



Fundação
CECIERJ
■ consórcio cederj □

Simulação

Volume Único

Francisco Santos Sabbadini

Secretaria de
Ciência, Tecnologia
e Inovação



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO

**UNIVERSIDADE
ABERTA DO BRASIL**

MINISTÉRIO DA
EDUCAÇÃO



APOIO:



Fundação Cecierj / Consórcio Cederj

www.cecierj.edu.br

Presidente

Gilson Rodrigues

Vice-presidente

Marilvia Dansa de Alencar

Coordenação do Curso de Engenharia de Produção

CEFET – Diego Carvalho

UFF - Cecília Toledo Hernández

Material Didático

Elaboração de Conteúdo

Francisco Santos Sabbadini

Direção de Design Instrucional

Bruno José Peixoto

Coordenação de Design Instrucional

Flávia Busnardo da Cunha

Design Instrucional

Vittorio Lo Bianco

Biblioteca

Simone da Cruz Correa de Souza

Vera Vani Alves de Pinho

Diretoria de Material Impresso

Ulisses Schnaider

Revisão Linguística

Beatriz Fontes

Ilustração

André Amaral

Capa

André Amaral

Programação Visual

Fernanda Novaes

Produção Gráfica

Fábio Rapello Alencar

Copyright © 2019, Fundação Cecierj / Consórcio Cederj

Nenhuma parte deste material poderá ser reproduzida, transmitida e/ou gravada, por qualquer meio eletrônico, mecânico, por fotocópia e outros, sem a prévia autorização, por escrito, da Fundação.

S114s

Sabbadini, Francisco Santos

Simulação. Volume único / Francisco Santos Sabbadini – Rio de Janeiro : Fundação Cecierj, 2020.

226p.; 19 x 26,5 cm.

ISBN: 978-85-458-0237-2

1. Engenharia de Produção. 2. Simulação. 3. Modelagem de dados. 4. Promodel. 5. Simulação de Monte Carlo. I. Título.

CDD: 670.1

Referências Bibliográficas e catalogação na fonte, de acordo com as normas da ABNT.
Texto revisado segundo o Novo Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa.

Governo do Estado do Rio de Janeiro

Governador

Wilson Witzel

Secretário de Estado de Ciência, Tecnologia e Inovação

Leonardo Rodrigues

Universidades Consorciadas

**CEFET/RJ - Centro Federal de Educação Tecnológica
Celso Suckow da Fonseca**

Diretor-geral: Carlos Henrique Figueiredo Alves

FAETEC - Fundação de Apoio à Escola Técnica

Presidente: Alexandre Sérgio Alves Vieira

**IFF - Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia Fluminense**

Reitor: Jefferson Manhães de Azevedo

**UENF - Universidade Estadual do Norte Fluminense
Darcy Ribeiro**

Reitor: Luis César Passoni

UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Reitor: Ruy Garcia Marques

UFF - Universidade Federal Fluminense

Reitor: Antonio Claudio Lucas da Nóbrega

**UFRJ - Universidade Federal do Rio de
Janeiro**

Reitora: Denise Pires de Carvalho

**UFRRJ - Universidade Federal Rural do Rio
de Janeiro**

Reitor: Ricardo Luiz Louro Barbara

**UNIRIO - Universidade Federal do Estado do
Rio de Janeiro**

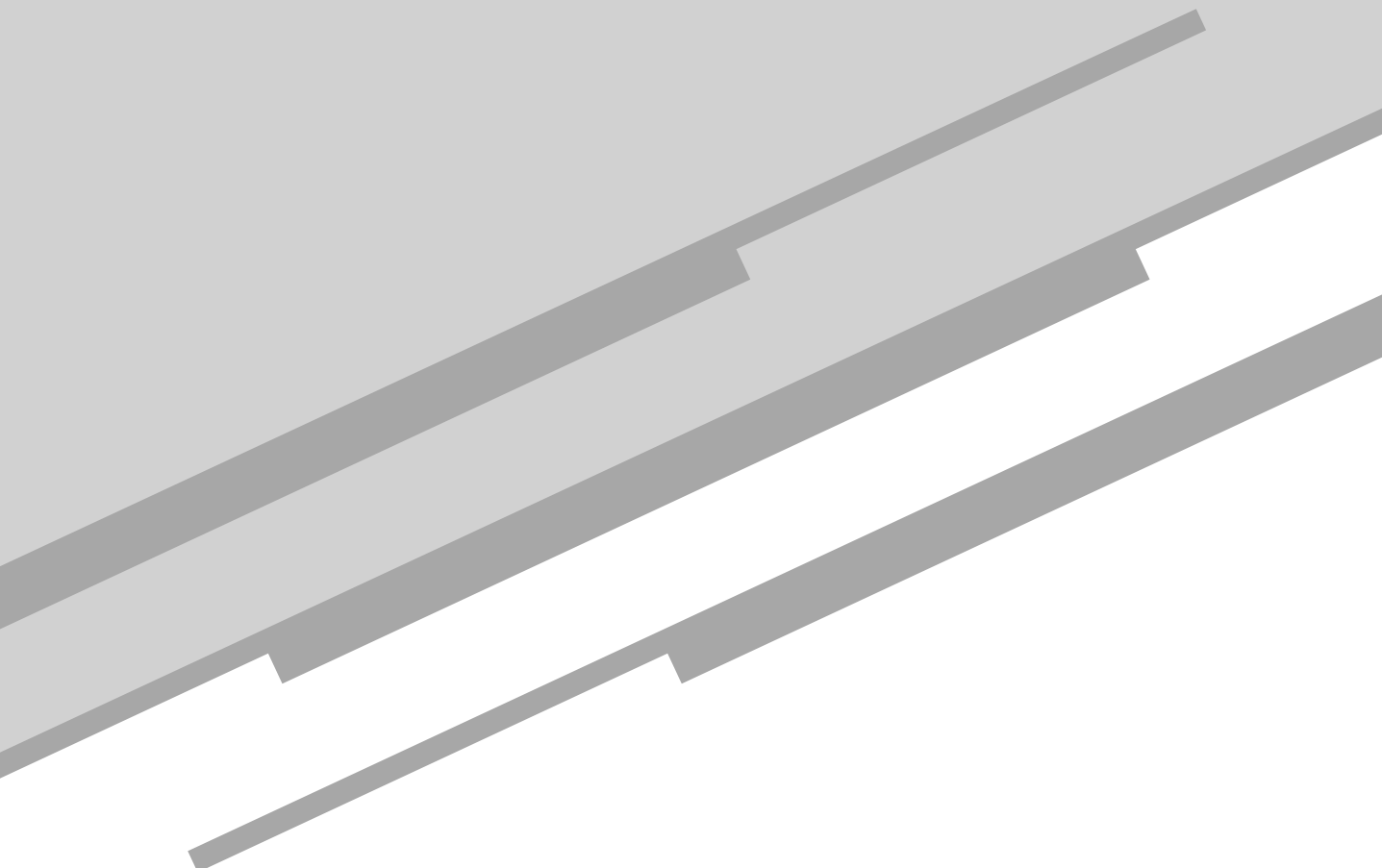
Reitor: Luiz Pedro San Gil Jutuca

Sumário

Aula 1 • Introdução à simulação	7
<i>Francisco Santos Sabbadini</i>	
Aula 2 • Planejamento do projeto de simulação	19
<i>Francisco Santos Sabbadini</i>	
Aula 3 • Modelagem de dados: fundamentos e metodologia	31
<i>Francisco Santos Sabbadini</i>	
Aula 4 • Modelagem de dados de entrada: aplicando a metodologia.....	43
<i>Francisco Santos Sabbadini</i>	
Aula 5 • Criação do modelo conceitual	71
<i>Francisco Santos Sabbadini</i>	
Aula 6 • Implementação computacional do modelo de simulação	87
<i>Francisco Santos Sabbadini</i>	
Aula 7 • Validação e verificação de modelos	105
<i>Francisco Santos Sabbadini</i>	
Aula 8 • Dimensionamento de corridas e análise dos resultados.....	119
<i>Francisco Santos Sabbadini</i>	
Aula 9 • Aplicações de simulação no Promodel.....	135
<i>Francisco Santos Sabbadini</i>	
Aula 10 • Aplicações de simulação no Promodel.....	157
<i>Francisco Santos Sabbadini</i>	
Aula 11 • Aplicações de simulação no Promodel.....	175
<i>Francisco Santos Sabbadini</i>	
Aula 12 • Simulação de Monte Carlo	195
<i>Francisco Santos Sabbadini</i>	

Aula 1

Introdução à simulação



Metas

Apresentar os conceitos básicos e os principais elementos relacionados à simulação, bem como ao desenvolvimento de modelos e projetos desta natureza.

Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. conhecer os conceitos de simulação;
2. conceituar modelo e identificar seus tipos;
3. conhecer e identificar as etapas da metodologia de simulação.

Introdução

Um dos desafios para a tomada de decisão é a complexidade crescente dos sistemas de produção, nos quais – muitas vezes – decidir implica um processo longo e exaustivo, em face de uma demanda que requer respostas rápidas. Uma das maneiras de auxiliar na análise de cenários, na avaliação de alternativas e no processo de tomada de decisão é a simulação.

O que é simulação?

Conceitualmente, a simulação consiste no processo de representar no ambiente computacional uma situação ou cenário de um ambiente real. Em outras palavras, pode-se afirmar que é uma maneira de elaborar um modelo da realidade na forma de um programa de computador, e por meio deste fazer a análise de várias alternativas antes de tomar uma decisão.

Desse modo, a simulação é um método utilizado para estudar o desempenho de um sistema por meio de modelagem. Baseando-se em fenômenos conhecidos, o modelo permite estruturar os componentes do sistema e possibilita realizar experimentos que auxiliam na compreensão do sistema real em dadas condições.

Sistema

Um sistema pode ser definido como um grupo de objetos que estão reunidos em alguma forma regular de interação e interdependência para atingir determinado propósito. É formado por um conjunto organizado de elementos, como por exemplo: pessoas, equipamentos, métodos e peças, que trabalham conjuntamente em direção a um objetivo específico

Entendendo o que é um modelo

Sempre que precisamos representar alguma coisa de modo a ter a melhor noção possível de como ela é, quais as suas partes e as suas interações, podemos utilizar um modelo, que consiste numa representação simplificada.

Um modelo pode ser definido como a representação de um sistema com o propósito de estudá-lo. É uma representação explícita de uma

parte da realidade para compreensão, mudança, controle ou administração dessa realidade.

Os modelos, dadas as suas características, podem ser utilizados como ferramentas para a avaliação de diferentes cenários e para a tomada de decisão. Eles abrangem os componentes essenciais que permitem ao observador conhecer as características do elemento representado.

O modelo deve ser sempre uma simplificação da realidade.

Tipologia dos modelos

Uma classificação abrangente quanto aos seus tipos pode ser agrupada em três grupos:

Simbólico: também denominado icônico ou diagramático, consiste em modelos que são representados por símbolos, em geral na forma de esquemas ou diagramas.

Exemplo: fluxograma, como o apresentado na **Figura 1.1**.

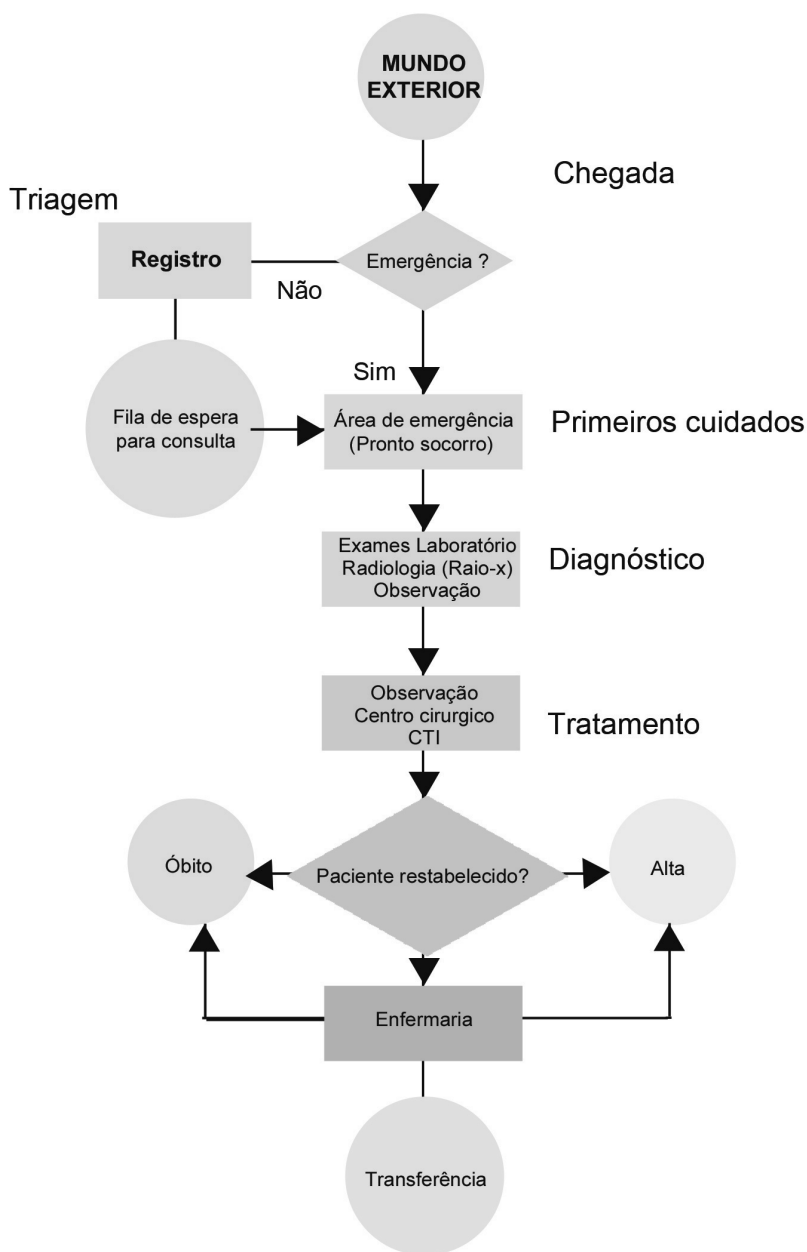


Figura 1.1: Como funciona a emergência de um hospital.

Fonte: Sabbadini, 2017, p. 97.

Matemático: conhecidos também como modelos analíticos, são aqueles representados por equações. Em situações gerenciais, este tipo de modelo pode ser utilizado para a tomada de decisão. As grandezas são representadas por variáveis e as relações entre estas por expressões matemáticas. O modelo deve ser sempre uma simplificação da realidade.

Exemplo: $RT = p \times q$,

onde: “RT” é a receita total;

“p” é o preço e

“q” são as quantidades.

Simulação: modelos de simulação são representações de sistemas reais, que permitem avaliar as mudanças dinâmicas de um processo ou operação ao longo do tempo.

Exemplos: linha de produção; posto de pedágio; setor de emergência num hospital; trânsito urbano.



Para saber mais...

Voltando ao conceito de sistema: um sistema pode ser definido como um grupo de objetos que estão reunidos em alguma forma regular de interação e interdependência para atingir determinado propósito. Vejo o exemplo da *linha de produção*:

Ela possui um conjunto de objetos (máquinas, equipamentos, instalações, e profissionais); *organizados de forma regular de interação e interdependência* (a linha de produção está organizada numa sequência ordenada de atividades que devem ser realizadas por equipamentos operados por profissionais, no qual o resultado de uma atividade influencia no da seguinte e assim sucessivamente); *para atingir determinado propósito* (produto final). Assim, a linha de produção é um sistema que pode ser representado de forma simplificada por um modelo de simulação.

Metodologia da simulação

Os princípios que devem ser considerados no desenvolvimento de um modelo de simulação são:

1. O modelo deve ser simples.

2. Deve ser evolucionário no sentido de desenvolver-se no menor grau de complexidade e incorporar outras características, se necessário, ao longo do tempo.
3. Ter objetivos e propósitos bem definidos e direcionados.
4. Ser completo em questões importantes.
5. Ser atualizável e adaptativo.
6. Contar com a participação do usuário.

O processo para o desenvolvimento de um modelo de simulação obedece ao seguinte fluxo: elabora-se um modelo conceitual do sistema a ser estudado e desenvolve-se um modelo computacional para imitar o comportamento do sistema. Em seguida, efetuam-se experimentos para identificar as alternativas que apresentem os resultados desejáveis.

Devem ser realizados os seguintes passos no processo de construção de um modelo de simulação:

1. Definição do problema:

Nesta etapa, é onde se busca identificar com o máximo de precisão e clareza o problema a ser estudado. Este é o passo inicial. Nesta fase, são definidas as questões que se espera responder.

2. Estabelecimento de objetivos e planejamento do projeto:

Uma vez definido o problema, os objetivos devem ser estabelecidos para orientar o planejamento e a execução. Os objetivos indicam as questões a serem respondidas pela simulação. Nesta fase, são definidos os recursos e é elaborado um cronograma.

3. Desenvolvimento do modelo conceitual:

Nesta etapa, será desenvolvida a estrutura conceitual do modelo, incluindo os eventos e elementos fundamentais. A utilização de fluxogramas, desenhos, esquemas e croquis é útil no detalhamento do modelo e para a compreensão dos fluxos de pessoas e recursos no sistema. A participação do usuário contribui para aumentar a qualidade e a confiabilidade do modelo elaborado.

4. Coleta de dados:

A coleta de dados é um processo contínuo. À medida que o estudo avança, os dados vão sendo incorporados ao sistema e, em muitos casos, é necessária uma nova coleta. Esta fase consome grande parte do tempo de elaboração do modelo.

5. Codificação:

É a fase do desenvolvimento de um programa de computador. Nela, o analista irá utilizar um pacote de simulação ou desenvolver o programa numa linguagem de programação. Esta última alternativa é mais demorada.

6. Validação do modelo:

A validação é o processo de confirmação de que o modelo representa a operação do sistema real de maneira precisa e coerente. Esta é a fase de ajuste fino, quando se compara o comportamento do modelo com o sistema real para corrigir distorções. Este processo é repetido até que se obtenha o nível desejado de confiabilidade para o modelo construído.

7. Verificação do modelo:

A verificação é o processo de identificar se o modelo de simulação foi construído corretamente e é completada quando o programa funciona da maneira como o analista codificou, sem apresentar erros.

Esta etapa é efetuada rodando-se a simulação e monitorando-se sua operação. Se os parâmetros de entrada e a estrutura lógica do modelo estiverem corretamente representados no programa, a verificação é finalizada. Nesta etapa, a participação do usuário junto com o analista agiliza a verificação e aumenta a confiabilidade do modelo.

8. Experimentação:

Nesta fase, as alternativas a serem simuladas devem ser especificadas. O analista deverá considerar a variação dos resultados de saída e determinar – para cada simulação – o número de replicações necessárias e os tempos de aquecimento e de duração de cada simulação.

9. Execução da simulação, análise de resultados e interpretação:

Nesta etapa, efetua-se a simulação e analisam-se os relatórios gerados pelos programas. Com base nos resultados obtidos, o analista de simulação verifica a necessidade de executar experimentos adicionais ou considerar as inferências do modelo.

10. Documentação e relatórios de resultados:

Cada relatório do modelo e seus resultados de saída devem ser bem documentados, para facilitar relatos eventuais ou atualizações.

11. Implementação:

A extensão com que os estudos realizados serão colocados em prática depende da efetividade de cada uma das etapas anteriores. A participação do usuário no processo é importante para aumentar a credibilidade e a consistência dos dados.

Aplicações da simulação

A simulação pode ser utilizada como uma ferramenta para análise e resolução de problemas complexos, em diversos segmentos, como saúde, telecomunicações, indústria, serviços, entre outras. A seguir, citamos algumas aplicações na área de engenharia:

- projeto e análise de sistemas de manufatura;
- análise de processos;
- compreensão do sistema real;
- questões de manufatura, movimentação de material, melhoria de processos;
- planejamento de capacidade em manufatura e em serviços;
- estudo e experimentação, tanto nas interações de um sistema complexo como nos subsistemas que o compõem.

═══════════════════════ **Atividades** ════════════════════════

Atendem aos objetivos 1, 2 e 3

1. Defina os conceitos de simulação, sistema e modelo.

2. Cite exemplos de modelo e simulação, diferentes dos já apresentados nesta aula.

3. Faça uma pesquisa na internet e identifique aplicações da simulação em organizações e empresas.

4. Considerando as etapas de desenvolvimento de um modelo de simulação, diferencie validação de verificação.

Respostas comentadas

1. *Simulação* é o processo de representar, no ambiente computacional, uma situação ou cenário de um ambiente real, de modo a avaliar alternativas e tomar decisões.

Sistema é o conjunto de objetos que estão organizados, com uma finalidade, possuindo alguma forma regular de interação e interdependência.

Modelo é uma representação simplificada de um sistema, contendo seus elementos essenciais.

2. Atendimento em consultório médico; atendimento num banco; filas de diversos serviços, como supermercados, lojas, estacionamento.

3. Seguem dois exemplos de aplicações:

- MARCOS, A. R. A; FERREIRA, L. Um modelo de simulação para gestão da capacidade dos aeroportos brasileiros. *REAd. Revista Eletrônica de Administração* [on-line], Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 1-26, 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-23112015000100001&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 18 fev. 2019.
- PARAGON Decision Science. *Petrobras risco*. Estimativa de tempos operacionais em campos de petróleo. Disponível em: <http://www.paragon.com.br/petrobras-risco/>. Acesso em: 18 fev. 2019.

4. A principal diferença entre os processos de verificação e validação está na finalidade de cada um deles. A verificação é um processo de

checagem para identificar e corrigir erros na programação computacional do modelo de simulação. A validação, por sua vez, é um processo de avaliação do quanto o desempenho do modelo de simulação, sendo executado, se aproxima do que ocorre no sistema real que está sendo estudado.

Resumo

Nesta primeira aula, você foi apresentado aos conceitos fundamentais da simulação, seus elementos estruturais e suas aplicações. Você pôde conhecer os conceitos de sistema, modelo e também quais as etapas para o desenvolvimento de um projeto de simulação.

Referências

CHASE, R. B.; JACOBS, F. R.; AQUILANO, N. J. *Administração da produção e operações para vantagem competitiva*. 11. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

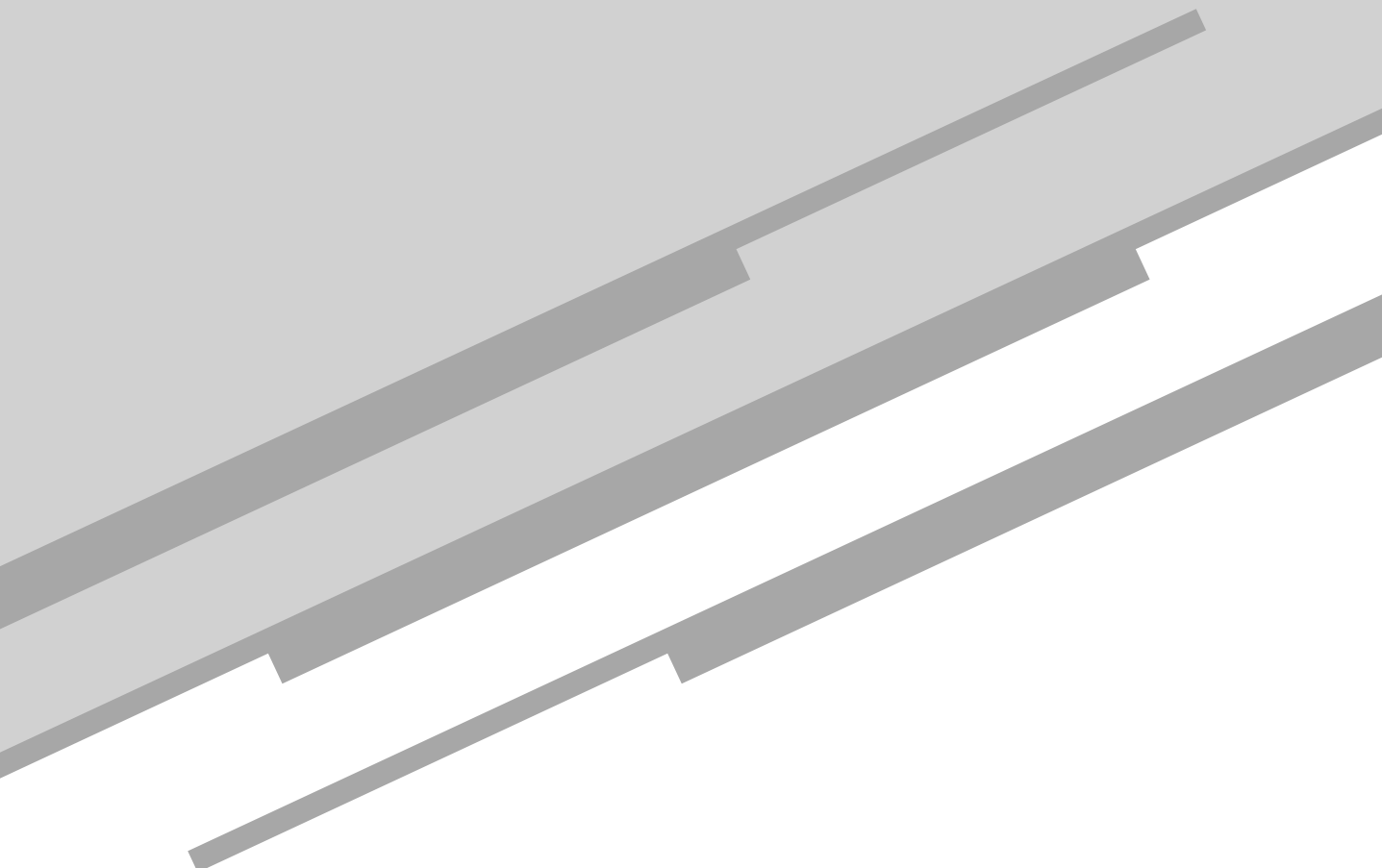
CWIF, L. *Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações*. 3. ed. São Paulo: Ed. do Autor, 2010.

PRADO, D. S. do. *Usando o Arena em simulação*. Belo Horizonte: INDG, 2003.

SABBADINI, F. S. *Teoria das restrições e simulação aplicados a serviços de saúde*. Jundiaí: Paco Editorial, 2017.

Aula 2

Planejamento do projeto de simulação



Meta

Apresentar os principais aspectos relacionados ao planejamento de um projeto de simulação e seus elementos integrantes.

Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. planejar um projeto de simulação considerando seus principais elementos;
2. identificar as fases e etapas de um projeto de simulação.

Introdução

Um estudo de simulação basicamente consiste na elaboração, no desenvolvimento e na execução de um projeto para avaliar cenários alternativos relacionados a um determinado problema do qual se deseja obter alguma resposta.

Um projeto de simulação é muito mais do que simplesmente construir um modelo. As habilidades exigidas vão além de apenas o conhecimento de um *software* ou uma ferramenta de simulação. A modelagem certamente é uma etapa interessante, divertida e desafiadora, que requer uma preparação prévia.

Então, como você pode tornar seu projeto de simulação bem-sucedido? Você pode até pensar que seu projeto não precisa de uma especificação funcional formal, com a identificação de elementos estruturantes, com etapas definidas e cronograma a ser cumprido. No entanto, o planejamento é um ponto de partida importante.

O tempo gasto no planejamento, pensando à frente, vale mais do que pagar pelo projeto mais tarde. Na verdade, é melhor não pensar nisso como tempo extra gasto no início de um projeto, mas sim como um investimento na seleção de tarefas do início até o final.

Essa abordagem vai permitir sua organização e contribuir para minimizar as redundâncias e o retrabalho. Também torna o processo mais produtivo, reduzindo a chance de insucesso e frustração.

Planejamento e fases

Na Aula 1, foi mostrado que o desenvolvimento de um projeto de simulação é realizado de forma sistemática, seguindo uma sequência definida de etapas. De modo mais abrangente, essas etapas podem ser agrupadas em: concepção, implementação e análise. Para facilitar o entendimento, veja o **Quadro 2.1**, a seguir:

Quadro 2.1: Relação entre fases e etapas num projeto de simulação

Fase	Etapa
Concepção	Definição do problema
	Definição dos objetivos
	<i>Planejamento</i>
	Desenvolvimento do modelo conceitual
	Coleta de dados
Implementação	Codificação
	Verificação do modelo
	Validação do modelo
Análise	Experimentação
	Execução da simulação
	Análise dos resultados
	Interpretação
	Documentação e relatórios

A *fase de concepção* é onde se dá o desenvolvimento do *planejamento*, o qual deve ser realizado levando-se em consideração os requisitos e as necessidades das demais fases: a de implementação e a de análise.

O *planejamento* deve ser simples e abrangente, de modo a que se possa, antes de iniciar o desenvolvimento do projeto de simulação, ter uma ideia suficientemente completa do que se espera realizar. Além disso, as etapas não devem ser consideradas como uma sequência linear. Ao longo do desenvolvimento do projeto, ocorrem muitas situações que vão exigir o retorno a alguma etapa anterior devido a interações e realimentações que poderão ser necessárias.

Para auxiliar no entendimento das etapas e fases de um projeto de simulação, vamos considerar como exemplo que você vai fazer um estudo sobre a operação de um departamento de emergência de um hospital. Na reunião inicial com a direção, você é informado de que a emergência funciona 24 horas por dia. Além disso, atende pacientes em estado grave e também pacientes sem risco de perda da vida. Eles chegam aleatoriamente, embora já se tenha observado que, entre as 10 horas e as 15 horas, o setor de emergência fica muito cheio de doentes aguardando por atendimento.

Os gestores do hospital acreditam que há um gargalo neste setor e gostariam de desenvolver políticas que agilizem o atendimento e melhorem a qualidade do trabalho para médicos e a equipe de enfermagem. O departamento de emergência não dispõe de informatização, sendo seus registros feitos em um livro na recepção e em fichas específicas para cada especialidade médica.



Importante:

Todos os tempos e recursos mencionados quando este exemplo for desdobrado nos tópicos seguintes são estimados. Num projeto real, eles serão definidos de acordo com a complexidade, disponibilidade efetiva de recursos e condições específicas do contexto.

Planejamento e concepção

Quando você pensa em conduzir um estudo de simulação, uma das primeiras coisas a considerar são os objetivos do projeto. Por que alguém deseja simular este sistema e o que se espera com isto?

A concepção é a fase na qual esta e outras questões são tratadas. Ela engloba um conjunto de elementos que, muitas vezes, não recebem a atenção adequada por desenvolvedores-analistas de simulação iniciantes: o entendimento do sistema, a definição dos objetivos, a criação de uma especificação funcional e a formalização de um planejamento para gerenciar o projeto em cada uma de suas fases e etapas.

A utilização de fluxogramas, desenhos, esquemas e croquis é útil no detalhamento do modelo e para a compreensão de fluxos de pessoas e recursos no sistema. São elementos importantes, pois representam a base inicial que definirá a execução e os desdobramentos das demais.

Um produto desta fase é o modelo conceitual formulado e definido para ser codificado na etapa de implementação. É na concepção que se buscam definir, entre outros aspectos:

- as questões que se espera responder;
- os recursos requeridos;
- o sistema a ser estudado e seu escopo;
- o prazo de realização (todo projeto tem início, meio e fim);
- os dados que serão coletados;
- as variáveis que serão utilizadas no estudo;
- o grau de envolvimento dos interessados.

Para ser mais específico, você deve determinar quem são seus *stakeholders*. Trata-se de saber quem tem interesse nos resultados do projeto e o que se espera como resultado do estudo. Gerentes tentando melhorar a produtividade de uma planta industrial; clientes buscando por serviços de qualidade; o supervisor de uma loja responsável pelas operações do dia a dia, bem como o pessoal de manutenção ou engenharia de processos são exemplos de *stakeholders*.

A fase de concepção define elementos importantes e representa a base inicial que definirá a execução, a análise e os demais desdobramentos do projeto de simulação, como, por exemplo, a codificação do modelo computacional.

Concepção

Considerando o exemplo do departamento de emergência, teríamos o seguinte desdobramento para esta fase, em termos de planejamento:

Interessados: direção do hospital, médicos, equipe de enfermagem e pacientes.

Para a *definição do problema e dos objetivos* serão necessárias pelo menos duas reuniões com a direção do hospital e demais envolvidos. Estima-se que serão necessárias duas semanas para cobrir estas duas etapas integralmente, com os resultados definidos conforme segue:

Definição do problema (questões que se espera resolver):

Realizar um estudo exploratório para encontrar gargalos no processo e avaliar a influência das medidas políticas com o objetivo de reduzir o tempo de fluxo do paciente, mantendo altos padrões de atendimento.

Definição dos objetivos:

- Construir um modelo que permita ao departamento de emergência obter ideias e identificar oportunidades de melhoria.
- Avaliar medidas de desempenho.
- Definir políticas de gestão do atendimento.

Planejamento:

Para alcançar os objetivos pretendidos, será necessário fazer o levantamento de recursos requeridos para a execução do projeto, estimar o tempo das atividades, os prazos envolvidos e o escopo do modelo, bem como elaborar o cronograma de execução. Neste exemplo, estima-se um tempo de seis semanas.

Coleta de dados:

Tipo de procedimento: como o departamento de emergência do nosso exemplo não dispõe de informatização, nesta etapa será necessário realizar um processo de coleta manual de dados no local.

Variáveis: a taxa de chegada dos pacientes, o tempo de atendimento na recepção, o tempo de duração do atendimento no consultório médico.

Tempo necessário: Como a coleta será manual, estima-se um tempo necessário de quatro semanas.

Desenvolvimento do modelo conceitual:

Para a realizar esta etapa, estima-se um tempo de três semanas, desde a elaboração do esboço inicial até a chegada ao resultado final. nesta etapa, pretende-se mapear o sistema e definir o escopo do projeto. Para isso, será necessário realizar visitas ao departamento de emergência, para entender o seu funcionamento e obter dados iniciais.

Há uma previsão de que serão necessárias as seguintes visitas: uma para levantamento inicial, outra para validação e outra para aprovação. Da mesma forma, serão necessárias duas reuniões com os responsáveis pelo projeto: uma para ajustar o esboço inicial e outra para validar o modelo final.

Os recursos requeridos estimados serão: *mapeamento* (uma pessoa para fazer o mapeamento e um *software* para a elaboração de fluxogramas, planilhas e croquis); *elaboração* do modelo conceitual (uma pessoa para fazer o modelo – que pode ser a mesma que fez o mapeamento inicial – e um *software* para elaboração de fluxogramas e croquis – que

pode ser o mesmo utilizado na etapa de mapeamento); *coleta* (duas pessoas, material para registro e anotações e um cronômetro). Além disso, para a análise dos dados obtidos, será necessário um *software* para modelagem estatística das amostras obtidas.

Planejamento e implementação

A fase de implementação é aquela na qual, o que foi definido na concepção, vai ser codificado numa linguagem de computador para que a simulação possa ser posteriormente executada.

No planejamento desta fase, deve ser considerado qual recurso computacional será utilizado: planilha eletrônica, linguagem de programação ou o *software* (pacote) de simulação? Um dos fatores que vai definir essa escolha é o grau de domínio que os analistas possuem do *software* ou da ferramenta a ser utilizada.

Em geral, o mais usual é a escolha de um pacote de simulação, que engloba diversos recursos, como interface gráfica, padrões e funções pré-programadas, bibliotecas de recursos e entidades. Há vários modelos disponíveis no mercado, como por exemplo: Arena, Simul8, Flexim, Promodel, Extend, Simulate, Medmodel, etc.

Por fim, devido à necessidade de fazer a verificação e a validação do modelo computacional, o planejamento deve contemplar uma previsão no cronograma para a realização de ajustes no modelo, para que este esteja operacional e permita a realização de experimentos e sua respectiva análise.

Implementação

Considerando o exemplo do departamento de emergência, teríamos o seguinte desdobramento para esta fase em termos de planejamento:

Codificação: para converter o modelo conceitual em modelo computacional, estima-se um prazo de duas semanas, a contar do início dos testes até a finalização do projeto.

Verificação do modelo: será feita conforme metodologia específica, requerendo uma semana de prazo.

Validação: será realizada conforme metodologia específica, requerendo uma semana de prazo.

Recursos requeridos: um programador; um *software* de simulação.



Observação: as etapas de verificação e validação podem ser realizadas concomitantemente.

Planejamento e análise

Esta é a fase onde serão realizados os projetos de experimentos e executadas as rodadas da simulação, bem como a análise e interpretação dos resultados. O planejamento neste ponto deve determinar: i) quem será envolvido na fase de análise do projeto; ii) a forma e o conteúdo dos resultados a serem entregues.

Uma estrutura de relatório final é uma parte importante da especificação dos resultados esperados do projeto. Na revisão do modelo, as partes interessadas têm a oportunidade de identificar as coisas que estão faltando e as que são desnecessárias.

Análise

Considerando o exemplo do departamento de emergência, teríamos o seguinte desdobramento para esta fase em termos de planejamento:

Experimentação: para formular os experimentos, estima-se um período de duas semanas.

Execução da simulação: para rodar os experimentos e gerar os relatórios de análise de forma organizada, estima-se um período de uma semana.

Análise de resultados e interpretação: esta etapa demanda mais tempo de avaliação e estima-se um período de duas semanas.

Documentação e relatórios: para esta fase conclusiva, estima-se o prazo de uma semana.

Atividades

Atendem aos objetivos 1 e 2

1. Por que investir tempo e recursos ao invés de iniciar diretamente a execução de um projeto de simulação?

2. Como deve ser o planejamento de um projeto de simulação?

3. Quais são as etapas de um projeto de simulação?

4. Caracterize cada uma das etapas de um projeto de simulação.

Repostas comentadas

1. Você pode pensar que seu projeto não precisa de uma especificação funcional formal, com a identificação de elementos estruturantes, com etapas definidas e cronograma a ser cumprido. No entanto, o planejamento é um ponto de partida importante. O tempo gasto no planejamento, pensando à frente, vale mais do que pagar pelo projeto mais tarde. Vai permitir sua organização e contribuir para minimizar as redundâncias e o retrabalho.

2. O planejamento deve ser simples e abrangente, de modo a que se possa, antes de iniciar o desenvolvimento do projeto de simulação, ter uma ideia suficientemente completa do que se espera realizar.

3. Concepção, implementação e análise.

4. *Concepção*: é onde é desenvolvido o planejamento, o qual deve ser realizado levando em consideração os requisitos e as necessidades das demais fases.

Implementação: é a fase na qual o que foi definido na concepção vai ser codificado numa linguagem de computador, para que a simulação possa ser posteriormente executada.

Análise: é a fase onde serão realizados os projetos de experimentos e executadas as rodadas da simulação, bem como a análise e interpretação dos resultados.

Conclusão

A utilização de uma abordagem metódica e estruturada permite o desenvolvimento de um projeto de simulação com mais chances de sucesso. O planejamento bem elaborado e a utilização de um método tornam o trabalho de modelagem mais produtivo, assim como a realização do estudo de simulação oferece mais chances de se obter resultados efetivos.

Atividade final

Atende aos objetivos 1 e 2

Considerando as fases e etapas da metodologia de elaboração de um projeto de simulação e tomando como base o exemplo utilizado nesta aula, pede-se:

1. Elabore o cronograma deste projeto de acordo com cada uma das fases (concepção, implementação e análise) e suas respectivas etapas. Para isso, utilize uma planilha eletrônica ou outro *WWW* com o qual você tenha familiaridade.

2. Faça a postagem do arquivo no fórum da disciplina, de acordo com as instruções na plataforma.

Resposta comentada

CRONOGRAMA DO PROJETO DE SIMULAÇÃO - DEPARTAMENTO DE EMERGÊNCIA

FASES E ETAPAS	SEMANAS																				
	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S 10	S 11	S 12	S 13	S 14	S 15	S 16	S 17	S 18	S 19	S 20	S 21
CONCEPÇÃO:																					
Definição do problema e objetivos	■	■																			
Planejamento			■	■	■	■	■	■	■												
Desenvolvimento do modelo conceitual									■	■	■	■	■								
Coleta de dados										■	■	■	■	■							
IMPLEMENTAÇÃO:																					
Codificação													■	■	■						
Verificação do modelo																■					
Validação do modelo																	■				
ANÁLISE:																					
Experimentação																	■	■	■	■	
Execução da simulação																					
Análise de resultados e interpretação																				■	■
Documentos e relatórios																					■

Resumo

Nesta aula, você aprendeu a importância de efetuar o planejamento do projeto de simulação antes de começar a efetivamente realizá-lo. Além disso, conheceu as fases de elaboração de um estudo de simulação (concepção, implementação e análise), assim como as etapas relacionadas a elas. Aprendeu, ainda, que empregar esta metodologia aumenta as chances de sucesso.

Referências

CWIF, L. *Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações*. 3. ed. São Paulo: Ed. do Autor, 2010.

SABBADINI, F. S. *Teoria das restrições e simulação aplicada a serviços de saúde*. Jundiaí: Paco Editorial, 2017.

STURROCK, D. T. Avoid Failures! Tested Success Tips for Simulation Project Excellence. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, p. 252-260, Gothenburg, Sweden, 2018.

Aula 3

Modelagem de dados:
fundamentos e metodologia

Meta

Apresentar a metodologia e as técnicas de análise de dados para variáveis de entrada num modelo de simulação.

Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. identificar variáveis de entrada de um modelo de simulação;
2. conhecer a relação entre modelo probabilístico e suas variáveis;
3. identificar as fases de um estudo de modelagem de dados de entrada;
4. compreender o que é um *outlier*;
5. compreender o que é inferência.

Introdução

Nas aulas anteriores, você aprendeu sobre os conceitos fundamentais de simulação e sobre o planejamento de projeto de simulação, que é a primeira etapa na metodologia de desenvolvimento de projetos dessa natureza. Aprendeu, também, que estas fases estão sistematicamente organizadas em concepção, implementação e análise.

Na presente aula, você vai conhecer uma etapa relacionada à fase de concepção, que é a coleta de dados, assim como recursos importantes que vão aumentar suas chances de sucesso na modelagem dos dados de entrada de um modelo de simulação.

Sistemas e variáveis

De modo geral, os modelos de sistemas que vamos procurar representar por meio da simulação possuem uma estrutura geral comum composta de: entradas, processamento e saídas. A **Figura 3.1**, a seguir, mostra este conceito.

