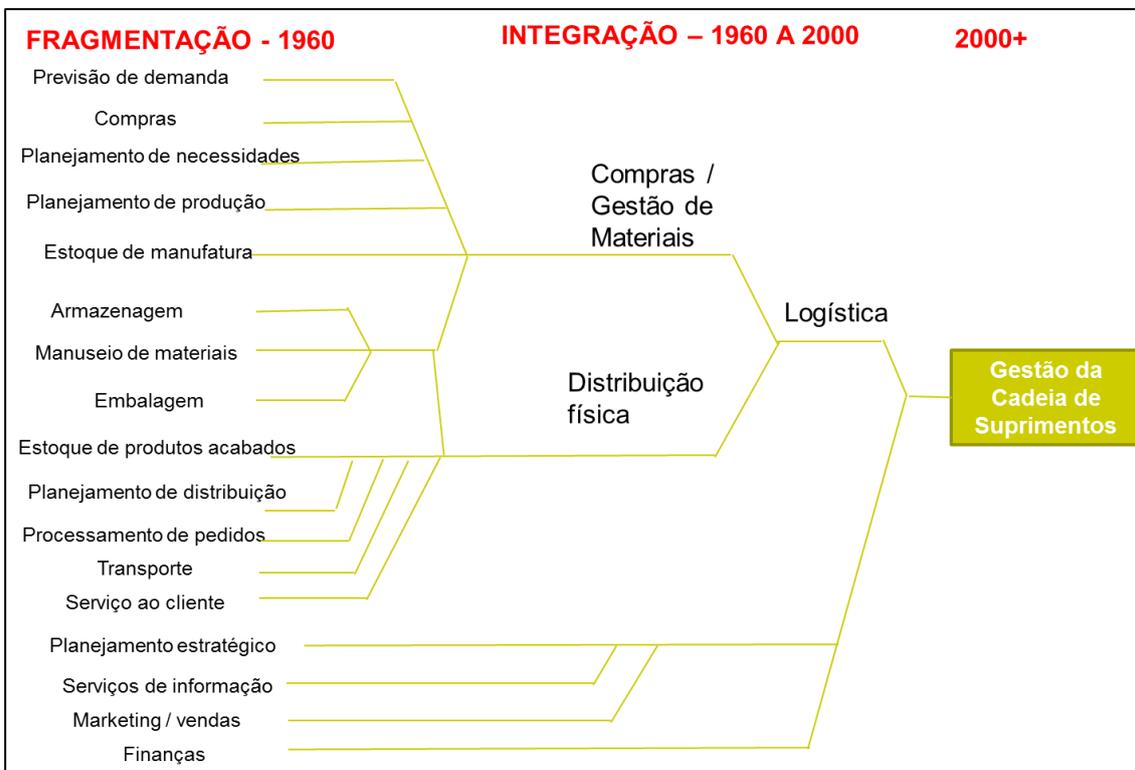
O processo de planejar, implementar e controlar procedimentos para o transporte e estocagem eficientes e eficazes de bens, incluindo serviços e informações relativas, do ponto de origem ao ponto de consumo com o propósito de atender às necessidades do cliente. Essa definição inclui embarque, desembarque, movimentos internos e externos (CSCMP, 2013).

Da mesma forma que operações, logística trata de recursos escassos e objetivos rigorosos, como prazos de entregas, estoques, tamanho de frota, etc.

Da evolução do conceito de logística, vem o conceito de gerenciamento da cadeia de suprimentos, que, de acordo com Ballou (2006), refere-se às interações logísticas ocorridas entre o marketing, a logística e a produção de uma empresa.

Dessa maneira, as diversas atividades logísticas foram se reunindo ao longo do tempo, aglutinando-se em novas áreas de gestão até chegar à cadeia de suprimentos, como apresentado na Figura 1.1:

Figura 1.1: Evolução da logística



Fonte: Ballou (2006)

## SIMULAÇÃO EM GESTÃO DE OPERAÇÕES E LOGÍSTICA: TOMADA DE DECISÕES EM MELHORIA DE PROCESSOS – CAPÍTULO 1: O QUE É SIMULAÇÃO