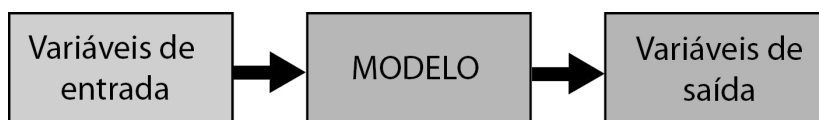


Figura 3.1: Entradas e saídas num modelo simbólico.

Fonte: Adaptado de Lachtermarcher (2004, p. 7).

As variáveis de entrada são aquelas cujos dados devem ser coletados para alimentar o modelo computacional de simulação. As variáveis de saída, por sua vez, são aquelas geradas pelo simulador.

Os dados que vão alimentar o modelo computacional serão agrupados em variáveis de entrada, as quais servirão de base para o processamento. Consequente, irão produzir informações, que serão agrupadas nas variáveis de saída. Para facilitar o entendimento, considere o seguinte exemplo:

Exemplo: sistema de processamento de mercadorias.

Considere que há duas operações que vão compor o modelo. O fluxo obedece à seguinte ordem: de acordo com a ordem de chegada no armazém, a mercadoria é descarregada na operação 1, quando se realiza a verificação, o registro e a baixa do pedido. A ordem de chegada é

aleatória. Posteriormente, a mercadoria é transportada para a operação 2, quando acontecem a classificação e a distribuição das mercadorias. Cada operação conta com um funcionário por turno. A **Figura 3.2** representa esquematicamente isso:

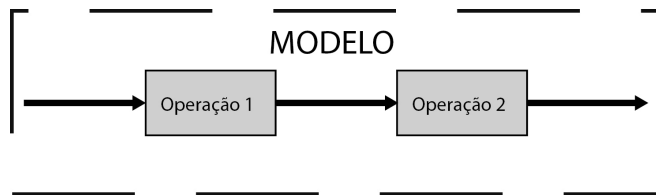


Figura 3.2: Modelo com duas operações.

Fonte: Autoria própria

Para identificar as variáveis de entrada e, então, definir os dados que serão coletados, iniciamos pela operação 1. As mercadorias chegam em diferentes períodos. Assim, há um *intervalo entre as chegadas sucessivas das mercadorias*. Esta é uma variável importante para a simulação do modelo, pois vai representar como as mercadorias chegam no sistema.

No caso da operação 2, como o intervalo entre as chegadas sucessivas das mercadorias será uma saída resultante do processamento da operação 1. Neste caso, o modelo computacional vai gerar automaticamente estes dados. A decisão de coletar ou não coletar vai depender do software e da abordagem computacional utilizada.

Além disso, os dois funcionários distribuídos nas operações 1 e 2, terão de realizar algumas atividades, que vão ter um *tempo de duração*. E, conforme o horário do dia, treinamento e disposição dos funcionários, para cada mercadoria, o período de execução da operação vai demorar mais ou menos. Esses dados são importantes para representar o comportamento desses recursos no sistema.

O intervalo entre as chegadas sucessivas de mercadorias na operação 1, o tempo de duração das atividades nesta mesma operação e o tempo de duração das atividades na operação 2 são variáveis de entrada que vão alimentar o modelo computacional.

A partir destes dados, serão geradas informações sobre o sistema, as quais ficarão contidas em variáveis de saída como: tempo em que os funcionários ficaram ocupados e ociosos, tempo que as mercadorias ficaram em cada operação, tempo de espera das mercadorias na fila, tempo total que as mercadorias permaneceram no sistema.

As variáveis de saída poderão ser avaliadas por operação, por recurso, por entidade, pelo sistema como um todo, dependendo do interesse do analista e do tomador de decisão.

Veja, no **Quadro 3.1**, uma síntese com algumas variáveis do exemplo relativas as operações:

Quadro 3.1: Tipologia e variáveis no sistema de processamento de mercadorias

Tipo de variável	Operação 1	Operação 2
Entrada	1) Intervalo entre as chegadas sucessivas de mercadorias na operação 1. 2) Tempo de duração das atividades realizadas pelo operador 1.	1) Intervalo entre as chegadas sucessivas de mercadorias na operação 2. 2) Tempo de duração das atividades realizadas pelo operador 2.
Saída	1) Tempo que o operador 1 ficou ocupado. 2) Tempo que o operador 2 ficou ocioso. 3) Tempo que a mercadoria ficou em processamento na operação 1. 4) Tempo que a mercadoria ficou na fila de espera da operação 1. 5) Quantidade de mercadorias em espera para processamento na operação 1.	1) Tempo que o operador 2 ficou ocupado. 2) Tempo que o operador 2 ficou ocioso. 3) Tempo que a mercadoria ficou em processamento na operação 2. 4) Tempo que a mercadoria ficou na fila de espera da operação 2. 5) Quantidade de mercadorias em espera para processamento na operação 2.

Com base nas informações contidas nas variáveis de saída, podem ser feitas comparações e análises entre diferentes cenários para auxiliar no processo de tomada de tomada de decisão.

Atividades

Atendem aos objetivos 1 e 2

1. Um gerente de um banco está preocupado com as filas formadas nos caixas de pagamento durante os horários de pico. Para analisar a situação,

ele fez uma relação de possíveis variáveis para a coleta de dados, com os quais poderia fazer uma simulação do serviço. Elas são mostradas a seguir:

- I. O número de cadeiras na área de espera em frente aos caixas.
- II. Os tempos de atendimento nos caixas.
- III. O número de clientes em fila.
- IV. O tempo de permanência dos clientes no banco.
- V. O tempo entre chegadas sucessivas de clientes aos caixas de pagamento.

Assinale de quais variáveis você recomendaria que o gerente coletasse dados pertinentes ao problema que ele vai analisar:

- a) () I e III.
- b) () I e V.
- c) () II e III.
- d) () II e V.
- e) () II, III e V.

2. Explique o que são variáveis de entrada e variáveis de saída.

Respostas comentadas

1. (d) Tanto os tempos de atendimento nos caixas quanto o tempo entre chegadas sucessivas de clientes aos caixas de pagamento são variáveis de entrada e devem ter os dados coletados.

2. As variáveis de entrada são aquelas cujos dados devem ser coletados para alimentar o modelo computacional de simulação. As variáveis de saída são aquelas geradas pelo simulador.

Modelos probabilísticos e variáveis de entrada

A maioria dos sistemas que são simulados possuem algum componente probabilístico, ou seja, estão sujeitos a eventos decorrentes de fenômenos aleatórios. No exemplo do sistema de processamento de mercadoria, consideremos a realização das atividades do operador 1.

Suponha que ele faça o processamento de 200 mercadorias durante seu turno de trabalho. Para cada mercadoria que ele processar, a duração da atividade vai consumir um tempo diferente.

Em alguns casos, ele poderá gastar 15 minutos com uma mercadoria. Na próxima, 20 minutos. Na seguinte, 10 minutos. Ou seja, o tempo que dura o processamento de cada mercadoria é aleatório e sujeito à variabilidade do desempenho humano. O mesmo se pode dizer para o operador 2.

Como na simulação o que se procura é representar de forma fidedigna, por meio de um modelo computacional, o comportamento de um sistema real, essa aleatoriedade deve ser incorporada no processo. Por esta razão, é importante a modelagem dos dados das variáveis de entrada, uma vez que, se o comportamento probabilístico não for adequadamente tratado, vai comprometer a confiabilidade da representação do modelo computacional em relação ao modelo real.

Segundo Chwif (2010), a modelagem de dados é o processo de se obter modelos probabilísticos que permitam fazer a inferência das propriedades aleatórias de um fenômeno. Os modelos que representam essa aleatoriedade são chamados de modelo de entrada ou modelo probabilístico.

Fases do estudo de um modelo probabilístico

O estudo da modelagem de dados de entrada é um processo que pode ser estruturado em três fases sequenciais, conforme mostrado na Figura 3.3. Cada uma delas contém ferramentas próprias e características específicas, de acordo com o resultado que se espera obter.

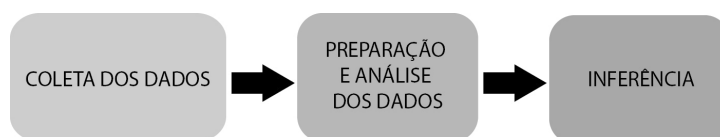


Figura 3.3: Fases da modelagem dos dados de entrada.

Fonte: Adaptado de Schwif (2010) e Martin et. all. (2018).

A fase de coleta envolve a obtenção de dados para modelar parâmetros que vão ser inseridos no modelo computacional. A finalidade é obter uma amostra que seja representativa e confiável do fenômeno observado.

Segundo Martin (2018), são três tipos de dados requeridos: os preliminares, os de especificação e os de validação. Os preliminares são aqueles necessários para compreender os fundamentos dos processos, as atividades e os recursos.

Os de especificação são aqueles utilizados para modelar variáveis de entrada como, por exemplo, disponibilidade de recursos, duração das atividades e taxa de chegada das entidades. Estes são os que devem compor a amostra para o estudo do modelo probabilístico.

Os dados de validação são os necessários para confirmar se os resultados das variáveis de saída do sistema computacional são aderentes aos do sistema real, como, por exemplo, volume de produção por período de tempo.

A fase de preparação dos dados compreende a utilização de um conjunto de técnicas estatísticas de amostragem e de medidas da estatística descritiva como: média, moda, mediana, valor mínimo, valor máximo, amplitude, desvio-padrão, variância, coeficiente de variação e coeficiente de assimetria.

A finalidade é obter, a partir dessas medidas, elementos para identificar as características da amostra coletada na fase anterior. Isso pode envolver diferentes níveis de agregação ou mesmo a remoção de dados que possam comprometer a precisão, como a presença de elementos discrepantes na amostra, denominados *outliers*, devido a erros na coleta ou à ocorrência de fenômenos raros.

A terceira fase, inferência, segundo Chwif (2010), é aquela na qual se utilizam cálculos de probabilidade para se obter um modelo representativo do comportamento aleatório dos dados relativos às variáveis de entrada.

Essencialmente se espera, ao final desta fase, obter uma distribuição de probabilidade teórica, que tenha aderência aos dados reais coletados, sendo possível a sua utilização como um parâmetro do modelo computacional que será utilizado.

Atividades

Atendem aos objetivos 3, 4 e 5

1. A modelagem dos dados de entrada num modelo de simulação é uma fase crucial para dar consistência aos dados que alimentarão o modelo de simulação. Sabe-se que o processo de modelagem de dados é facilitado quando estes podem ser representados por uma sequência de variáveis aleatórias independente e identicamente distribuídas. O estudo de modelagem de dados pode ser resumido em três etapas:

I. Coleta de dados, onde ocorre o chamado processo de amostragem, que tem como objetivo garantir que a amostra obtida seja representativa do fenômeno em estudo.

II. Tratamento de dados, no qual se utilizam técnicas estatísticas para descrever os dados levantados, identificar falhas nos valores amostrais, identificar *outliers* e aumentar nosso conhecimento do fenômeno em estudo.

III. Inferência, que aplica conhecimento de cálculos de probabilidades, tendo como resultado um modelo probabilístico que se ajuste aos dados reais.

Com relação às afirmativas, está correta a opção:

- a) I;
- b) I e II;
- c) I e III;
- d) II e III;
- e) I, II e III.

2. Sobre os *outliers*, é correto afirmar que:

- a) São erros de levantamento de dados que sempre acontecem, sendo identificados na etapa de inferência.
- b) São erros eventuais identificados na coleta de dados e que são corrigidos na fase de inferência.
- c) São valores não usuais decorrentes de algum erro na coleta de dados ou devido a evento raro e totalmente inesperado.

- d) () São erros decorrentes de valores usuais na coleta de dados ou devido a evento raro e totalmente inesperado.
- e) () Todas as alternativas anteriores estão corretas.

Respostas comentadas

1. (e)
 2. (c)
-
-
-

Conclusão

A aleatoriedade que ocorre nos eventos da maioria dos sistemas que podem ser simulados leva à necessidade de tratamento estatístico dos dados que irão ser utilizados como parâmetro. Isso se deve à necessidade de assegurar que o modelo de simulação represente de forma confiável o sistema real.

O estudo da modelagem de dados de entrada é um processo utilizado para esta finalidade, resultando na identificação de uma distribuição de probabilidade teórica que represente o comportamento dos eventos observados no modelo real.

Atividade final

Atende aos objetivos 1, 2, 3, 4 e 5

1. Uma das etapas mais importantes na construção de um estudo de simulação diz respeito à modelagem dos dados de entrada. A dinâmica dessa modelagem consiste em obter modelos probabilísticos que permitam inferir as propriedades de um dado fenômeno aleatório, como, por exemplo, o processo de chegada de clientes em um servidor. Considerando o que foi explicitado nesta questão, leia as afirmativas a seguir e marque uma opção:

I. Chamamos de modelos de entrada os modelos probabilísticos responsáveis por representar a natureza aleatória de um dado fenômeno;

II. Chamamos de modelagem de dados o processo de escolher a melhor representação do fenômeno em estudo.

III. No tratamento de dados são utilizadas técnicas para descrever os dados coletados, identificar possíveis falhas nos valores amostrados e aumentar nosso conhecimento acerca do fenômeno em estudo.

IV. A etapa de coleta de dados consiste no chamado processo de amostragem e tem como objetivo garantir que a amostra obtida seja representativa do fenômeno observado.

V. A aplicação dos conhecimentos do cálculo das probabilidades para inferir o comportamento da população no fenômeno amostrado, resultando na obtenção de um modelo probabilístico teórico que representará o fenômeno real observado e será incorporado ao modelo de simulação.

São verdadeiras as afirmativas:

- a) () I, III, IV e V;
- b) () II, III, IV e V;
- c) () I, II, IV e V;
- d) () I, II, III, IV;
- e) () I, II, III, IV e V.

2. Na fase de coleta foram descritos três tipos de dados requeridos para a utilização na simulação. Em relação a essa tipologia, responda:

a) Quais são eles?

b) Dentre os citados, qual está relacionado a variáveis de entrada?

c) Por que devem passar por um processo de modelagem?

Repostas comentadas

1. (e)

2. a) Os três tipos de dados são: os preliminares, os de especificação e os de validação.

- b) Os relacionados às variáveis de entrada são os de especificação.
 - c) Devem passar por um processo de modelagem para assegurar que a amostra coletada é confiável e representa o comportamento do fenômeno no modelo real.
-
-

Resumo

Nesta aula você aprendeu a reconhecer as variáveis de entrada e as de saída nos sistemas. Além disso, pode compreender melhor como a aleatoriedade influencia nos modelos de simulação.

Para lidar com este tipo de evento assegurando a efetividade na representação do sistema em estudo, conheceu um método de modelagem de dados de entrada e suas fases e a finalidade de cada uma.

Referências

CWIF, L. *Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações*. 3. ed. São Paulo: Ed. do Autor, 2010.

LACHTERMARCHER, G. *Pesquisa operacional na tomada de decisão: modelagem em Excel*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

MARTIN, N.; DEPAIRÁ, B.; CARIS, A. A Synthesized Method for Conducting a Business Process Simulation Study. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, p. 276-290, Gothenburg, Sweden, 2018.

STURROCK, D. T. Avoid Failures! Tested Success Tips for Simulation Project Excellence. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, p. 252-260, Gothenburg, Sweden, 2018.

Aula 4

Modelagem de dados de entrada:
aplicando a metodologia

Meta

Apresentar a metodologia e as técnicas de análise de dados para variáveis de entrada num modelo de simulação.

Objetivos

Esperamos, ao final desta aula, que você seja capaz de:

1. coletar dados relativos as variáveis de entrada;
2. analisar os dados coletados;
3. realizar a inferência;
4. identificar o processo de aderência das distribuições de probabilidade aos dados coletados;
5. utilizar o software Stat::Fit para análises e inferências.

Introdução

Na aula anterior, você aprendeu sobre os tipos de variáveis relacionadas a um modelo de simulação. Além disso, conheceu os conceitos e uma metodologia de modelagem dos dados de entrada. Viu também que a aleatoriedade ocorre nos eventos da maioria dos sistemas que podem ser simulados e leva à necessidade de tratamento estatístico dos dados a serem utilizados como parâmetros.

Isso se deve à necessidade de assegurar que o modelo de simulação represente de forma confiável o sistema real. Na presente aula, você vai conhecer como utilizar a metodologia de modelagem dos dados de entrada, nas suas três fases: coleta de dados, preparação/análise e inferência. Uma questão importante em todo projeto de simulação é a da disponibilidade ou indisponibilidade dos dados de entrada.

Nos períodos anteriores à revolução provocada pelos computadores e pela automação, era típico o caso de nenhum dado estar disponível e todo o trabalho de coleta de dados ser feito manualmente. Atualmente, o mais provável é que se fique sobrecarregado pelo excesso deles.

O desafio é organizar e dar sentido a esses dados. O primeiro passo para isso é a realização da coleta. Nesta aula, para facilitar sua aprendizagem, será utilizado um exemplo para você entender a aplicação da metodologia.

Exemplo: a agência bancária

O Banco BBC possui uma agência que funciona numa empresa de fabricação de parafusos e conexões. Ela conta com um caixa para atendimento aos clientes no horário das 11 às 15 horas, funcionando de segunda a sexta-feira. O gerente está preocupado com a qualidade do serviço prestado devido às filas que se formam no caixa, pois teme que a demora no caixa possa comprometer a produtividade dos funcionários da fábrica.

Coleta de dados

Para realizar esta fase da metodologia, é necessária a identificação das variáveis de entrada para as quais se vai obter a amostra. Do mesmo modo, é preciso se ter uma ideia inicial do fluxo dos clientes e o serviço no caixa. Para isso, são levantados os dados preliminares.

Considere que você conversou com o gerente da agência e ele lhe informou que os clientes, após entrarem, se dirigem ao caixa para receber o atendimento. O funcionário do banco realiza as atividades de acordo com o serviço e libera o cliente, que sai da agência.

A partir da coleta preliminar, você tem um modelo inicial, que vai servir para a identificação das variáveis de entrada, para as quais os dados serão coletados. A **Figura 4.1**, mostra esse fluxo:

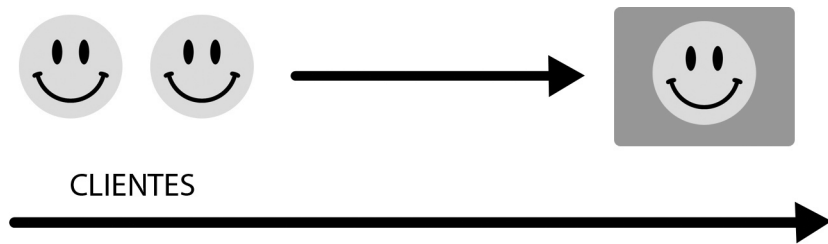


Figura 4.1: Modelo básico na agência.

O próximo passo é o obter os dados de especificação, que são aqueles utilizados para modelar variáveis de entrada. A coleta de dados, portanto, se inicia com a escolha destas variáveis. No exemplo da agência bancária, estes são os componentes que devem formar as amostras para o estudo do modelo probabilístico:

- a taxa de chegada das entidades (neste caso, o intervalo de tempo entre as chegadas sucessivas de clientes ao posto bancário);
- a disponibilidade de recursos (uma estação de serviço com um atendente no caixa);
- a duração das atividades (tempo que o atendente demora realizando o serviço com cada cliente).

Alguns aspectos devem ser considerados antes de se realizar o trabalho de campo, a saber: o momento da coleta e o tamanho da amostra. Retornando ao nosso exemplo, o comportamento do padrão de chegada dos clientes é diferente para cada horário e dia da semana.

Nestes casos, deve-se escolher para o momento da coleta aquele dia e horário mais típico do funcionamento da agência ou do fenômeno que se queira analisar. Se a preocupação do gerente é avaliar a qualidade do serviço, o dia seguinte ao pagamento dos funcionários pode ser o momento adequado para isso.

Quanto ao tamanho da amostra, deve-se ter atenção aos seguintes aspectos práticos:

- Identificar a variável de entrada e as informações complementares, especificando a qual projeto se refere, quem fez a coleta, o local, o horário de início e de fim, a unidade de tempo (horas, minutos ou segundos). Essa prática auxilia no aprendizado e na boa documentação do projeto.
- Minimamente, o tamanho da amostra deve ter pelo menos de 25 a 30 observações para viabilizar a identificação de uma distribuição de probabilidade que possa ser inferida adequadamente.
- O ideal é que tenha entre 100 e 200 observações. Nesta faixa, diminui o risco de se comprometer a identificação do modelo probabilístico mais adequado. Acima desta faixa, não há ganhos significativos para o estudo, resultando em desperdício de tempo e de esforço.
- Coletar e registrar na mesma ordem de ocorrência dos fenômenos observados. A finalidade de seguir este procedimento é permitir a análise de correlação posteriormente.

No posto bancário, em estudo, as duas variáveis de entrada são: “o tempo entre as chegadas sucessivas de clientes” e “o tempo de atendimento no caixa”. A **Figura 4.2** apresenta um exemplo de uma folha de coleta de dados para a variável que representa o modelo de chegada, ou seja, o intervalo entre as chegadas sucessivas de clientes ao caixa. Observe que há intervalos de tempo iguais a zero nas linhas 1, 2 e 5. Isso indica que dois clientes chegaram juntos ao caixa em cada um desses momentos.

PROJETO: Agencia BBC		Ano: 2019	
Variável: Intervalo entre chegadas sucessivas de clientes ao caixa			
Dia: 29/mai	horário: início: 11:00 h		Término: 14:00 h
Coleta feita por: F.S.S.	Unidade: minutos	Local: Ag. Indústria	

Dados:										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	2	2	0	3	1	1	3	1	1
2	1	2	2	0	3	1	1	3	1	1
3	3	1	1	2	3	4	2	1	1	1
4	0	2	4	3	1	2	1	3	4	2
5	2	1	3	0	1	2	3	0	12	1
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
19										
19										
20										

Critério de registro: As anotações devem ser sequencialmente realizadas linha a linha.

Figura 4.2: Folha de coleta de dados.

O mesmo procedimento para a amostragem deve ser realizado para “os tempos de atendimento no caixa”. Em seguida, deve-se fazer o tratamento estatístico para verificar a ocorrência de dados discrepantes, assim como a consistência amostral.

═══════════════════════ **Atividade 1** ════════════════════════

Considere uma loja com quatro caixas normais (nos 1 a 4) e um caixa expresso (no 5) para compra de pequenos volumes limitados em até 15. Quais variáveis devem ser consideradas para a coleta de dados, se o objetivo da simulação for agilizar o atendimento e reduzir as filas?

Resposta comentada

Para os caixas normais (de 1 a 4) as variáveis são as seguintes:

Processo de chegada

Intervalo entre as chegadas sucessivas de clientes ao caixa 1;

Intervalo entre as chegadas sucessivas de clientes ao caixa 2;

Intervalo entre as chegadas sucessivas de clientes ao caixa 3;

Intervalo entre as chegadas sucessivas de clientes ao caixa 4.

Atendimento

Tempo de duração do atendimento no caixa 1;

Tempo de duração do atendimento no caixa 2;

Tempo de duração do atendimento no caixa 3;

Tempo de duração do atendimento no caixa 4.

Para o caixa expresso (nº 5), as variáveis são as seguintes:

Processo de chegada

Intervalo entre as chegadas sucessivas de clientes ao caixa 5.

Atendimento

Tempo de duração do atendimento no caixa 5.

Preparação e análise dos dados

Esta fase compreende a utilização de um conjunto de técnicas de amostragem e de medidas da estatística descritiva como: média, moda, mediana, valor mínimo, valor máximo, amplitude, desvio-padrão, variância e coeficiente de variação.

A finalidade é obter, a partir destas medidas, elementos para identificar as características da amostra coletada na fase anterior. Isso pode envolver diferentes níveis de agregação ou mesmo a remoção de dados que possam comprometer a precisão, como a presença de elementos discrepantes na amostra. Esses elementos são denominados de *outliers* e são oriundos de erros na coleta ou devidos à ocorrência de fenômenos raros.

Para realizar este tipo estudo, há diversos softwares disponíveis como SPSS – Statistical Package for the Social Sciences, Best fit, Expert fit e Minitab, que podem ser identificados por meio de busca na internet. Além disso, alguns pacotes comerciais de simulação, conforme mostra o **Quadro 4.1**, possuem um módulo para a modelagem de dados:

Quadro 4.1: Pacote de simulação e módulo de análise

Software	Módulo de modelagem
Simul8	Stat::fit
Promodel	Stat::fit
Arena	Input Analyzer

Fonte: Elaboração própria

Para fins didáticos, será utilizado o software de modelagem Stat::fit, v. 3. Você deverá baixar uma versão de estudante do software, sem custo, em <https://www.geerms.com/>. Uma recomendação para ampliar seu aprendizado futuro é que você conheça os outros softwares mencionados anteriormente.

Os dados que serão utilizados para análise são os referentes à variável “Intervalo entre as chegadas sucessivas de clientes” estão relacionados ao exemplo da agência bancária e são apresentados na **Tabela 4.1**, a seguir:

Tabela 4.1: Intervalo entre as chegadas sucessivas de clientes ao caixa

1	2	2	0	3	1	1	3	1	1
1	2	2	0	3	1	1	3	1	1
3	1	1	2	3	4	2	1	1	1
0	2	4	3	1	2	1	3	4	2
2	1	3	0	1	2	3	0	12	1

Utilizando o software de modelagem de dados Stat::fit, podemos explorar os dados da **Tabela 4.1** e compreender melhor a amostra coletada. Para isso, você deve abrir o Stat::fit, a partir da tela inicial, mostrada na **Figura 4.3**.

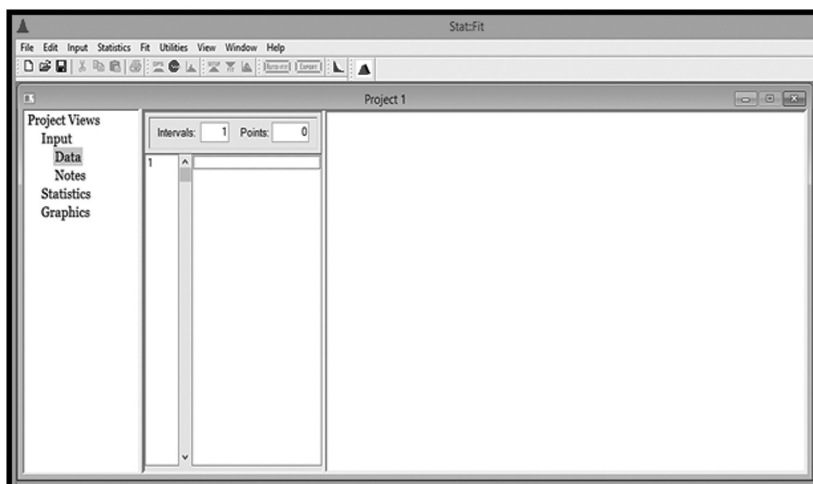


Figura 4.3: Tela inicial do Stat::fit.

O primeiro passo é salvar o arquivo relativo ao estudo. Para tanto, o caminho será: File → Save As → . Depois, é necessário inserir o nome do arquivo, que deverá ficar assim: AgenciaBBC1.sfp. O formato será sempre <NOME DO ARQUIVO>.sfp .

Feito isso, é hora de alimentar o sistema para fazer a análise. A tela inicial do Stat::fit abre no modo de entrada. Então, você deve digitar os dados na ordem em que foram coletados. No nosso exemplo, será por ordem de linha da **Tabela 4.1**. A **Figura 4.4**, a seguir, mostra como ficará após a digitação dos dados.

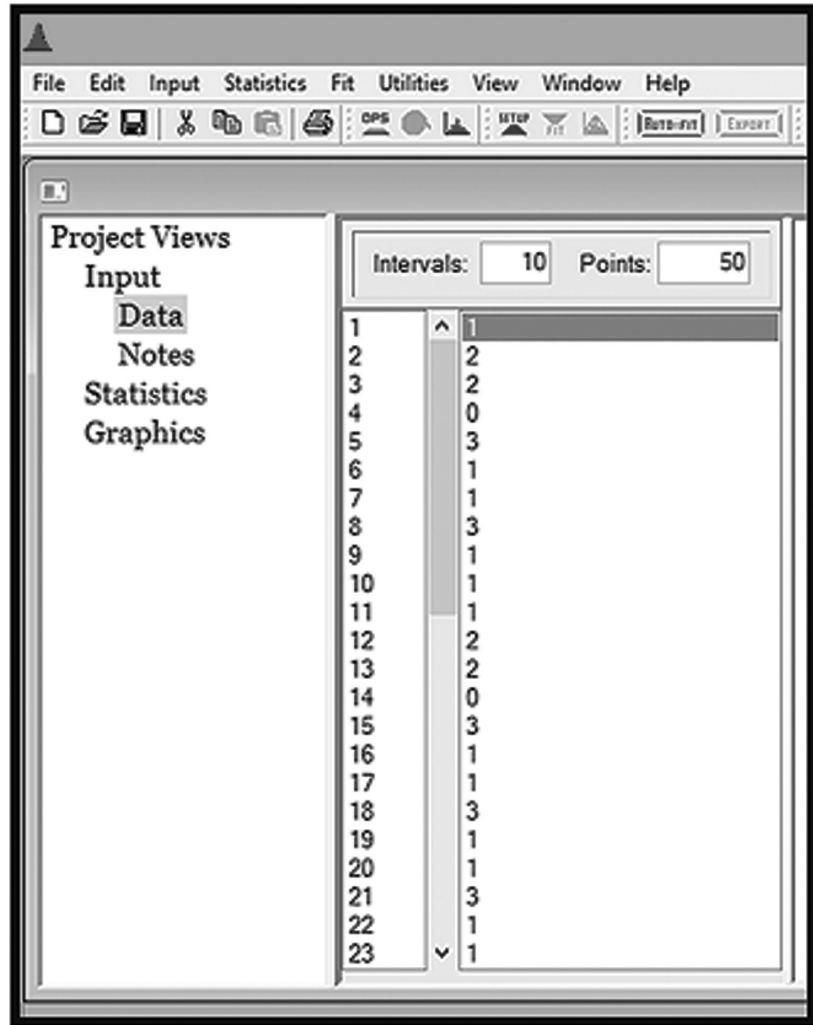


Figura 4.4: Entrada de dados da agência no Stat::fit.

O próximo passo é gerar a análise estatística descritiva, para entender as características do processo de chegada dos clientes ao caixa. O caminho será: Statistics → Descriptive (vide **Figura 4.5**).

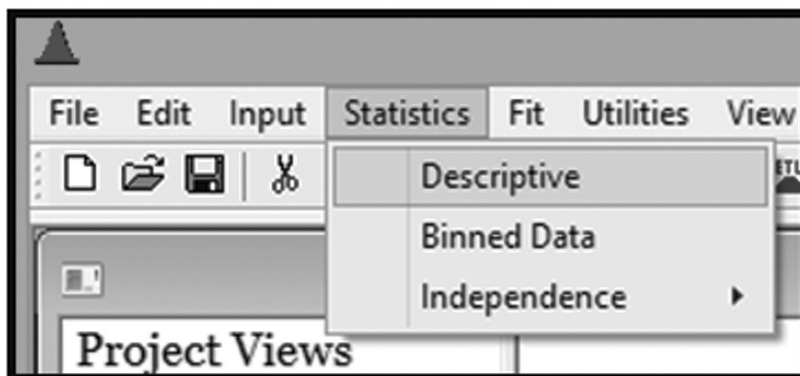


Figura 4.5: Estatística descritiva no Stat::fit.

Os resultados gerados a partir do software, apresentados na **Tabela 4.2**, descrevem as características relativas à amostra de dados e estão agrupados em medidas de posição e medidas de dispersão.

As primeiras são valores que representam a tendência de concentração dos dados observados, sendo as mais importantes as de tendência central, como a média e a mediana. As medidas de dispersão, por sua vez, são utilizadas para medir a variabilidade dos dados de uma amostra ou de um conjunto de valores.

Tabela 4.2: Estatística descritiva da agência bancária (exemplo)

Medidas de posição	Mínimo	0
	Máximo	12
	Média	1,92
	Mediana	1,5
	Moda	1
Medidas de dispersão	Amplitude	12
	Desvio-padrão	1,81
	Variância da amostra	3,29
	Coefficiente de variação	94,62%

Na **Tabela 4.2**, podemos observar que a média entre a chegada de um cliente e outro é de 1,92 minutos. A moda, que é o valor de maior ocorrência na amostra, é 1, ou seja, o intervalo entre a chegada de um cliente e outro no caixa que mais ocorre é de 1 minuto.

Também se pode observar que o valor mínimo entre zero e o valor máximo é 12 minutos, o que indica um intervalo grande de tempo entre a chegada de um cliente e o imediatamente seguinte. Particularmente, quando se verifica a moda de 1 minuto.

Quando se analisa a dispersão, pode-se notar uma amplitude elevada em relação ao padrão da amostra. O intervalo de tempo de 12 minutos pode ser um valor atípico. Você pode utilizar um gráfico de pontos como um recurso auxiliar para confirmar isso na sua análise, conforme o mostrado na **Figura 4.6**.

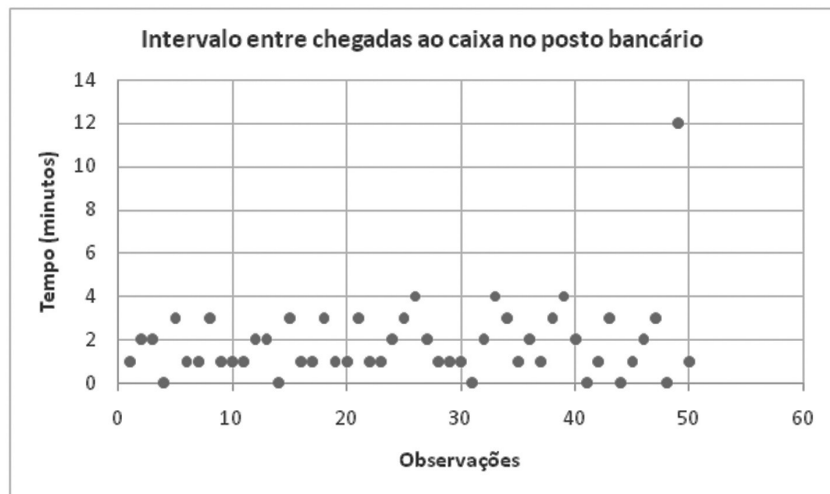


Figura 4.6: Dispersão da amostra do posto bancário.

No gráfico, pode-se verificar que o valor observado de 12 minutos entre as chegadas sucessivas entre um cliente e outro está afastado em relação aos demais dados da amostra, indicando que se trata de um elemento discrepante.

Decidir se este será retirado da amostra depende da confirmação de que ele é um *outlier* e também de que não representa um comportamento típico do sistema em estudo.

A ocorrência de *outliers* é uma situação a que está sujeito todo levantamento de dados. Conceitualmente, eles podem ser definidos como valores não usuais, resultantes de erro na coleta dos dados ou da ocorrência de eventos raros. Trata-se de um valor individual ou um conjunto de valores que está fora do padrão geral.

Um *outlier* afeta os resultados do estudo, pois distorce as estimativas, os níveis de variância e de significância estatística. No caso de sua utilização num modelo de simulação, pode levar a conclusões equivocadas, pois vai gerar dados de saída distorcidos.

A decisão sobre se um dado será retirado ou não de uma amostra depende da confirmação de que este se trata efetivamente de um dado atípico. Caso se verifique tratar-se de um padrão do fenômeno observado, este deve ser mantido.

Um dos métodos utilizados para a identificação de *outliers* em uma amostra é por meio da utilização da amplitude interquartil, que consiste na construção de um intervalo de valores a partir dos quartis da amostra. Essa faixa de valores pode ser definida com base em cinco medidas, que são: o valor limite mínimo, o primeiro quartil, a mediana, o terceiro quartil e o valor limite máximo observado. Os valores dos limites mínimo e máximo são calculados com base nos quartis (Q1 e Q3) e no intervalo interquartil. De forma sumarizada temos:

Mínimo Q1 Mediana Q3 Máximo

Conhecida a mediana, devem ser realizados os seguintes passos:

1. Determinar o primeiro quartil (Q1) e o terceiro quartil (Q3).
2. Calcular a amplitude interquartil (AIQ), que é a diferença entre Q3 e Q1, dada por $AIQ = Q3 - Q1$.
3. Calcular o valor mínimo, aplicando a regra “1,5 x AIQ”, que é dado por $Min = Q1 - (1,5 \times AIQ)$.
4. Calcular o valor máximo, aplicando a regra “1,5 x AIQ”, que é dado por $Max = Q3 + (1,5 \times AIQ)$.

Aplicando essa técnica ao exemplo da agência bancária, temos os resultados consolidados no **Quadro 4.2**:

Quadro 4.2: Cinco medidas sumarizadas da amostra

Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
-2	1	1,5	3	6

Neste caso, o dado referente ao intervalo de tempo de 12 minutos é um valor discrepante da amostra, configurando-se como um *outlier*. Se este não representar um padrão típico do sistema observado, deve ser excluído da amostra.

Para efeito didático, vamos considerar tratar-se de um dado atípico e, portanto, que deva ser retirado. Os resultados estão consolidados na **Tabela 4.3:**

Tabela 4.3: Estatística descritiva com e sem outlier no posto bancário

		Com outlier	Sem outlier
Medidas de posição	Mínimo	0	0
	Máximo	12	4
	Média	1,92	1,71
	Mediana	1,5	1
	Moda	1	1
Medidas de dispersão	Amplitude	12	4
	Desvio-padrão	1,81	1,099
	Variância da amostra	3,29	1,2
	Coeficiente de variação	94,62%	64,12%

A análise comparativa da **Tabela 4.3** permite avaliar o impacto da retirada do *outlier* da amostra utilizada no exemplo da agência. Houve

redução nos valores da média e mediana. Além disso, observadas as medidas de dispersão, verifica-se a redução significativa na variação e nos desvios da amostra, confirmada pela variância, coeficiente de variação e desvio-padrão.

Um modo visual de representar o *outlier* é por meio do gráfico denominado *box-plot*, no qual o dado discrepante é representado pelo valor que fica fora dos limites inferior ou superior. A **Figura 4.7** mostra um modelo para o exemplo da agência bancária.

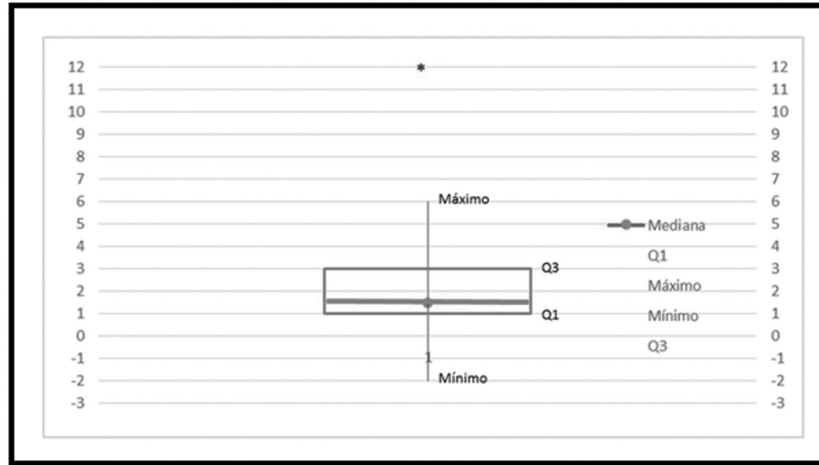


Figura 4.7: Box-plot do posto bancário.

Retirado o *outlier* da amostra, é necessário verificar se esta é constituída de uma sequência de valores independentes e identicamente distribuídos, o que significa que não há correlação entre as observações. Uma maneira de se verificar de forma rápida isso é por meio de um gráfico de dispersão, conforme mostrado na **Figura 4.8**:

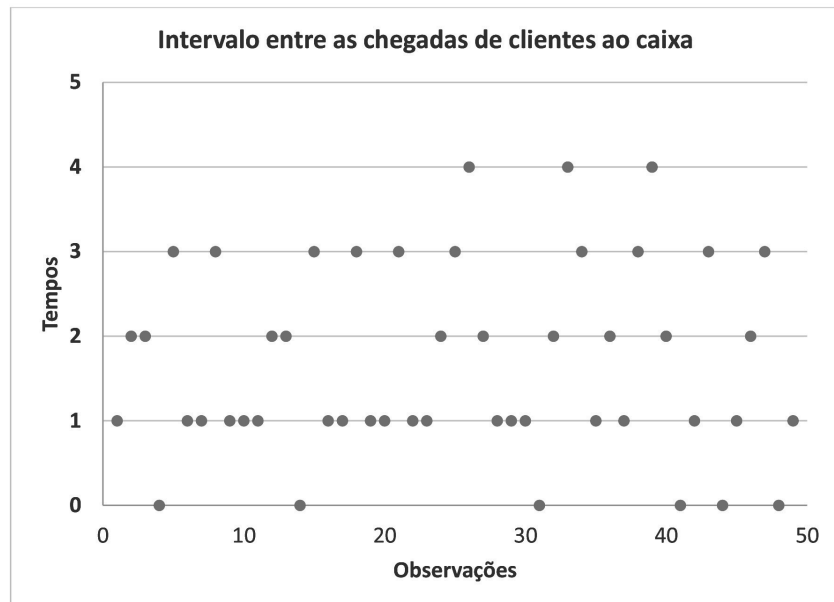


Figura 4.8: Gráfico de dispersão.

Impacto da retirada do outlier da amostra da agência bancária

		Com outlier	Sem outlier	Impacto %
Medidas de posição	Mínimo	0	0	0,00
	Máximo	12	4	66,67
	Média	1,92	1,71	10,94
	Mediana	1,5	1	33,33
	Moda	1	1	0,00
Medidas de dispersão	Amplitude	12	4	66,67
	Desvio-padrão	1,81	1,099	39,28
	Variância da amostra	3,29	1,2	63,53
	Coefficiente de variação	94,62%	64,12%	32,23

Inferência

A terceira fase, a inferência, segundo Chwif (2010) é aquela na qual se utilizam cálculos de probabilidade para se obter um modelo representativo do comportamento aleatório dos dados relativos às variáveis de entrada.

Essencialmente, o que se espera ao final desta fase é obter uma distribuição de probabilidade teórica que tenha aderência aos dados reais coletados, sendo possível a sua utilização como um parâmetro do modelo computacional.

Os dois passos fundamentais para descobrirmos a consistência dos dados são: a construção de um histograma da amostra e a realização de testes de aderência, para verificar a adequação da distribuição aos dados coletados.

Os dois testes mais comumente utilizados para verificação de aderência são o do qui-quadrado e o de Komolgorov-Smirnov. O primeiro se baseia no cálculo dos desvios entre as frequências acumuladas observadas em cada classe e as frequências teóricas do modelo escolhido nas referidas classes. O segundo compara a função acumulada do modelo teórico com a função acumulada de probabilidade relativa aos valores observados.

Nesta fase, você vai utilizar o Stat::fit para fazer a inferência. Para isso, abra o arquivo do exemplo da agência bancária, que você criou anteriormente, e siga o seguinte caminho: clicar em AUTOFIT na barra superior e marcar “discrete distributions” e “lower bound”. Em seguida, clicar em OK. Veja a Figura 4.9:

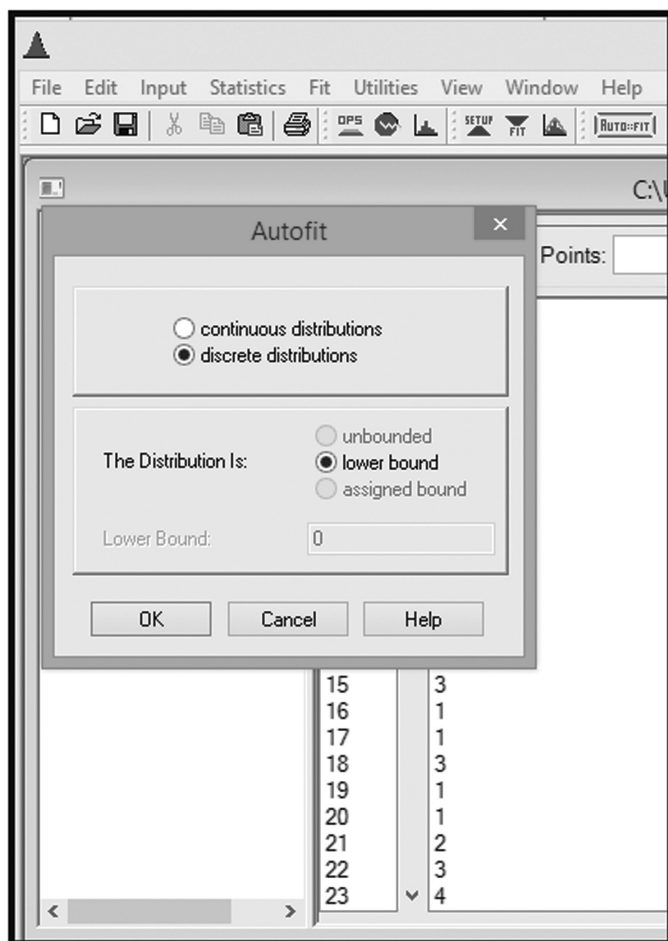


Figura 4.9: Realizando inferência no Stat::fit:

A **Figura 4.10**, mostra os resultados da inferência feita pelo auto ajuste do Stat::fit.

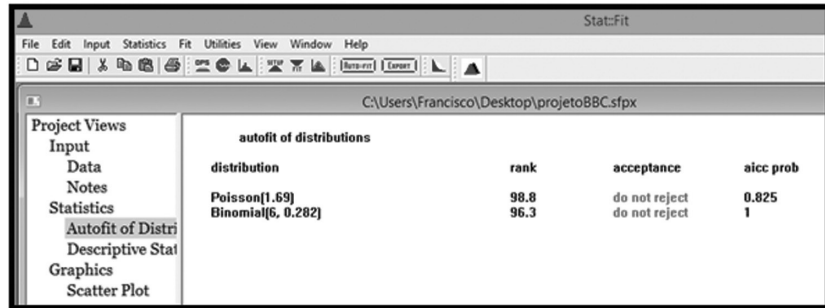


Figura 4.10: Resultados gerados no Stat::fit.

Um conceito importante da estatística que você deve relembrar é que a distribuição de Poisson é discreta e representa a frequência de chegadas de clientes. Se clientes chegam com uma frequência representada por Poisson, o tempo entre chegadas segue uma distribuição contínua exponencial. São abordagens equivalentes.

Para o nosso exemplo, as duas distribuições que melhor aderem aos valores observados são a de Poisson e a binomial, nesta ordem. A distribuição de Poisson é típica de processos de chegada. A **Figura 4.11** permite verificar o histograma dos dados e sua relação com a distribuição de Poisson.

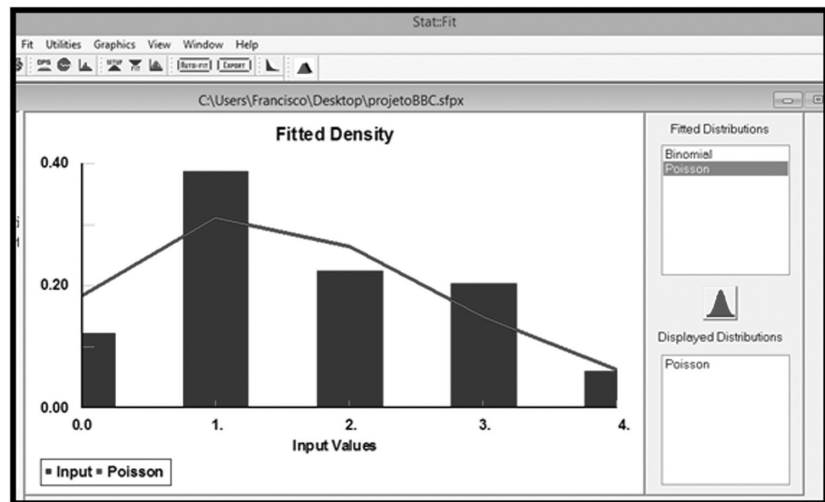


Figura 4.11: Histograma da função densidade.

Qual das duas distribuições identificadas após o teste de aderência realizado melhor se ajustou aos dados: a Poisson ou a binomial? Utilizando o critério do “*p-value*”, o Stat::fit indicou a distribuição do Poisson como a que melhor se ajusta. O “*p-value*” ou nível descritivo representa o menor nível de significância que pode ser assumido para rejeitar a aderência.

Para isso, ele utilizou um nível de significância (0,05). Se o valor obtido para a amostra (para um certo parâmetro) for menor que o nível crítico observado, a hipótese não é rejeitada e a distribuição é aceita como aderente. Mais detalhes sobre este tema podem ser vistos em Chwif (2010), mais precisamente na página 42 da referida obra.

Para fazer estes testes no Stat::fit, você deve utilizar o seguinte caminho: Fit → Goodness of Fit. As **Figuras 4.12, 4.13 e 4.14** mostra os resultados do ajuste dos dados utilizando o qui-quadrado e *Komolgorov-Smirnov*.

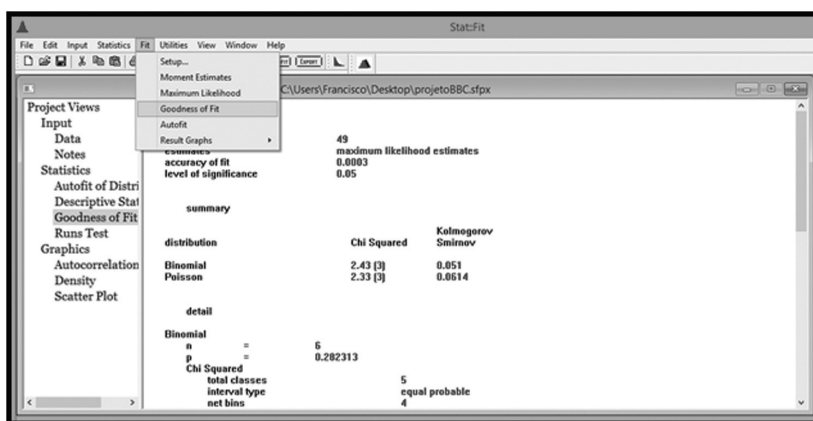


Figura 4.12: Teste de aderência no Stat::fit.

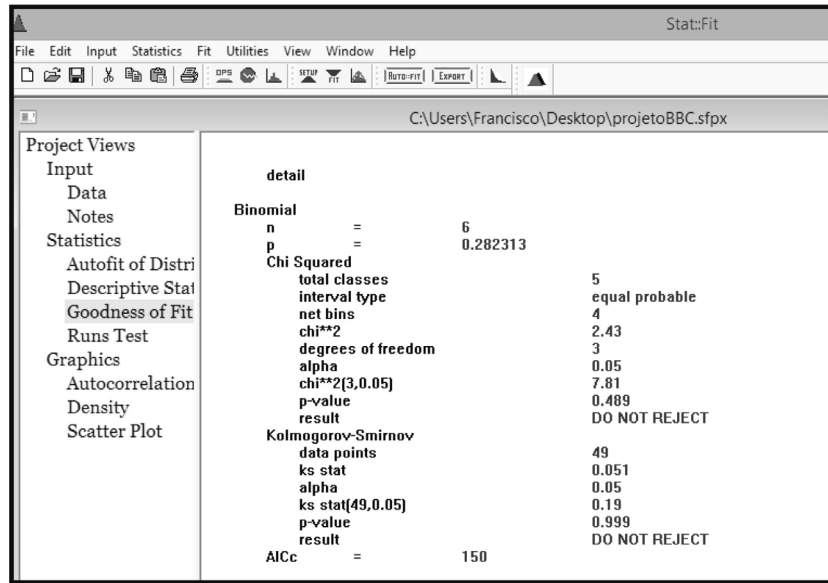


Figura 4.13: Teste de aderência binomial.

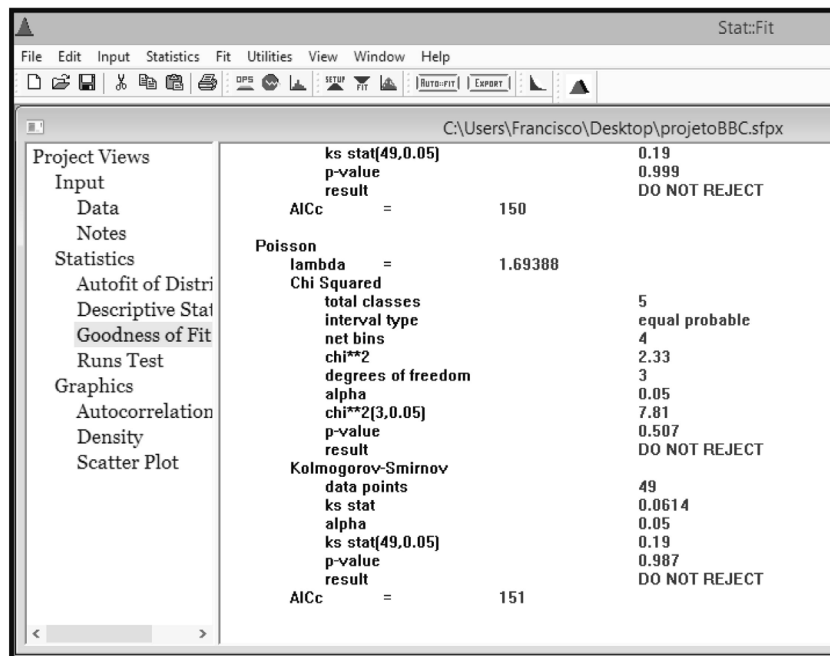


Figura 4.14: Teste de aderência Poisson.

Conclusão

A modelagem dos dados de entrada é uma atividade fundamental para assegurar a qualidade do processamento gerado na simulação, assim como dos dados de saída que irão compor os relatórios analíticos, que servirão de base para a análise e de apoio para a tomada de decisão pelos gestores.

No mesmo sentido, a modelagem dos dados de entrada assegura que se terá uma amostra estatisticamente confiável e que represente adequadamente a amostra e o fenômeno em estudo.

Atividade final

Atendem aos objetivos 1, 2, 3, 4 e 5

A tabela a seguir relaciona os dados observados relativos aos intervalos entre as chegadas de navios para atracar num porto. Utilizando os recursos do Stat::fit, aplique a metodologia de modelagem dos dados de entrada. Utilize como critério a inclusão dos dados por linha da tabela. Pede-se:

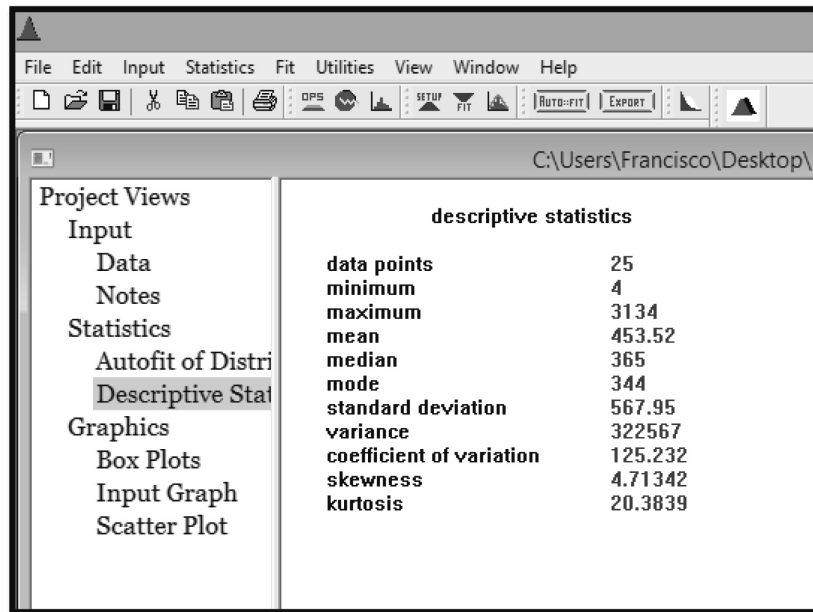
- a) Identifique as principais medidas de posição e de dispersão.
- b) Faça a análise para verificação da presença de *outliers* na amostra.
- c) Construa uma tabela que mostre o impacto da retirada dos *outliers* da amostra (se houver ocorrência destes).
- d) Faça o processo de inferência e o teste de aderência da distribuição de probabilidade identificada.

Intervalo entre chegadas de navios (minutos)

356	408	363	415	389
400	344	393	10	365
390	362	384	399	374
403	4	366	332	360
353	3.134	344	336	354

Resposta comentada

a) As principais medidas estatísticas são mostradas na figura e na tabela, apresentadas a seguir:



Estatística descritiva

Medidas estatísticas

Medidas de posição	Mínimo	4
	Máximo	3134
	Média	453,52
	Mediana	365
	Moda	344
Medidas de dispersão	Amplitude	3130
	Desvio-padrão	567,95
	Variância da amostra	322567
	Coefficiente de variação	125,23%

b) Na amostra observada, a amplitude – que é dada pela diferença entre o valor máximo e o valor mínimo – é muito elevada num conjunto de 25 valores. Isso resulta em variabilidade alta, o que sugere a presença de pelo menos um valor discrepante. O gráfico de dispersão mostrado na figura a seguir sugere a presença de pelos menos três valores atípicos na amostra.

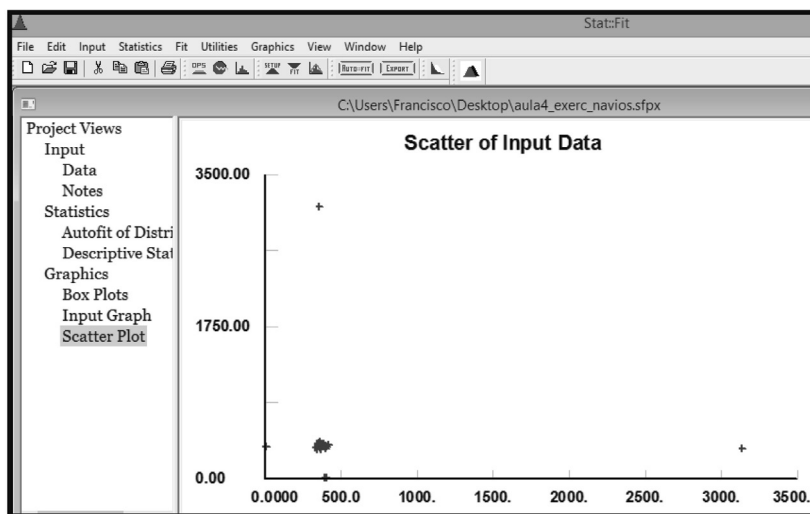


Gráfico de dispersão

O quadro abaixo consolida as cinco medidas sumárias, obtidas por meio da metodologia de cálculo do intervalo interquartil para identificação de *outliers*.

Medidas sumarizadas

Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
293	353	365	393	453

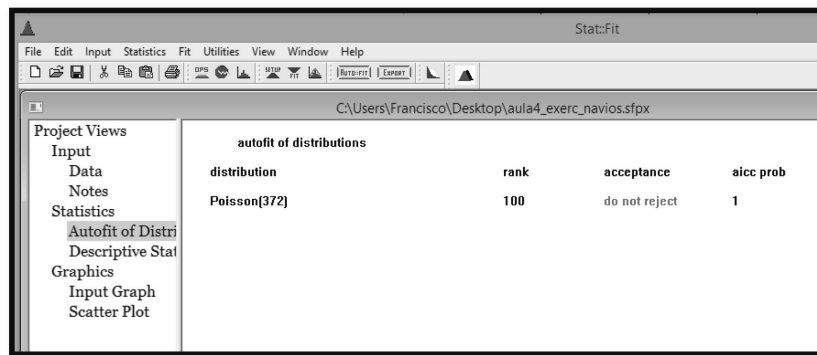
Os resultados permitem verificar que os valores 4, 10 e 3134 da amostra estão fora da faixa de dados, abaixo ou acima dos limites mínimo e máximo calculados, confirmando serem atípicos.

c) A tabela a seguir consolida os impactos da retirada dos valores atípicos da amostra, resultando em modificações significativas tanto nas medidas de posição quanto nas medidas de dispersão.

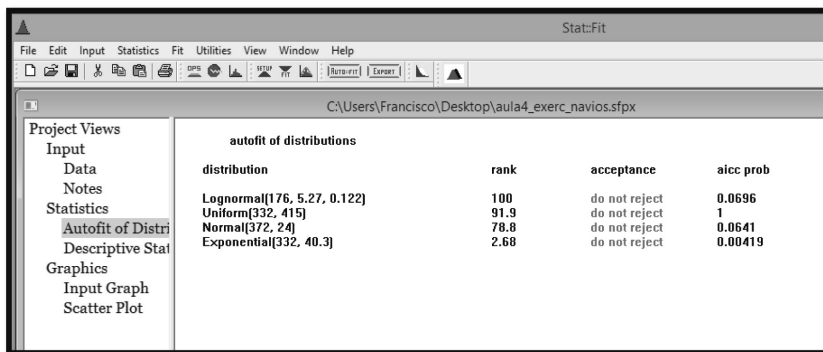
Impacto da retirada de outliers

		Com outlier	Sem outlier	Impacto %
Medidas de posição	Mínimo	4	332	82,00
	Máximo	3134	415	86,76
	Média	453,52	372,33	17,91
	Mediana	365	365,5	-0,14
	Moda	344	344	0,00
Medidas de dispersão	Amplitude	3130	83	97,35
	Desvio-padrão	567,95	24,53	95,68
	Variância da amostra	322567	601,63	99,81
	Coefficiente de variação	125,23%	6,59%	94,74

d) O processo de inferência indicou que a distribuição discreta de Poisson é a que melhor se ajusta aos valores observados na amostra. No caso das distribuições contínuas, são a lognormal, a uniforme, a normal e a exponencial, nesta ordem. As figuras a seguir ilustram estes ajustes. Como processos de chegada são eventos tipicamente discretos, a função a ser considerada é a de Poisson.

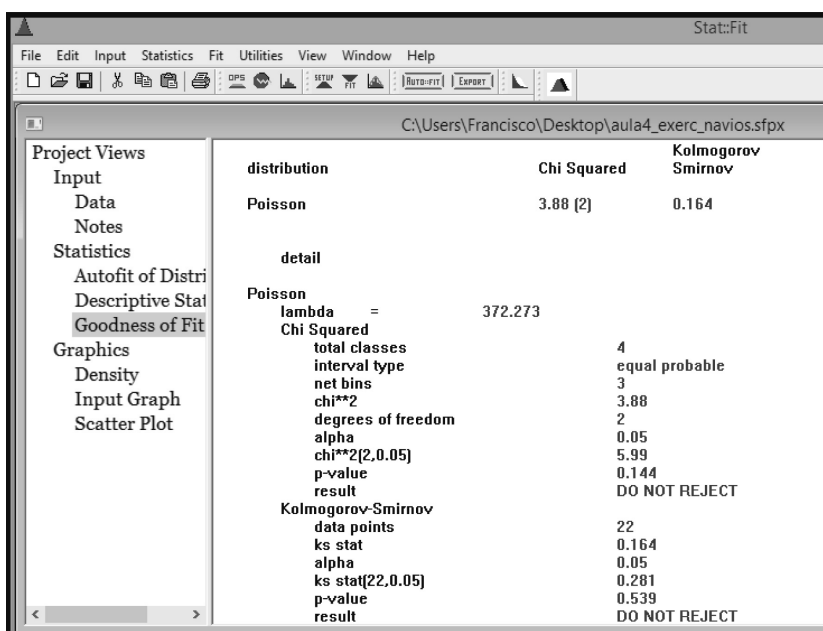


Autoajuste de distribuições discretas.



Autoajuste de distribuições contínuas.

Os testes de aderência realizados foram o qui-quadrado e o de Kolmogorov-Smirnov, com nível de significância de 0,05. A figura abaixo mostra o resultado do teste para a distribuição de Poisson.



Teste de aderência distribuição de Poisson.

Resumo

Nesta aula, você aprendeu como aplicar uma metodologia de modelagem de dados de entrada, a partir de um exemplo prático. Do mesmo modo, pôde utilizar um software para a análise estatística, inferência e realização de testes de aderência.

Além disso, aprendeu como lidar com a presença de *outliers* numa amostra, de modo a assegurar a efetividade da representação dos fenômenos em estudo, principalmente nas questões relacionadas à aleatoriedade.

Referências

CWIF, L. *Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações*. 3. ed. São Paulo: Ed. do Autor, 2010.

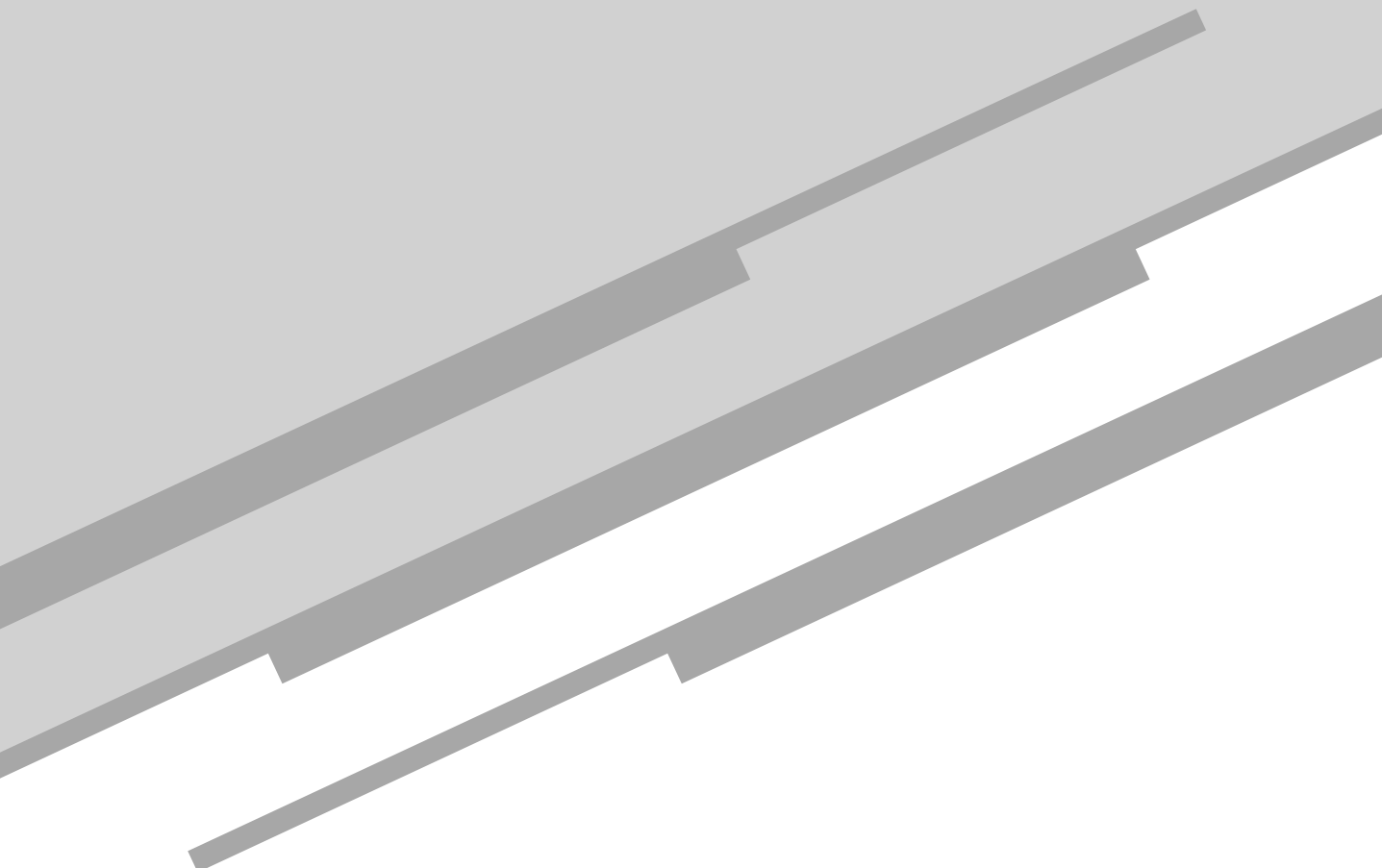
MARTIN, N.; DEPAIRÁ, B.; CARIS, A. A Synthesized Method for Conducting a Business Process Simulation Study. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, p. 276-290, Gothenburg, Sweden, 2018.

STURROCK, D. T. Avoid Failures! Tested Success Tips for Simulation Project Excellence. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, p. 252-260, Gothenburg, Sweden, 2018.

MOORE, D. S.; NOTZ, W. I.; FLIGNER, M. A. *The Basic Practice of Statistics*. 7. New York: W.H.Freeman, c2015.

Aula 5

Criação do modelo conceitual



Meta

Apresentar a metodologia e as técnicas de criação e especificação do modelo conceitual.

Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. identificar as técnicas mais comuns para elaboração do modelo conceitual: ACD (*Activity Cycle Diagram*, ou ciclo atividades das entidades) e abordagem de processos;
2. elaborar um modelo conceitual de um sistema;
3. fazer a especificação de um estudo de simulação com base no modelo conceitual.

Introdução

Na aula anterior, você aprendeu sobre a modelagem dos dados; em particular, sobre a modelagem relacionada às variáveis de entrada. Viu também que a aleatoriedade ocorre nos eventos da maioria dos sistemas que podem ser simulados, o que leva à necessidade de tratamento estatístico dos dados a serem utilizados como parâmetros.

Aprendeu como realizar as três etapas da modelagem dos dados de entrada: a coleta, o tratamento estatístico e a inferência, utilizando o software **Stat::fit**. E, ainda, a identificar os *outliers* de uma amostra e quais considerações deve fazer quanto à manutenção ou exclusão destes *outliers*. Por fim, pôde identificar as distribuições de probabilidades relacionadas aos dados coletados.

Nesta aula, o tema será a modelagem conceitual. Nela, você estudará os fundamentos, métodos e técnicas relacionados à elaboração deste tipo de modelo que é fundamental na simulação.

Modelo conceitual

O ponto de partida nesta etapa está relacionado ao conceito de abstração, que essencialmente significa identificar os elementos relevantes de um sistema e, a partir disso, trazê-los para o modelo.

Quando você percorre, por exemplo, uma linha de produção, ao final, tem uma ideia, uma abstração de como é aquele sistema. Colocar essa ideia no papel, de forma estruturada e esquemática, é o que se faz na modelagem conceitual, por meio de algum método ou alguma técnica que seja adequada para tal finalidade.

A modelagem conceitual é uma etapa fundamental de um estudo de simulação, que serve de base para a elaboração do modelo computacional, fase imediatamente posterior a esta, na qual se realiza a codificação em linguagem própria. Além disso, a modelagem conceitual auxilia no entendimento do sistema em estudo e, em muitos casos, na identificação de possíveis soluções alternativas ao problema que se deseja tratar.

Construção de modelos conceituais

As formas de modelagem e de representação conceitual de modelos de simulação de mais fácil entendimento são as técnicas de:

1. ACD (*Activity Cycle Diagram*), ou ciclo atividades das entidades.
2. Abordagem de processos baseada em fluxogramas.

ACD

Segundo Cwif (2010), o ACD é uma forma de modelagem das interações entre os objetos pertencentes a um sistema, que utiliza dois símbolos somente, para descrever o ciclo de vida das entidades ou dos objetos do sistema. Os símbolos são: uma circunferência, que representa uma fila (ou estado de espera), e um retângulo, que representa uma atividade.

Uma fila é denominada também de estado passivo ou estacionário, no qual não há cooperação entre as diferentes entidades do sistema. Em geral, é uma condição na qual a entidade está no aguardo de que alguma atividade ou atendimento sejam iniciados.

O estado ativo é aquele no qual as diferentes classes de entidades cooperam entre si na realização de algumas atividades, que têm tempo de duração definido. Esse tempo, em geral, é definido pela amostragem aleatória de uma determinada função de probabilidade.

No ACD, o ciclo de vida das entidades considera os dois estados para cada entidade: passivo e ativo. Para facilitar o entendimento desta técnica de modelagem conceitual, vamos considerar o exemplo da agência bancária da nossa aula anterior. Assim, temos duas entidades iniciais: o cliente e o caixa (entidade-recurso). Cada uma dessas entidades estará em estado passivo ou ativo, dependendo do momento, ao longo do tempo:

1. O cliente ou estará esperando na fila para ser atendido (estado passivo) ou estará sendo atendido (estado ativo). A **Figura 5.1** mostra o ciclo de vida individual dos clientes.

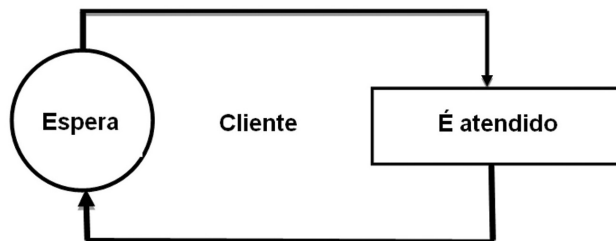


Figura 5.1: Ciclo de vida individual dos clientes.

2. O caixa também ficará em situação semelhante: ou esperando para atender (estado passivo) ou atendendo a um cliente (estado ativo). A **Figura 5.2** mostra o ciclo de vida individual do caixa.

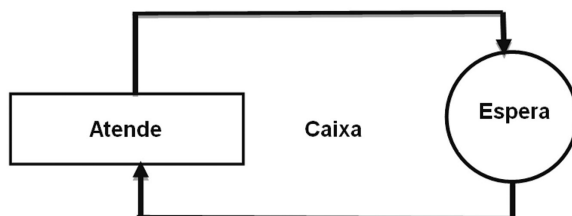


Figura 5.2: Ciclo de vida individual do caixa.

A *atividade comum* na qual ambas as entidades estão envolvidas e em que há uma forma de cooperação é a relacionada ao atendimento, que vamos denominar por “*Atender*”. A **Figura 5.3** mostra o ACD completo para o exemplo da agência bancária.

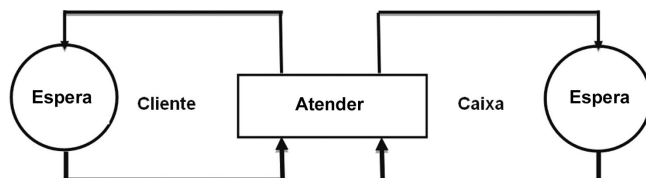


Figura 5.3: Ciclo de vida completo das entidades.

As principais vantagens em se utilizar um modelo por meio das técnicas de ACD, segundo CWIFT (2010), são:

- simplicidade, pois com apenas dois símbolos é possível desenvolver um modelo de simulação;
- facilidade de mostrar explicitamente as interações entre as entidades de um sistema e seus fluxos;
- facilidade de entendimento e utilização.

Algumas desvantagens devem ser consideradas:

- Os diagramas se tornam ininteligíveis à medida que aumenta a complexidade do sistema.

- É difícil capturar toda a lógica do modelo no formato ACD, pois este não mostra claramente as disciplinas das filas. É possível visualizar o fluxo lógico, mas não a lógica do sistema como um todo.

No caso de modelos pequenos, com poucas entidades, poucas atividades e baixa complexidade, o ACD pode ser utilizado com relativa facilidade.

Abordagem de processos por meio de fluxogramas

A abordagem da modelagem por meio do ACD é baseada em atividades e eventos, considerando estados ativos e passivos das entidades no sistema. A visão da modelagem conceitual baseada em processos deixa o modelo com maior percepção do fluxo e da lógica do sistema como um todo. Essa é uma das vantagens que essa abordagem possui, pois facilita a realização da etapa de modelagem computacional.

Os principais símbolos utilizados nesta técnica de modelagem são apresentados a seguir, na **Figura 5.4**:

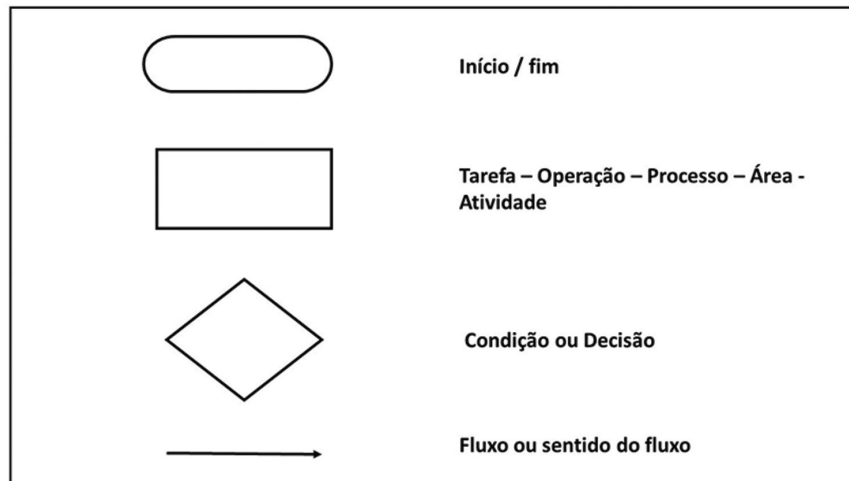


Figura 5.4: Símbolos básico do fluxograma.

Para facilitar o entendimento desta técnica de modelagem conceitual, vamos considerar o exemplo da agência bancária da nossa aula anterior. Assim, temos duas entidades iniciais: o cliente e o caixa (entidade-recurso).

O fluxo dos clientes no sistema é o seguinte: o cliente entra na agência e se dirige ao caixa para receber o atendimento. Caso, ao chegar, encontre

outro cliente sendo atendido, ficará na fila de espera. Do contrário, será atendido e depois sairá do sistema. O modelo conceitual é apresentado na **Figura 5.5**:

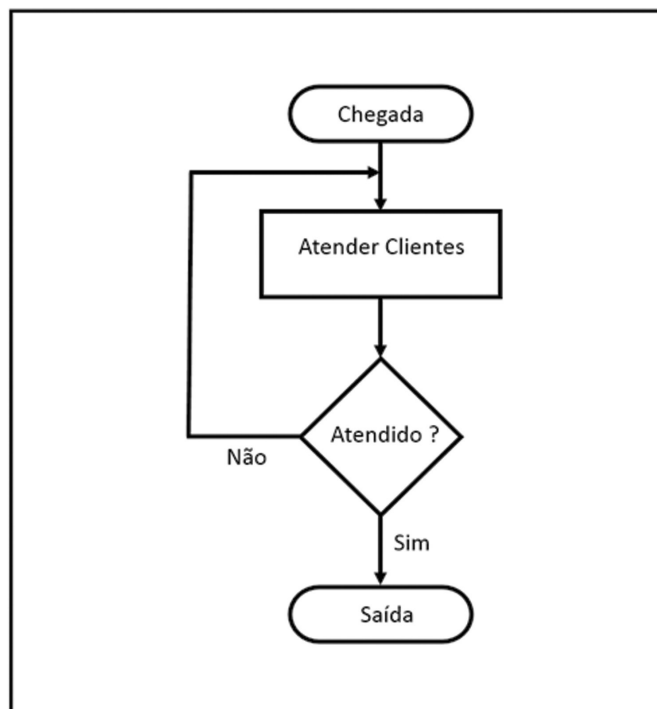


Figura 5.5: Modelo conceitual do sistema de caixa da agência.

Caso você deseje indicar o estado estacionário da entidade no sistema da agência bancária que estamos utilizando como exemplo, poderá inserir uma circunferência indicando esta condição. Nos modelos de simulação, a fila representa esse estado estacionário como sendo um local onde a entidade espera por atendimento ou no qual alguma atividade seja realizada, como mostra a **Figura 5.6**.

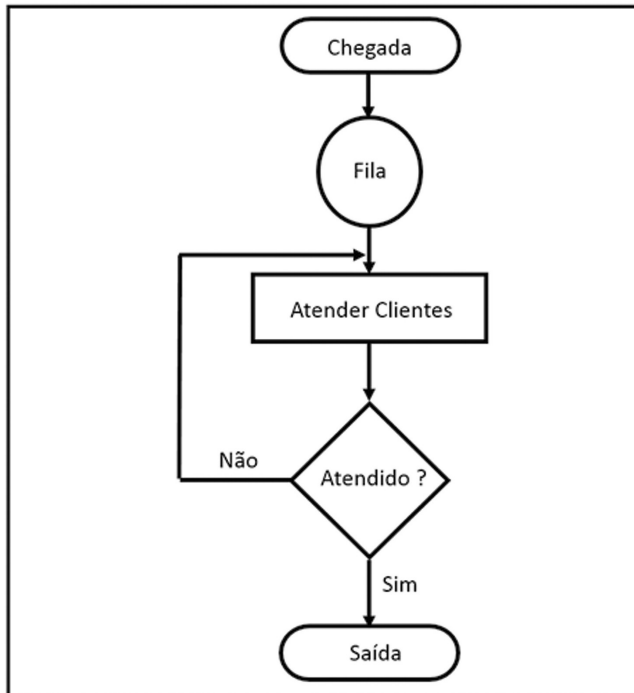


Figura 5.6: Modelo conceitual do sistema de caixa da agência com fila.

A abordagem de processos é bastante útil para a compreensão do sistema, dos seus limites, da sua lógica e do fluxo das entidades. Do mesmo modo, auxilia na identificação das variáveis de entrada e de saída do modelo, assim como na especificação de entidades e recursos. Por fim, possibilita identificar a existência de filas e potenciais gargalos no sistema.

Como o modelo conceitual é a base para a codificação do modelo computacional, uma etapa importante é fazer o detalhamento de sua especificação, identificando os elementos essenciais e suas características principais, como por exemplo:

1. Quais são as entidades?
2. Qual o escopo do modelo?
3. Quais são as entradas (e variáveis associadas às entidades)?
4. Quais recursos serão utilizados?
5. Quais são os processos/atividades?
6. Quais fluxos serão considerados?
7. Quais são as saídas (medidas de desempenho que representam respostas do sistema)?

A resposta a estas questões auxiliam não somente na compreensão do sistema como na validação do modelo conceitual desenvolvido. Esta etapa também facilita a codificação do modelo computacional que é o passo seguinte.

Atividades

1. Responda ao que se pede:

a) O que é o ACD?

b) Quais as principais vantagens e desvantagens do ACD?

c) O que diferencia o ACD da abordagem de processos via fluxograma?

2. No caso do exemplo da agência bancária utilizado nesta aula, faça a especificação do modelo. Utilize as perguntas abaixo como guia para você resolver esta atividade:

a) Quais são as entidades?

b) Qual o escopo do modelo?

c) Quais são as entradas (e variáveis associadas às entidades)?

d) Quais recursos serão utilizados?

e) Quais são os processos/atividades?

f) Quais fluxos serão considerados?

g) Quais são as saídas (medidas de desempenho que representam respostas do sistema)?

3. Após ter respondido ao item 2 e considerando o modelo conceitual apresentado na **Figura 5.6**, identifique e relacione os principais elementos que descrevem o sistema, associando-os aos componentes do fluxograma.

Respostas comentadas

1. a) O ACD é uma técnica de modelagem conceitual das interações entre os objetos pertencentes a um sistema para descrever o ciclo de vida das entidades neste sistema.

b) As principais vantagens são: facilidade de entendimento, utilização e simplicidade. Além disso, permite mostrar explicitamente as interações entre as entidades de um sistema e seus fluxos. As principais desvantagens são: dificuldade em capturar toda a lógica do modelo. Além disso, com o aumento da complexidade do sistema, os diagramas se tornam difíceis de entender.

c) A abordagem da modelagem por meio do ACD é baseada em atividades e eventos, considerando estados ativos e passivos das entidades no sistema. A visão da modelagem conceitual baseada em processos deixa o modelo com maior percepção do fluxo e facilita o entendimento da lógica do sistema.