Roberto Ramos de Moraes

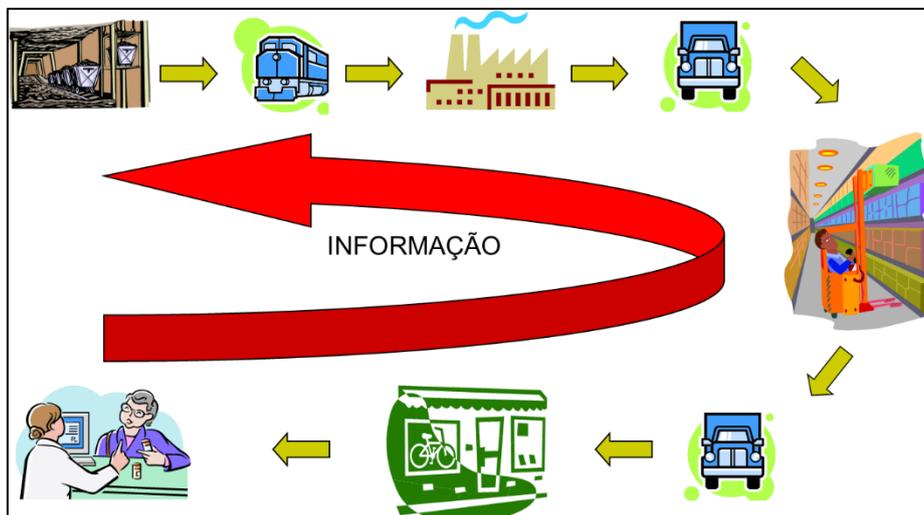
A aglutinação das atividades, que estavam soltas até a década de 1960, ocorreu em dois grupos: Gestão de Materiais (que inclui Compras) e Distribuição Física. As atividades de Armazenagem, Manuseio de Materiais e Embalagem eram comuns aos dois grupos, podendo estar na esfera de um ou outro dependendo da organização da empresa. A fusão desses dois grupos criou a área de Logística. Ao se agregar as atividades de Planejamento Estratégico, Serviços de Informação, Marketing e Finanças tem-se a Gestão da Cadeia de Suprimentos. Nessa situação, essas atividades são, em boa parte, geridas em parceria com os demais elos.

Assim, pode-se utilizar o conceito de gestão da cadeia de suprimentos apresentado por Simchi-Levi, Kaminsky e Simchi-Levi (2010):

A gestão da cadeia de suprimentos é um conjunto de abordagens que integra, com eficiência, fornecedores, fabricantes, depósitos e pontos comerciais, de forma que a mercadoria é produzida e distribuída nas quantidades corretas, aos pontos de entrega e nos prazos corretos, com o objetivo de minimizar os custos totais do sistema sem deixar de atender às exigências em termos de nível de serviço.

A Figura 1.2 ilustra esta definição:

Figura 1.2: Cadeia de suprimentos



Fonte: o autor.

E para isto, uma das ferramentas mais flexíveis e com capacidade de análise de sistemas complexos é a simulação. A partir desse ponto, apresentam-

## SIMULAÇÃO EM GESTÃO DE OPERAÇÕES E LOGÍSTICA: TOMADA DE DECISÕES EM MELHORIA DE PROCESSOS – CAPÍTULO 1: O QUE É SIMULAÇÃO

Roberto Ramos de Moraes

se conceitos básicos de simulação, necessários para o desenvolvimento do assunto.

A logística não se restringe ao ambiente industrial. A área de serviços também depende da logística para suprir suas necessidades materiais e garantir a continuidade de seus processos.

Outra área importante da logística é a logística reversa. Definida por Leite (2017) como a parte da “logística empresarial responsável pelo planejamento, operação e controle dos fluxos reversos de diversas naturezas”. Ou seja, a logística reversa é o canal que traz de volta os materiais ao longo dos elos da cadeia para reaproveitamento, reciclagem, manutenção ou descarte, seja por motivos econômicos, legais, ecológicos, responsabilidade empresarial ou construção de imagem.

A partir dos anos 1990 a globalização ganha força e, com este fenômeno, a logística se solidifica como atividade estratégica nas empresas. Porter (1989) coloca a logística como atividade estratégica e não como apenas uma geradora de custos. Em sua visão sobre cadeia de valor (Figura 1.3), a logística aparece entre as atividades primárias, ou seja, as atividades ligadas diretamente ao core business da empresa, destacada duas vezes: logística interna e logística externa. Também faz parte da atividade serviços, como logística reversa. Nas atividades de apoio, a logística figura como compras.

Figura 1.3: Cadeia de valor.



Fonte: Porter (1989).

Dornier et al (2000) estabelecem que os fluxos globais que a organização tem que garantir a continuidade são: matéria prima, produtos semiacabados,

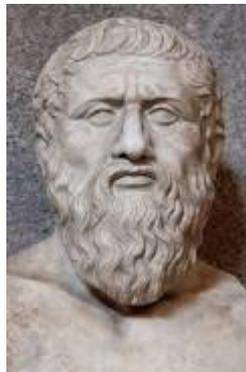
ferramentas e máquinas, itens consumíveis e peças de reposição, produtos promocionais, embalagens vazias retornadas, produtos acabados, devoluções e produtos para reciclagem, recuperação ou destinação, conforme o conceito de logística reversa anteriormente apresentado.

Frente a toda essa complexidade, é necessário definir indicadores de desempenho. Estes indicadores, na área de logística, incluem velocidade de entrega, confiabilidade, disponibilidade de produtos, qualidade de transportes (DORNIER et al, 2000).

## **1.4 Modelagem**

Para estudar um processo é preciso construir um modelo que o descreva. Um modelo é a representação simplificada de um processo ou de um sistema. É uma representação simplificada por considerar apenas as variáveis mais significativas. Como uma foto, que representa uma pessoa, com sua fisionomia, mas plana e não tridimensional, estática e não em movimento.

### **MITO DA CAVERNA DE PLATÃO**



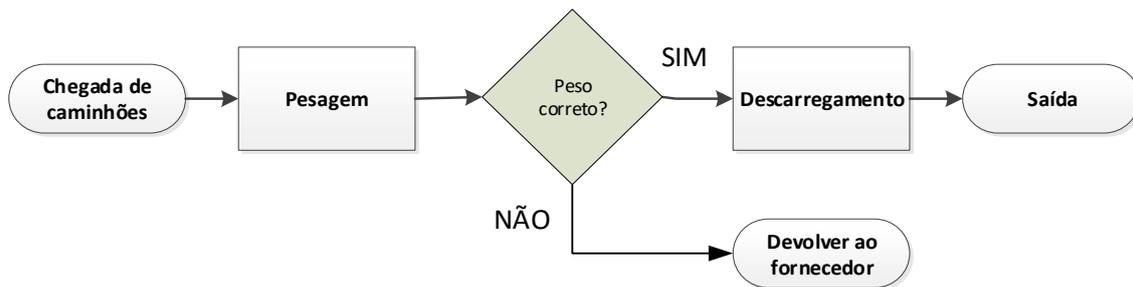
Platão descreveu o mito da caverna. Segundo essa história, havia um grupo de prisioneiros que viviam em uma caverna e, como estavam presos a correntes e de costas para o ambiente externo, a única forma de contato com o exterior era por meio de sombras projetadas na parede da caverna por animais ou objetos movimentados em frente a uma fogueira. Dessa forma, a visão que tinham do mundo exterior, por meio desse modelo, era de um ambiente bidimensional, sem detalhes, ou seja, muito distante da realidade. Em determinada ocasião, um dos prisioneiros consegue fugir. Surpreende-se com o que vê e entende que a forma como os prisioneiros imaginavam o mundo não era um modelo adequado para representá-lo. O fugitivo retorna à caverna para descrever aos demais prisioneiros suas descobertas. Mas, eles não acreditam e o acusam de mentir ou estar louco. A intenção de Platão era fazer uma metáfora sobre a ignorância (correntes) que aprisionam os homens e os impede de ver a realidade. Mas, também pode ser utilizada para demonstrar os problemas advindos de se criar um modelo como poucos dados ou dados distorcidos. (PLATÃO, sd)

Shannon (1975, apud FREITAS FILHO, 2008) apresenta a definição de modelo computacional como sendo um “programa de computador cujas variáveis apresentam o mesmo comportamento dinâmico e estocástico do sistema real que representa”.

Já um sistema é um conjunto de partes, processos ou atividades que interagem para alcançar um objetivo. Os modelos podem ser de três tipos:

- **Simbólicos:** são modelos compostos de símbolos que representam um sistema de forma estática. Também são chamados de icônicos ou diagramáticos (CHWIF; MEDINA, 2015). Um fluxograma é um modelo simbólico, por exemplo (Figura 1.4):

Figura 1.4: Fluxograma de descarregamento de caminhões



Fonte: os autores.

- **Matemáticos ou analíticos:** são compostos por um conjunto de expressões matemáticas. Envolve funções de uma função, definidas como a relação que associa a cada valor de  $x$  (variável independente) um único número  $f(x)$  (GOLDSTEIN; LAY; SCHNEIDER, 2006). Pesquisa operacional é um conjunto de técnicas de modelagem matemática, entre elas programação linear, formada por uma função objetivo que define o resultado desejado (maximização ou minimização) e as funções que definem as limitações do sistema (restrições), que levam à resposta ótima, como programação linear (Figura 1.5). Outras técnicas de pesquisa operacional são as heurísticas e metaheurísticas, resolvidas por tentativa e erro, quando

a abordagem por algoritmo, como a programação linear, é impraticável (WISTON, 1993).

Figura 1.5: Programação linear

$$\text{Função objetivo: } \text{Max } z = 5x_1 + 6x_2$$

*Sujeito a:*

$$x_1 + 2x_2 \leq 50$$

$$3x_1 + x_2 \leq 60$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Fonte: os autores.

Uma função é um modo de relacionar grandezas. Por exemplo, duas grandezas,  $x$  e  $y$ , se relacionam de tal forma que  $x$  pode assumir qualquer valor em um conjunto dado (variável independente) e a cada valor de  $x$  corresponde um único valor de  $y$  em um conjunto dado (variável dependente) (LIMA, 2014).

- **Modelos de simulação:** são modelos de maior complexidade e que apresentam uma natureza dinâmica, replicando no computador um comportamento, de caráter estocástico, permitindo análises de cenários (p. ex., o que acontece se instalamos uma máquina com maior produtividade?). Para isto, utilizamos softwares, que vão desde planilhas até ferramentas mais sofisticadas, capazes de representar as variabilidades dos sistemas reais.
- **Realidade aumentada:** é um conjunto de tecnologias que superpõem dados digitais e imagens ao mundo físico (PORTER; HEPPELMANN, 2017) Esta tecnologia possibilita a colocação de equipamentos virtuais em um ambiente real para estudos de *lay out*, por exemplo. Controles remotos por meio de interfaces virtuais tornam o uso desse processo mais fácil e interativo do que controles físicos, como telas sensíveis ao toque.