2. a) Entidades: o cliente e o caixa. Neste caso o caixa é considerado como uma entidade-recurso.

b) O escopo do modelo se inicia com a chegada do cliente no sistema e termina com sua saída deste mesmo sistema após ser atendido pelo caixa.

c) As entradas do sistema são dadas pela entidade-cliente que chega ao sistema. A variável de entrada é o “intervalo entre as chegadas sucessivas de clientes”.

d) O recurso é um único posto de atendimento ocupado pela entidade-recurso caixa (atendente).

e) Há um único processo que é o de atender ao cliente. A variável associada a este processo é o “tempo de duração do atendimento pelo caixa”.

f) O fluxo considerado é o da entidade no sistema, a partir da entrada até sua saída deste sistema.

g) As medidas de desempenho do sistema são: número de clientes atendidos/unidade de tempo, taxa de ocupação ou ociosidade do caixa, número de clientes na fila, tempo que os clientes ficaram na fila, número total de clientes atendidos.

3. A **figura 5.7** mostra a resposta.

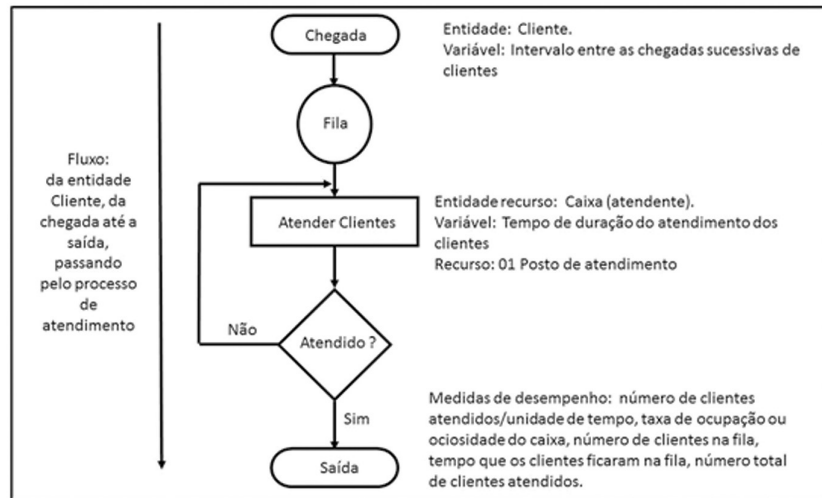


Figura 5.7: Relacionamento entre modelo conceitual e elementos descritivos.

Agora, que você já exercitou o conteúdo estudado nesta aula, vamos a mais uma atividade:

Conclusão

A modelagem conceitual é de fundamental importância, pois é a base para a codificação do modelo computacional. Um modelo conceitual vago ou mal definido pode resultar num estudo de simulação incompleto e até mesmo insuficiente. Se for abrangente demais, pode levar a um modelo computacional muito complexo que vai exigir um esforço maior que o necessário para atender aos objetivos pretendidos. O estado da prática sugere que um projeto de simulação deve ter como foco o adequado alinhamento entre o nível de detalhamento do modelo conceitual e os objetivos do estudo que se pretende fazer.

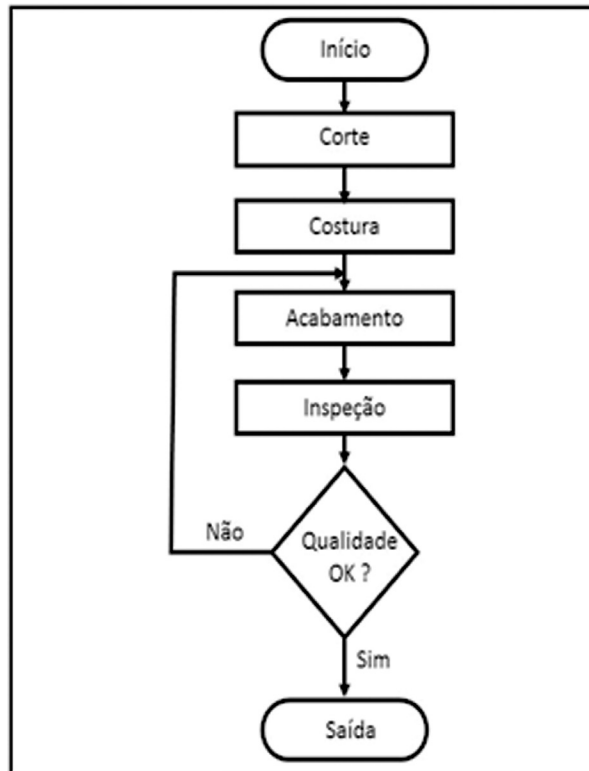


Figura 5.8: Modelo conceitual de fábrica de roupas.

2. Especificação do modelo

a) Entidades: tecido, tecido cortado, peça de roupa, roupa pronta. As entidades-recurso são: cortadeira, costureira, acabadeira (funcionária de acabamento) e inspetor de qualidade.

b) O escopo do modelo se inicia com a chegada do tecido ao processo de corte, passando pelos setores de costura e acabamento. Após a inspeção de qualidade, a peça pronta sai do sistema.

c) As entradas do sistema são dadas pela entidade tecido, que chega ao setor de corte. A variável de entrada é o “intervalo entre as chegadas sucessivas de tecidos”.

d) Os recursos disponíveis: no setor de corte – duas máquinas cortadeiras e duas cortadeiras (entidade-recurso); no setor de costura – duas máquinas de costura e duas costureiras (entidade-recurso); no acabamento: uma funcionária de acabamento (entidade-recurso), e na inspeção de qualidade: um inspetor de qualidade (entidade-recurso).

e) Há quatro processos: corte, costura, acabamento e inspeção. As variáveis associadas a este processo são, por exemplo:

Processo de corte:

Tempo de duração da operação de corte da cortadeira 1

Tempo de duração da operação de corte da cortadeira 2

Processo de costura:

Tempo de duração da costura da costureira 1

Tempo de duração da costura da costureira 2

Processo de acabamento:

Tempo de duração do acabamento da funcionária de acabamento 1

Processo de inspeção:

Tempo de duração da inspeção do inspetor de qualidade

a) O fluxo considerado é o da entidade-tecido no sistema, a partir da entrada até a saída da roupa pronta. Ao longo do fluxo, as entidades mudam de acordo com o processo de transformação pelo qual passaram. No fluxo, a entidade inicial é o tecido e a entidade final é a roupa pronta.

b) As medidas de desempenho do sistema (variáveis de saída) são, por exemplo:

Em relação aos recursos:

Taxa de ocupação da cortadeira1

Taxa de ocupação da cortadeira2

Taxa de ocupação da costureira1

Taxa de ocupação da costureira2

Taxa de ocupação da acabadeira1

Taxa de ocupação do inspetor de qualidade

Em relação às filas:

Tempo médio de espera na fila de corte

Tempo médio de espera na fila de costura

Tempo médio de espera na fila de acabamento

Tempo médio de espera na fila de inspeção

Número de entidades na fila de corte
Número de entidades na fila de costura
Número de entidades na fila de acabamento
Número de entidades na fila de inspeção

Em relação ao sistema:

Número de roupas produzidas/unidade de tempo
Tempo total no sistema

De acordo com objetivo do estudo, você poderá escolher as variáveis de interesse para fazer as análises relativas às possíveis hipóteses que deseje avaliar.

Resumo

Nesta aula, você aprendeu como aplicar as metodologias e técnicas para a elaboração do modelo conceitual para a simulação de um sistema. Você conheceu o ACD (*Activity Cycle Diagram*, ou ciclo atividades das entidades) e a abordagem de processos (fluxograma). Além disso, aprendeu como fazer a especificação de um sistema. Tanto o modelo conceitual quanto sua especificação são a base para validação e a codificação do modelo computacional, que é o tema da próxima aula.

Referências

CHASE, R. B. *Administração da produção e operações para vantagens competitivas*. 11. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

CWIF, L. *Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações*. 3. ed. São Paulo: Ed. do Autor, 2010.

PRADO, D. S. do. *Usando o Arena em simulação*. Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2008.

STURROCK, D. T. Avoid Failures! Tested Success Tips for Simulation Project Excellence. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, p. 252-260, Gothenburg, Sweden, 2018.

Aula 6

Implementação computacional
do modelo de simulação

Meta

Apresentar a metodologia e as técnicas de criação e especificação do modelo conceitual.

Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. compreender o que é modelagem computacional e qual a sua relação com o modelo conceitual;
2. conhecer as principais características de um *software* de simulação;
3. identificar os principais elementos de programação do ProModel.

Introdução

Na aula anterior, você aprendeu sobre modelagem conceitual. Viu também as abordagens de ACD e de processos. Aprendeu também como elaborar o modelo conceitual e identificar os elementos associados a cada uma de suas etapas.

Nesta aula, o tema será a implementação computacional do modelo de simulação, na qual estudará como, a partir do modelo conceitual, dos parâmetros e variáveis relacionados a este, é feita a programação no simulador.

Modelo computacional e *software* de simulação

Após concluída a modelagem conceitual, a etapa seguinte é a codificação do modelo em estudo. Esta é a fase do desenvolvimento de um programa de computador, na qual o analista poderá utilizar uma linguagem de programação ou um pacote de simulação que serve de base para a elaboração do modelo computacional.

O uso crescente da simulação como recurso de análise de problemas e apoio para a tomada de decisão promoveu o desenvolvimento de *softwares* cada vez mais amigáveis, com facilidade de ajustes, depuração, visualização da execução, análise estatística e geração de resultados.

O *software* representa um fator crucial no uso da simulação, principalmente aqueles dotados de recursos de animação e de blocos de modelagem e programação, a exemplo do Arena e do ProModel. Porém estes não são os únicos disponíveis no mercado. Há vários outros, como: AutoMod, Extend, Flexim, Micro Saint, Simple ++, Simul8 e VisSim, para citar mais alguns.



Saiba mais

Além do ProModel, do qual você conhecerá mais nesta aula, vale a pena saber um pouco mais sobre outros dois *softwares* muito utilizados em simulação: o Arena e o Simul8.

O Arena foi lançado em 1993 e é uma evolução do primeiro *software* de simulação para computador pessoal (PC). Uma de suas características é possuir um conjunto de blocos (ou módulos) pré-programados. A construção de modelos neste *software* é simplificada pelo uso de uma interface gráfica que automatiza o processo e reduz a necessidade de digitação. Assim, basta utilizar o mouse, clicar sobre o ícone e arrastá-lo para a área de trabalho. Automaticamente, o modelo vai sendo formado. Depois, basta clicar em cada bloco e inserir as informações que forem requeridas. A **Figura 6.1** mostra um modelo construído com o Arena.

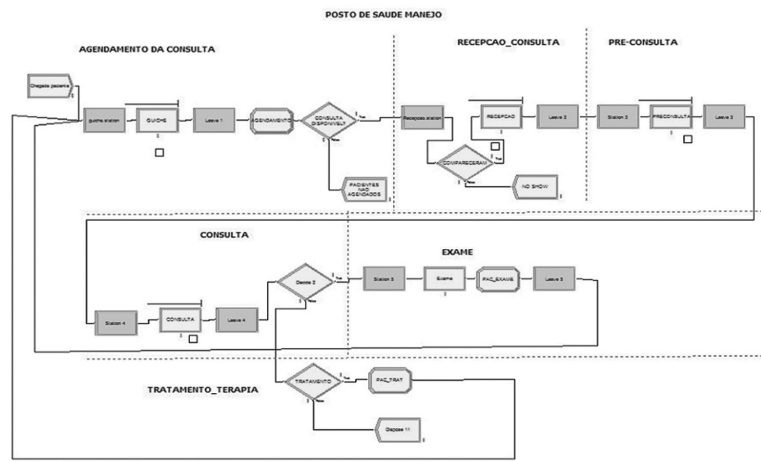


Figura 6.1: Modelo de simulação no Arena.

Fonte: Sabbadini; Gonçalves; Oliveira, 2018.

O Simul8 é outro *software* muito utilizado em simulação. De forma semelhante ao Arena, também possui modelagem gráfica e blocos pré-programados, que permitem construir modelos clicando sobre o módulo e arrastando para a área de trabalho. A **Figura 6.2** mostra um exemplo de modelo construído com o Simul8.



Figura 6.2: Modelo de simulação no Simul8.

Fonte: Software Simul8 – demo versão estudante.

Características dos softwares de simulação

Uma decisão que você deverá tomar é a escolha do produto que melhor atenda suas necessidades de codificação do modelo computacional. Um dos aspectos que deve ser considerado é a facilidade de uso e de programação.

Algumas características que tornam mais amigáveis esse processo, segundo Sabbadini (2017, p. 77), são:

- Ter seu desenvolvimento baseado em análise e programação orientada a objeto.
- Ser executável em qualquer equipamento que utilize o sistema operacional Windows.
- Possuir uma biblioteca com uma ampla variedade de entidades, recursos e elementos de programação lógica.
- Disponibilizar interface visual, que possibilite aos envolvidos no projeto de simulação a visualização, compreensão e validação do modelo.
- Possuir uma abordagem modular que possibilite ao analista utilizar programações predefinidas, associadas a recursos de animação gráfica.

Um aspecto que deve ser considerado em relação ao *software* de simulação é o fato de que o resultado de sua execução segue a lógica de entrada-processamento-saída. As características que devem ser consideradas estão consolidadas no **Quadro 6.1**.

Quadro 6.1: Fases e características de um *software* de simulação

Fases	Características
Entrada	Recurso de apontar mouse e clicar. Utilização de desenhos CAD. Importação de arquivos. Exportação de arquivos. Sintaxe compreensível. Controle interativo de execução. Interface com outra linguagem. Recurso para análise de dados de entrada.
Processamento	Modelagem complexa. Velocidade. Flexibilidade de execução. Geração de valores aleatórios. Reinicialização de estatísticas. Replicações independentes. Variáveis globais e de atributo. Flexibilidade lógica na programação. Portabilidade.
Saída	Relatórios padronizados e possibilidade de personalização. Geração de gráficos. Realidade virtual. Manutenção de bancos de dados. Medidas de desempenho específicas da aplicação. Saída em arquivos de diferentes extensões.

Fonte: Elaborado a partir de Banks (1996;1997).

Atividade 1

Atendem aos objetivos 1 e 2

1. Em que consiste a modelagem computacional?

2. Qual a relação entre o modelo computacional e o modelo conceitual?

3. Para escolher um *software* que melhor atenda suas necessidades de codificação do modelo computacional, algumas características fundamentais devem ser consideradas, como:

I - Ter seu desenvolvimento baseado em análise e programação orientada a objeto.

II - Possuir uma biblioteca com uma ampla variedade de entidades, recursos e elementos de programação lógica.

III - Possuir uma abordagem modular que possibilite ao analista utilizar programações predefinidas, associadas a recursos de animação gráfica.

É correto o que se afirma em:

- a) I, apenas.
- b) () II, apenas.
- c) () I e II, apenas.
- d) () II e III, apenas.
- e) () I, II e III.

Respostas comentadas

1. Esta é a fase do desenvolvimento de um programa de computador, na qual se utiliza uma linguagem de programação ou um pacote de simulação para codificar o modelo computacional.

2. O modelo conceitual serve de base para orientar a construção do modelo computacional.
3. e) As três afirmativas descrevem características importantes em um *software* de simulação.

Neste curso de simulação, vamos utilizar o *software* ProModel, pois ele possui a maioria das características necessárias para o seu aprendizado. Além da disponibilidade de uma versão gratuita, que permite que o estudante possa utilizar os recursos fundamentais.

Para ter acesso à versão gratuita, você deve acessar o endereço a seguir, baixar a versão *RunTimeSilver* disponível, conforme mostra a **Figura 6.3** e seguir as instruções de instalação: <http://www.belge.com.br/downloads.php>

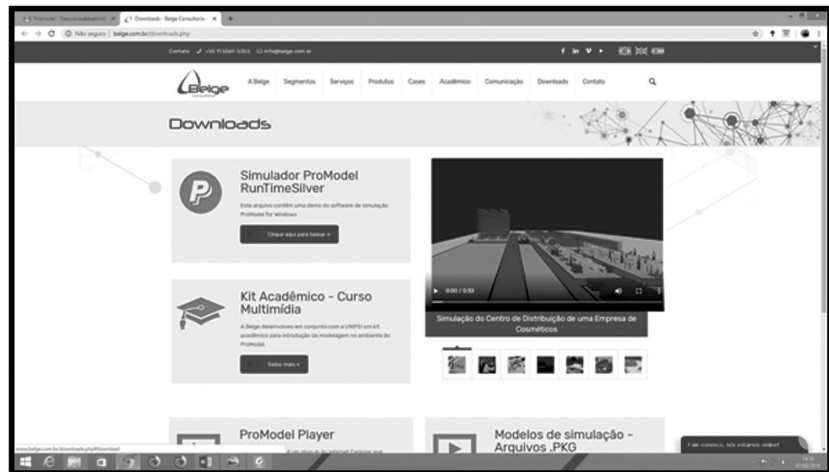


Figura 6.3: Tela de *downloads* para RunTimeSilver.
Fonte: BELGE, 2019.

Após instalar o *software*, aproveite para pesquisar modelos prontos de demonstração e casos de aplicação que estão disponíveis no endereço indicado. Mesmo que haja mudança do link no futuro, o caminho é acessar o site disponibilizado pelo fabricante.

Visão geral do ProModel

O ProModel é uma ferramenta de simulação para utilização em todos os tipos de sistemas de manufatura e cadeia de suprimentos, e que possibilita a modelagem de sistemas em diferentes níveis de complexidade.

O *software* oferece um conjunto de elementos que facilitam e tornam amigável o processo de modelagem e construção do modelo computacional. Além de ser flexível, o que permite modificações de parâmetros e ajustes a situações específicas.

A linguagem de programação inclui uma estrutura de lógica para representação do modelo conceitual, expressões booleanas, variáveis, atributos e acesso a planilhas e arquivos de texto externos. Além disso, oferece uma biblioteca de distribuições de probabilidade e o *software* Stat::Fit como recurso adicional para a inferência de dados de entrada.

O desenvolvimento do modelo é completamente gráfico e orientado a objeto, o que torna rápido e facilita o processo de modelagem computacional. A animação gráfica integrada contribui para melhorar a verificação e a validação, que são etapas necessárias para garantir que o modelo desenvolvido está com a programação e a lógica corretas, representando adequadamente o sistema real.

Os resultados gerados após a execução da simulação são apresentados em forma de gráficos e tabelas de fácil entendimento, permitindo a conveniente seleção de relatórios. Os elementos de modelagem são formados por blocos de construção utilizados para representar os componentes lógicos e físicos do sistema que está sendo modelado. Os elementos físicos, como máquinas, equipamentos e recursos, podem ser identificados gráfica ou nominalmente.

Com quatro blocos fundamentais, mostrados na **Figura 6.4**, você já consegue construir um modelo computacional básico, podendo fazer análises e avaliar cenários. São eles: Entidades, Locais, Processos e Chegadas.



Figura 6.4: Blocos de construção e modelagem.

Fonte: *Software ProModel 2016*, versão gratuita.

O bloco Entidades é utilizado para criar as entidades, que serão objeto de estudo e que vão percorrer os locais no sistema, como, por exemplo, matérias-primas, peças ou clientes, conforme mostrado na **Figura 6.5**.



Figura 6.5: Blocos de construção Entidades.

Fonte: Software ProModel 2016, versão gratuita.

O bloco Locais, mostrado na **Figura 6.6**, é utilizado para representar os espaços e ambientes em que são executadas as atividades no modelo, como atendimento a clientes, produção e filas. Nele, o arranjo físico pode ser modelado na sequência lógica do modelo conceitual, facilitando a utilização do bloco Processos.

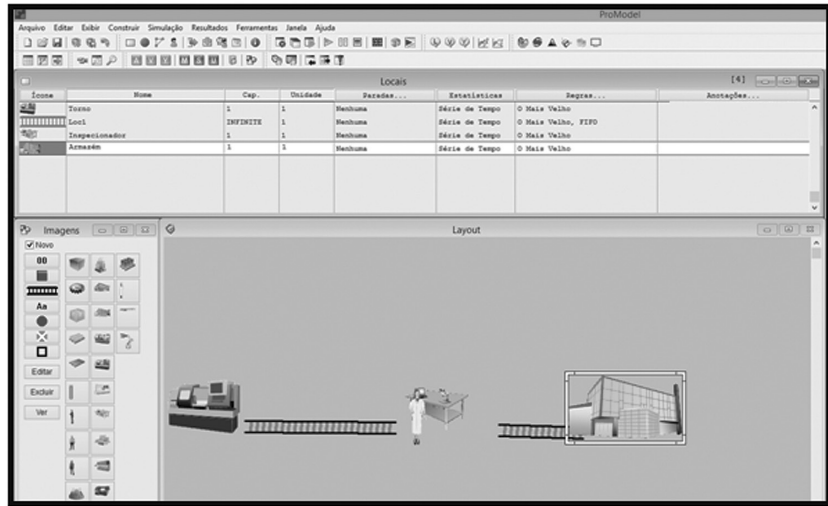


Figura 6.6: Blocos de construção Locais.
Fonte: Software ProModel 2016, versão gratuita.

No bloco Processos, mostrado na **Figura 6.7**, é representado o fluxo lógico das entidades no sistema, assim como os parâmetros relacionados aos tempos de processamento nas operações, regras de operação, condicionais e bifurcações no fluxo, quando for o caso.

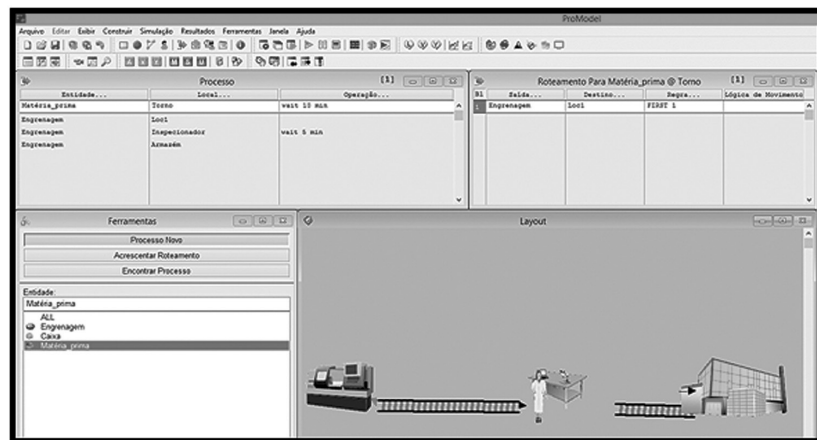


Figura 6.7: Blocos de construção Processos.
Fonte: Software ProModel 2016, versão gratuita.

Neste bloco também são inseridos comandos específicos que se fazem necessários à codificação do modelo e definido o roteamento das entidades no sistema. Para utilizar este módulo, você deverá primeiro ter criado as entidades e os locais. A **Figura 6.8** mostra dois comandos no campo “operação”.

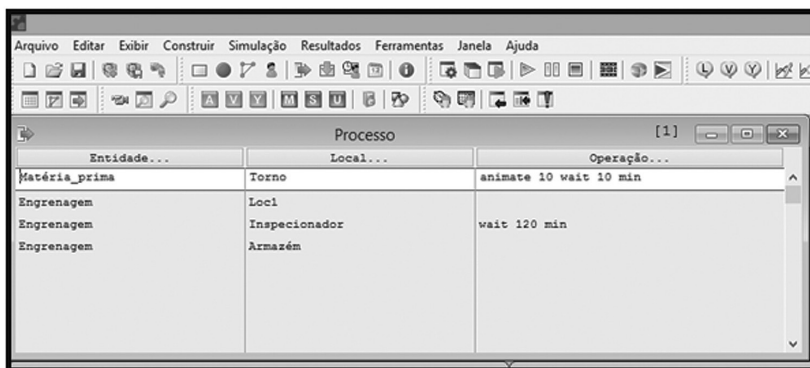


Figura 6.8: Blocos de construção Processos: entidade, local e operação.

Fonte: *Software ProModel 2016*, versão gratuita.

O comando ANIMATE é utilizado para controlar a velocidade de exibição da animação visual quando o programa de simulação for executado. O comando WAIT é utilizado para indicar o tempo de demora para realização da operação no local “Torno”, por exemplo.

O bloco Chegadas, mostrado na **Figura 6.9**, é utilizado para especificar como as entidades chegam ao sistema. Nele é especificada se a chegada é determinística, condicional ou estocástica. Distribuições de probabilidade ou planilhas com dados podem ser usadas para definir o intervalo entre as chegadas sucessivas de entidades e as quantidades que chegam ao sistema.

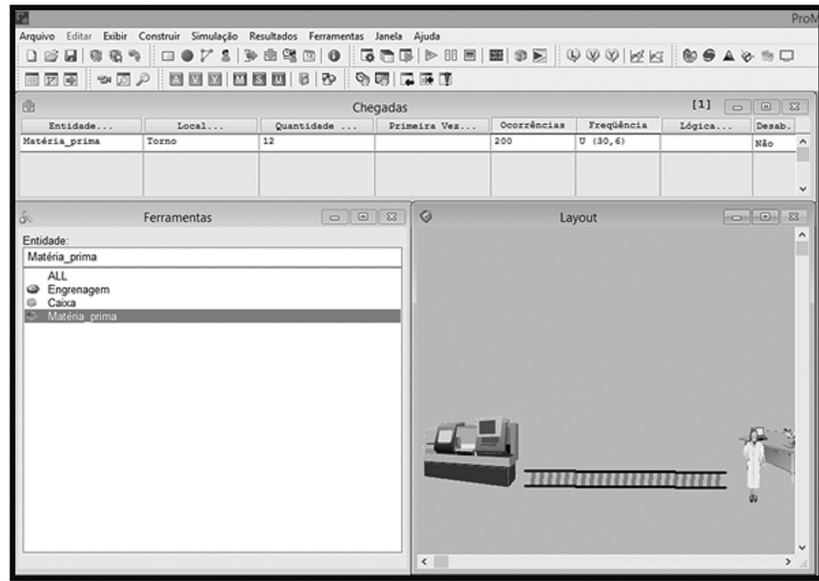


Figura 6.9: Blocos de construção Chegadas.

Fonte: Software ProModel 2016, versão gratuita.

Há diversos outros elementos e blocos de modelagem no ProModel, como: recursos, redes de caminho, atributos, variáveis. Esses componentes serão oportunamente explicados nas próximas aulas, à medida que se fizer necessário. Com os quatro blocos de construção que foram apresentados, você pode realizar uma simulação, observando a animação gráfica, mostrada na **Figura 6.10**.

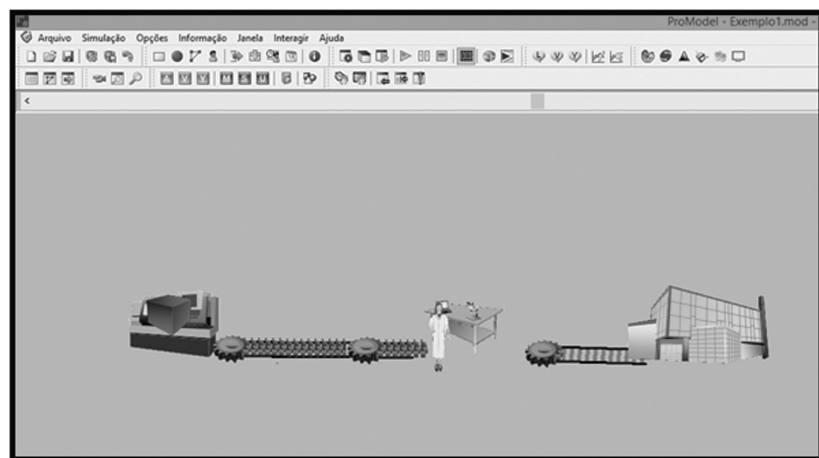


Figura 6.10: Visualização de animação gráfica.

Fonte: Software ProModel 2016, versão gratuita.

Ao final da execução da simulação, serão gerados diversos relatórios, conforme mostra a **Figura 6.11**, representativos dos indicadores relacionados às entidades, locais e aos processos do sistema em estudo.

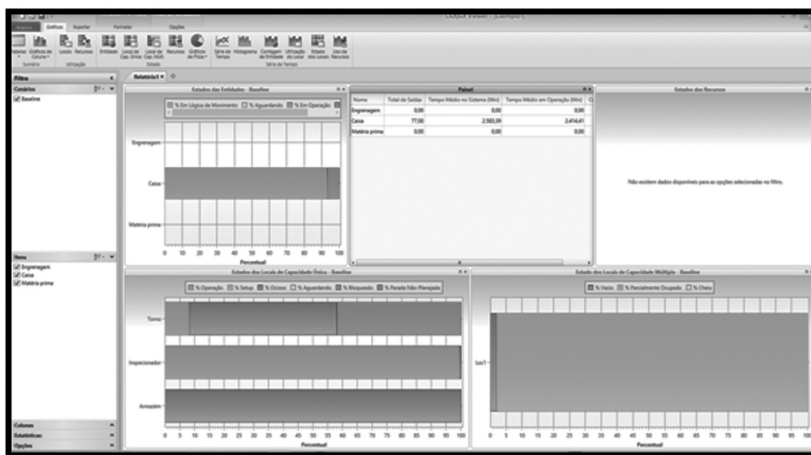


Figura 6.11: Gráficos do ProModel.

Fonte: Software ProModel 2016, versão gratuita.

Atividade 2

Atendem ao objetivo 3

1. No ProModel, os elementos de modelagem são formados por blocos de construção utilizados para representar os componentes lógicos e físicos do sistema que está sendo modelado. Relacione os grupos I e II, a seguir, e marque a opção correta:

Grupo I – Blocos de modelagem computacional

1. Entidades
2. Locais
3. Processos
4. Chegadas

Grupo II – Características-finalidade

- a) () É utilizado para especificar como as entidades chegam ao sistema.
- b) () Permite representar o fluxo lógico das entidades no sistema

- c) () Sua especificação pode ser determinística, condicional ou estocástica.
- d) () É utilizado para criar as entidades.
- e) () Nele o arranjo físico pode ser modelado na sequência lógica do modelo conceitual.
- f) () Permite definir o roteamento das entidades, regras e bifurcações condicionais.

A opção correta é:

- i. () a) (1); b) (3); c) (4); d) (1); e) (2); f) (3).
- ii. () a) (2); b) (3); c) (4); d) (1); e) (2); f) (3).
- iii. () a) (3); b) (3); c) (4); d) (1); e) (2); f) (3).
- iv. () a) (4); b) (3); c) (4); d) (1); e) (2); f) (3).
- v. () Nenhuma das respostas anteriores.

2. O comando ANIMATE é utilizado no *software* de simulação ProModel para:

- a) () Definir a velocidade da chegada das entidades no sistema.
- b) () Controlar o tempo que as entidades permanecem em cada local do sistema.
- c) () Especificar o tempo que as entidades devem ficar paradas na fila.
- d) () Controlar a velocidade de exibição da visualização do modelo.
- e) () Definir a probabilidade da chegada de entidades no módulo chegada.

3. O comando WAIT é utilizado no *software* de simulação ProModel para:

- a) () Especificar o tempo de permanência das entidades em cada local.
- b) () Controlar o tempo de permanência das entidades na fila.
- c) () Especificar o tempo de duração de uma atividade no módulo Processos.
- d) () Especificar o tempo de duração de uma atividade no módulo Operação.
- e) () Especificar o tempo de permanência da entidade no módulo Locais.

Respostas comentadas

1. A opção correta é: “ i”
 2. d) ANIMATE é um comando relacionado diretamente ao controle da velocidade de exibição da animação gráfica do *software*.
 3. c) WAIT é um comando diretamente relacionado ao tempo de realização de uma atividade em um processo.
-
-

Conclusão

A modelagem computacional é uma etapa na qual se traduz, numa linguagem de computador, o modelo conceitual que foi definido. Para isso, é fundamental que se utilize um *software* que possua características amigáveis e um conjunto de funcionalidades que facilitem o trabalho de quem vai desenvolver o modelo computacional, como, por exemplo, programação orientada a objeto, blocos pré-programados, recursos de visualização. A finalidade do modelo computacional é representar no ambiente virtual o sistema que se está estudando da maneira mais fiel possível.

Resumo

Nesta aula, você aprendeu sobre a relação entre o modelo conceitual e o modelo computacional. Aprendeu também quais as características fundamentais de um *software* de simulação. Por fim, conheceu os elementos de programação fundamentais e alguns comandos do *software* ProModel, que será utilizado neste curso. Após implementado o modelo computacional, o mesmo precisa ser verificado e validado. Este será o assunto da próxima aula.

Referências

- BANKS, J. *Software for Simulation*. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, p. 31-38, Califórnia, EUA, 1996.
- BANKS, J. *The Future of Simulation Software: a Panel Discussion*. In:

Proceedings of the Winter Simulation Conference, p. 166-173, Atlanta, Georgia, EUA, 1997.

BELGE. *Downloads*. São Paulo, 2019. Disponível em: <http://www.belge.com.br/downloads.php>. Acesso: 7 ago 2019.

BENSON, D. Simulation Modeling and Optimization using ProModel. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, p. 166-173, Atlanta, Georgia, EUA, 1997.

CWIF, L. *Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações*. 3. ed. São Paulo: Ed. do Autor, 2010.

PRADO, D. S. do. *Usando o Arena em simulação*. Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 2008.

SABBADINI, F. S. *Teoria das restrições e simulação aplicados a serviços de saúde*. Jundiaí: Paco Editorial, 2017.

SABBADINI, F. S.; GONÇALVES, A. A.; OLIVEIRA, M. J. F. de. *Fechando ciclos no atendimento especializado*. Resende-RJ: Ed. Do Autor, 2018.

SALIBY, E. *Softwares para simulação*. 11. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

SCHRIBER, T. J.; BRUNNER, D. T.; SMITH, J. S. Inside Discrete-Event Simulation Software: How It Works and Why It Matters. In: *Winter Simulation Conference*, p. 221-235, Washington, EUA, 2016.

STURROCK, D. T. Avoid Failures! Tested Success Tips for Simulation Project Excellence. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, p. 252-260, Gothenburg, Sweden, 2018.

Aula 7

Validação e verificação de modelos

Meta

Apresentar o conceito e as técnicas de verificação e validação de modelos.

Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. compreender o que é verificação e validação de modelos de simulação;
2. diferenciar modelo computacional e modelo operacional;
3. conhecer o processo de validação e verificação;
4. conhecer as principais técnicas utilizadas na validação de modelos de simulação;
5. conhecer as principais técnicas utilizadas na verificação de modelos de simulação de um *software* de simulação;
6. aprender sobre a validade de dados em estudos de simulação.

Introdução

Na aula anterior, você aprendeu o que é modelagem computacional e qual a sua relação com o modelo conceitual. Além disso, conheceu as principais características de um *software* de simulação e os elementos fundamentais do *software* Promodel.

Nesta aula, o tema abordado trata de uma etapa importante no desenvolvimento de um projeto de simulação que é a das operações de verificação e validação do modelo computacional. Sem isto não é possível assegurar que o modelo desenvolvido represente de forma fidedigna o sistema real.

Modelo computacional e modelo operacional

Após concluída a modelagem conceitual, a etapa seguinte é a codificação do modelo em estudo. Esta é a fase do desenvolvimento de um programa de computador, na qual o analista poderá utilizar uma linguagem de programação ou um pacote de simulação para a elaboração do modelo computacional.



Para lembrar...

Modelagem conceitual é uma etapa fundamental de um estudo de simulação, que serve de base para a elaboração do modelo computacional, fase imediatamente posterior a esta, na qual se realiza a codificação em linguagem própria.

Esta etapa consiste em estruturar a ideia que se tem do sistema a ser estudado, por meio de um esquema, fluxograma ou do seu layout. Além disso, ela auxilia no entendimento do sistema em estudo e, em muitos casos, na identificação de possíveis soluções alternativas ao problema que se deseja tratar.

A elaboração do modelo computacional não é suficiente para realizar os experimentos e avaliar cenários. Antes disso, é necessário verificar se não há nenhum erro de programação ou de especificação de parâmetros e, também, validar se os resultados gerados pelo simulador correspondem de maneira confiável aos do modelo real, que se deseja estudar.

Um modelo deve ser desenvolvido para uma finalidade específica (ou aplicação) e sua validade é determinada com respeito a esse propósito. Se o objetivo de um modelo é para responder a uma variedade de perguntas, a sua validação precisa ser feita em relação a cada questão.

Vários conjuntos de condições experimentais são geralmente necessários para definir o domínio de um modelo e a aplicabilidade pretendida. Ele pode ser válido para um conjunto de condições e inválido para outro.

O modelo é válido para um conjunto de condições experimentais se sua precisão estiver dentro do intervalo aceitável, que é a precisão necessária para o objetivo pretendido do modelo. Isso geralmente requer que as variáveis de saída de interesse do modelo (ou seja, aquelas usadas para responder às perguntas que o modelo está sendo desenvolvido para responder) tenham a necessária precisão especificada.

Muitas vezes, várias versões de um mesmo modelo são geralmente desenvolvidas antes da obtenção de um válido satisfatório. Neste sentido, cada ajuste feito representa uma nova versão até se chegar à versão final. A comprovação de que um modelo é válido se dá por meio da verificação e validação do modelo, e este processo faz parte do seu desenvolvimento.

Conceito de validação e verificação

Os usuários dos modelos de simulação, os tomadores de decisão que usam suas informações e as pessoas afetadas por decisões baseadas neles se preocupam com o quanto um modelo e seus resultados estão corretos e são confiáveis.

Neste sentido, podemos definir a validação como o processo no qual se faz a confirmação do que é aplicável dentro de uma faixa satisfatória de precisão, consistente com o que se pretende do modelo. Isso implica que os resultados gerados pelo modelo computacional repliquem de maneira satisfatória as saídas do sistema que esteja em estudo.

No Promodel, por exemplo, você executa a simulação e depois, com base nas informações geradas (constantes dos relatórios), compara as variáveis de saída com os resultados do sistema real. Suponha que você está estudando um sistema de produção que ao final do expediente gere 100 unidades: os resultados da simulação geram 95 unidades, e você definiu um nível de precisão de 90%. Neste caso, você pode considerar o sistema válido para este parâmetro.



Para lembrar...

Promodel é um *software* para o desenvolvimento de modelos de simulação, que possui elementos pré-programados, recursos visuais e de animação. Nele o modelo de simulação é essencialmente construído em quatro módulos básicos: locais, entidades, processos e chegadas.

A verificação, por sua vez, é diferente. Ela consiste no processo de confirmar e assegurar que o modelo implementado em computador e sua programação estão corretos.

No Promodel, neste caso, você entraria em cada um dos módulos e iria confirmar se os parâmetros e variáveis estão corretos, se a lógica do modelo conceitual foi atendida e se os fluxos estão devidamente codificados. Estas duas ações estão relacionadas à credibilidade do modelo, que garante que este seja confiável para os usuários, os quais poderão utilizá-lo para a tomada de decisão, baseando-se nas informações derivadas, com segurança.

O processo de validação e verificação

São três os elementos que devem ser considerados no processo de validação e verificação:

- o sistema real ou proposto a ser modelado;

- o modelo conceitual, que é a representação matemática/lógica/esquemática (imitação) do sistema;
- o modelo computacional, que é a implementação em computador.

O modelo conceitual é desenvolvido através de uma fase de análise e modelagem; o modelo computadorizado é desenvolvido através de uma fase de programação e implementação em computador, e inferências sobre a entidade problemática são obtidas por meio da realização de experimentos computacionais no modelo computadorizado na fase de experimentação.

A validação do modelo conceitual é definida como determinante de que as teorias e suposições subjacentes ao modelo conceitual estão corretas e que a representação do modelo do sistema em estudo é razoável “para o objetivo pretendido do modelo”. A verificação do modelo computacional é definida como garantia de que a programação de computadores e a implementação do modelo conceitual estão corretas.

Além disso, há necessidade de se fazer uma validação operacional e, também, dos dados que serão utilizados para assegurar a acuracidade do sistema em estudo. A validade operacional é definida para determinar que o comportamento das variáveis de saída tenha precisão suficiente para o desempenho do modelo. A validação dos dados é definida para garantir que os dados necessários para a construção do modelo, avaliação e teste, bem como a realização de experimentos para resolver o problema são adequados e corretos.

=====**Atividade 1**=====

Atende aos objetivos 1, 2 e 3

1. Responda as questões a seguir:
 - a) Diferencie modelo computacional de modelo operacional.
 - b) Diferencie os conceitos de validação e de verificação.
 - c) No processo de validação e verificação, quais são os três elementos que devem ser considerados?
 - d) Além dos três elementos mencionados na questão anterior, quais outros dois aspectos devem ser considerados e com que finalidade?

Resposta comentada

1.

a) O modelo computacional consiste na codificação do modelo conceitual numa linguagem de programação ou com o uso de um pacote de simulação. O modelo operacional é o que se obtém após a validação e a verificação do modelo computacional, é o que se utiliza na realização dos experimentos.

b) A validação é o processo no qual se faz a confirmação de que o modelo computacional é aplicável dentro de uma faixa satisfatória de precisão, consistente com a aplicação pretendida do modelo. Isso implica que os resultados gerados pelo modelo computacional repliquem de maneira satisfatória os do sistema que esteja em estudo. A verificação consiste no processo de confirmar e assegurar que o modelo implementado em computador e sua programação estão corretos.

c) Os três elementos a serem considerados são: o sistema em estudo, o modelo conceitual e o modelo computacional.

d) Devem ser consideradas a validação operacional e a dos dados. A primeira para assegurar que o comportamento das variáveis de saída tenha precisão suficiente para o desempenho do modelo. E a outra para garantir que os dados para a construção do modelo, a avaliação, o teste e os experimentos estejam adequados e corretos.

Técnicas de validação e verificação

As principais técnicas, segundo Chwif (2010, p. 110-113), são:

1. Validação: duplicação de modelo, comparação com modelos anteriores, análise de sensibilidade e validação face a face.
2. Verificação: implementação modular, valores constantes, utilização de *debugger*, *trace* ou depurador, simulação manual e animação gráfica.

Validação

Será feita uma descrição das técnicas de validação, a seguir:

Duplicação de modelos:

Consiste em designar duas equipes distintas para o desenvolvimento de um mesmo modelo, de forma independente e sem contato em si. Se os modelos construídos forem semelhantes entre si, há boa indicação de que este é válido. É uma técnica de custo elevado.