Uma forma de se comparar os modelos quanto às suas características é (HARREL et al, 2002):

- **Estáticos versus dinâmicos:** modelos estáticos são aqueles não consideram o tempo como variável (por exemplo, um modelo que represente jogar dados; não importa o momento em que os dados são jogados), enquanto os modelos dinâmicos o consideram para análise das mudanças das variáveis (por exemplo, chegadas de clientes ao banco ao longo do dia, tempo consumido no processamento de matéria prima).
- **Contínuo versus discreto:** em um sistema contínuo o estado de um sistema muda continuamente ao longo do tempo, assumindo qualquer fração de valor possível (por exemplo, o nível de uma caixa d'água) enquanto em um sistema discreto a mudança se dá em saltos, assumindo valores inteiros (entrada ou saída de caixas no estoque).
- **Determinístico versus estocástico:** os modelos determinísticos consideram intervalos de tempo fixos de seus processos (por exemplo, o atendimento de um cliente pelo caixa do banco consome 3 minutos), enquanto os modelos estocásticos consideram que os tempos são variáveis de acordo com uma distribuição de probabilidades (por exemplo, o tempo de atendimento do cliente variar conforme uma distribuição de probabilidade normal, com média igual a 3 minutos e o desvio padrão de 1 minuto).

### 1.5 O que é simulação

Com a evolução das tecnologias de computação, as ferramentas de simulação tornam-se cada vez mais complexas e capazes de reproduzir sistemas próximos à realidade.

Dessa maneira, simulação pode ser definida como um conjunto de técnicas de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento de um sistema. Sistema é o conjunto de partes que operam juntas, visando um objetivo comum, como uma linha de produção, por exemplo. Já modelo é a representação simplificada (considerando apenas as variáveis mais relevantes) das interações das partes de um sistema (KELTON; SADOWSKI; STURROCK, 2004).

Andrade (2018) apresenta algumas razões para o uso de simulação:

- Pela dificuldade de se observar diretamente processos no mundo real;

## SIMULAÇÃO EM GESTÃO DE OPERAÇÕES E LOGÍSTICA: TOMADA DE DECISÕES EM MELHORIA DE PROCESSOS – CAPÍTULO 1: O QUE É SIMULAÇÃO

Roberto Ramos de Moraes

- Pela grande complexidade de um sistema que impossibilite resolvê-lo por meio de um conjunto de equações;
- Por ser muito trabalhoso e/ou de alto custo resolver um sistema por modelos matemáticos.

Mesclando as classificações de Kelton, Sadowski e Sturrock (2004) e de Loesch e Hein (2009) quanto aos processos utilizados para a simulação, tem-se:

- **Simulação não-computacional:** como o nome sugere, são simulações que não utilizam ferramentas computacionais. Podem ser:
  - a partir de objetos físicos (protótipos em escala reduzida, por exemplo) para simular situações reais.
  - Métodos manuais, com sorteios, lançamentos de dados, cartas retiradas aleatoriamente, etc.
- **Simulação computacional:** utiliza recursos de computação (hardware e software) para ser realizada.
- **Simulação mista:** utiliza objetos físicos equipados com sensores que os conectam a computadores que registram o comportamento das diversas variáveis conforme o cenário testado.

Neste livro será trabalhada a simulação computacional, com o uso, principalmente, do software ARENA®.

Quanto à forma como trata as variáveis, tem-se (HARREL et al, 2002):

- **Simulação discreta:** Fenômeno ocorre em um dado momento. Por exemplo: chegada de caminhões em um CD; peça sendo colocada em uma máquina para processo.
- **Simulação contínua:** Ação não para ao longo do tempo. Por exemplo: fluxo de líquidos; mudança de temperatura.

### TANQUE NUMÉRICO DE PROVAS (TPN) - USP



O Tanque Numérico de Provas (TPN) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP) desenvolveu um novo simulador naval com telas 4K, que vão até o chão da cabine de comando, ele conta com cluster gráfico que gera imagens em altíssima resolução, possibilitando a visão de pequenos detalhes, como boias e postes de sinalização, a uma grande distância – o que é fundamental para as operações de simulação. A cabine é flexível para simular vários tipos de operações (rebocadores offshore e portuários e em uma cabine de guindaste offshore). O sistema 4K, em conjunto com demais simuladores do TPN, será muito importante para os estudos relacionados às operações de alto mar devido à distância da costa e dificuldade de treinamento *in loco*. O TPN possui seis simuladores em operação. São quatro de porte médio e dois do tipo *full-mission*, um com visão de 270 graus, outro, com 360 graus. O Domo (270 graus), é o maior e o principal deles. Utiliza 32 projetores full HD (projetando inclusive no chão) e é ideal para operações em que é necessário visualizar o berço de atracação. Sua tela de projeção tem 12 metros de diâmetro, dando realismo ainda maior. O outro simulador do tipo **Full Mission** possui 360 graus de ângulo de visão, com 35 telas Full-HD e com ponte de comando frontal e traseira. É ideal para simular navios convencionais ou navios de suporte, que possuem possibilidade de operar com comando traseiro. Há também os simuladores Part Task 1 e Part Task 2, cada um com oito telas de visualização, e muito usados para simular rebocadores; e o **SMH-4D**, com uma tela de grandes dimensões e que ainda simula os movimentos do navio no mar por ter uma plataforma móvel. **Operação multiplayer** – Segundo Tannuri, cada simulador pode ser operado isoladamente ou em modo multiplayer, ou seja, o laboratório consegue colocar os seis simuladores para interagir, em tempo real, como se estivessem operando em um único ambiente. “Com a integração dos simuladores, é possível que um prático e os comandantes dos rebocadores avaliem de forma conjunta as operações”, conta. “Também podemos simular operações com um navio que esteja no mesmo cenário que outros três navios de suporte e uma operação de guindaste, todos sendo executados ao mesmo tempo, em tempo real, e todos visualizando e operando no mesmo ambiente portuário ou offshore”, conta. No tanque é possível, por meio de pás comandadas por computador, reproduzir ondas de diversas amplitudes e, com sensores colocados em modelos, entender o comportamento da embarcação em diversas situações (POLI-USP, 2017).

- **Dinâmica de sistemas:** Estudo das características informação *-feedback* da atividade industrial para mostrar como a construção organizacional, amplificação (em políticas), e tempo de atraso (em decisões e ações) interagem para influenciar o sucesso do empreendimento. Trata as interações entre os fluxos de informação, dinheiro, pedidos, materiais, pessoa, e equipamento capital em uma companhia, uma indústria, ou uma economia nacional. Dinâmica de sistemas foi, inicialmente, chamada de dinâmica industrial:

## SIMULAÇÃO EM GESTÃO DE OPERAÇÕES E LOGÍSTICA: TOMADA DE DECISÕES EM MELHORIA DE PROCESSOS – CAPÍTULO 1: O QUE É SIMULAÇÃO

Roberto Ramos de Moraes

Dinâmica industrial é a investigação da característica informação-retorno de sistemas industriais e uso de modelos para o projeto da forma organizacional melhorada e orientação de políticas. A dinâmica industrial cresce a partir de quatro linhas de desenvolvimento anteriores: teoria de retorno da informação, automatização da tomada de decisões táticas militares, projeto experimental de sistemas complexos pelo uso de modelos e computadores digitais para computação de baixo custo (FORRESTER, 1961).

### JAY WRIGHT FORRESTER



Nascido em 1918 e falecido em 2016, Forrester foi professor do *MIT Sloan School of Management*, especializado em ciência de sistemas e engenharia de computação, deu início ao estudo de dinâmica de sistemas. Em 1961 escreveu sobre os efeitos na cadeia de suprimentos devido a flutuações na demanda em seu livro *Industrial Dynamics*, conhecido como efeito Forrester ou efeito chicote, posteriormente retomado por Hau Lee nos anos 1990 (WIKIPEDIA, 2018a).

As definições de simulação evoluíram em paralelo com a evolução da tecnologia de informação. Schriber (1974, apud FREITAS FILHO, 2008) escreve que “simulação implica na modelagem de um processo ou sistema, de tal forma que o modelo imite as respostas do sistema real numa sucessão de eventos que ocorrem ao longo do tempo”.

As aplicações de simulação são as mais amplas e variadas possíveis. Nas áreas de operações e logística, por exemplo, pode-se estudar escala de trabalho em centrais de atendimento; mudanças de procedimentos de armazenagem e separação de materiais em um CD; alterações de *layout* de fábricas ou de escritórios; processos de transporte ao longo da cadeia de suprimentos.

Desta forma, simulação está voltada para a resolução de problemas complexos. Conforme a Figura 1.6, para problemas em operações com alta complexidade e alta variabilidade, simulação discreta é a mais indicada. Quando

**SIMULAÇÃO EM GESTÃO DE OPERAÇÕES E LOGÍSTICA: TOMADA DE DECISÕES EM MELHORIA DE PROCESSOS – CAPÍTULO 1: O QUE É SIMULAÇÃO**

Roberto Ramos de Moraes

tanto complexidade e variabilidade são baixas, cálculos analíticos, como modelos de programação linear, são mais indicados.

Figura 1.6: Seleção de ferramentas

Aleatoriedade/ variabilidade	<b>ALTA</b>	Simulação discreta	Simulação discreta
	<b>BAIXA</b>	Cálculos analíticos	Simulação discreta
		<b>BAIXA</b>	<b>ALTA</b>
		Complexidade	

Fonte: CHWIF; PEREIRA (2020)

É importante ressaltar que a simulação não prevê futuro nem substitui o pensamento inteligente. A simulação analisa o comportamento dos sistemas a partir da mudança de cenários (possíveis alternativas de melhorias).

A simulação visa analisar propostas de melhoria que objetivem:

- **Redução de filas.** Entende-se por filas qualquer acúmulo de pessoas, materiais, veículos que estejam aguardando para serem atendidos ou processados.
- **Identificação e resolução de gargalos.** Gargalos são recursos que determinam a capacidade máxima de um sistema, sendo necessário buscar formas alternativas de processos para aumentar o volume de saídas (produtos acabados, clientes atendidos).
- **Reduções de custos.**

As aplicações dos métodos de simulação são as mais diversas. No Quadro 1.1, são apresentados exemplos de sistemas para os quais pode ser utilizada a simulação como ferramenta de auxílio de decisão.

**SIMULAÇÃO EM GESTÃO DE OPERAÇÕES E LOGÍSTICA: TOMADA DE DECISÕES EM MELHORIA DE PROCESSOS – CAPÍTULO 1: O QUE É SIMULAÇÃO**

Roberto Ramos de Moraes

Quadro 1.1: Exemplos de aplicações de simulação.