Comparação com modelos anteriores:

Nesta técnica se utiliza um modelo preexistente, a partir do qual se valida o modelo desenvolvido. Muitas vezes, é um ponto de partida. Há que se tomar o cuidado de analisar o cenário atual com o qual se está trabalhando, antes de considerar esta abordagem. Vários resultados (por exemplo, saídas) do modelo de simulação que está sendo validado são em comparação com os resultados de outros modelos (válidos). Por exemplo, (1) casos simples de um modelo de simulação podem ser comparados com resultados conhecidos dos modos analíticos e (2) o modelo de simulação pode ser comparado com outros modelos de simulação que foram validados.

Análise de sensibilidade:

Esta técnica consiste em alterar os valores da entrada e parâmetros internos de um modelo para determinar como isso vai afetar o comportamento do modelo e sua saída. Os mesmos relacionamentos devem ocorrer no modelo e no sistema real. Esses parâmetros que são sensíveis, ou seja, podem causar alterações significativas no comportamento do modelo ou saída, devem ser suficientemente precisos antes de se usar o modelo. Por exemplo: suponha que, no sistema em estudo, a demanda seja de 200 clientes por dia. Você poderá alterar no simulador para 400 clientes por dia para testar a sensibilidade do sistema em face do aumento da demanda.

Validação face a face:

Nesta técnica, participam os envolvidos no projeto: o analista de simulação, que construiu o modelo, e o cliente, que é quem conhece o processo. Da discussão entre ambos, resulta a validação tanto do modelo conceitual quanto do modelo computacional.

Vejam agora, duas técnicas de validação apresentadas por Sargent (2010, p. 172-173):

Gráficos operacionais:

Nesta técnica, valores de várias medidas de desempenho (por exemplo, número de entidades na fila e porcentagem de servidores ocupados) são mostrados graficamente, em função do tempo, à medida que o modelo é executado; ou seja, os comportamentos dinâmicos de indicadores de desempenho são exibidos visualmente, permitindo acompanhar os resultados gerados pelo simulador, de forma temporal. Desta forma, ao visualizar os gráficos apresentados durante a simulação, pode-se verificar se estes refletem o comportamento do sistema. Por exemplo, se o sistema que está em estudo gera estoques de peças num determinado horário e os gráficos operacionais não mostram isso, é necessário rever o modelo de simulação. Esse recurso – gráficos operacionais – depende do *software* e das suas funcionalidades. Neste caso você deverá verificar nas especificações.

Testes de condições extremas:

A estrutura do modelo e os resultados devem ser plausíveis para qualquer combinação improvável de níveis de fatores no sistema. Para a aplicação desta técnica, você deverá inserir valores nas variáveis de entrada que permitam entender se o modelo computacional reflete o comportamento do sistema real em condições extremas. Por exemplo, se os estoques em processo forem zero, a produção será zero. O mesmo vale para outras variáveis como a produção por turno.

Verificação

A verificação do modelo computacional garante que a programação e a implementação do modelo conceitual estejam corretas. Para assegurar que a programação correta seja obtida, o projeto e procedimentos de desenvolvimento encontrados no campo da engenharia de *software* podem ser usados no desenvolvimento e na implementação do programa de computador.

Estes incluem projeto orientado a objetos, projeto de cima para baixo, estruturando programação e modularidade do programa. Uma separação em módulos pode ser utilizada para cada submodelo, para o modelo geral e para cada função de simulação. A seguir, serão apresentadas algumas técnicas de verificação:

Animação gráfica:

Esta é uma técnica muito útil para verificação, pois acompanha visualmente o comportamento das entidades no sistema. O comportamento operacional do modelo é exibido graficamente conforme o modelo se move ao longo do tempo. Por exemplo, os movimentos de peças através de uma fábrica durante uma simulação são mostrados graficamente. Isso permite identificar se uma entidade tomou a direção correta ou o caminho contrário, facilitando a correção da codificação no modelo.

Implementação modular:

Esta é uma técnica de computação que possibilita fazer uma verificação do modelo a cada módulo construído. Neste caso, o conceito é o de implementar o modelo em partes e, à medida que estas vão sendo finalizadas, realiza-se a verificação. Em seguida, tem início o módulo seguinte e assim sucessivamente, até a sua conclusão.

Valores constantes:

Nesta técnica o que se faz é tomar os valores médios de cada distribuição e considerá-los constantes e determinísticos. Então, comparam-se os valores médios com valores calculados pelo analista previamente. Essa abordagem dá uma boa noção de como o sistema se comporta e se as tendências estão de acordo com o esperado. Em essência, valores fixos são usados para várias entradas de modelo, para variáveis internas e parâmetros. Isso deve permitir a verificação de resultados do modelo em relação aos valores facilmente calculáveis.

Utilização de debugger, trace ou depurador:

O comportamento de diferentes tipos de entidades no modelo é rastreado (seguido) por todo o fluxo do modelo para determinar se a lógica está correta e se a precisão necessária foi obtida.

Nos pacotes de simulação é comum existir um depurador que verifica internamente, passo a passo, os eventos que estão ocorrendo e os eventos futuros, durante a execução da simulação. Isso ajuda a enxergar inconsistências e fazer correções.

Simulação manual:

O principal benefício desta técnica é que permite ao analista que desenvolve o modelo adquirir maior sensibilidade em relação ao sistema e seu comportamento. Isso contribui para que ele tenha melhor percepção da correspondência entre este e os modelos conceitual e computacional.

Um exemplo desta técnica seria o analista acompanhar passo a passo o sistema real – por exemplo, uma fila de banco – e reproduzir isso numa planilha, na qual a cada momento ele fosse calculando as variáveis e registrando os resultados manualmente. Para um sistema simples, essa abordagem funciona.

Revisão em grupo:

O aspecto mais interessante desta técnica é contar com o auxílio de pessoas que não participaram do desenvolvimento do modelo para fazer a verificação. Essa abordagem melhora a identificação de erros que, muitas vezes, não são percebidos por quem construiu a codificação. Na revisão em grupo, os diferentes aspectos do modelo são descritos e apresentados, e os participantes podem fazer questionamentos e sugestões, a partir do que foi exposto.

Por exemplo, ao ser descrito o modelo conceitual e mostrado o fluxograma, algum aspecto que não tenha sido identificado ou percebido por quem elaborou o modelo pode ser apontado por outros membros do grupo que não tenham participado do processo. É um efeito semelhante ao que ocorre na revisão de textos. Em geral, quem escreve não é a pessoa que deve revisar.

Validação e verificação dos dados

Este é um aspecto fundamental para o sucesso do desenvolvimento de um modelo de simulação. Geralmente é difícil, demorado e dispendioso obter dados apropriados, precisos e suficientes. Os problemas relacionados à qualidade deles geralmente são a razão pela qual as tentativas de validar um modelo falham. Os dados são necessários para três propósitos:

- Para construir o modelo conceitual, fazer sua validação e realizar experimentos. Na validação de modelo, geralmente estamos preocupados apenas com dados para os dois primeiros propósitos.
- Para construir um modelo conceitual, precisamos ter dados suficientes sobre sistema real para então desenvolver hipóteses que podem

ser usadas na sua elaboração. Também para desenvolver relacionamentos matemáticos e lógicos que permitirão a representação adequada do problema a que se destina. E por fim, realizar o teste das premissas subjacentes.

- São necessários dados comportamentais sobre o sistema usado na etapa de validade operacional da comparação do comportamento do sistema real com o comportamento do modelo (geralmente, esses dados são dados de entrada/saída do sistema). Se os dados de comportamento não estiverem disponíveis, geralmente não é possível obter alta confiança do modelo porque não é possível obter validade operacional suficiente.

A preocupação com os dados é que sejam apropriados, precisos, suficientes e estejam disponíveis, para que tanto as transformações como as desagregações sejam feitas corretamente.

Devem-se desenvolver bons procedimentos para: 1) coletar e manter dados, 2) testar os dados coletados usando técnicas como verificações internas de consistência e 3) rastrear os dados para identificar discrepâncias e determinar se estão corretos. Se a quantidade for grande, um banco de dados deve ser desenvolvido e mantido.

Essa abordagem permite melhorar a tratativa dos dados de entrada, em particular no caso da identificação de outliers. Do mesmo modo possibilita que se utilizem dados históricos para calibrar o modelo. Em geral, dados históricos representam eventos que efetivamente ocorreram. Consequentemente, as saídas do modelo devem ser compatíveis com o desempenho do sistema considerado.

===== **Atividade 2** =====

Atende aos objetivos 3, 4, 5 e 6

2.
 - a) Para que finalidade são utilizados os dados em simulação?
 - b) Qual a preocupação fundamental com os dados?
 - c) Qual a principal desvantagem da técnica de validação denominada duplicação de modelos?
 - d) Qual a principal vantagem da técnica de verificação denominada revisão em grupo?

- e) Explique a técnica denominada análise de sensibilidade.
- f) Qual o benefício do uso da animação gráfica?

Resposta comentada

- 1.
 - a) São utilizados para três finalidades básicas: construção do modelo conceitual, validação dos dados e experimentação.
 - b) Que sejam apropriados, precisos, suficientes e estejam disponíveis. E também que tanto suas transformações como suas desagregações sejam feitas corretamente.
 - c) Custo elevado de implementação.
 - d) A verificação é feita por outros membros do grupo que não tenham construído o modelo computacional. Isso aumenta a chance de identificação de erros de programação e contribui para melhorar a qualidade.
 - e) Esta técnica de validação consiste em alterar os valores da entrada e parâmetros internos de um modelo para determinar como isso vai afetar o comportamento do modelo e sua saída.
 - f) Esta é uma técnica muito útil para verificação, pois acompanha visualmente o comportamento das entidades no sistema. O comportamento operacional do modelo é exibido graficamente conforme o modelo se

move ao longo do tempo. Isso permite identificar se uma entidade tomou a direção correta ou o caminho contrário, facilitando a correção da codificação no modelo.

Conclusão

O processo de validação e verificação do modelo é de fundamental importância para que um estudo de simulação seja bem-sucedido. É uma forma sistemática de assegurar que o modelo conceitual e o computacional representem com fidedignidade o sistema em estudo.

Há duas considerações que você deve ter em mente: não há como validar um modelo 100%, assim como não há garantia de que ele ficará livre de algum erro de codificação. O importante é que ele seja validado e verificado com o máximo de acuracidade possível.

Outro aspecto importante é que você tenha cuidado especial com a validade dos dados que vão ser inseridos no modelo. Aqui vale o princípio de que dado ruim que entra gera dado ruim na saída. A finalidade do processo de validação e verificação é assegurar que isso não aconteça.

Resumo

Nesta aula, você aprendeu sobre o processo de verificação e validação em simulação e como isso resulta no modelo operacional. Aprendeu também quais os principais componentes que devem ser validados e verificados. Por fim, conheceu as técnicas utilizadas em cada um dos casos. Muitas vezes elas são utilizadas em conjunto para assegurar a obtenção de resultado mais efetivo.

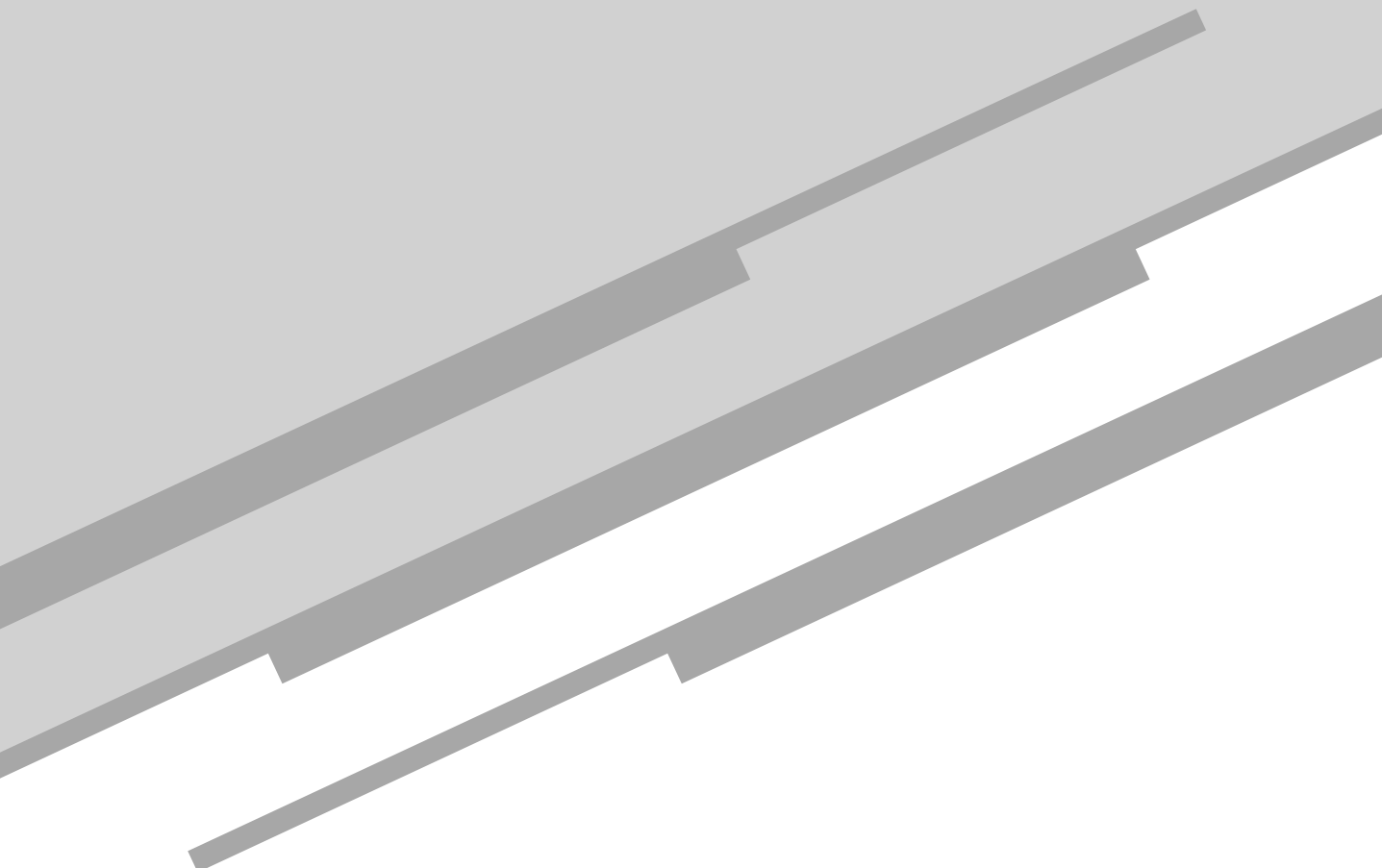
Referências

CWIF, L. *Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações*. 3. ed. São Paulo: Ed. do Autor, 2010.

SARGENT, R. G. Verification and Validation of Simulation Models. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, p. 166-183, Baltimore, Maryland, EUA, 2010.

Aula 8

Dimensionamento de corridas
e análise dos resultados



Francisco Santos Sabbadini

Meta

Apresentar o conceito e as técnicas relacionadas à geração dos dados de saída de um modelo de simulação.

Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. compreender o impacto dos números que alimentam as variáveis de entrada;
2. diferenciar regime transitório e regime permanente;
3. compreender a diferença entre rodada de simulação e replicação;
4. identificar como definir o número de replicações;
5. compreender o que é simulação terminal e simulação não terminal.

Introdução

Na aula anterior, você aprendeu sobre os processos verificação e validação que resultam na obtenção do modelo operacional, o qual é utilizado para a realização dos experimentos.

As entradas da simulação são aleatórias e, conseqüentemente, os dados de saídas da simulação também o são. Assim, não tire conclusões acerca de um fenômeno realizando a simulação apenas uma vez. Isso implica que, após a obtenção do modelo operacional, é necessário se fazer ajustes de modo a minimizar os efeitos estocásticos nos resultados da simulação.

Processo de análise dos resultados

Como já foi dito, os dados de entradas da simulação são aleatórios e, conseqüentemente, as saídas, a cada vez que fizermos uma rodada, também o serão. A cada vez que executarmos a simulação, teremos um resultado diferente. Assim, não podemos tirar conclusões acerca de um fenômeno realizando a rodada apenas uma vez.

Nesse sentido, podemos realizar uma série de rodadas e tirar a média para cada uma das variáveis em estudo que seja do nosso interesse. Essa é uma boa estimativa: a precisão pode ser avaliada pela variância, a qual será tanto mais precisa quanto menor for.

Segundo Chwif (2010, p. 121), neste momento, há duas questões importantes com relação às saídas do modelo: quantas observações devem ser realizadas e qual a variância estimada. Isso pode ser operacionalizado mediante simulação, um determinado número de vezes, de forma a reduzir a variância e os desvios decorrentes dos processos probabilísticos.

Conceitos fundamentais

Para uma melhor compreensão das questões mencionadas anteriormente, é importante o entendimento prévio dos seguintes conceitos: regime (transitório e permanente), rodada, replicação, simulação terminal, simulação em regime, replicação e intervalo de confiança, que serão apresentados a seguir:

Regime transitório e regime permanente

O regime tem a ver com a forma como o sistema opera. Tomemos como exemplo a agência do Banco BBC, mencionada na Aula 4. Considere o início do expediente, antes da abertura das portas, e a formação de uma fila grande do lado de fora. No momento em que a porta é aberta, os primeiros clientes chegam ao caixa, gerando um “congestionamento”. Esse é um intervalo curto de tempo, mas que causa maior pressão no serviço, e o desempenho do sistema está diretamente relacionado com essas condições iniciais.

Se gerarmos um relatório e analisarmos variáveis como o número de clientes na fila, o tempo que os clientes esperam nela e a taxa de ocupação do atendente no caixa, poderemos tirar conclusões que são totalmente influenciadas pelo regime transitório. Os resultados vão indicar um tempo de espera elevado dos clientes na fila, a taxa de ocupação do atendente será alta. Essas condições iniciais não necessariamente representam o comportamento do sistema em condições normais no restante do expediente.

Quando o desempenho do sistema está fortemente relacionado às condições iniciais e é afetado por elas, diz-se que ele está em estado transitório. Segundo Chwif (2010, p. 121), o estudo de sistemas em regime transitório é mais complexo e pouco conclusivo, uma vez as condições iniciais do sistema variam de forma significativa em um curto período de tempo e nem sempre se repetem da mesma forma.

Passado este momento inicial, o movimento de clientes na agência bancária se ajusta ao comportamento que ocorre diariamente. Neste caso, o desempenho do sistema não é afetado pelas condições iniciais, como ocorre no caso da abertura da porta no início do expediente. Diz-se, então, que o sistema entrou em regime permanente, que reúne condições melhores para a análise dos resultados da simulação.

Para entender melhor estes conceitos, veja o experimento realizado com base em um exemplo de jogo de dados, apresentado por Chwif (2010, p.122-123): foi simulado um sistema de lançamentos de um dado de seis faces. Aleatoriamente, a cada lançamento se tem a probabilidade de sair um número entre 1 e 6. O que interessa neste estudo é observar a média acumulada, analisar o seu comportamento e identificar os regimes transitório e permanente.

Para isso, foi elaborada uma tabela, na qual foram registrados os lançamentos e calculada a média acumulada. Em seguida, foi gerado o

gráfico mostrado na **Figura 8.1**, onde é apresentado o desempenho do sistema numa amostra de 100 lançamentos. Observe que, nos instantes iniciais, principalmente até a observação número 4, a média acumulada varia e bruscamente começa a diminuir a partir do lançamento número 28. Do lançamento número 82, em diante, ela começa a se estabilizar em torno de 3,5.

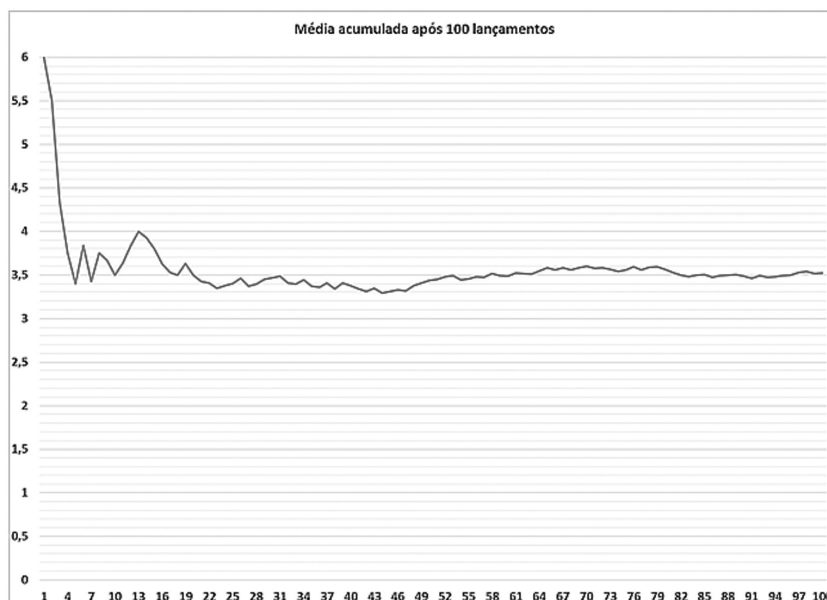


Figura 8.1: Resultados do experimento: média acumulada.

Os resultados do experimento realizado confirmaram os regimes transitório e permanente no desempenho do sistema, para a variável média acumulada, considerando uma amostra de 100 lançamentos.

══════════════════ **Atividade 1** ══════════════════

Atende aos objetivos 1 e 2

Observando a **Figura 8.1**, leia as afirmativas a seguir:

- I. O regime transitório fica evidente quando observados os lançamentos de 1 a 10, em que a variância da amostra é alta.
- II. A partir do lançamento 52, o sistema ainda está no estado transitório, porém a diminuição do seu desempenho não faz com que seja menos

afetado pelas condições iniciais, ou seja, ainda não está suficientemente estável.

III. A partir do lançamento 82, o sistema dá sinais claros que está entrando em regime permanente e que a média está se estabilizando em torno de um valor.

Considerando os conceitos de regime transitório e regime permanente, é correto o que se afirma em:

- a) () I, apenas.
- b) () II, apenas.
- c) () III, apenas.
- d) () II e III, apenas.
- e) () I, II e III.

Resposta comentada

Letra e. As três afirmativas estão corretas. Nos lançamentos de 1 a 10, o desempenho do sistema é fortemente influenciado pelas condições iniciais devido a um número pequeno de lançamentos. A partir do lançamento 52, esse efeito diminui, mas não o valor em torno da média não se estabiliza, o que começa efetivamente a acontecer a partir do lançamento 82.

Rodada e replicação

Dando prosseguimento às definições, o próximo conceito é o de rodada de simulação. Uma rodada é a realização da simulação. Ela se inicia quando é dado o comando de iniciar e termina quando o simulador finaliza a execução de acordo com o que foi programado no modelo computacional.

No Promodel, uma rodada pode ser iniciada utilizando a seguinte sequência: Simulação → Executar ou utilizando a tecla “Play” no painel, conforme indicado na **Figura 8.2**.

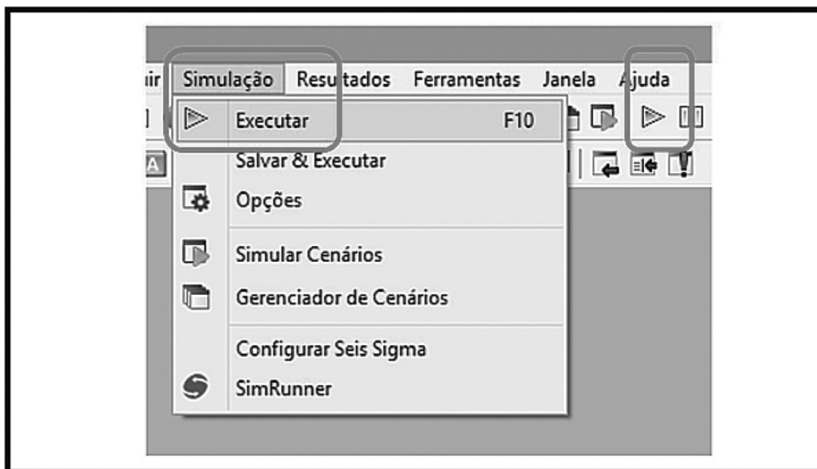


Figura 8.2: Execução de rodada de simulação.

Fonte: Promodel

Como mencionado no início desta aula, um modelo de simulação está sujeito aos efeitos da aleatoriedade. Isso foi evidenciado no experimento do lançamento de dados. Daí se pode concluir que uma única rodada não é suficiente para tirar conclusões sobre o modelo. A alternativa para isso é realizar a simulação mais vezes. Isso é denominado replicação. E uma rodada pode ter várias replicações.

Segundo Chwif (2010, p.125), uma replicação consiste em uma repetição da simulação, mantidos a mesma duração, configuração e os mesmos parâmetros de entrada do modelo. O que muda a cada repetição são os números aleatórios gerados.

No Promodel, o número de replicações é definido utilizando o seguinte caminho:

Simulação → Opções. Quando a janela “Opções de Simulação” for mostrada você poderá indicar quantas serão executadas no campo “Número de Replicações”, conforme mostrado na **Figura 8.3**.

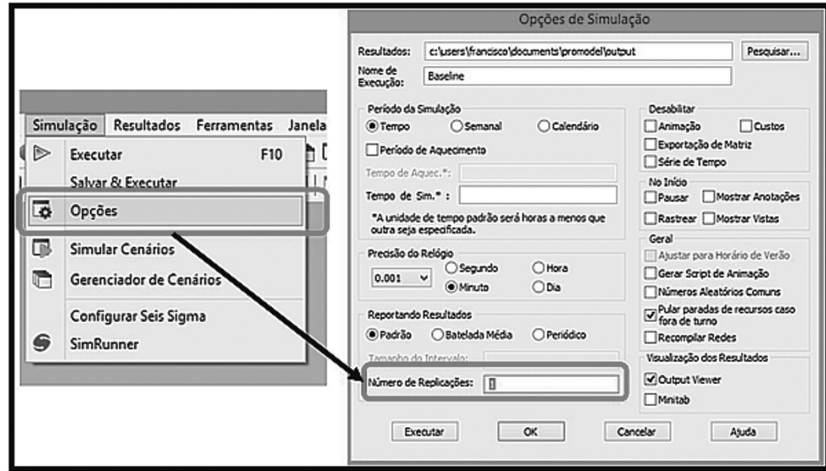


Figura 8.3: Parametrizando o número de replicações no Promodel.

Fonte: Promodel

Considere uma alteração do número de replicações de “1” para “5”. Quando você executar a simulação, será inserida ao lado do relógio a informação de controle das replicações em execução, conforme mostrado na **Figura 8.4**.

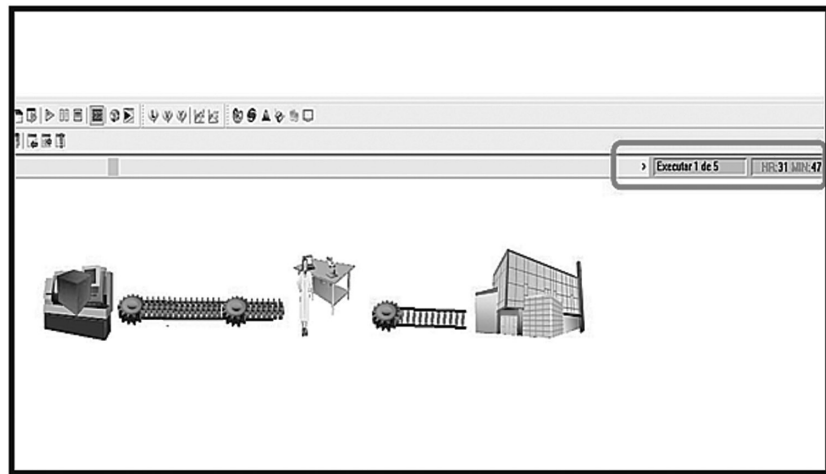


Figura 8.4: Indicação das replicações na visualização da simulação.

Atividade 2

Atende ao objetivo 3

Em relação aos conceitos de rodada e replicação, pode-se afirmar que:

I. Rodada e replicação significam a mesma coisa, porém com denominações diferentes.

II. A rodada equivale à realização da simulação que se inicia com o comando Executar.

III. Uma rodada pode ter várias replicações.

Considerando os conceitos de regime transitório e regime permanente, é correto o que se afirma em:

- a) () I, apenas.
- b) () II, apenas.
- c) () III, apenas.
- d) () II e III, apenas.
- e) II e III, apenas.

Resposta comentada

Letra d. Rodada e replicação são coisas diferentes. Rodada é cada execução do modelo. Replicação é a repetição dos modelos várias vezes, nas mesmas condições iniciais, para minimizar os efeitos da estocasticidade.

A alternativa para minimizar os efeitos da aleatoriedade é repetir um número maior de vezes a simulação, o que se consegue com as replicações. Mas quantas replicações são suficientes para dar a confiança estatística desejada?

Neste caso, estamos nos referindo ao intervalo de confiança, que é dado por um intervalo de valores que contém a média da população em estudo com certa probabilidade.

No caso da simulação, um aspecto que interessa muito é a precisão estatística, ou seja, o tamanho desse intervalo de confiança. A combinação

de intervalo de confiança com precisão estatística permite ao analista de simulação assegurar a consistência dos dados de saída.

Um exemplo clássico que pode ser citado são as pesquisas de intenções de voto divulgadas pela mídia na época das eleições: “O candidato Fulano teve 40% das intenções de voto. A pesquisa realizada teve uma confiança de 95% e margem de erro de 2%”. Isso dá um intervalo de confiança bom e uma margem de precisão em que o resultado da pesquisa pode variar para mais (42%) ou para menos (38%).

No caso da simulação, a determinação do intervalo de confiança dos dados de saída e da precisão destes é fundamental para assegurar que se possam extrair conclusões sobre o modelo.

Tomando como exemplo o modelo da agência bancária do Banco BBC, com uma fila única e apenas um caixa, uma maneira de se avaliar isso, utilizando o Promodel, é tomar uma amostra piloto e ir variando o número de replicações para, a partir dos resultados obtidos nos relatórios, validar os dados para o sistema em estudo.

A **Tabela 8.1** mostra o tempo médio dos clientes na fila aguardando atendimento, para 10, 20, 30, 40 e 50 replicações, com um intervalo de confiança de 99%. O Promodel dispõe de funcionalidades que constroem o intervalo de confiança da média para a precisão desejada, bastando apenas extrair a informações dos relatórios.

Analisando os resultados das saídas geradas, mostradas na **Tabela 8.1**, pode-se verificar que, com 30 replicações, o desvio-padrão e a média ficam dentro de padrões aceitáveis, considerando a confiança esperada e em comparação com os resultados obtidos com as outras replicações.

Tabela 8.1: Resultados de diferentes replicações, com confiança de 99%

Indicadores	Replicações				
	10	20	30	40	50
Média	14,51	14,81	14,75	14,71	16,69
Desvio-padrão	0,78	1,14	1,09	1,23	1,26
intervalo confiança 99% limite inferior	13,70	14,08	15,20	14,18	14,22
intervalo confiança 99% limite superior	15,34	15,54	15,3	15,23	15,17

De 10 para 20 replicações, embora a média do tempo de espera esteja dentro do intervalo de confiança, o desvio-padrão praticamente dobra

de valor. Acima de 30, no caso de 40 replicações, a média fica dentro do intervalo de confiança, porém com maior desvio-padrão. Já com 50 replicações, ambos os parâmetros são inadequados: a média fica fora do intervalo de confiança, com um desvio-padrão mais elevado.

Desta análise, é possível concluir que 40 replicações são suficientes para assegurar a consistência dos dados de saída gerados pelo simulador e, com base nisso, são adequadas para gerar conclusões em relação ao modelo.

Atividade 3

Atende aos objetivos 3 e 4

Analisando a **Tabela 8.1**, explique porque 10 replicações não seriam suficientes para rodar o modelo de simulação, uma vez que a média está dentro do intervalo de confiança e o desvio-padrão é baixo?

Resposta comentada

Embora os dados gerados com 10 replicações atendam ao requisito de pertencer ao intervalo de confiança e o desvio-padrão seja baixo, dado que os valores de entrada são aleatórios, o número de replicações é insuficiente para eliminar distorções decorrentes das probabilidades. Uma regra que se aplica a esta situação é a de se aumentar o tamanho da amostra (replicações) para elevar a precisão dos dados obtidos. Conforme mostrado no experimento do lançamento de dados, aumentar o número de lançamentos eliminou os efeitos iniciais decorrentes do regime transitório.

Simulação terminal e não terminal

Quando o sistema tem o início e o fim das suas atividades claramente definido, a simulação deve ser terminal. São sistemas que têm um momento exato para finalizar a simulação. Tomando como exemplo uma agência bancária, o expediente se inicia às 11 horas e se encerra às 16 horas.

Assim, a simulação deve ser feita para este intervalo de tempo. O momento de término será às 16 horas.

A simulação não terminal se aplica ao caso de sistemas em que não se conhece o instante exato que define seu encerramento. Um exemplo típico deste tipo de sistema é o funcionamento de uma usina siderúrgica ou de uma fábrica de vidro em processo contínuo, que funcionam 24 horas por dia, 7 dias por semana. Neste sentido, o desafio é definir o tempo de duração de cada replicação.

Neste tipo de simulação o cuidado que se deve tomar é o de que os dados de saída sejam coletados fora do regime transitório e próximo das condições iniciais de regime permanente. Para tal se deve: 1) rodar o modelo por um período de tempo longo; 2) iniciar a simulação em condições próximas à do regime permanente e 3) eliminar das estatísticas de saída todos os dados produzidos durante o período transitório.

Para a ação 1, mais replicações atendem a esta condição. Para as ações 2 e 3, utiliza-se um recurso denominado período de aquecimento (*warm-up*).

Este recurso permite que a simulação rode normalmente, porém as estatísticas geradas durante o período definido como de aquecimento não são coletadas. Desse modo, os dados de saída, que compõem os relatórios analíticos, consideram dados gerados em condições próximas às de regime permanente.

Determinar quanto tempo vai durar o período de aquecimento em termos práticos se dá por meio da observação e do conhecimento do comportamento do sistema. A **Figura 8.5** mostra como parametrizar o período de *warm-up* no Promodel.

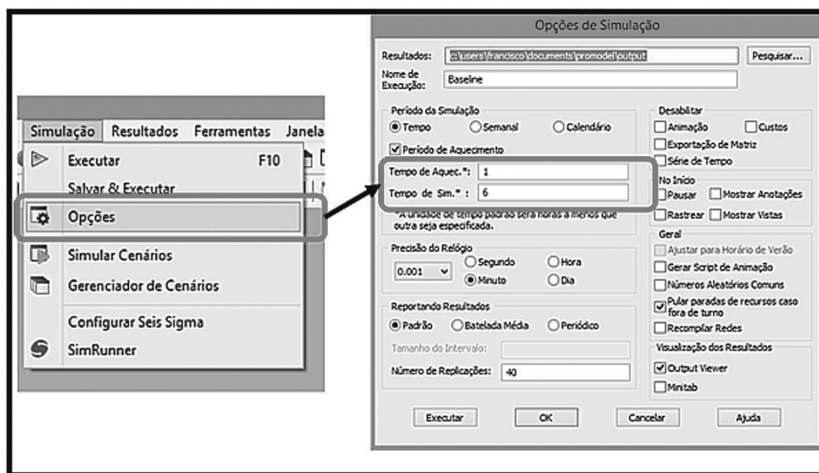


Figura 8.5: Parametrização do período de aquecimento no Promodel.

Fonte: Promodel

Atividade 4

Atende ao objetivo 5

1. Diferencie simulação terminal de simulação não terminal.
2. Em relação às técnicas recomendadas para se garantir a coleta de dados durante o estado de regime permanente, em simulações terminais, leia as afirmativas a seguir:
 - I. Deve-se começar a simulação em um estado transitório para depois chegar ao regime permanente.
 - II. O modelo deve ser rodado por um tempo de simulação longo.
 - III. Todos os dados gerados no período transitório devem ser considerados, estimando-se a média ponderada.

É correto o que se afirma em:

- a) () I, apenas.
- b) () II, apenas.
- c) () III, apenas.
- d) () II e III, apenas.
- e) () II e III, apenas.

Resposta comentada

1. O que diferencia a simulação terminal da não terminal é o fato de a primeira ter claramente definido o instante exato de término, enquanto que a segunda não tem, o que resulta para esta última a necessidade de um cuidado especial com os dados de saída.
2. Letra b. Rodar o modelo por um período mais longo eleva a precisão e o grau de confiança dos dados de saída. Em relação à afirmativa I, o correto é começar a simulação em estado próximo do período permanente. E, no caso da afirmativa III, os valores gerados no período transitório devem ser eliminados dos dados de saída.

Projeto de experimentos, simulação e otimização

Em muitos estudos de simulação, há questões relevantes que se busca responder. Além disso, em muitos casos é necessário determinar como os parâmetros de entrada afetam uma ou mais variáveis. Vamos tomar como exemplo novamente o caso da agência bancária (Aula 4). Algumas questões a ser analisadas poderiam ser:

1. Qual o efeito de se aumentar o número de atendentes na redução do tempo de espera dos clientes, de modo a atender à legislação?
2. Qual o efeito de se aumentar o número de atendentes na elevação da taxa de ocupação ou de ociosidade no sistema?

Há situações em que o número de variáveis de entrada é grande e existem muitos cenários a serem avaliados. Em outros há uma medida de desempenho de saída importante em comparação com o de outras, como, por exemplo, a alta utilização de um equipamento ou filas reduzidas, as quais se relacionam diretamente com lucro ou custo. Neste caso, procurar uma combinação de fatores de entrada que maximize o lucro ou minimize o custo seria oportuno.

O projeto de experimentos é uma ferramenta estatística que permite avaliar como se dão interações entre variáveis de entrada e de saída, de modo a planejar e definir os cenários que serão avaliados.

Matematicamente, isso pode assumir a forma de algum tipo de pesquisa através do espaço de possíveis combinações de fatores. E se existem muitos fatores de entrada, a dimensão da busca exigirá muitas simulações, requerendo esforço e tempo. É nesse sentido que a incorporação de algoritmos de otimização da simulação aos *softwares* traz benefícios ao agilizar a busca da combinação que otimize os resultados das saídas do modelo.

A integração de módulos de otimização com modelos de simulação é outra alternativa para lidar com esse tipo de problema. A combinação da simulação com a otimização, por trabalhar com variáveis contínuas e discretas, apresenta mais benefícios que o projeto de experimentos. No caso do Promodel, esse recurso é o SimRunner, mostrado na **Figura 8.6**.

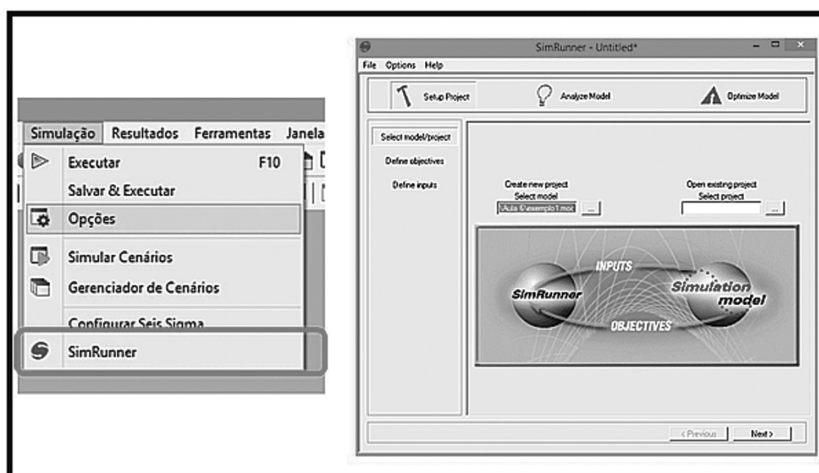


Figura 8.6: Funcionalidade de otimização da simulação.

Fonte: Promodel

Conclusão

Os aspectos relativos a projeto de experimentos, simulação e otimização foram apresentados nesta aula, em caráter informativo e para indicar pontos de referência àqueles que desejarem pesquisar mais e se aprofundar nesta área de estudo.

Construir um bom modelo de simulação requer uma abordagem sistemática e metodológica. É preciso descobrir como modelar o sistema, expressar o modelo em um *software*, coletar dados no sistema real para definir os parâmetros de entrada do modelo de simulação, verificar se o modelo de simulação, como expresso no modelo computacional, está

funcionando corretamente e validar a saída da simulação em relação à saída correspondente do sistema real (se houver).

Outro aspecto importante é compreender o impacto dos dados de entrada aleatórios nos resultados da simulação. Nesse sentido, o conhecimento dos regimes transitório e permanente (e sua identificação) permite que técnicas como replicação e período de aquecimento (*warm-up*) tornem viável eliminar distorções nos resultados da simulação.

Resumo

Nesta aula, você aprendeu, em termos gerais, conceitos para ajudar a projetar as execuções para modelos de simulação e interpretar sua saída. Métodos estatísticos foram descritos, bem como abordagens para compreender os impactos da aleatoriedade dos dados de entrada nas saídas geradas pela simulação.

Foram descritas as diferenças entre estados transitório e permanente, rodada e replicação, simulações terminais e não terminais. O principal ponto é ter atenção para os desafios e oportunidades no uso de modelos de simulação com cuidado e eficácia, de modo que estes possam de forma consistente servir como instrumentos de apoio na tomada de decisão.

Referências

CWIF, L. *Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações*. 3. ed. São Paulo: Ed. do Autor, 2010.

KELTON, W. D. Statistical analysis of simulation output. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, p. 23-30, Atlanta, Georgia, EUA, 1997.

KELTON, W. D. Experimental design for simulation. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, p. 23-30, Orlando, Florida, EUA, 2000.

Aula 9

Aplicações de simulação no Promodel

Meta

Apresentar os módulos fundamentais para que o estudante possa construir um modelo computacional com o *software* Promodel.

Ojetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. definir os locais no ambiente do Promodel, utilizando o módulo Locais;
2. criar uma entidade utilizando o módulo Entidades;
3. programar o fluxo utilizando o módulo Processos;
4. definir o processo de chegada da entidade no modelo, utilizando o módulo Chegadas.

Introdução

Nas aulas anteriores, você aprendeu sobre as etapas de construção de um modelo de simulação. Viu a importância de utilizar uma metodologia sistemática, passo a passo, desde a ideia inicial até a obtenção de um modelo operacional.