SISTEMA	ENTIDADE	PROCESSO	RECURSO
Conjunto de operações voltado à transformação/atendimento de entidades	Tudo o que atravessa o sistema e é transformada ou atendida e após isso sai do sistema.	Atividade/ação que transforma/atende à entidade.	Executa o processo.
Linha de produção	Peças, Matéria prima, componentes, etc.	Corte, soldagem, torneamento, fresamento, montagem, etc.	Operário, serra, torno, fresa, robô, etc.
Banco	Cliente, boletos, contratos, etc.	Pagamento, empréstimo, cadastro, etc.	Caixas, ATMs, Gerente, Equipe de retaguarda, etc.
Centro de distribuição	Produtos, caixas, paletes, caminhões, etc.	Movimentação, carga, descarga, recebimento, despacho, etc.	Empilhadeira, Estantes, pessoal, etc.
SAC	Clientes, ligações	Atendimento	Atendentes

Fonte: o autor.

Herderson e Nelson (2006) e Chwif e Medina (2015) listam algumas aplicações de simulação:

- **Engenharia financeira/finanças quantitativas:** incertezas ligadas à variação valor de uma ação faz da simulação uma excelente ferramenta para análise do comportamento ao longo do tempo.
- **Modelagem de desempenho de computadores:** sistemas de computadores são sujeitos a carregamentos imprevisíveis e falhas inesperadas, sendo a simulação estocástica útil no projeto de sistemas de computadores.
- **Indústria de serviços:** em *call centers*, a simulação é utilizada para dimensionar a força de mão de obra, além de serviços de entrega, telecomunicações, atendimento a pedidos, garantindo uma análise confiável quanto à qualidade e ao nível de serviço; em bancos para definir a política de abertura e fechamento de caixas, analisar tempo máximo de espera, definição da quantidade de ATM's.

- **Manufatura:** grande aplicabilidade em programação de produção, projeto e *lay out* de centros de trabalho, estimativa de ciclo de tempos de produção, avaliação de reposição de equipamentos e políticas de manutenção, etc.
- **Militar:** aplicações militares incluem gestão do ciclo de vida de sistemas de defesa, modelagem de redes de comando e controle.
- **Logística:** simulação é utilizada para projetar sistemas de transportes, definir políticas de ressuprimentos, analisar o impacto da incerteza de demanda nos níveis de estoque, número de postos de *check in* em aeroportos, quantidade de equipamentos necessários para carga e descarga, distribuição de produtos para pontos de venda, processos de produção e de movimentação de materiais.

## 1.6 O método da simulação

Como toda atividade técnica, científica e empresarial, a simulação se utiliza de um procedimento metodológico. A simulação segue uma sequência metodológica que pode ser representada pela Figura 1.6:

Figura 1.7: metodologia da simulação



Fonte: os autores.

Tudo se inicia com a identificação e análise de um problema na área operacional (volumes de produção, desabastecimento da rede de distribuição, questões financeiras, etc.). A partir daí planeja-se o projeto, definindo como o problema será estudado e quais os recursos necessários para isto. Nesta fase, treina-se e educa-se a equipe sobre as características da simulação, identificando as condições de contorno (limitações do modelo), aspectos de custos que serão incorporados ao modelo. Cria-se um modelo conceitual, indicando as interrelações entre os processos e entre as variáveis, procedendo-se a seguir a coleta dos dados necessários para definir o comportamento de cada variável.

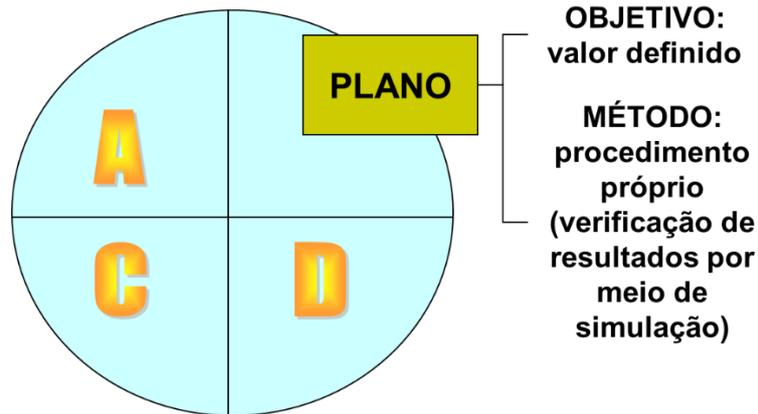
Com a definição do comportamento das variáveis por meio de uma distribuição de frequências, transforma-se o modelo conceitual em um modelo de simulação, verificando-o e validando-o ao comparar os resultados da simulação com os resultados reais do sistema em funcionamento. É importante que o modelo seja replicado (executado) várias vezes para que gere resultados estatísticos confiáveis (a definição da quantidade de replicações é discutida no capítulo 5). O projeto experimental é constituído dos possíveis cenários para a busca de melhorias, que alterarão o modelo. Cada novo modelo aplicado a cada cenário gerará relatórios que serão comparados para a identificação da melhor solução, dentre os cenários propostos. A última etapa é a implantação dessa solução. (CHWIF; MEDINA, 2015; HARREL et al., 2002)

Esta metodologia guarda semelhanças com o ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act* ou Planejar-Executar-Verificar-Agir), criado por Edward Deming (1900-1993). O ciclo tradicional visa a manutenção da qualidade, procurando manter os resultados dentro de limites aceitáveis pré-estabelecidos. O ciclo PDCA de melhoria, por sua vez, visa implantar mudanças que tragam resultados mais interessantes do que os obtidos até o momento. É nesse contexto que a simulação é utilizada (Figura 1.7):

# SIMULAÇÃO EM GESTÃO DE OPERAÇÕES E LOGÍSTICA: TOMADA DE DECISÕES EM MELHORIA DE PROCESSOS – CAPÍTULO 1: O QUE É SIMULAÇÃO

Roberto Ramos de Moraes

Figura 1.8: Ciclo PDCA de melhoria com utilização de simulação



Fonte: Adaptado de Falconi Campos (2000).

## WILLIAM EDWARD DEMING



Nascido em 1900 e falecido em 1993, foi engenheiro, estatístico e consultor de gestão. A partir do trabalho de Walter Shewhart sobre controle estatístico de processos (CEP), Deming desenvolveu o conceito do ciclo PDSA (Plan-Do-Study-Act), alterado depois para PDCA. Ele desenvolveu trabalhos junto à indústria japonesa no período pós Segunda Guerra Mundial, a partir de uma palestra intitulada Administração Estatística da Qualidade do Produto. Ainda hoje, o principal prêmio de qualidade industrial no Japão leva o seu nome (WIKIPEDIA, 2018b).

## 1.5 Softwares de simulação

Softwares de simulação são entendidos como aqueles que são utilizados para a criação de modelos, ou seja, que apresentam flexibilidade e adaptabilidade para um grande número de tipos de sistemas. Softwares que oferecem a simulação de sistemas específicos, como softwares para treino de voo, jogos de empresa, etc., já vem com um modelo definido, cabendo ao usuário

apenas configurar as condições de contorno, são chamados simuladores. Alguns dos principais softwares de simulação existentes no mercado são:

- **ANYLOGIC:** software para simulação de eventos discretos e de dinâmica de sistemas (ANYLOGIC, sd).
- **ARENA:** simulador de eventos discretos, em ambiente gráfico (fluxograma), permitindo análises estatísticas por meio da modelagem de processos (PARAGON, sd).
- **PLANT PLM:** ferramenta de simulação de eventos discretos da Siemens que permite criar modelos digitais de sistemas logísticos e otimizar seu desempenho (SIEMENS, sd).
- **PROMODEL:** software de simulação de eventos discretos baseado em ambiente gráfico com módulos que representam os processos (BELGE CONSULTORIA, sd).
- **PTV VISSIM:** software de simulação de tráfego, voltado ao estudo da interação entre veículos de passeio, transportadores de carga, ferrovias, etc. (PTV GROUP, sd).
- **SIMUL8:** software de simulação discreta para análise de processos (SIMUL8, sd).
- **STELA:** ferramenta de modelagem dinâmica, análise de políticas e desenvolvimento de estratégias, baseada em análise “o que – se” para auxílio na tomada de decisão (ISEE SYSTEMS, sd).
- **VENSIM:** software de simulação de processos industrial da empresa Ventana, que modela por meio de métodos contínuos e de Monte Carlo (VENSIM, sd).

### **1.7 Simulação e Big data**

Simulação, como já visto anteriormente, baseia-se em históricos dos tempos de processos para criar um modelo que replique o comportamento de um sistema. Com o avanço da tecnologia, os dados podem ser coletados em grande quantidade e em tempo real, permitindo analisar mudanças sutis nos processos que levem a possíveis problemas. A ferramenta que permite esta

operação é o *big data*, definido como conjunto de características e impactos (TAURION, 2015):

- Coleta de dados de sistemas diversos, internos e externos à organização;
- Melhoria da confiabilidade dos dados:
- Capacidade de trabalhar com uma quantidade de dados maior do que as ferramentas convencionais;
- Alta velocidade de manuseio e análise, podendo executá-los em tempo real.
- Auxílio à tomada de decisão com base em dados que antes não estavam acessíveis.

### 1.8 Questões

- a. Descreva a diferença entre simulação discreta e simulação contínua.
- b. Faça um fluxograma do processo de atendimento em uma lanchonete.
- c. Programação linear é uma área de Pesquisa Operacional que visa, por meio de modelagem matemática, encontrar a resposta ótima para o problema. Em que a simulação difere da programação linear?

### Referências Bibliográficas

ANDRADE, E. L. Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para análise de decisões. 5. ed. LTC. Rio de Janeiro. 2018.

ANYLOGIC. **Why AnyLogic simulation software?** Disponível em: <https://www.anylogic.com/>. Acessado em: 31/10/2018. Sd.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/ logística empresarial.** 5. ed. Bookman. Porto Alegre. 2006.

BELGE CONSULTORIA. **Promodel.** Disponível em: <http://www.belge.com.br/promodel.php>. Acessado em: 5/9/2018.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações.** 4. ed. Elsevier. Rio de Janeiro. 2015.

CHWIF, L.; PEREIRA, W. I. Dimensionamento de sistemas automatizados de movimentação de materiais: cálculos analíticos versus simulação de eventos discretos.