Além disso, pôde aprender sobre a modelagem dos dados de entrada e dos dados de saída, em especial nos aspectos relacionados à identificação de modelos probabilísticos, e os efeitos da aleatoriedade nos resultados da simulação.

Nesta aula você vai aprender como construir um modelo computacional utilizando os módulos fundamentais do Promodel: Locais, Entidades, Processos e Chegadas. Vamos usar, novamente, o exemplo da agência bancária apresentado na Aula 4 para aplicação dos conceitos.

Informações iniciais sobre o sistema

O Banco BBC possui uma agência que funciona numa empresa de fabricação de parafusos e conexões. Ela conta com um único caixa para atendimento aos clientes no horário das 11 às 15 horas, de segunda a sexta-feira.

O gerente está preocupado com a qualidade do serviço prestado devido às filas que se formam no caixa, pois teme que a demora no atendimento possa comprometer a produtividade dos funcionários da fábrica.

O modelo conceitual do sistema, as variáveis de entrada relacionadas a este, os recursos e as medidas de desempenho, conforme vistos na Aula 5, são mostrados na **Figura 9.1**, a seguir.

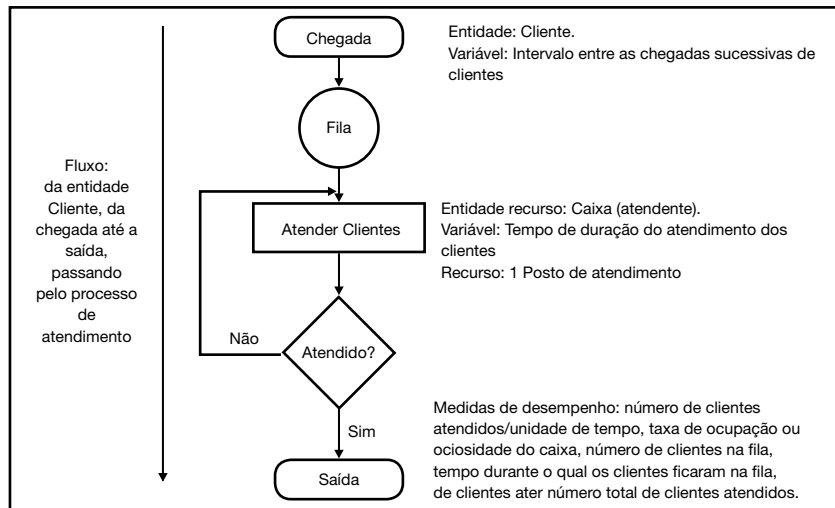


Figura 9.1: Modelo conceitual e elementos relacionados

Utilizando as informações apresentadas na **Figura 9.1**, você vai iniciar a construção do modelo computacional.

O módulo Locais

Os locais são os lugares pelos quais as entidades e objetos vão passar para que operações sejam realizadas. Para criar os locais, você deve seguir o seguinte caminho na barra de comandos do Promodel: Construir → Locais. Feito isso, será aberta a janela mostrada na **Figura 9.2**.

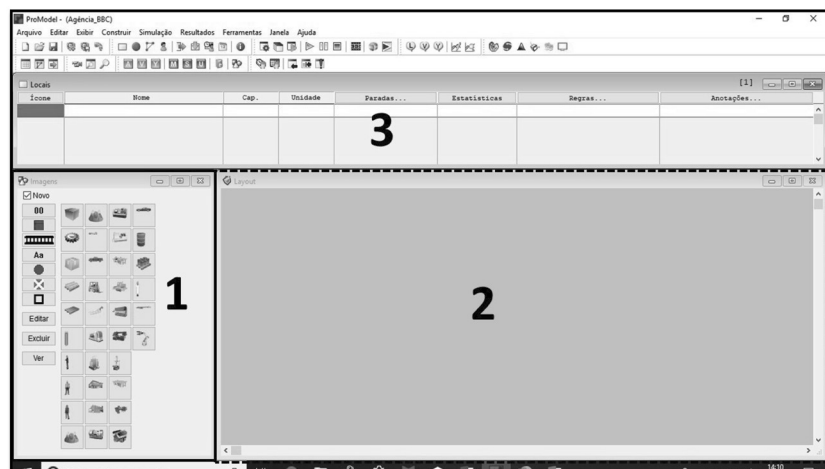


Figura 9.2: Tela inicial do módulo Locais.

Fonte: Promodel

A visualização do módulo Locais mostra três áreas distintas. Os números 1, 2 e 3, mostrados na figura, foram inseridos para facilitar a explicação. Para criar um local o procedimento é clicar com o cursor num dos ícones disponíveis na área 1, em seguida posicionar o cursor na área 2 e dar um clique. Ao fazer isso, automaticamente o *software* preenche a planilha de edição dos locais, destacada na área 3.

Para você praticar agora, clique com o cursor no ícone chamado “prensa” e, em seguida, dê um clique na área de layout. A **Figura 9.3** mostra o resultado desta ação. Verifique se a planilha foi preenchida automaticamente.

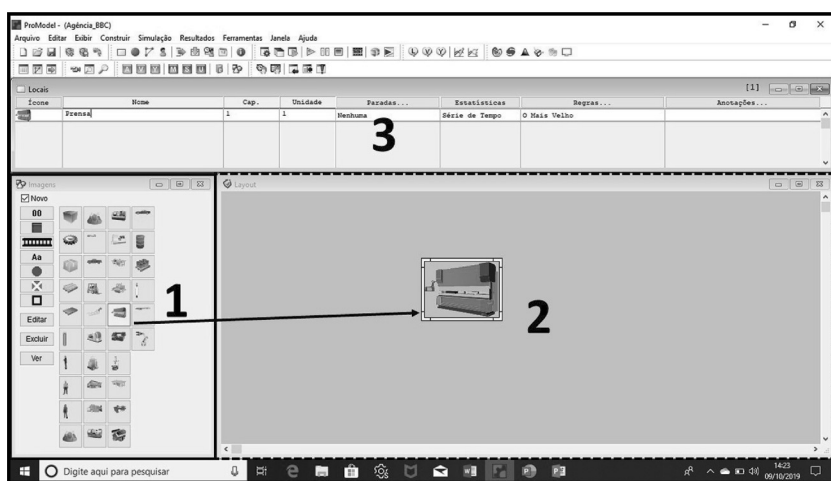


Figura 9.3: Exemplo de criação de um local.

Fonte: Promodel

Observando mais atentamente a planilha (**Figura 9.4**), gerada automaticamente no módulo Locais, há alguns elementos que serão explicados a seguir.

Ícone	Nome	Cap.	Unidade	Paradas...	Estatísticas	Regras...	Anotações...
	Prensa1	1	1	Nenhuma	Série de Tempo	O Mais Velho	

Figura 9.4: Planilha de detalhamento de local.

Fonte: Promodel

Após o ícone, é mostrado o nome do local criado. O campo “Cap.” Indica a capacidade deste, ou seja, quantas entidades podem ser processadas ali por vez, num determinado momento.

O campo “Unidade” indica a quantidade de “prensas”. O campo “Paradas” é utilizado para incluir os períodos em que o local fica sem atividade. Ele indica períodos inoperantes.

O campo “Estatísticas” permite indicar o tipo de dados que serão gerados nos relatórios. Você pode selecionar nenhuma, as estatísticas básicas ou as séries temporais. As estatísticas básicas coletam valores médios para o local. As séries temporais irão calcular dados de utilização como, por exemplo, a taxa de ocupação ou de ociosidade de um local.

E, por fim, “Regras” define o critério de processamento da entidade no local. Elas definem a seleção das entidades que entram no local e as ordena para sair para o próximo. Neste exemplo, será processada primeiro a entidade mais antiga (FIFO – *First In – First Out*), indicando que a primeira que entra no sistema é a primeira que sai).

Caso um local tenha sido criado indevidamente e seja necessário excluir-lo, deve-se clicar na planilha no nome do local. Em seguida, você deve ir à barra de comandos do Promodel e escolher Editar → Excluir → OK, conforme mostrado na **Figura 9.5**.



Figura 9.5: Procedimento para excluir local.

Fonte: Promodel

Agora que você já aprendeu como utilizar o módulo Locais, vamos ao exemplo da agência do banco BBC. Antes, porém, salve o modelo. Para isso, na linha de comandos do Promodel, que fica no topo da página,

clique em Arquivo → Salvar como. Será aberta uma janela com um campo para você indicar o nome do arquivo: *.mod. Salve como AgenciaBBC.mod, sem o “*” e sem acento circunflexo “^”.

Feito isso, vamos construir os locais, que neste exemplo serão: uma área de recepção, uma fila e o caixa. Crie nesta ordem, pois é o fluxo natural dos clientes no sistema, conforme definido no modelo conceitual. Isso vai facilitar o trabalho nos módulos seguintes, que possuem rotinas pré-programadas que facilitam a programação de acordo com a sequência de criação dos locais.

Ao criar o local “fila”, que é representado pelo ícone da esteira (parece uma escada deitada), você deve selecioná-lo e, em seguida, clicar uma vez na área de layout, arrastar o mouse e dar um duplo clique rapidamente para finalizar. A **Figura 9.6** apresenta os locais criados para o modelo.

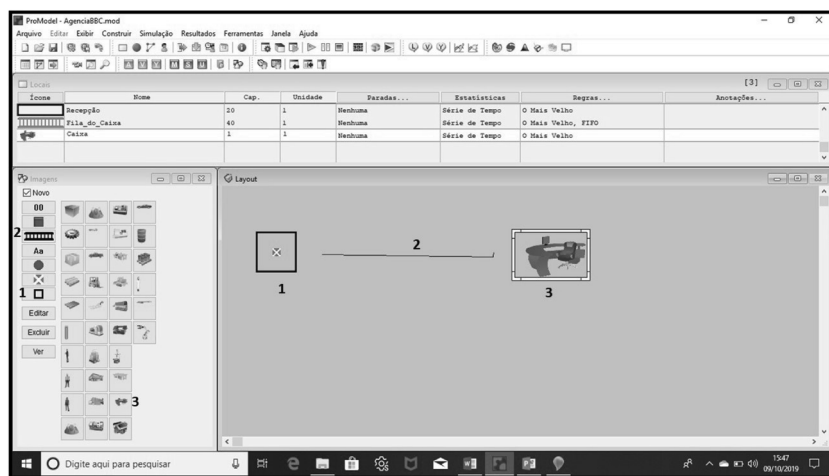


Figura 9.6: Módulo Locais modelo AgenciaBBC.

Fonte: Promodel

Os números 1, 2 e 3 que aparecem na imagem relacionam os ícones aos locais no layout, nesta ordem: recepção, fila do caixa e caixa. Altere os nomes dos locais na planilha para ficarem conforme os deste exemplo. Modifique também a capacidade da recepção para 20 e a fila do caixa para 40. Sua planilha de registro ficará conforme mostrado na **Figura 9.7**.

Ícone	Nome	Cap.	Unidade
	Recepção	20	1
	Fila_do_Caixa	40	1
	Caixa	1	1

Figura 9.7: Registro dos locais no modelo AgenciaBBC.

Fonte: Promodel

Terminada esta etapa, o passo seguinte é a criação das entidades que vão circular no modelo, o que será feito a seguir.

O módulo Entidades

As entidades são os objetos nos quais as ações e operações ocorrem no sistema, como, por exemplo, clientes, informações, formulários, peças, etc. No modelo, elas são representadas por ícones gráficos e podem ser móveis (circulam pelos locais) ou estacionárias (ficam em um local fixo).

Para criar uma entidade, o caminho na barra de comandos do Promodel é: Construir → Entidades. Será aberta a janela gráfica mostrada na **Figura 9.8**.

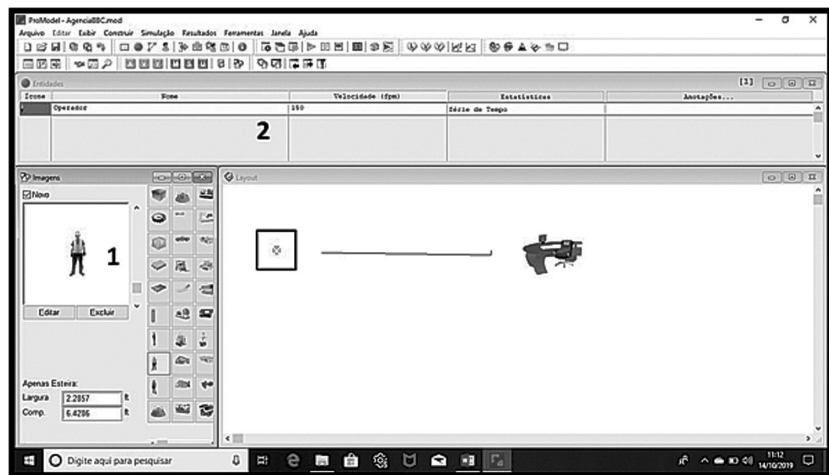


Figura 9.8: Janela gráfica para criação de entidades.

Fonte: Promodel

Na área 1, de imagens, selecione a que você quer utilizar. O ícone escolhido será inserido na janela e o registro da edição de entidades será preenchido automaticamente com os valores padrão (vide área 2). Você pode mudar o nome da entidade. Onde está “Operador”, altere para “Cliente” e salve o modelo.

Para ajustar tamanho e cor da entidade, você selecionar o botão Editar, logo abaixo do ícone da entidade. As dimensões podem ser alteradas utilizando a barra de rolagem, conforme mostrado na **Figura 9.9**.

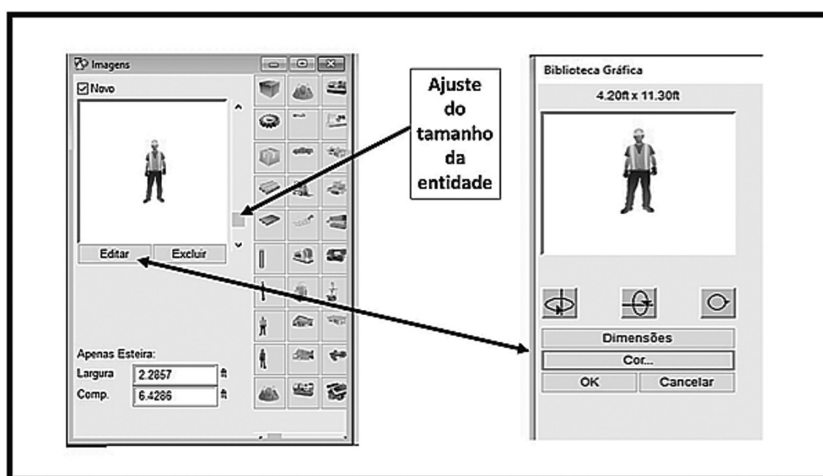


Figura 9.9: Edição da entidade.

Fonte: Promodel

Tendo sido criados os locais e a entidade, o passo seguinte é especificar como ela chega ao sistema.

O módulo Chegadas

Para especificar este processo se deve seguir o seguinte caminho na barra de comandos: Construir → Chegadas. Na tabela de edição, mostrada na **Figura 9.10**, há um conjunto campos a serem preenchidos.

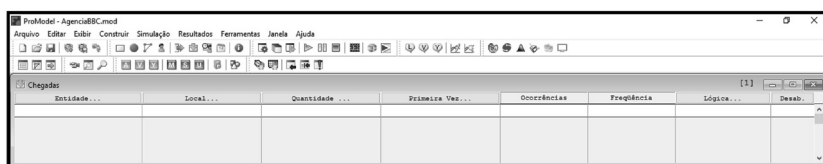


Figura 9.10: Janela de edição das chegadas.

Fonte: Promodel

O primeiro é o campo *Entidade*, que serve para indicar o nome da entidade que deverá chegar ao sistema. Para isso, basta clicar com o cursor do mouse sobre a palavra “Entidade” e você poderá fazer a escolha. Neste caso, será selecionada a entidade “Cliente”.

No campo *Local*, indica-se onde a entidade chega ao sistema. Para fazer a seleção, você segue o mesmo procedimento feito no campo *Entidade*. Basta clicar com o cursor do mouse sobre a palavra *Local* e escolher na janela de Opções, que mostra os locais que foram criados anteriormente e na ordem em que foram definidos. A janela mostrará a seguinte sequência: Recepção, Fila_do_caixa e Caixa. Neste caso, deverá ser selecionada a opção “Recepção”.

Em seguida, deve-se preencher o campo *Quantidade*, no qual se indica quantas entidades chegam ao sistema a cada chegada. Neste caso, do exemplo didático da agência bancária, será indicado “1”. Ou seja, chega um cliente de cada vez.

O campo *Primeira Vez* é utilizado para especificar em quanto tempo a primeira chegada irá acontecer após o início da execução do modelo. Se este campo for preenchido com o número 5 e a unidade do modelo for medida em minutos, a primeira chegada se dará 5 minutos após o início da rodada de simulação. Caso este campo fique em branco, serão utilizados os parâmetros definidos no campo *Frequência*. Para o modelo que estamos utilizando de exemplo, deixe em branco.

O campo *Ocorrências* é utilizado para definir o número de vezes que a chegada irá ocorrer. Para o modelo, utilize 50. Isso significa que ocorrerão 50 chegadas, a cada qual uma entidade chegará (conforme especificado no campo *Quantidade*).

O campo *Frequência* permite especificar o intervalo entre as chegadas sucessivas de entidades no sistema. Se você indicar 1 minuto, este será o intervalo de tempo que vai se passar entre a chegada de um cliente e a do imediatamente seguinte e assim sucessivamente. O campo *Frequência* pode ter como especificação uma variável, uma macro, uma constante ou uma distribuição de probabilidade. Para este modelo, utilizaremos uma constante igual a 3 minutos.

O campo *Lógica* permite que seja especificada uma programação para uma determinada entidade que chega ao sistema. Para o modelo da agência, deixe em branco. Por fim, o campo *Desab.* serve para habilitar ou desabilitar a linha de especificação como registro de chegada. Digite *Não* para o modelo. A **Figura 9.11** mostra como ficou o módulo de chegadas da agência bancária.

Entidade...	Local...	Quantidade...	Primeira Vez...	Ocorrências	Frequência	Lógica...	Desab.
Cliente	Recepção	1		50	5 min		Mão

Figura 9.11: Chegadas do modelo da agência bancária.

Fonte: Promodel

Concluída esta etapa, o passo seguinte é definir o fluxo da entidade no sistema. Ele deve seguir a lógica do modelo conceitual.

O módulo Processos

Nesta fase o que se faz é de maneira ordenada nomear a entidade, indicar em qual local se encontram e o que acontece com a entidade neste local. Em seguida, é indicado o próximo local para a entidade ir e assim sucessivamente até que esta saia do sistema.

No modelo computacional da agência bancária, o fluxo segue a lógica do modelo conceitual: os clientes chegam à área de espera, encaminham-se para a fila e, em seguida, são atendidos no caixa. Depois, saem da agência.

Para acessar este módulo, o caminho é: Construir → Processos. Ao fazer isto, será aberta a janela gráfica. O principal ponto de atenção é na planilha de registro. Serão duas áreas: uma de processo e outra de roteamento, conforme mostra a **Figura 9.12**.

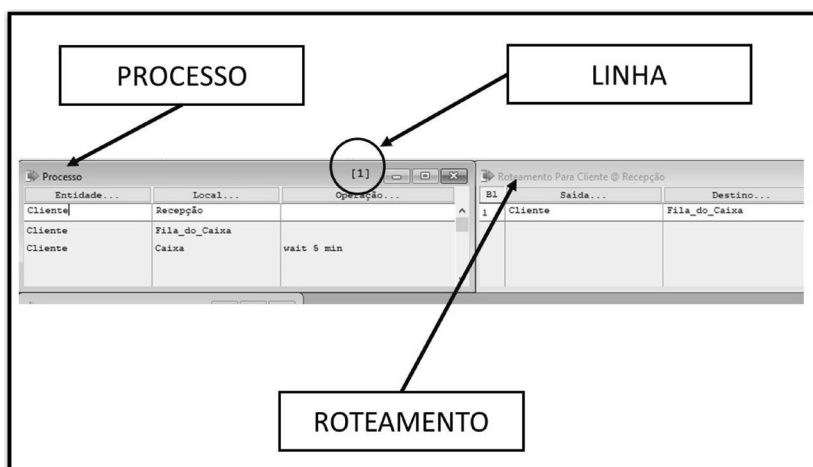


Figura 9.12: Registro de processo: Recepção.

Fonte: Promodel

A primeira linha de registro de processo deve ser preenchida conforme mostra a **Figura 9.12**. Observe que, em cima da palavra Operação há um número 1 entre colchetes, indicando que é a primeira linha. A entidade Cliente chega ao local recepção, onde não ocorre nenhuma operação. O roteamento deve ser especificado assim: a saída é da entidade cliente, com destino à Fila_do_caixa com a regra First 1 (primeiro disponível). Esta regra será automaticamente gerada. Depois, você poderá explorar as demais opções deste campo com um clique na palavra “Regra”.

Em seguida, deve ser definido o processo de roteamento para a fila do caixa, conforme mostra a **Figura 9.13**. Note que o número em cima da palavra “Operação” mudou para 2, indicando ser a segunda linha.

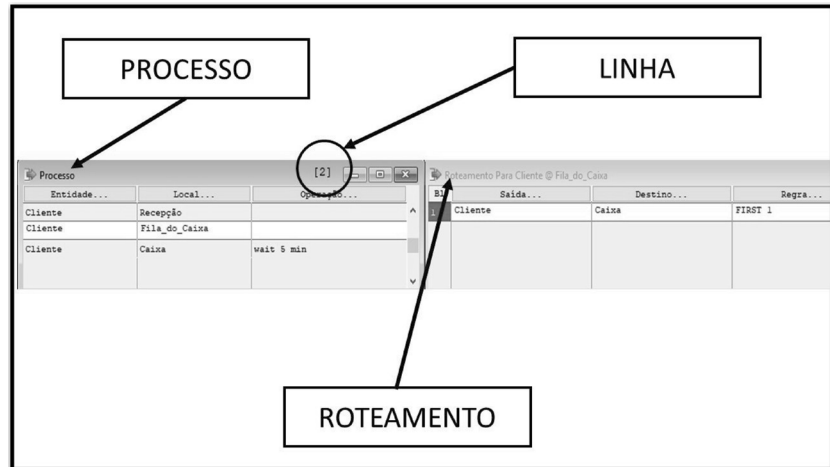


Figura 9.13: Registro de processo: Fila do caixa.
 Fonte: Promodel

A entidade Cliente está no local Fila_do_Caixa, onde não passará por nenhuma operação. Deste local, sairá a entidade Cliente, com destino ao Caixa. Feito isso, o próximo passo é especificar o processo relativo ao local Caixa, mostrado na **Figura 9.14**.

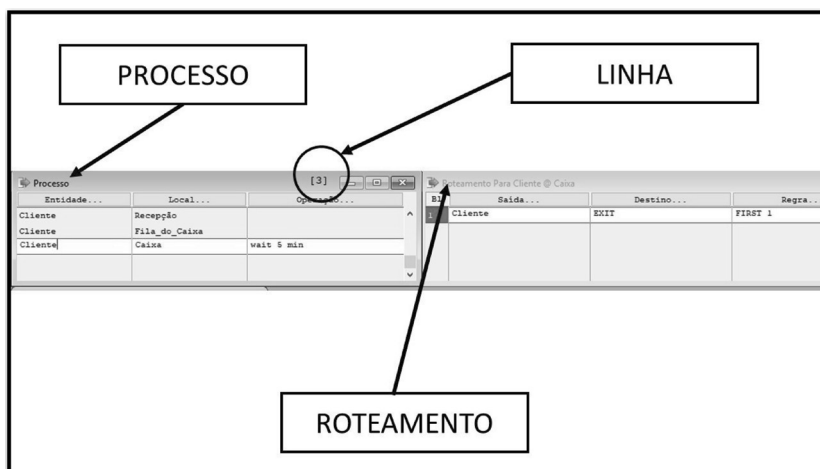


Figura 9.14: Registro de processo: Caixa.

Fonte: Promodel

A entidade Cliente está no local Caixa, onde será atendido. A operação de atendimento dura em média 5 minutos. Para especificar o tempo de duração da atividade, é utilizado o comando WAIT seguido de um período de tempo, neste caso 5 minutos. No campo Operação, digite wait 5 min. Quando a entidade chegar ao local Caixa, vai ficar parada por 5 minutos, representando-se assim, o tempo que duraria o atendimento pelo caixa. No roteamento, a saída é da entidade Cliente, com destino “EXIT”, para registrar que a entidade irá para fora do sistema.

Antes de avançar nas próximas ações faça a verificação dos módulos Locais, Entidades, Processos e Chegadas que você programou no modelo AgenciaBBC, no Promodel. O **quadro 9.1**, mostra como devem ficar os campos do módulo Locais. O **quadro 9.2**, mostra o conteúdo dos campos equivalentes ao módulo Entidades. Nestes quadros no campo ícone está escrito o nome correspondente ao da figura representativa do mesmo no *software*. Para ver essa informação basta posicionar o cursor em cima ícone no *software* e o nome do mesmo aparecerá.

Quadro 9.1: Programação do módulo Locais

Ícone	Nome	Cap.	Unidade	Paradas	Estatísticas	Regras
Região	Recepção	20	1	Nenhuma	Série de Tempo	O mais velho
Esteira	Fila_do_Caixa	40	1	Nenhuma	Série de Tempo	O mais velho, FIFO
Escrivaninha	Caixa	1	1	Nenhuma	Série de Tempo	O mais velho

Quadro 9.2: Programação do módulo Entidades

Ícone	Nome	Velocidade (fpm)	Estatísticas	Anotações
Operador	Cliente	150	Série de Tempo	

Os quadros 9.3 e 9.4 mostram o conteúdo nos campos dos módulos Processos e Chegadas respectivamente:

Quadro 9.3: Programação do módulo Processos

Processos				Roteamento				
Linha	Entidade	Local	Operação	B1	Saída	Destino	Regra	Log. Mov.
1	Cliente	Recepção		1	Cliente	Fila_do_Caixa	FIRST 1	
2	Cliente	Fila_do_Caixa		1	Cliente	Caixa	FIRST 1	
3	Cliente	Caixa	wait 5 min	1	Cliente	EXIT	FIRST 1	

Quadro 9.4: Programação do módulo Chegadas

Entidade	Local	Quant.	Primeira Vez	Ocorrências	Frequência	Lógica	Desab.
Cliente	Recepção	1		50	3 min		Não

Duração da simulação

Para definir quanto tempo deve durar a rodada, o caminho a partir da barra de comandos do Promodel é: Simulação → Opções. Será aberta uma janela para inserção dos dados, conforme mostra a **Figura 9.15**.

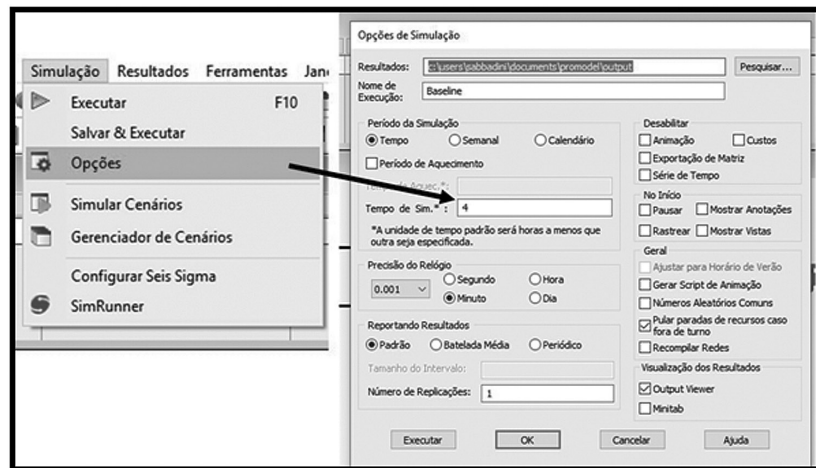


Figura 9.15: Definição da duração da simulação.

Fonte: Promodel

No caso do modelo da agência bancária (AgenciaBBC), o atendimento se inicia às 11 horas e termina às 15 horas, sendo portanto 4 horas de duração do serviço.

Após concluir esta etapa, o modelo computacional AgenciaBBC estará concluído, contendo os elementos fundamentais de programação do Promodel. As **Figuras 9.16 e 9.17** apresentam a animação visual do modelo e os relatórios com as saídas geradas por este, respectivamente. Para a realização de experimentos, seriam necessárias a verificação e a validação.

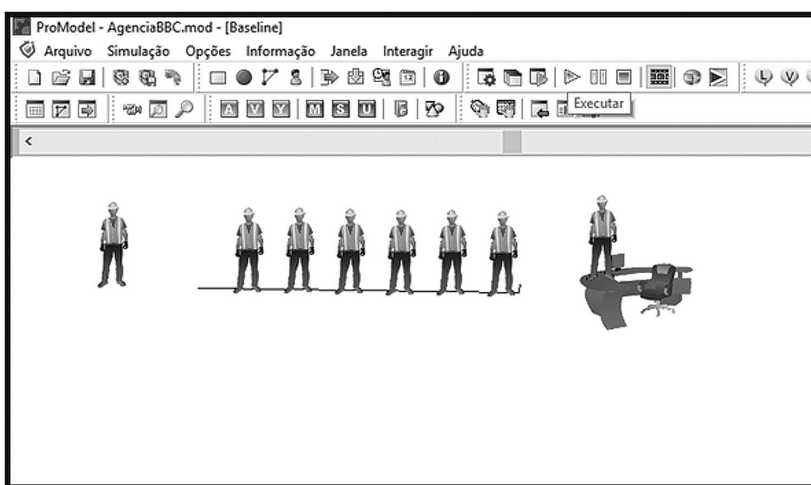


Figura 9.16: Visualização do modelo AgenciaBBC.

Fonte: Promodel

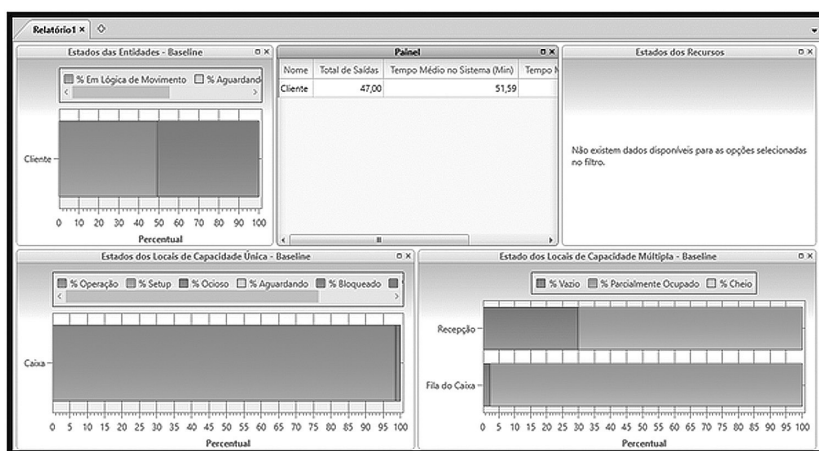


Figura 9.17: Relatórios das saídas do modelo AgenciaBBC.

Fonte: Promodel

A **Figura 9.16** mostra o cliente em cima da mesa, atendido pela mesa. Para finalizar, é recomendável melhorar a apresentação do modelo na sua visualização. Assim, serão inseridos alguns elementos gráficos especiais: um contador, luz de status, texto e *spots*. Estes últimos são utilizados para posicionar as entidades em locais adequados no momento da visualização, como, por exemplo, mostrar a entidade cliente em frente da mesa ao invés de em cima dela.

A luz de status muda de cor conforme o estado em que se encontra o local. Fica azul quando ocioso; verde quando em operação; rosa quando bloqueado e vermelha quando o local está fora de operação. Esses elementos podem ser identificados na **Figura 9.18**.

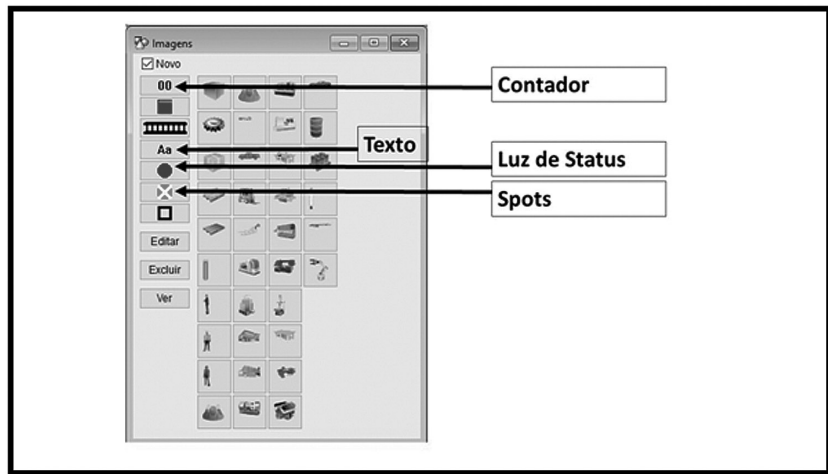


Figura 9.18: Gráficos especiais.

Fonte: Promodel

Para inserir esses elementos, acesse o módulo *Locais* e clique no layout, no ícone relativo à área de recepção. Na área de figuras, desmarque a caixa de seleção “novo”, acima da figura do contador. Em seguida, clique no ícone do contador e na área de layout no local Recepção. Faça a mesma coisa com a luz de status e com os spots. Terminadas as adições neste local, repita o processo para o Caixa. Em seguida, é hora de identificar textualmente os locais. Para isso, selecione o ícone de texto, clique na área de layout no local que deseja nomear. Feito isso, em todos os locais, marque novamente a caixa de seleção “Novo”. A **Figura 9.19** mostra como ficou o layout e a animação do modelo.

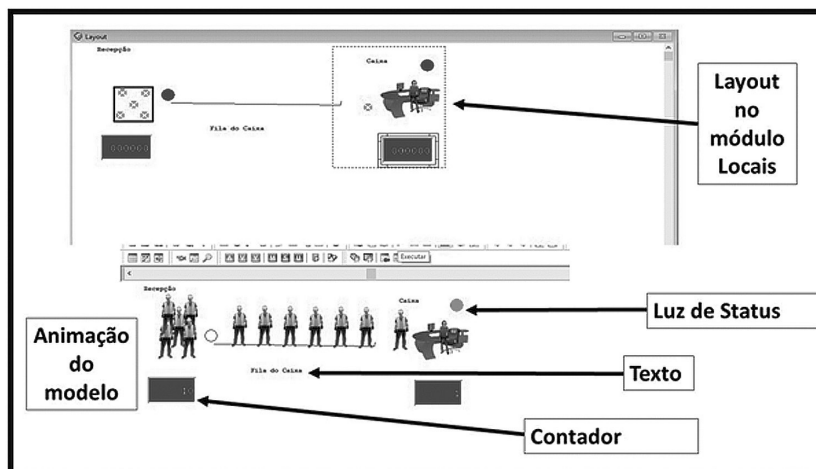


Figura 9.19: Layout no módulo Locais e animação do modelo.

Fonte: Promodel

Se compararmos as **Figuras 9.16 e 9.19**, uma melhora significativa da animação do modelo poderá ser notada. Agora que você conhece as etapas e os recursos para a construção de um modelo computacional com o Promodel, é hora de praticar fazendo uma atividade.

Atividade

Atende aos objetivos 1, 2, 3 e 4

Você deverá criar um modelo computacional com base nas informações a seguir:

Locais:

Estoque de barras – Capacidade: 32 peças.

Esteira – Capacidade: infinita.

Torno – Capacidade: 1 peça.

Esteira acabamento – Capacidade: infinita.

Acabamento – Capacidade: 15 peças.

Entidades:

Barra

Engrenagem

Chegadas:

As barras são entregues a cada 30 minutos, 15 unidades por vez.

Processos:

As barras são entregues na área de estoque. Em seguida seguem pela esteira até o torno, onde são transformadas em engrenagens. Cada barra gera uma engrenagem. O torno é automatizado e seu processo dura 2 minutos. Terminada a operação, as engrenagens são transportadas por uma esteira até a área de acabamento, cujo processo demora em média 15 minutos. Feito isso, as peças saem do sistema.

Observações:

1. Utilize os gráficos especiais para os locais: contador, luz de status, spots e texto.
2. Rode o modelo com uma única replicação.
3. Salve o modelo com o seguinte nome: Fabrica1.mod

Resposta comentada

A **Figura 9.20** mostra o módulo Locais após a sua construção.

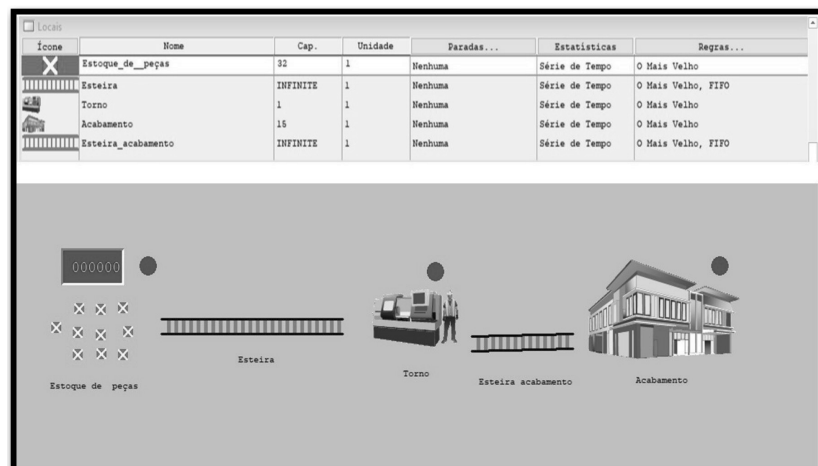


Figura 9.20: Módulo Locais no modelo Fabrica1.

Fonte: Promodel

Com relação às entidades, foram criadas duas: Barra e Engrenagem. Isso se deve ao fato de que, em dado momento do processo, a barra será

transformada em engrenagem. A **Figura 9.21** apresenta a edição das entidades mencionadas.

Ícone	Nome	Velocidade
	Barra	150
	Engrenagem	150

Figura 9.21: Módulo Entidades no modelo Fabrica1.

Fonte: Promodel

Em relação às chegadas, uma única entidade foi especificada: a barra. Chegam 15 barras por vez, em intervalos de 30 minutos. Isso ocorre 10 vezes ao longo da simulação. O módulo Processos foi programado de acordo com o fluxo das entidades no sistema: entra barra e, após passar pelo torno, é transformada em engrenagem. A Barra quando passa pelo local torno demora 2 minutos em processamento (wait 2 min) e a Engrenagem quando passa pelo local Acabamento demora 15 minutos em processamento (wait 15 min). A **Figura 9.22** apresenta a programação das chegadas e dos processos.

MÓDULO: CHEGADAS

Entidade...	Local...	Quantidade ...	Primeira Vez...	Ocorrências	Frequência	Lógica...	Desab.
Barra	Estoque_de_peças	15		10	30 min		Não

MÓDULO: PROCESSOS

Entidade...	Local...	Operação...
Barra	Estoque_de_peças	animate 10
Barra	Esteira	
Barra	Torno	wait 2 min
Engrenagem	Esteira_acabamento	
Engrenagem	Acabamento	Wait 15 min

R1	Saída...	Destino...	Regra...
1	Barra	Esteira	FIRST 1

Figura 9.22: Módulo Chegadas e Processos no modelo Fabrica1.

Fonte: Promodel

Para consolidar seu aprendizado nesta atividade, faça a verificação da programação dos módulos Locais, Entidades, Processos e Chegadas

do modelo Fabrica1 que você desenvolveu no Promodel. O **quadro 9.5**, mostra como devem ficar os campos do módulo Locais. O **quadro 9.6**, mostra o conteúdo dos campos equivalentes ao módulo Entidades. Nestes quadros no campo ícone está escrito o nome correspondente ao da figura representativa do mesmo no *software*:

Quadro 9.5: Programação do módulo Locais no modelo Fabrica1

Ícone	Nome	Cap.	Unidade	Paradas	Estatísticas	Regras
Local de entidade	Estoque_de_peças	32	1	Nenhuma	Série de Tempo	O mais velho
Esteira	Esteira	INFINITE	1	Nenhuma	Série de Tempo	O mais velho, FIFO
Torno	Torno	1	1	Nenhuma	Série de Tempo	O mais velho
Esteira	Esteira_acabamento	INFINITE	1	Nenhuma	Série de Tempo	O mais velho, FIFO
Edifício	Acabamento	15	1	Nenhuma	Série de Tempo	O mais velho

Quadro 9.6: Programação do módulo Entidades no modelo Fabrica1

Ícone	Nome	Velocidade (fpm)	Estatísticas	Anotações
Barra	Barra	150	Série de Tempo	
Engrenagem	Engrenagem	150	Série de Tempo	

Os quadros **9.7** e **9.8** mostram o conteúdo dos campos dos módulos Processos e Chegadas respectivamente:

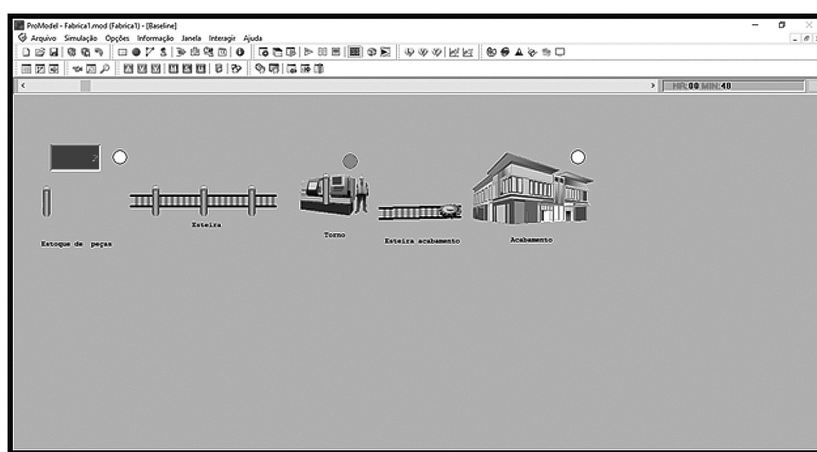
Quadro 9.7: Programação do módulo Processos no modelo Fabrica1

Processos				Roteamento				
Linha	Entidade	Local	Operação	B1	Saída	Destino	Regra	Log. Mov.
1	Barra	Estoque_de_Peças	animate 10	1	Barra	Esteira	FIRST 1	
2	Barra	Esteira		1	Barra	Torno	FIRST 1	
3	Barra	Torno	wait 2 min	1	Engrenagem	Esteira_acabamento	FIRST 1	
4	Engrenagem	Esteira_acabamento		1	Engrenagem	Acabamento	FIRST 1	
5	Engrenagem	Acabamento	wait 15 min	1	Engrenagem	EXIT	FIRST 1	

Quadro 9.8: Programação do módulo Chegadas no modelo Fabrica1

Entidade	Local	Quant.	Primeira Vez	Ocorrências	Frequência	Lógica	Desab.
Barra	Estoque_de_peças	15		10	30 min		Não

Oportunamente, na primeira linha do processo, no campo Operação, foi inserido o comando Animate, que é utilizado para controlar a velocidade de exibição da animação do modelo. O número 10, após o comando, é uma especificação. Quanto maior for este número, mais rápida será a velocidade de exibição da animação. A **Figura 9.23** mostra a tela de visualização da simulação.

**Figura 9.23:** Visualização do modelo Fabrica1.

Fonte: Promodel

Conclusão

A construção do modelo computacional requer do analista de simulação uma abordagem sistemática, além do domínio dos módulos e dos comandos fundamentais. O domínio da modelagem computacional requer prática.

O modelo deve ser simples e, ao mesmo tempo, o mais completo possível para que seja útil para a realização de experimentos e análises que sirvam de apoio para a tomada de decisão.

Resumo

Nesta aula, você aprendeu a construir um modelo de simulação utilizando o *software* Promodel. Foi desenvolvido um tutorial por meio do qual você pode seguir passo a passo, de forma sistemática, cada etapa do processo, por meio da construção do modelo AgenciaBBC. Do mesmo modo, você pode consolidar seus conhecimentos praticando com o modelo Fabrica1.

Na próxima aula, serão apresentados de forma aplicada comandos relacionados a processos e à lógica de programação do modelo, permitindo trabalhar com situações mais específicas, como movimentação e desvios no roteamento, entre outras.

Referências

HARRELL, C. R.; PRICE, R. N. Simulation modeling on optimization using Promodel. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, p. 197-202. Orlando, Florida: 2000.

HARRELL, C. R.; PRICE, R. N. Simulation modeling on optimization using Promodel technology. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, p. 226-232. Arlington, VA: 2001.

SABBADINI, F. S. *Teoria das restrições e simulação aplicados a serviços de saúde*. Jundiaí: Paco Editorial, 2017.

Aula 10

Aplicações de simulação no Promodel

Meta

Apresentar a utilização do construtor de lógicas do Promodel, utilizado em operação e movimentação, de modo a propiciar ao estudante o conhecimento para aplicar esta ferramenta na construção do modelo computacional de forma mais eficiente.

Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. especificar processos e regras de roteamento;
2. definir operações em que haja fracionamento na saída do processo;
3. rotear múltiplos destinos para uma rota;
4. utilizar o construtor de lógicas para definir a lógica de operações e a de movimentação;
5. especificar os comandos ACCUM e MOVE FOR.

Introdução

Na aula anterior, você aprendeu como construir um modelo computacional de simulação utilizando os módulos fundamentais do Promodel: Locais, Entidades, Processos e Chegadas. Além disso, aprendeu a inserir alguns elementos especiais para melhorar a visualização do modelo, como *spots*, contador, texto e luz de *status*.

Na presente aula, você vai aprender como utilizar recursos de lógica relacionados aos processos e regras de roteamento das entidades no sistema, como quantidades de saída e roteamento múltiplo. Também vai aprender como usar o construtor de lógicas para facilitar seu trabalho na utilização de comandos. Para isso, vamos utilizar o modelo *Fabrica1*, desenvolvido na Aula 9.

Processos

Conforme visto na aula anterior, o módulo Processos, quando acessado, mostra três janelas simultaneamente: Processos, Roteamento e Ferramentas. A janela de ferramentas permite, entre outras coisas, escolher a entidade que vai ser inserida. Se você abrir o modelo *Fabrica1* e acessar o módulo Processos, poderá visualizar estas janelas.

Regras de roteamento

Há várias regras de roteamento que podem ser utilizadas para determinar as condições que serão definidas e quais locais serão sequenciados como destino da entidade. Ao clicar no botão Regras, será possível visualizar as diversas possibilidades em termos de roteamento na caixa de diálogo “Regras de Roteamento”. A **Figura 10.1** mostra este recurso.

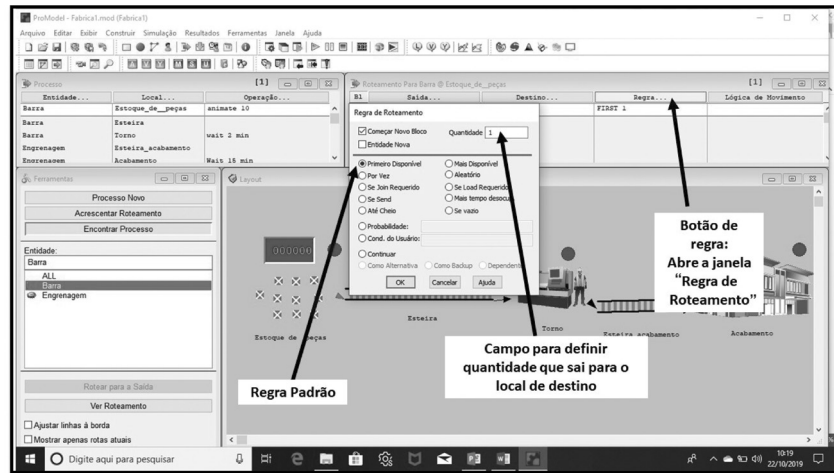


Figura 10.1: Janela de regra de roteamento.

No Promodel, a regra padrão mostrada na janela de roteamento é a “Primeiro Disponível”. Ela permite verificar continuamente qual o local disponível e define como primeiro aquele que estiver com a capacidade disponível para que a entidade seja direcionada para ele.

O campo Quantidade na janela de regras possibilita definir qual a quantidade de entidades que irá para o destino definido. No exemplo do modelo Fabrica1, a entidade que entra no processo é a “Barra” e entidade que sai é a “Engrenagem”. A relação de conversão Barra-Engrenagem é de 1 para 1.

===== **Atividade 1** =====

Atende aos objetivos 1 e 2

Utilizando o modelo Fabrica1, defina que a relação de conversão “Barra-Engrenagem” agora será de 1-5, ou seja, cada barra que passar pelo torno será convertida em cinco engrenagens.

Resposta comentada

Para fazer esta alteração, deve-se estar na linha 3 da janela Processos, que é onde está definido o local “Torno”, e, então, clicar no botão Regras, na janela de roteamento. Ao ser aberta a caixa de diálogo “Regras

de Roteamento”, alterar o campo quantidade de 1 para 5. Não alterar os demais campos da caixa de diálogo, conforme mostrado na **Figura 10.2**. Clicar em OK. Feito isso, rode o modelo para visualizar os efeitos desta alteração.

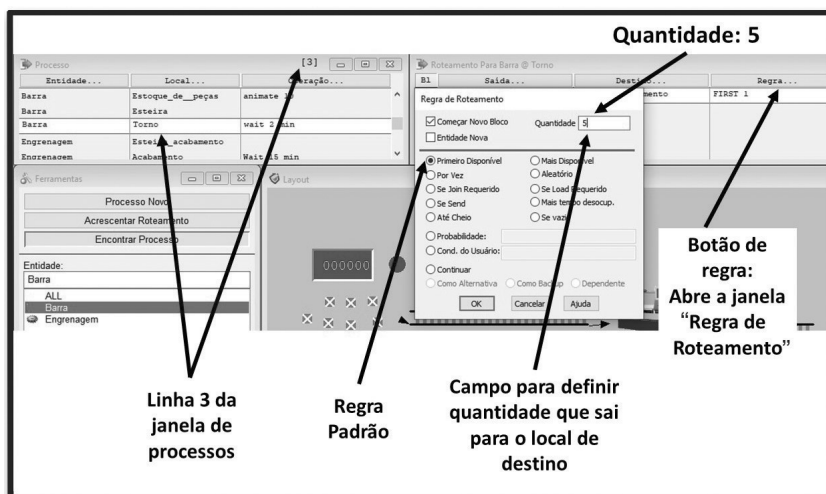


Figura 10.2: Alteração de quantidades na regra de roteamento.

A quantidade pode ser um número, porém o campo aceita qualquer expressão numérica. Esse tipo de aplicação é típico para o uso de quantidades que aumentam nos campos de regras para operações como corte, despaletização, desunitização, fracionamento, entre outras.

A necessidade de roteamento múltiplo é comum em determinadas operações, como, por exemplo, quando há uma rota e vários destinos. Na janela de roteamento, pode ser determinado que a entidade vá para um dos locais definidos. Para utilizar esta funcionalidade, vamos modificar o modelo Fabrica1, inserindo mais um local de destino após o Torno, ou seja, vamos criar mais um setor, de “Acabamento”.

Para isso, vá ao módulo Locais e faça esta operação. Você não vai alterar a quantidade do local Acabamento já existente para 2 e, sim, criar um novo local, que vai denominar “Acabamento 2”. Defina a capacidade deste local com “15”. Crie também uma esteira para transportar as engrenagens do Torno para o novo local criado (“Acabamento 2”). Identifique-a como “esteira_acabamento_2”. A **Figura 10.3** mostra como ficará o novo layout. Agora salve o modelo modificado como Fabrica2.

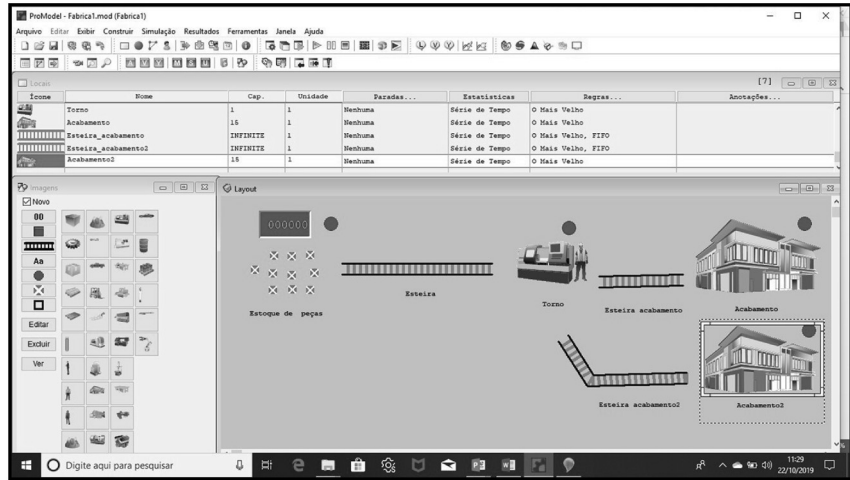


Figura 10.3: Locais no modelo Fabrica2.

Verifique se a programação do módulo locais, no Promodel, ficou de acordo com o **quadro 10.1**, a seguir:

Quadro 10.1: Programação do módulo Locais no modelo Fabrica2

Ícone	Nome	Cap.	Unidade	Paradas	Estatísticas	Regras
Local de entidade	Estoque de Peças	32	1	Nenhuma	Série de Tempo	O mais velho
Esteira	Esteira	INFINITE	1	Nenhuma	Série de Tempo	O mais velho, FIFO
Torno	Torno	1	1	Nenhuma	Série de Tempo	O mais velho
Esteira	Esteira_acabamento	INFINITE	1	Nenhuma	Série de Tempo	O mais velho, FIFO
Edifício	Acabamento	15	1	Nenhuma	Série de Tempo	O mais velho
Esteira	Esteira_acabamento2	INFINITE	1	Nenhuma	Série de Tempo	O mais velho, FIFO
Edifício	Acabamento2	15	1	Nenhuma	Série de Tempo	O mais velho

Após ter criado os locais “Esteira_acabamento2” e “Acabamento2”, é preciso acessar o módulo Processos e incluir o fluxo da entidade Engrenagem na “Esteira_acabamento2” e no “Acabamento2”, devendo-se incluir também um tempo de 15 minutos de operação com o comando WAIT (Wait 15 min), conforme mostra a **Figura 10.4**.

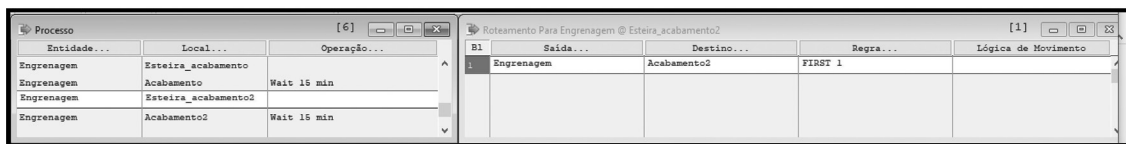


Figura 10.4: Ajustes no módulo Processos no modelo Fabrica2.

Até este ponto o módulo processos deverá ter a seguinte programação, conforme mostrado no **quadro 10.2**, a seguir:

Quadro 10.2: Programação do módulo Processos no modelo Fabrica2

Processos				Roteamento				
Linha	Entidade	Local	Operação	B1	Saída	Destino	Regra	Log. Mov.
1	Barra	Estoque_de_Peças	Animate 10	1	Barra	Esteira	FIRST 1	
2	Barra	Esteira		1	Barra	Torno	FIRST 1	
3	Barra	Torno	Wait 2 min	1	Engrenagem	Esteira_acabamento	FIRST 1	
4	Engrenagem	Esteira_acabamento		1	Engrenagem	Acabamento	FIRST 1	
5	Engrenagem	Acabamento	Wait 15 min	1	Engrenagem	EXIT	FIRST 1	
6	Engrenagem	Esteira_acabamento2		1	Engrenagem	Acabamento2	FIRST 1	
7	Engrenagem	Acabamento2	Wait 15 min	1	Engrenagem	EXIT	FIRST 1	

Feitas as modificações recomendadas, após a operação Torno, a entidade Engrenagem poderá ser direcionada para um dos locais de acabamento existentes no modelo, passando pela esteira pertinente a este local. Esta é uma situação em que existe uma rota e dois destinos. Neste caso, na caixa de diálogo de “Regras de Roteamento”, você deve escolher a opção “Probabilidade” e indicar qual percentual vai para o destino desejado. Note que você deverá preencher na janela de roteamento os campos Saída, Destino e Regra para cada destinação desejada. Suponha que 30% irá para o Destino 1 e 70% irá para o Destino 2. Neste caso, na linha 1, para o Destino 1 deverá ser indicado que a saída é da entidade Engrenagem, Destino será Destino 1 e, na caixa de diálogo da regra, será selecionada a opção Probabilidade, preenchendo-se este campo com o valor 0.3.

Ainda na janela de roteamento, será preenchida a linha 2 indicando que a Saída é da Engrenagem, o Destino será Destino 2 e na caixa de diálogo da Regra marca-se a opção Probabilidade e se preenche o campo com 0.70, conforme mostrado na **Figura 10.5**.

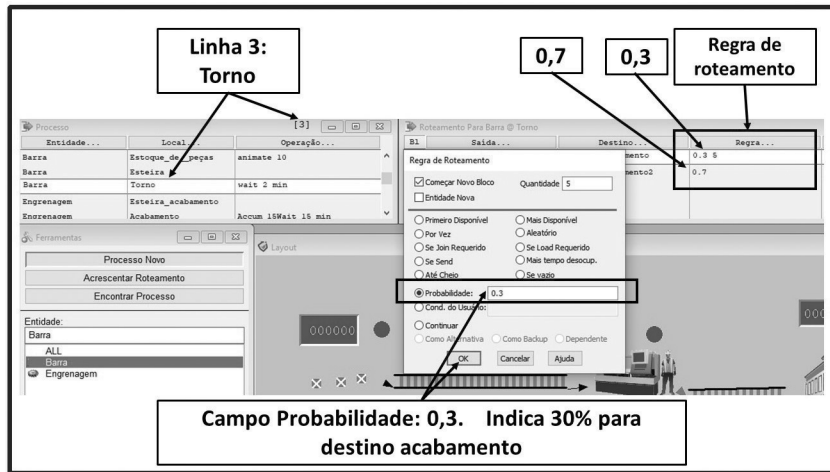


Figura 10.5: Roteamento múltiplo.

Atividade 2

Atende aos objetivos 1, 2 e 3.

Utilizando o modelo Fabrica2 e observando o exemplo ilustrado na **Figura 10.5**, a partir do local Torno (linha 3 da janela de processos), defina que 50% das engrenagens vão para cada local de acabamento, passando pelas respectivas esteiras.

Resposta comentada

Para realizar esta atividade, você deve estar na linha 3 da janela de processos, pois a rota se divide após a operação realizada no Torno. Na janela de roteamento relacionada a este processo, você deve especificar que 50% das engrenagens vão para a “Esteira_acabamento”. Faça isso clicando no botão Regra. Será aberta a caixa de diálogo “Regras de

Roteamento”. Marque Probabilidade e preencha o campo com o valor 0.5 (zero ponto cinco), conforme mostrado na **Figura 10.6**. Em seguida, marque OK.



Regra de Roteamento

Começar Novo Bloco Quantidade

Entidade Nova

Primeiro Disponível Mais Disponível

Por Vez Aleatório

Se Join Requerido Se Load Requerido

Se Send Mais tempo desocup.

Até Cheio Se vazio

Probabilidade:

Cond. do Usuário:

Continuar

Como Alternativa Como Backup Dependente

Figura 10.6: Regra de roteamento.

Para destinar os 50% restantes para a “Esteira_acabamento2”, abra uma nova linha na janela de roteamento na qual está trabalhando e repita o procedimento feito anteriormente. A **Figura 10.7** mostra o resultado. Depois, rode o modelo e observe o que ocorre.

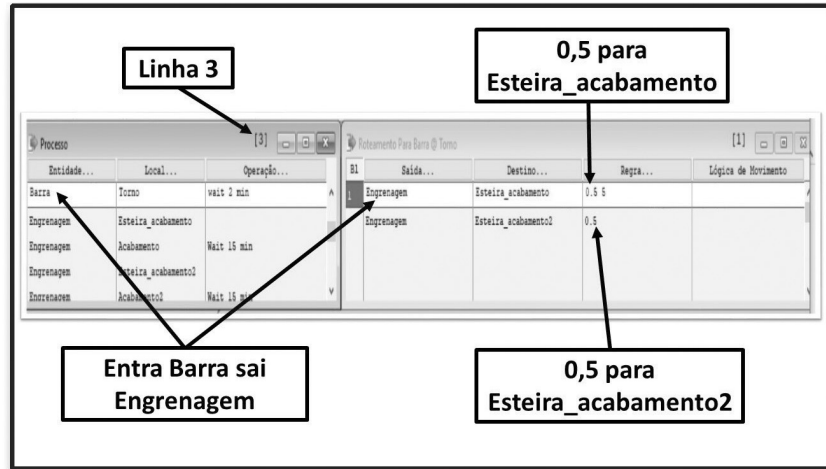


Figura 10.7: Definição de múltiplos destinos no modelo Fabrica2.

Até este ponto o módulo processos deverá ter a seguinte programação, conforme mostrado no **quadro 10.3**, a seguir:

Quadro 10.3: Programação do módulo Processos no modelo Fabrica2 após bifurcação

Processos				Roteamento				
Linha	Entidade	Local	Operação	B1	Saída	Destino	Regra	Log. Mov.
1	Barra	Estoque_de_Peças	Animate 10	1	Barra	Esteira	FIRST 1	
2	Barra	Esteira		1	Barra	Torno	FIRST 1	
3	Barra	Torno	Wait 2 min	1	Engrenagem	Esteira_acabamento	0.5 5	
					Engrenagem	Esteira_acabamento2	0.5	
4	Engrenagem	Esteira_acabamento		1	Engrenagem	Acabamento	FIRST 1	
5	Engrenagem	Acabamento	Wait 15 min	1	Engrenagem	EXIT	FIRST 1	
6	Engrenagem	Esteira_acabamento2		1	Engrenagem	Acabamento2	FIRST 1	
7	Engrenagem	Acabamento2	Wait 15 min	1	Engrenagem	EXIT	FIRST 1	

Lógica de operação e de movimentação

A partir da especificação do modelo conceitual uma série de elementos lógicos pode ser definida, os quais estão relacionados fundamentalmente com a lógica aplicada às operações e à movimentação das entidades no modelo computacional.

A lógica de operações é o que faz com que a entidade realize ou que seja realizado nela o que se deseja no modelo. Ela é posicionada e especificada no campo Operação, na janela de processo. Se você observar a **Figura 10.7**, verá que o comando WAIT está definindo o tempo que a entidade Barra deverá ficar no local Torno. Isso está representando a lógica de transformação da entidade Barra na entidade Engrenagem, o que pode ser visto na janela de roteamento.

Uma maneira de raciocinar em termos de lógica de operação é: a entidade Barra está no local Torno. O que acontece com esta entidade lá? Ela vai utilizar algum recurso? Ela muda de forma? Ela permanecerá quanto tempo neste local? Estas perguntas ajudam a definir o processo que ocorre naquele local e, também, indicam o que deve ser codificado na lógica tal como ele acontecerá.

Assim, a lógica de movimentação permite definir como a entidade irá se movimentar de cada local onde estiver para um determinado destino especificado. As três categorias básicas de movimentação da entidade são: rede de caminho, tempo e recurso. A especificação dessa lógica é feita na janela de roteamento, no módulo Processos.

Tanto a lógica de operação quanto a lógica de movimentação podem ser especificadas por meio de digitação manual ou utilizando o construtor de lógicas do Promodel, que você verá a seguir. Portanto, esteja com o modelo Fabrica2 aberto para fazer o passo a passo. Assim, você poderá identificar cada elemento e compreender como utilizar esta funcionalidade do *software*.

O construtor de lógicas

É uma ferramenta que o Promodel oferece para facilitar na especificação da lógica por meio da inclusão de comandos. Todas as declarações e ações que podem ser definidas no *software* estão disponíveis numa biblioteca de comandos que podem ser codificados por meio deste recurso pelo método aponte e clique.

É uma forma de construir lógicas ou de entrar com a especificação e os nomes de itens definidos, funcionando em qualquer campo que aceite expressões lógicas. Assim, torna-se uma maneira fácil de garantir que a sintaxe dos comandos esteja correta.

Para chamar o construtor de lógicas, você deve realizar o seguinte procedimento:

1. Para a lógica de operação, na janela Processo, você deve:
 - a) posicionar o cursor na linha do local onde vai incluir a operação;
 - b) clicar botão do campo “Operação”;
 - c) em seguida, na caixa de diálogo, clicar no ícone do martelo.

Feito isso, será ativado o construtor de lógicas e você poderá inserir o comando desejado. A **Figura 10.8** mostra esse procedimento.

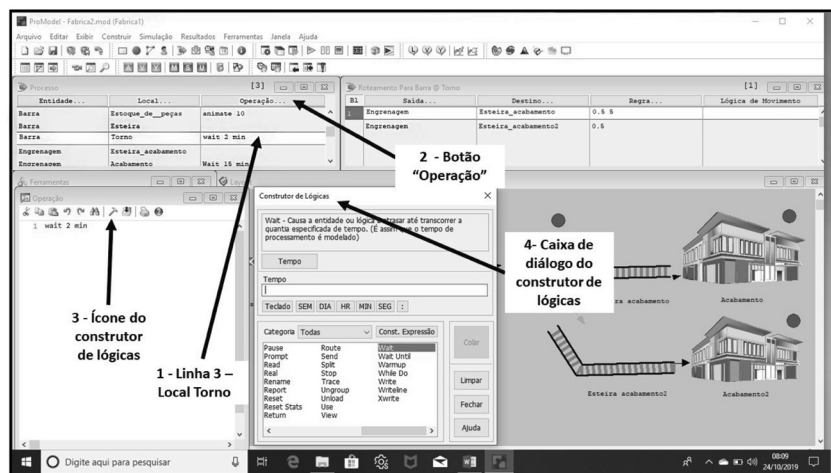


Figura 10.8: Construtor de lógicas de operação.

2. Para a lógica de movimentação, na janela de roteamento, você deve:
 - a) posicionar o cursor na linha do local a que se refere a ação;
 - b) clicar no botão do campo “Lógica de Movimento”;
 - c) em seguida, na caixa de diálogo, clicar no ícone do martelo.

Feito isso, o construtor de lógica será ativado e você poderá inserir o comando ou a ação desejada. A **Figura 10.9** mostra esse procedimento.

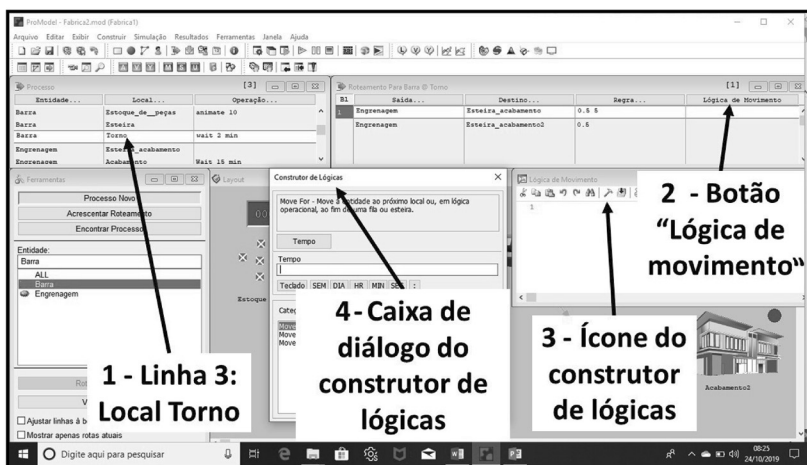


Figura 10.9: Construtor de lógicas de movimentação.

Uma das características dessa ferramenta é a sua autoconfiguração de acordo com o campo para o qual foi chamada. Isso permite inserir somente a lógica apropriada, seja para operação, seja para movimentação.

Além disso, na parte superior da caixa de diálogo, é apresentada uma breve definição do comando que foi selecionado, assim como é mostrada a informação requerida para escrever a sintaxe correta.

Na **Figura 10.8**, pode-se ver que o comando WAIT necessita da informação “Tempo”. O mesmo ocorre com o comando MOVE FOR, mostrado na caixa de diálogo na **Figura 10.9**.

ACCUM

Este é um comando de operação, também denominado comando operatório, cuja função é consolidar uma quantidade especificada de entidades. Ele é executado como se fosse um portão de controle, que só permite que as entidades sejam processadas após a quantidade definida no comando chegar ao local. A sintaxe deste comando é:

ACCUM <expressão numérica>

Exemplos:

ACCUM 5

ACCUM Var1 (onde Var1 é uma variável)

MOVE FOR

Este é um comando de movimentação, que especifica o tempo que uma entidade levará para chegar até seu destino a partir de um ponto de origem. Move a entidade até o próximo local ou, em lógica operacional, ao fim de uma fila ou esteira, levando o tempo especificado para percorrer aquele local. A sintaxe deste comando é:

MOVE FOR <expressão de tempo>

Exemplo:

MOVE FOR 2

Atividade 3

Atende aos objetivos 4 e 5

Utilizando o modelo Fabrica2 e seguindo os exemplos de uso do construtor de lógicas, ilustrados na **Figuras 10.8 e 10.9**, faça o que se pede:

- a) Especifique o comando ACCUM nos processos relativos aos locais Acabamento e Acabamento2, considerando a acumulação de 15 peças em cada um, antes de iniciar o processamento destas naqueles locais. Ou seja, o acabamento de peças será feito em lotes de 15 engrenagens de cada vez. A sintaxe será ACCUM 15. Inclua também um contador e *spots* em cada um dos locais para poder visualizar os efeitos da inclusão deste comando. Rode o modelo e veja o que ocorre.
- b) Especifique o comando MOVE FOR para definir a lógica de movimentação das engrenagens do local Torno para as áreas de acabamento, passando pelas respectivas esteiras. Rode o modelo e veja o que ocorre.

Resposta comentada

- a) O caminho para executar deverá ser Construir → Processos. Na janela de processo: posicionar o cursor no local Acabamento; clicar no botão Operação; selecionar o ícone do martelo na janela de diálogo; escolher o comando ACCUM e preencher campos de especificação. Clicar no botão Colar, conforme mostrado na **Figura 10.10**. Repita o procedimento para o local Acabamento2. Os ajustes no modelo, com a inclusão do contador e dos *spots*, são mostrados na **Figura 10.11**.

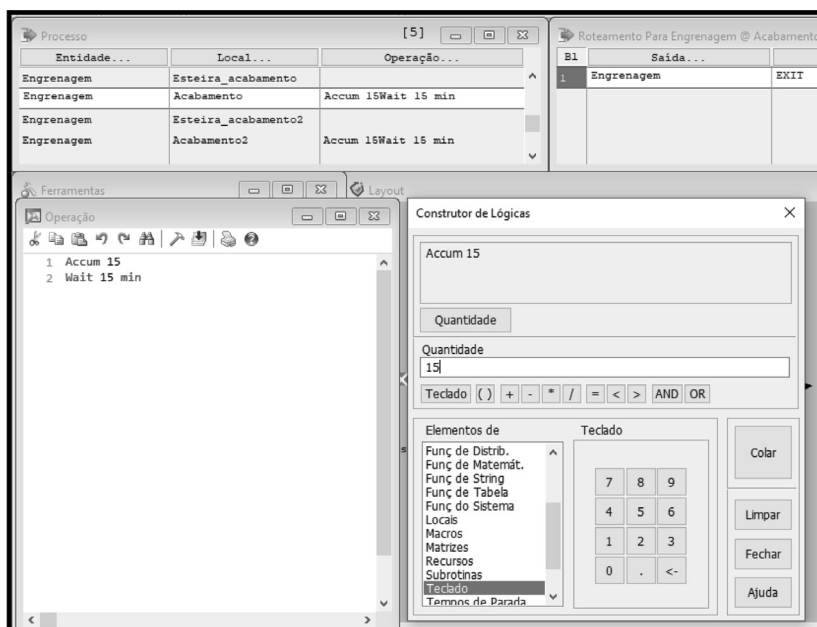


Figura 10.10: Especificação do comando ACCUM.

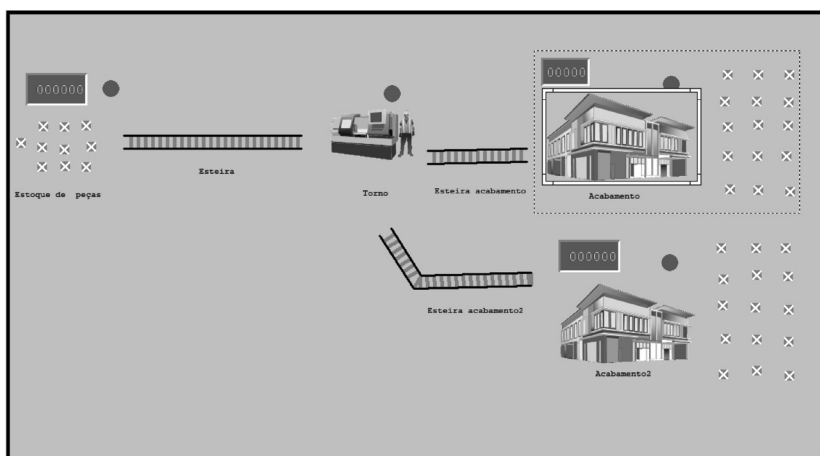


Figura 10.11: Inserção de elementos gráficos nos locais do modelo.

b) Como as engrenagens serão movimentadas do torno para cada um dos locais de acabamento, na janela de processos deverá estar ativo o local Torno. Para o comando MOVE FOR, que é utilizado na especificação da lógica de movimentação, na janela de roteamento do módulo de processos, posicione a linha ativa. Esta deve ser a do destino Acabamento. Deve-se clicar no botão Lógica de Movimento, selecionar o ícone do martelo e definir o comando na caixa de diálogo do construtor

de lógicas. Para finalizar, clique no botão Colar, conforme mostrado na **Figura 10.12**.

Repita o procedimento para o destino Acabamento2.

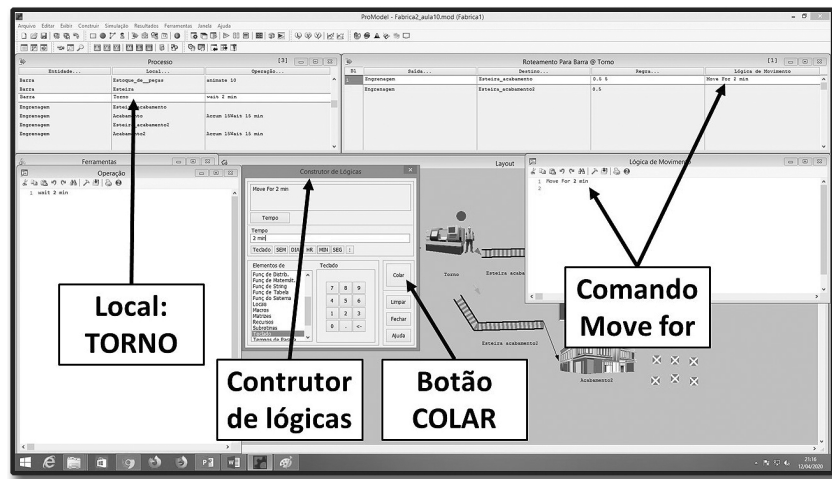


Figura 10.12: Especificação do comando MOVE FOR.

Após fazer a especificação dos comandos, utilizando o construtor de lógicas, e rodar a executar a simulação, será obtida uma visualização da animação do modelo, conforme mostrado na **Figura 10.13**.

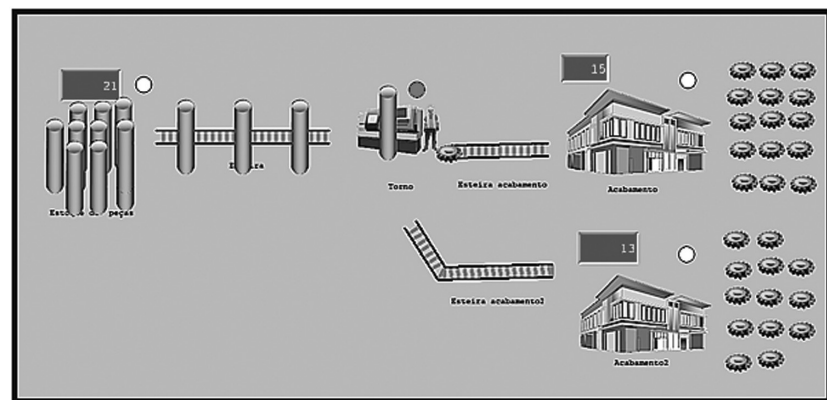


Figura 10.13: Animação do modelo com a especificação dos comandos.

Após você ter inserido os comandos Move For (linha 3) e Accum (linhas 5 e 7) a programação do módulo processos ficará conforme mostrada no **quadro 10.4**:

Quadro 10.4: Programação do módulo Processos no modelo Fabrica2 com MOVE FOR e ACCUM

Processos				Roteamento				
Linha	Entidade	Local	Operação	B1	Saída	Destino	Regra	Log. Mov.
1	Barra	Estoque_de_Peças	Animate 10	1	Barra	Esteira	FIRST 1	
2	Barra	Esteira		1	Barra	Torno	FIRST 1	
3	Barra	Torno	Wait 2 min	1	Engrenagem	Esteira_acabamento	0.5 5	Move for 2 min
					Engrenagem	Esteira_acabamento2	0.5	
4	Engrenagem	Esteira_acabamento		1	Engrenagem	Acabamento	FIRST 1	
5	Engrenagem	Acabamento	Accum 15 Wait 15 min	1	Engrenagem	EXIT	FIRST 1	
6	Engrenagem	Esteira_acabamento2		1	Engrenagem	Acabamento2	FIRST 1	
7	Engrenagem	Acabamento2	Accum 15 Wait 15 min	1	Engrenagem	EXIT	FIRST 1	

Conclusão

A definição de processos e roteamento é uma etapa da construção do modelo computacional que possibilita especificar e definir operações nas quais as entidades estarão envolvidas e também os destinos para os quais seguirão ao longo do fluxo no sistema.

A utilização da ferramenta de construção de lógicas do Promodel facilita o trabalho de sintaxe dos comandos operatórios, minimizando a possibilidade de ocorrência de erros, ao mesmo tempo em que facilita o trabalho de verificação do modelo computacional.

Resumo

Nesta aula, você aprendeu como definir processos e fazer o roteamento da entidade no sistema. Aprendeu também a utilizar o construtor

de lógicas para facilitar o trabalho de programação de comandos operatórios e ações no modelo computacional.

Além disso, conheceu formas de definir múltiplos destinos para a entidade. Aprendeu como utilizar os comandos MOVE FOR, para definir lógica de movimento, e ACCUM, para processar entidades em lotes.

Referências

HARRELL, C. R.; PRICE, R. N. Simulation Modeling and Optimization Using Promodel. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, p. 197-202, Orlando, Florida, EUA, 2000.

HARRELL, C. R.; PRICE, R. N. Simulation Modeling and Optimization Using Promodel Technology. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, p. 226-232, Arlington, VA, EUA, 2001.

SABBADINI, F. S. *Teoria das restrições e simulação aplicados a serviços de saúde*. Jundiaí: Paco Editorial, 2017.

SABBADINI, F. S. *Apontamentos para aula de Simulação*. Faculdade de Tecnologia, UERJ. Resende, 2018.

Aula 11

Aplicações de simulação no Promodel

Meta

Apresentar os conceitos de redes de caminhos e recursos.

Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. conhecer o conceito de recurso no Promodel;
2. compreender o que são redes de caminho e sua finalidade;
3. aprender como construir uma rede de caminho;
4. entender como criar recursos no Promodel;
5. associar recursos a uma rede de caminho;
6. posicionar um recurso numa rede de caminho;
7. programar a movimentação de um recurso numa rede de caminho.

Introdução

Na aula anterior, você aprendeu a definir processos e fazer o roteamento da entidade no sistema. Viu, também, como utilizar o construtor de lógicas, para facilitar o trabalho de programação de comandos operatórios e de definição de ações no modelo computacional. Além disso, conheceu formas de definir múltiplos destinos para a entidade e de especificar a lógica de movimento. Nesta aula, você vai aprender como criar os recursos e verá o que é uma rede de caminho e sua finalidade no modelo de simulação.

Recursos

Um recurso pode ser uma pessoa, uma ferramenta, um veículo ou qualquer outro objeto utilizado para: transportar material de um local para outro, executar alguma operação num material ou realizar manutenção em algum local.

Os recursos no Promodel podem ser estáticos ou dinâmicos. Neste último caso, seu movimento está associado a uma rede de caminho definida que vai especificar a sua posição e o seu deslocamento no modelo. A localização dos recursos está vinculada aos nós que formam as redes, e não aos locais. Esta definição será vista mais à frente, quando você criar recursos.

Em relação aos recursos dinâmicos, é importante que algumas operações sejam realizadas para viabilizar sua utilização após terem sido criados. Neste caso, deve-se:

1. Definir previamente que caminhos o recurso percorrerá no sistema.
2. Construir uma rede de caminho.
3. Posicionar o recurso na rede construída.
4. Programar a movimentação do recurso.

Atividade 1

Atende ao objetivo 1

Em relação aos recursos leia, as afirmativas a seguir:

I. Um recurso pode ser uma pessoa, uma ferramenta, um veículo ou qualquer outro objeto utilizado para exercer uma atividade ou atender alguma entidade durante a simulação.

II. Os recursos dinâmicos têm seu movimento associado a uma rede de caminho definida, que vai especificar a sua posição e o seu deslocamento no modelo.

III. A localização dos recursos está vinculada aos locais que formam o sistema.

É correto o que se afirma em:

- a) () I, apenas.
- b) () II, apenas.
- c) () III, apenas.
- d) () I e II, apenas.
- e) () II e III, apenas.

Resposta comentada

d) A afirmativa III está *incorreta*, porque a localização dos recursos está vinculada aos nós que formam as redes, e não aos locais.

Redes de caminho

Este módulo do Promodel é utilizado para definir os possíveis caminhos que as entidades ou os recursos farão quando se movimentarem entre os locais do sistema.

Uma rede consiste em nós conectados por segmentos que podem ser definidos graficamente com um clique do mouse. Desse modo, redes de caminho permitem aos recursos e às entidades se moverem ao longo do modelo. Recursos e entidades podem compartilhar essas redes de acordo com a lógica definida no modelo.

Em relação aos segmentos de caminho, cada um começa e termina com um nó. Assim, eles se juntam aos outros somente através dos nós. Um exemplo será mostrado mais adiante, na seção “Construindo uma rede de caminho”.

As interfaces, por sua vez, definem o relacionamento entre um nó e um local particular. Assim, os recursos ficam nas redes de caminho o tempo todo. Isso significa que eles se movem de nó para nó, e as interfaces fazem a associação dos nós com os locais.

Atividade 2

Atende ao objetivo 2

Considerando o conceito de redes de caminho, sua finalidade e seus elementos, leia as afirmativas a seguir:

I. Têm como finalidade definir os possíveis caminhos que as entidades ou os recursos farão quando se movimentarem entre os locais do sistema.

II. Cada segmento de caminho começa e termina com um nó. Assim eles se juntam aos outros somente através dos nós.

III. As interfaces definem o relacionamento entre um nó e um local.

É correto o que se afirma em:

- a) () I, apenas.
- b) () II, apenas.
- c) () III, apenas.
- d) () I e II, apenas.
- e) () I, II e III.

Resposta comentada

- e) Todas as afirmativas estão corretas.
-
-

Construindo uma rede de caminho

Para construir uma rede de caminho crie o modelo “Teste” e salve com o nome “Teste.mod”. Ele deverá ter os seguintes elementos, para cada um dos módulos do Promodel, conforme detalhado a seguir:

1. Locais: Prensa, fila_torno e Torno.
2. Entidades: Engrenagem
3. Chegadas: Entidade chega no local “Prensa”. Quantidade: um de cada vez. Ocorrência: 500. Frequência: 1 min.
4. Processos: conforme mostrado na **Figura 11.1**.