**Revista Mundológica** nº 75, ano XIII. Março/abril. 2020

**SIMULAÇÃO EM GESTÃO DE OPERAÇÕES E LOGÍSTICA: TOMADA DE DECISÕES EM MELHORIA DE PROCESSOS – CAPÍTULO 1: O QUE É SIMULAÇÃO**

Roberto Ramos de Moraes

- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações – manufatura e serviços**: uma abordagem estratégica. 3. ed. Atlas. São Paulo. 2012
- CSCMP. **Glossary of terms**. Disponível em: <http://www.cscmp.org> .Acesso em 5/3/2018.
- DORNIER, P. P. et al. **Logística e Operações Globais**: texto e casos. Atlas. São Paulo. 2000.
- FALCONI CAMPOS, V. **TQC**: Controle da Qualidade Total. Ed. Fundação Christiano Ottoni. Belo Horizonte. 2000
- FORRESTER, J. W. Industrial dynamics. M.I.T Press. Cambridge. USA. 1961.
- FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em Arena**. 2. ed. Visual Books. Florianópolis. 2008.
- GOLDSTEIN, L. J.; LAY, D. C.; SCHNEIDER, D. I. **Matemática aplicada**. 10. ed. Bookman. Porto Alegre. 2006.
- HARREL, C. R. et al. **Simulação**: otimizando os sistemas. 2. ed. IMAM. São Paulo. 2002.
- HENDERSON, S. G.; NELSON, B. L. *Stochastic computer simulation*. In: HENDERSON, S. G.; NELSON, B. L. **Handbooks in operations research and management Science Volume 13: Simulation**. North-Holland. Amsterdam. 2006.
- ISEE SYSTEMS. **Stela Professional**. Disponível em: <https://www.iseesystems.com/store/products/stella-professional.aspx> . Acessado em: 31/10/2018. Sd.
- KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P.; STURROCK, D. T. **Simulation with ARENA**. 3. ed. McGraw-Hill. New York. 2004.
- KRAJEWSKI, L.; RITZMAN, L.; MALHOTRA, M. **Administração de produção e operações**. 8. ed. Pearson Prentice Hall. 2009.
- LEITE, P. R. **Logística reversa**: sustentabilidade e competitividade. 3. ed. Saraiva. São Paulo. 2017.
- LIMA, D. M.; NATAL NETO, O.; JUCHA, W. **Matemática para processos industriais**. Bookman. Porto Alegre. 2014.
- LOESCH, C.; HEIN, N. Pesquisa operacional: fundamentos e modelos. Saraiva. São Paulo. 2009.
- PARAGON. **ARENA**. Disponível em: <http://www.paragon.com.br/software/arena/> . Acessado em: 5/9/2018.
- PLATÃO. A República. Sd.
- POLI-USP. **Tanque Numérico de Provas da USP desenvolve simulador naval de alta definição**. Disponível em: <http://www.poli.usp.br/comunicacao/noticias/2534->

**SIMULAÇÃO EM GESTÃO DE OPERAÇÕES E LOGÍSTICA: TOMADA DE DECISÕES EM MELHORIA DE PROCESSOS – CAPÍTULO 1: O QUE É SIMULAÇÃO**

Roberto Ramos de Moraes

[tanque-numerico-de-provas-da-usp-desenvolve-simulador-naval-de-alta-definicao.html](http://tanque-numerico-de-provas-da-usp-desenvolve-simulador-naval-de-alta-definicao.html).

Acessado em: 4/9/2018. São Paulo. 2017.

PORTER, M. Vantagem Competitiva. Campus. 1989

PTV GROUP. **PTV Vissim**. Disponível em: <http://vision-traffic.ptvgroup.com/es/productos/ptv-vissim/> . Acessado em: 5/9/2018.

SIEMENS. **Plant Simulation**: Siemens PLM Software. Disponível em: <https://www.plm.automation.siemens.com/pt/products/.../plant-simulation.shtml> . Acessado em: 31/10/2018. Sd.

SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. **Cadeia de suprimentos: projeto e gestão**. Conceitos, estratégias e estudos de caso. 3. ed. Bookman. Porto Alegre. 2010.

SIMUL8. **SIMUL8**. Disponível em: <https://www.simul8.com/products/> . Acessado em: 5/9/2018.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. Administração da produção. 4. ed. Atlas. São Paulo. 2017.

TAURION, C. **Big data**. Brasport. Rio de Janeiro. 2015.

VENSIM. **Vensim Software**. Disponível em: <http://vensim.com/vensim-software/> . Acessado em: 31/10/2018. Sd.

WINSTON, W. L. **Operations research: applications and algorithms**. 3. ed. International Thomson Publishing. Belmont. USA. 1993.

WIKIPEDIA. **Jay Wright Forrester**. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/Jay\\_Wright\\_Forrester](https://en.wikipedia.org/wiki/Jay_Wright_Forrester) . Acessado em: 24/10/2018. 2018a.

WIKIPEDIA. **W. Edward Deming**. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/W.\\_Edwards\\_Deming](https://en.wikipedia.org/wiki/W._Edwards_Deming) . Acessado em: 24/10/2018. 2018b.