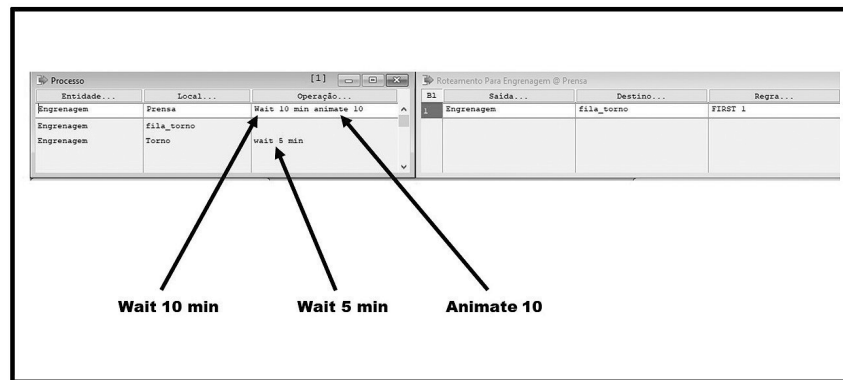


Figura 11.1: Módulo “Processos” no modelo “Teste”.

Antes de avançar nas próximas ações faça a verificação dos módulos Locais, Entidades, Processos e Chegadas que você programou no modelo Teste, no Promodel. O **quadro 11.1**, mostra como devem ficar os campos do módulo Locais. O **quadro 11.2**, mostra o conteúdo dos campos equivalentes ao módulo Entidades.

Nestes quadros no campo ícone está escrito o nome correspondente ao da figura representativa do mesmo no software. Para ver essa informação basta posicionar o cursor em cima ícone no software e o nome do mesmo aparecerá.

Quadro 11.1: Programação do módulo Locais no modelo Teste

Ícone	Nome	Cap.	Unidade	Paradas	Estatísticas	Regras
Prensa	Prensa	1	1	Nenhuma	Série de Tempo	O mais velho
Esteira	fila_torno	INFINITE	1	Nenhuma	Série de Tempo	O mais velho, FIFO
Torno	Torno	1	1	Nenhuma	Série de Tempo	O mais velho

Quadro 11.2: Programação do módulo Entidades no modelo Teste

Ícone	Nome	Velocidade (fpm)	Estatísticas	Anotações
Engrenagem	Engrenagem	150	Série de Tempo	

Os quadros 11.3 e 11.4 mostram o conteúdo nos campos dos módulos Processos e Chegadas respectivamente:

Quadro 11.3: Programação do módulo Processos no modelo Teste

Processos				Roteamento				
Linha	Entidade	Local	Operação	B1	Saída	Destino	Regra	Log. Mov.
1	Engrenagem	Prensa	wait 10 min animate 10	1	Engrenagem	fila_torno	FIRST 1	
2	Engrenagem	fila_torno		1	Engrenagem	Torno	FIRST 1	
3	Engrenagem	Torno	wait 5 min	1	Engrenagem	EXIT	FIRST 1	

Quadro 11.4: Programação do módulo Chegadas no modelo Teste

Entidade	Local	Quant.	Primeira Vez	Ocorrências	Frequência	Lógica	Desab.
Engrenagem	Prensa	1		500	1 min		Não

Feito o modelo “Teste” vá em: Construir → Redes de caminho. A **Figura 11.2** mostra a tela desta funcionalidade. Você vai verificar que há três áreas em destaque. A área 1 é onde se faz a especificação da rede. A área 2 mostra automaticamente os caminhos, à medida em que a rede é criada, na área 3, com a utilização do mouse.

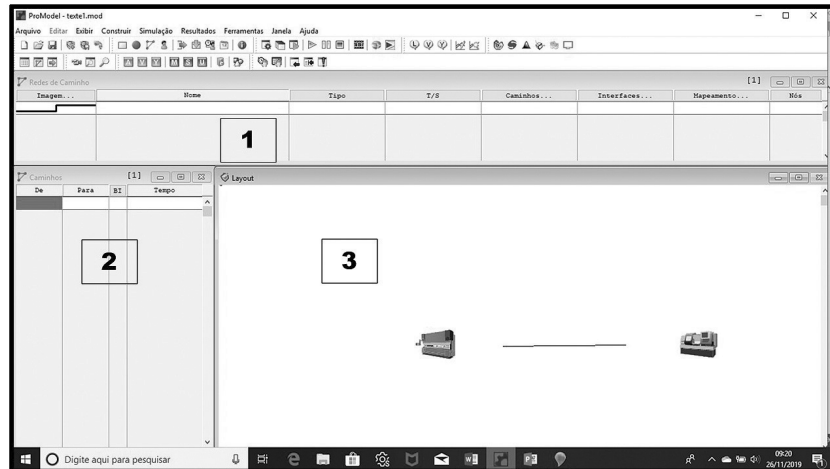


Figura 11.2: Módulo “Redes de Caminho” no modelo “Teste”.

Os elementos que compõem a tabela “Redes de caminhos” (área 1) são descritos a seguir:

Imagem: Toda rede é representada por uma figura, uma vez que há possibilidade de criação de várias redes de caminhos num mesmo modelo. Se você clicar no botão “Imagem” poderá mudar a cor dos segmentos dos caminhos ou, ainda, tornar a rede invisível durante a rodada da simulação.

Nome: As redes são nominadas como Red1, Red2, etc. Porém, você pode mudar o conteúdo desta célula colocando a identificação que julgar mais adequada.

Tipo: O conteúdo do campo pode ser “passante” e “não passante”. O padrão é o tipo passante e significa que uma entidade ou um recurso se movendo na mesma direção pode ultrapassar outra entidade ou outro recurso que seja mais lento. Daí o termo passante. O tipo não passante significa que ela deve reduzir a velocidade e ficar atrás da entidade ou do recurso mais lento, sem ultrapassá-la/o.

T/S: Indica se a rede será medida pelo “tempo” que o recurso leva para percorrer o caminho, ou se será por “velocidade e distância”. O padrão é este último.

Caminhos: Usados para definir os segmentos do caminho.

Interfaces: Usada para associar um nó a um local. Elas mostram um relacionamento entre aqueles elementos. Elas são inseridas clicando-se com o botão esquerdo (na janela de interface) no nó e, então, clicando com o botão esquerdo no local.

Mapeamento: Permite especificar os caminhos e as direções que as entidades ou os recursos devem usar quando estiverem se movendo na rede. Se a regra padrão estiver sendo aplicada, o campo fica em branco.

Nós: Permite definir a capacidade para um nó. A capacidade padrão para um nó é infinita. Você pode posicionar quantos recursos desejar num mesmo nó. Este campo também permite mudar o nome dos nós.

Agora que você conhece os elementos do módulo “Redes de Caminho”, pode construir sua primeira. Para isso, preencha o campo “Nome” com “Rede_teste_1” e veja o que acontece. O campo “Imagem” mudou de cor. Os campos “Tipo” e “T/S” foram preenchidos automaticamente com o padrão do Promodel, ou seja, “Passante” e “Velocidade & Distância”.

Feito isso, clique no botão “Caminhos” e posicione o mouse sobre a área 3. Verifique que a seta do mouse tem um sinal de “+” indicando que a função foi ativada. Dê um clique na área de layout junto ao local “Prensa” e arraste o mouse, dando um duplo clique. Desta forma, você terá criado um caminho e dois nós, conforme ilustrado na **Figura 11.3**.

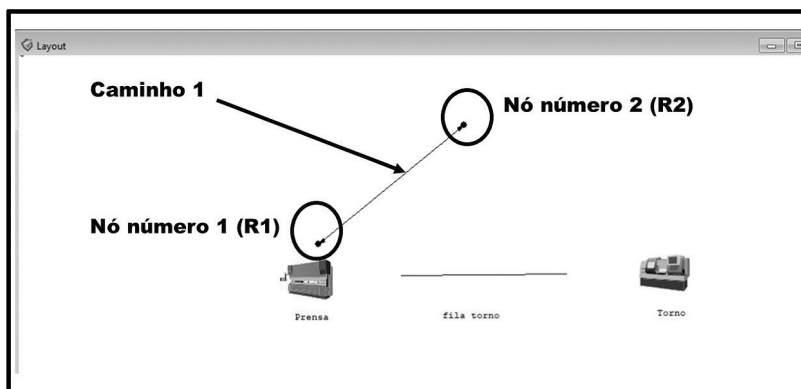


Figura 11.3: Criando um caminho no modelo “Teste”.

O próximo segmento é começado em cima do nó do final do último segmento. Coloque o mouse em cima do nó (número 2) e clique com o botão esquerdo. Mova a seta elástica para onde você quiser que este segmento termine e clique com o botão direito. Ao final desta ação você terá criados dois caminhos e três nós.

Os caminhos criados serão a trajetória do recurso durante a simulação, ou seja, ele vai circular entre o local “Prensa” e o local “Torno”. O resultado desta ação é mostrado na **Figura 11.4**.

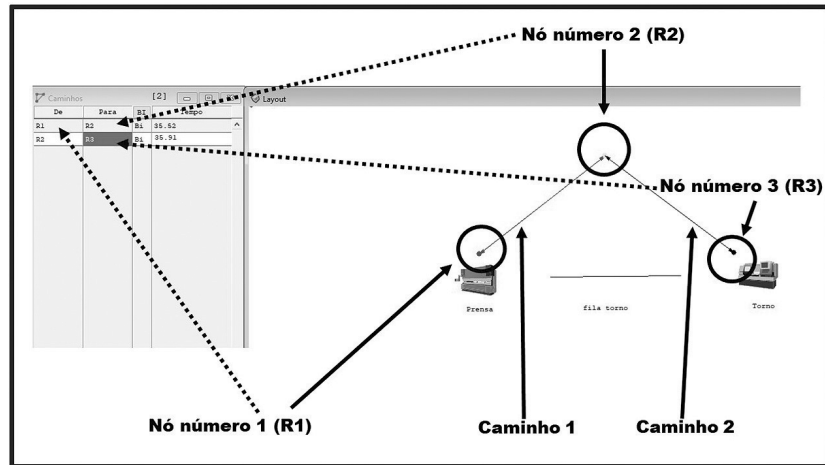


Figura 11.4: Rede de caminhos do modelo “Teste”.

Antes de avançar nas próximas ações faça a verificação de como ficou a programação no Promodel referente à Redes de Caminho e Caminhos, no modelo Teste, mostrados respectivamente nos quadros 11.5 e 11.6.

Quadro 11.5: Programação do módulo Redes de Caminho no modelo Teste

Nome	Tipo	T/S	Caminhos	Interfaces	Mapeamento	Nós
Rede_teste_1	Passante	Velocidade & Distância	2	0	0	3

Quadro 11.6: Programação dos Caminhos no modelo Teste

Linha	De	Para	BI	Distância
1	R1	R2	Bi	35.52
2	R2	R3	Bi	35.91

Observação: os campos BI e Distância são gerados automaticamente pelo Promodel.

Observe que, à medida que você foi realizando as ações de criar os caminhos na área de layout, as tabelas “Redes de caminho” e “Caminhos” foram sendo automaticamente preenchidas. Em síntese, o mouse é usado para se desenhar a rede. Comece onde você desejar o primeiro segmento de caminho.

Para começar, clique com o botão esquerdo. Você terá uma seta elástica. Clique com o botão direito onde você quiser que termine. O próximo

segmento é começado em cima do nó do final do último segmento. Coloque o mouse em cima do nó e clique com o botão esquerdo. Mova a seta elástica para onde você quiser que este segmento termine e clique com o botão direito. Criada a rede, um passo importante é definir as interfaces que são inseridas clicando-se com o botão esquerdo (na janela de interface) no nó e, então, clicando com o botão esquerdo no local.

Utilizando o modelo “Teste”, você vai definir as interfaces. Para isso, faça o seguinte:

1. Abra o módulo “Redes de caminho”.
2. Clique no botão “Interfaces”.
3. Na janela que vai se abrir, você deve clicar em cima do botão “Nó”, escolher “R1” e, em seguida, o local que será associado a ele. Neste caso, “Prensa”.
4. Repita esta operação para os nós “R2” e “R3”, para os locais “fila_torno” e “Torno”, respectivamente.

A **Figura 11.5** mostra o resultado destas ações. Note que, na janela de layout, aparecem linhas tracejadas relacionando o nó ao local.

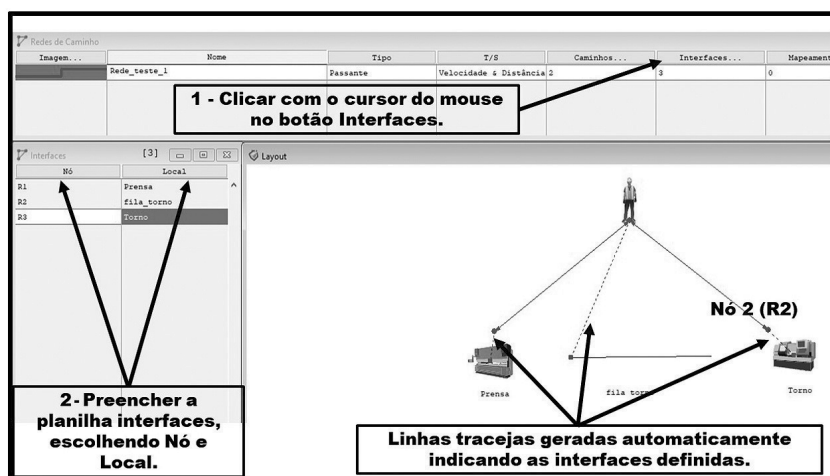


Figura 11.5: Definindo interfaces do modelo “Teste”.

Após inserir as Interfaces você deve verificar como ficou a programação do Promodel, no modelo Teste, mostrados respectivamente nos quadros 11.7 e 11.8.

Quadro 11.7: Programação do módulo Redes de Caminho no modelo Teste com Interfaces

Nome	Tipo	T/S	Caminhos	Interfaces	Mapeamento	Nós
Rede_teste_1	Passante	Velocidade & Distância	2	3	0	3

Observação: O campo imagem que aparece na tela do Promodel é gerado automaticamente, por isso não foi inserido no **quadro 11.7**.

Quadro 11.8: Programação das Interfaces no modelo Teste

Linha	Nó	Local
1	R1	Prensa
2	R2	fila_torno
3	R3	torno

Até este ponto, foram executadas duas etapas para a utilização de redes de caminhos com recursos dinâmicos: 1. Definir previamente que caminhos o recurso percorrerá no sistema e 2. Construir uma rede de caminhos. Para efetuarmos os demais passos, a saber: 3. Posicionar o recurso na rede e 4. Programar a movimentação do recurso, com a criação de um recurso dinâmico que será associado a uma rede.

═══════════════════════ **Atividade 3** ════════════════════════

Atende aos objetivos 2 e 3

Marque V para verdadeiro e F para falso nas afirmativas a seguir:

- a) () Toda rede é representada por uma figura, uma vez que há possibilidade de criação de várias redes de caminhos num mesmo modelo.
- b) () As redes são nominadas como Red1, Red2, etc., e você não pode mudar essa denominação, pois é um padrão do Promodel.
- c) () O conteúdo do campo “Tipo”, denominado “passante”, significa que uma entidade ou um recurso que se move na mesma direção pode ultrapassar outra entidade ou outro recurso que seja mais lento.
- d) () Uma interface é utilizada para associar um nó a um local. Elas mostram um relacionamento entre aqueles elementos.

e) () A capacidade padrão para um nó é infinita. Você pode posicionar quantos recursos desejar num mesmo nó.

Resposta comentada

a) V; b) F; c) V; d) V; e) V. A afirmativa b é falsa, pois você pode, sim, mudar a denominação dada à rede pelo Promodel, a alteração do nome da rede pode ser feita de acordo com a conveniência do usuário.

Criando um recurso

Para criar um recurso, siga os seguintes passos: vá em Construir → Recursos e selecione um ícone que o represente. Para o modelo “Teste1”, selecione “operador”, conforme mostrado na **Figura 11.6**.

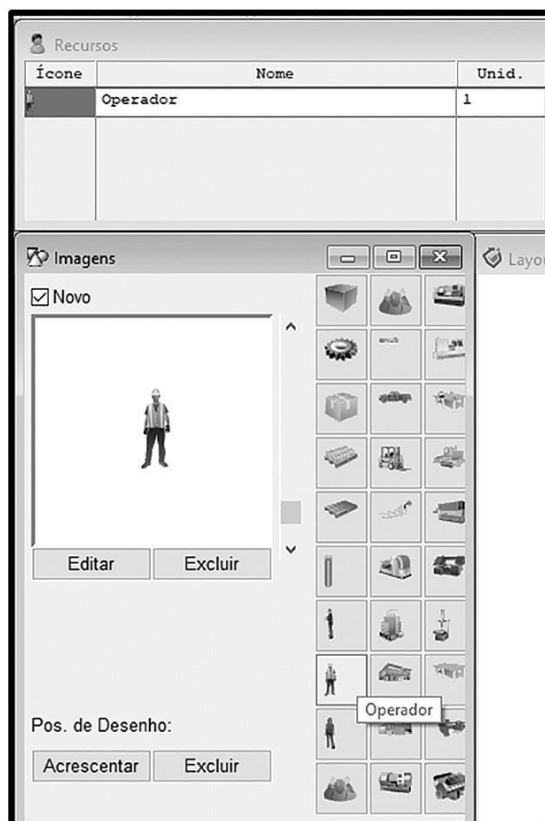


Figura 11.6: Recurso do modelo “Teste”.

Uma vez criado o recurso dinâmico, este deve ser vinculado a uma rede de caminhos, de modo que possa ser representada sua movimentação no sistema durante a simulação.

Relacionando um recurso a uma rede

Para vincular um recurso a uma rede de caminhos, você deve seguir os seguintes passos: na janela do módulo “Recursos”, clique no botão “Especificações”. Será aberta uma janela na qual você definirá a rede de caminho à qual o recurso será associado. Selecione a rede de caminho denominada “Rede_teste_1”, à qual o recurso será relacionado e, em seguida, clique no botão “OK”, conforme ilustrado na **Figura 11.7**.



Figura 11.7: Vinculando um recurso a uma rede.

Uma vez que o vínculo do recurso com uma rede de caminhos está estabelecido, o próximo passo é definir sua posição nesta rede, o que é feito por meio dos “nós”.

Posicionando um recurso numa rede

Para definir a posição de um recurso na rede de caminhos, dois aspectos devem ser considerados. O primeiro diz respeito a qual é a posição de origem do recurso e o segundo se refere a que posição física o recurso deverá ocupar no modelo em relação aos locais.

Para fazer essa definição, você deve obedecer aos seguintes passos: na janela do módulo “Recursos”, clique no botão “Especificações”. Será aberta uma janela na qual você definirá a posição do recurso no campo “Nós”, que permite associar o recurso ao seu nó de origem. Este é o nó onde ele sempre começa no modelo. Para o modelo “Teste”, escolha o R2. Marque a opção “Voltar à base se ocioso” e clique no botão “OK”, conforme mostra a **Figura 11.8**.

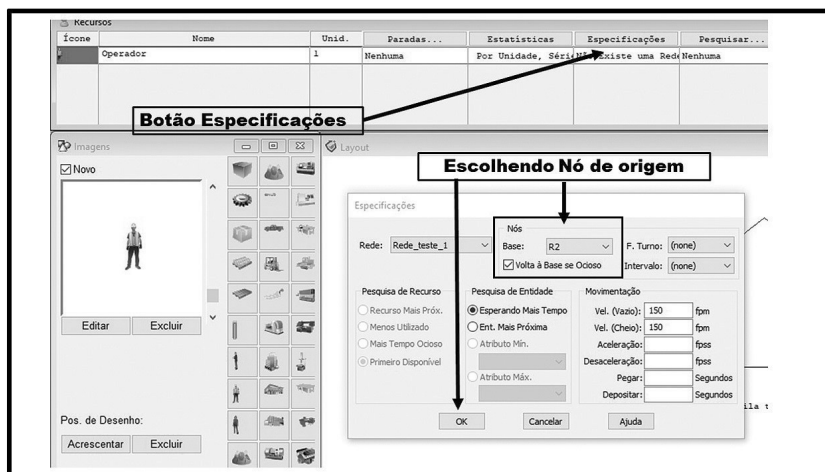


Figura 11.8: Definindo o nó de origem de um recurso.

Agora o próximo passo é a especificação dos pontos de recurso. Esta funcionalidade permite descrever a posição física em que o recurso irá ficar quando estiver em um nó. Qualquer nó pode ter pontos de recurso definidos para qualquer recurso.

O objetivo dos pontos de recurso é definir que ele apareça em um certo ponto. Porém, o mais importante é que você pode ver todos os recursos que estão ocupando um certo nó ao mesmo tempo, durante a visualização da simulação.

Para isso, clique no botão “Pts” na janela do módulo “Recursos”, depois clique no nó e, em seguida, no lugar físico na janela de layout onde você quer que o recurso apareça enquanto estiver naquele nó, conforme a **Figura 11.9**.

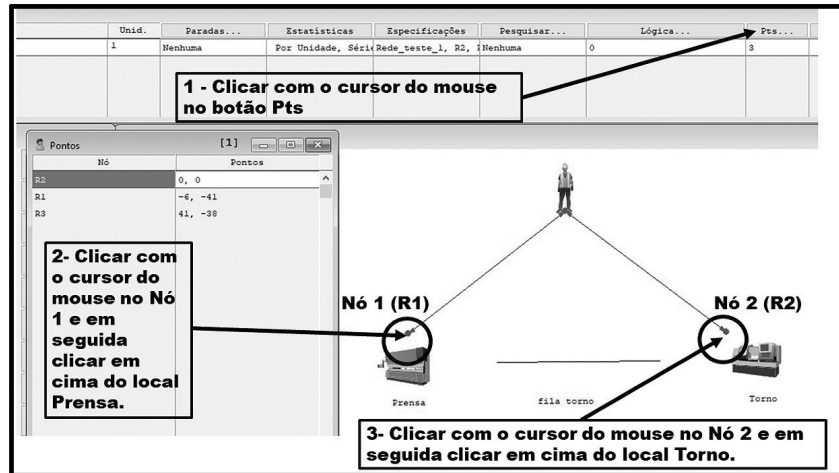


Figura 11.9: Definindo pontos do recurso.

Atividade 4

Atende aos objetivos 4, 5 e 6

Leia as afirmativas a seguir:

I. Uma vez criado o recurso dinâmico, este deve ser vinculado a uma rede de caminhos, de modo que possa ser representada sua movimentação no sistema durante a simulação.

II. Uma vez que o vínculo do recurso com uma rede de caminhos está estabelecido, o próximo passo é definir sua posição nesta rede, o que é feito por meio dos “nós”.

III. Para definir a posição de um recurso na rede de caminhos, dois aspectos devem ser considerados. O primeiro diz respeito a qual é a posição de origem do recurso e o segundo se refere a que posição física o recurso deverá ocupar no modelo em relação aos locais.

É correto o que se afirma em:

- a) () I, apenas.
- b) () II, apenas.
- c) () III, apenas.
- d) () I e II, apenas.
- e) () I, II e III.

Resposta comentada

e) Todas as afirmativas estão corretas.

Programando a movimentação de um recurso

Os recursos dinâmicos devem se movimentar entre os locais. Isso será feito no módulo “Processos”, utilizando os comandos de programação de lógica de movimentação. Os comandos de movimentação de entidades, definidos no Promodel são:

MOVE FOR – move a entidade ao próximo local ou, em lógica operacional, para o fim de uma fila ou esteira.

MOVE ON – move a entidade ao próximo local, usando a rede de caminho especificada.

MOVE WITH – move a entidade ao próximo local, usando o recurso especificado. Ao final, o recurso pode ser liberado depois da movimentação. Neste caso, o comando MOVE WITH deve ser seguido de THEN FREE.

No modelo “Teste”, apenas para efeitos didáticos, vamos considerar que a entidade “Engrenagem” é movida pelo recurso “Operador” e que, ao final do transporte, o recurso será liberado.

No módulo “Processos”, coloque o cursor na primeira linha, referente ao local “Prensa”, do qual a entidade saíra com destino à fila do torno. Na tabela de roteamento, faça os seguintes procedimentos:

1. Clique no botão “Lógica de movimentação”.
2. Na janela “Lógica de movimento” que se abrir, clique no ícone do martelo para abrir o “Construtor de lógicas”.
3. Clique no comando “MOVE WITH”.
4. Clique no botão “Recurso” e selecione “Operador”.
5. Clique no botão “Then Free” para liberar o recurso após o uso.
6. Verifique se no topo da janela do “Construtor de lógicas” aparece a seguinte sintaxe: “Move With Operador then free”.

7. Se as instruções estiverem corretas, conforme o passo anterior, clique em “Colar” para finalizar a programação.

A **Figura 11.10** mostra os elementos mencionados nos passos anteriores para facilitar o seu entendimento.

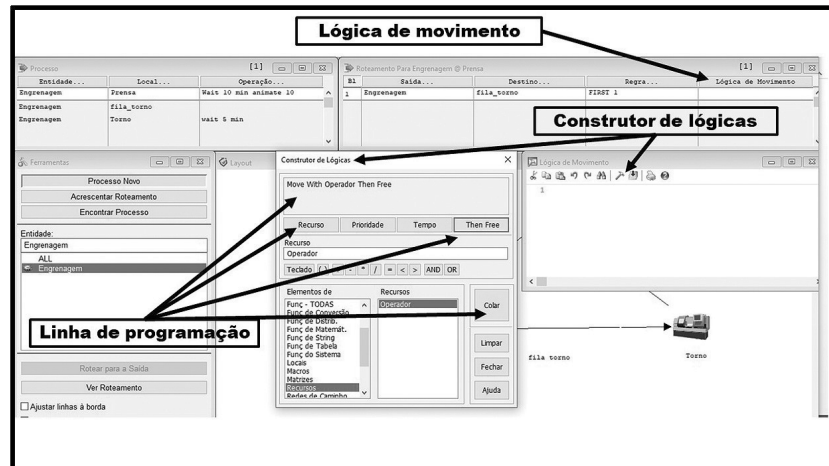


Figura 11.10: Definindo pontos do recurso.

Para finalizar, repita os passos de 1 a 7 do módulo “Processos”, colocando o cursor na segunda linha, referente ao local “fila_torno”, do qual a entidade saíra com destino ao local “Torno”.

Após fazer isso, rode a simulação e verifique que o recurso “Operador” vai fazer a seguinte movimentação:

1. Vai ao local “Prensa”, pega a entidade “Engrenagem” e a coloca na “fila_torno”.
2. Estando livre, movimenta-se para o nó de origem, onde iniciou a simulação.
3. Em seguida, dirige-se ao local “fila_torno”, pega a entidade “Engrenagem” e a transporta até o “Torno”.

Atividade 5

Atende ao objetivo 7

Em relação aos recursos leia as afirmativas a seguir:

I. Os recursos dinâmicos devem se movimentar entre os locais. Isso será feito no módulo “Processos”, utilizando os comandos de programação de lógica de movimentação.

II. O comando “MOVE FOR” move a entidade ao próximo local, usando o recurso especificado. Ao final, o recurso pode ser liberado depois da movimentação.

III. A movimentação dos recursos é definida no módulo “Construtor de lógicas”, junto com as chegadas.

É correto o que se afirma em:

- a) () I, apenas.
- b) () II, apenas.
- c) () III, apenas.
- d) () I e II, apenas.
- e) () I, II e III.

Resposta comentada

a) Apenas a afirmativa I está correta. Para a afirmativa II, relativa ao comando “MOVE FOR”, o correto é dizer o seguinte: move a entidade ao próximo local, ou em lógica operacional, para o fim de uma fila ou esteira. Para a afirmativa III, relativa à definição da movimentação de recursos na rede, o correto é dizer que esta ação é feita no módulo “Processos” do Promodel.

Conclusão

Utilizar recursos dinâmicos no Promodel permite que se obtenha uma melhor visualização da animação do modelo, assim como possibilita gerar indicadores importantes quanto à utilização dos recursos.

Para tal, a definição clara e planejada das redes de caminho e do movimento dos recursos no processo se torna uma necessidade. Recursos dinâmicos devem obrigatoriamente estar associados a uma rede de caminho, de modo que sua movimentação no sistema esteja corretamente representada e possa ser facilmente identificada durante a simulação por meio dos recursos de visualização.

Resumo

Nesta aula, você aprendeu, em termos gerais, o que é uma rede de caminhos, seus componentes e sua finalidade. Além disso, aprendeu também a criar, relacionar e posicionar os recursos numa rede de caminho. Por fim, viu como programar a movimentação de um recurso numa rede de caminho.

Finalizamos, aqui, as aplicações de simulação com o Promodel, as quais lhe permitem elaborar um modelo básico e funcional para simular sistemas de baixa complexidade. É recomendável que você se aprofunde no estudo do software, buscando conhecer mais comandos e recursos, de modo a explorar todo o seu potencial.

Na próxima aula, você irá aprender sobre outro tipo de simulação: a simulação de Monte Carlo, que utiliza métodos estatísticos baseados em amostragens aleatórias para obter resultados numéricos analíticos.

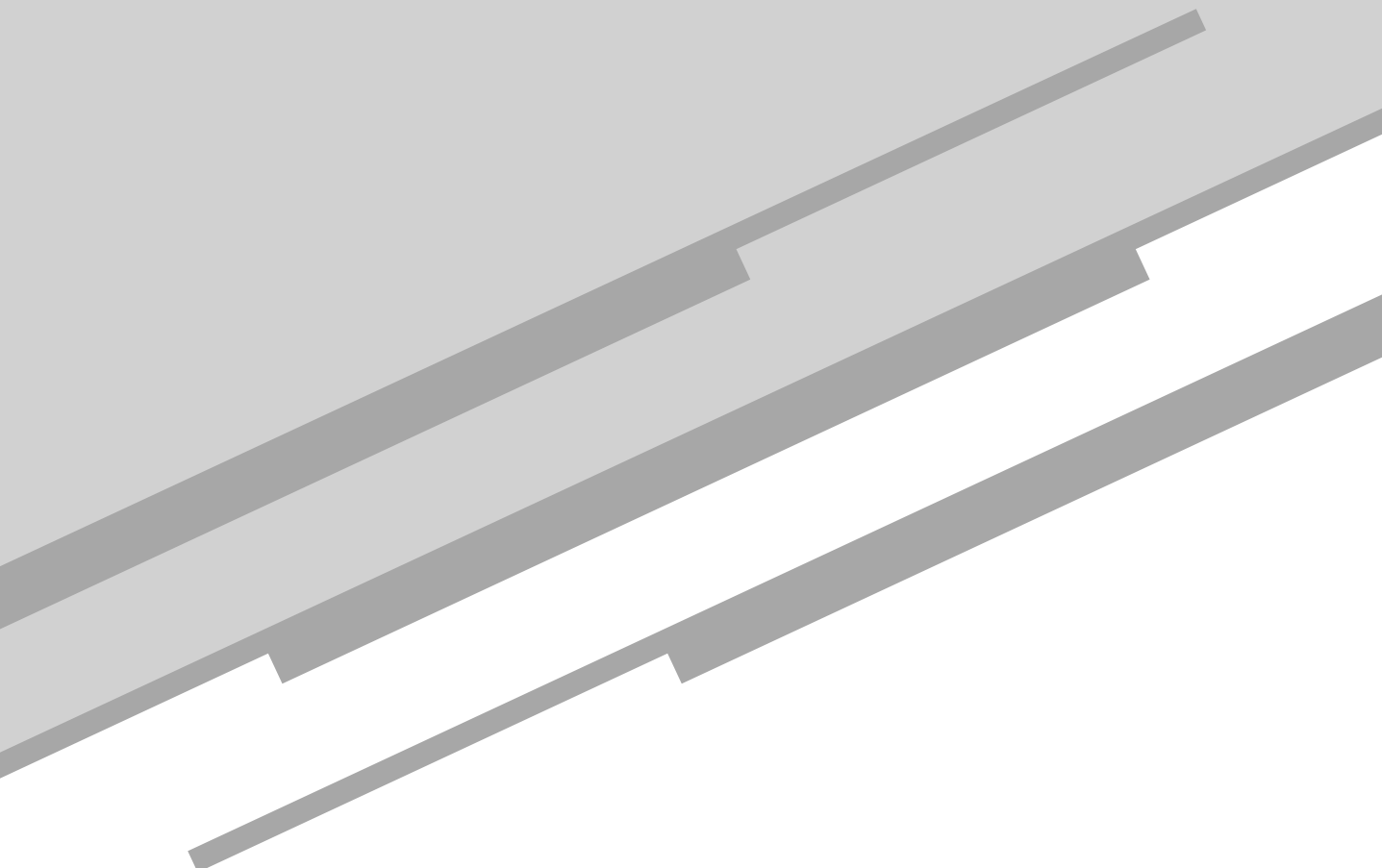
Referências

HARRELL, C. R.; LEAVY, J. J. Promodel Tutorial. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, p. 184-189, Los Angeles, CA, 1993.

SABBADINI, F.S. *Apontamentos para aula de Simulação*. Faculdade de Tecnologia. UERJ. Resende, 2018.

Aula 12

Simulação de Monte Carlo



Meta

Apresentar os fundamentos da simulação de Monte Carlo e sua aplicação.

Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. conceituar o que é a simulação de Monte Carlo;
2. conhecer a metodologia de aplicação da simulação de Monte Carlo;
3. conhecer o conceito e aplicação dos números aleatórios;
4. conhecer os conceitos relacionados às frequências absoluta, relativa e acumulada;
5. calcular as frequências absoluta, relativa e acumulada;
6. realizar simulações utilizando o método de Monte Carlo;
7. calcular variáveis randômicas de saída a partir dos resultados analíticos gerados pelo método de Monte Carlo;
8. realizar simulações e análises de sistemas a partir de resultados gerados pela aplicação do método de Monte Carlo.

Introdução

Nas aulas anteriores, você aprendeu sobre a metodologia e a construção de modelos de simulação de eventos discretos. Conheceu como utilizar o *software* Promodel para a modelagem e o desenvolvimento do modelo computacional.

Nesta aula, você vai aprender sobre a simulação de Monte Carlo, um tipo de simulação que depende de repetições randomizadas, amostragem e análise estatística para calcular resultados.

Nela serão descritas a natureza e a relevância da simulação de Monte Carlo, a maneira de realizar essas simulações e analisar os resultados, bem como as técnicas matemáticas subjacentes necessárias para sua realização. Vamos apresentar alguns exemplos práticos para facilitar o seu entendimento.

Entendendo o que é a simulação de Monte Carlo

A simulação de Monte Carlo é um tipo de simulação que depende de amostragem aleatória repetida um certo número de vezes e de análise estatística para calcular os resultados. Este método de simulação está fundamentalmente associado a experimentos aleatórios, para os quais o resultado específico não é conhecido com antecedência.

Neste contexto pode ser considerada como uma forma metódica de fazer a análise “do que acontece se determinado evento ocorrer”. Vamos enfatizar esta visão analítica ao longo desta aula, uma vez que é uma das maneiras mais fáceis de compreender o básico da simulação de Monte Carlo.

O uso de modelos matemáticos em disciplinas de engenharia para descrever as interações em um sistema usando expressões matemáticas é um fundamento importante. Esses modelos geralmente dependem de uma série de parâmetros de entrada, que, quando processados por meio de fórmulas matemáticas, resultam em uma ou mais saídas.

Os parâmetros de entrada para os modelos dependem de vários fatores externos. Devido a esses fatores externos, os modelos do sistema real estão sujeitos ao risco da variação sistemática dos parâmetros de entrada. Um modelo determinístico, que não considera essas variações, é muitas vezes denominado como um caso base, uma vez que os valores desses parâmetros de entrada são seus valores mais prováveis.

Na simulação de Monte Carlo, uma amostra de números aleatórios representa os dados de entrada. Para cada conjunto de parâmetros de entrada, obtemos um conjunto de parâmetros de saída. O valor de cada parâmetro de saída é um cenário de resultado específico na execução da simulação.

Coletamos esses valores de saída, a partir de várias execuções de simulação. Por fim, realizamos análises estatísticas sobre os valores dos parâmetros de saída, tomando decisões sobre o curso de ação a ser tomado.

De modo geral, podemos conceituar a simulação de Monte Carlo como um método que utiliza recursos estatísticos baseados em amostragens aleatórias para obter resultados numéricos analíticos.

Atividade 1

Atende aos objetivos 1 e 2

Explique o que é a simulação de Monte Carlo.

Resposta comentada

É um tipo de simulação que depende de amostragem aleatória repetida um certo número de vezes e de análise estatística para calcular os resultados. Este método de simulação está fundamentalmente associado a experimentos aleatórios. Ela pode ser considerada como uma forma metódica de fazer a análise do que acontece se determinado evento ocorrer. De modo geral, pode ser definida como um método que utiliza recursos estatísticos baseados em amostragens aleatórias para obter resultados numéricos analíticos.



Considerando o que já foi visto até este momento, alguns conceitos fundamentais serão revistos de modo a facilitar o entendimento da metodologia de simulação de Monte Carlo, a saber: números aleatórios, frequência relativa e frequência acumulada.

Números aleatórios

São números que fazem parte de uma série numérica e que não podem ser previstos com base nos números que os antecederam nesta série. Cabe entender que, conceitualmente, os números aleatórios são assim definidos em função da amostra ou série numérica à qual pertencem.

Eles estão presentes no nosso dia a dia, em situações como sorteios de números da loteria esportiva, uma roleta ou um jogo de dados. Imagine que você tenha que gerar 10 números aleatoriamente entre 1 e 6, por meio de um lançamento de dados. Para tal, vamos lançar um dado 10 vezes e formar uma amostra com esses lançamentos, obtendo a seguinte amostra: 5, 2, 3, 1, 6, 6, 5, 6, 3, 1. Observe que o quinto, o sexto e o oitavo lançamentos geraram o número 6. Entretanto, este resultado se deu de forma *aleatória*, ou seja, sem que pudéssemos prevê-lo.

Da mesma forma, se repetirmos a experiência lançando novamente o dado 10 vezes, não será possível prever o resultado: nem a sequência será a mesma, nem será possível, a cada lançamento, prever o número que será gerado. Nesta segunda rodada, obtivemos a seguinte amostra: 5, 2, 4, 3, 4, 2, 5, 3, 6, 6. Observe que os dois primeiros números da sequência – 5 e 2 – foram os mesmos gerados na primeira amostra. No entanto, isto foi apenas uma coincidência, pois, com base nos lançamentos anteriores, não seria possível prever que tal resultado ocorreria.

=====**Atividade 2**=====

Atende aos objetivos 2 e 3

Explique o que são números aleatórios.

Resposta comentada

Números aleatórios são aqueles que não podem ser previstos com base nos números que o antecedem em uma série numérica, como ocorre, por exemplo, com os números obtidos a partir de uma rodada de lançamentos de dados.

Utilização de números aleatórios

Os números aleatórios são importantes em segmentos como criptografia, eventos onde existam variáveis independentes e no cálculo numérico. Além disso, são utilizados na simulação de Monte Carlo, como um recurso fundamental.

Atividade 3

Atende aos objetivos 1, 2 e 3

Explique com que finalidade os números aleatórios são utilizados na simulação de Monte Carlo.

Resposta comentada

Na simulação de Monte Carlo, os números aleatórios são utilizados para gerar uma amostra que represente os dados de entrada. Para cada conjunto de parâmetros de entrada, obtemos um conjunto de parâmetros de saída. O valor de cada parâmetro de saída é um cenário de resultado específico na execução da simulação.

Geração de números aleatórios

Eles podem ser gerados manualmente por meio de roletas, lançamento de dados ou ainda por meio de algoritmos computacionais. Como exemplo didático, vamos gerar uma tabela de números aleatórios utilizando a função “ALEATÓRIOENTRE”, disponível nas fórmulas do *software* Excel®, mostrada na **Figura 12.1**.



Figura 12.1: Função de geração de números aleatórios.

Fonte: Software Excel®.

A **Tabela 12.1**, a seguir, foi elaborada no formato de 10 colunas por 25 linhas, copiando e colando a função “ALEATÓRIOENTRE” para cada uma as células, sendo o resultado dos números aleatórios gerados por esta função.

É importante ressaltar aqui que se trata de um recurso de didático, sendo apenas uma amostra de um conjunto muito maior de possibilidades, relacionado à geração de 250 números aleatórios entre 0 e 100.

Tabela 12.1: Números aleatórios entre 0 e 100

		Coluna									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L i n h a	1	59	12	38	35	10	91	81	57	88	53
	2	77	87	30	55	18	25	52	49	59	50
	3	92	50	31	55	30	55	42	47	13	13
	4	71	27	25	33	62	58	16	61	34	95
	5	43	32	47	47	77	32	94	88	49	36
	6	18	94	59	48	0	83	93	86	87	53
	7	13	66	87	79	33	70	39	21	29	99
	8	82	19	100	8	20	13	41	61	50	65
	9	1	1	2	0	62	25	31	18	1	61
	10	37	23	25	46	10	38	62	50	41	51
	11	24	48	51	80	2	31	11	21	20	10
	12	7	57	76	100	69	48	16	35	58	17
	13	10	65	16	60	75	21	98	55	95	64
	14	9	25	24	72	48	17	57	56	78	65
	15	81	57	18	43	58	49	97	40	88	15
	16	41	24	64	70	95	90	13	63	0	2
	17	52	79	34	32	40	55	48	13	90	20
	18	3	83	73	40	60	97	72	72	8	55
	19	4	61	26	21	96	34	19	57	98	62
	20	81	38	61	52	59	78	60	74	42	33
	21	25	57	85	99	81	19	71	84	19	65
	22	69	6	9	72	73	20	90	39	49	94
	23	65	13	49	51	26	56	80	57	43	74
	24	83	3	96	64	33	76	38	43	43	5
	25	34	29	69	70	8	44	69	27	24	49

Fonte: Software Excel©.

Numa tabela como a apresentada, qualquer número tem igual possibilidade de ser escolhido. É como se fosse uma urna, com reposição, na qual um número é sorteado de cada vez sucessivamente. Neste caso, a extração manual é bastante simples. Segundo Prado (2004), o procedimento a ser adotado para isso é o que segue:

1. Seleciona-se arbitrariamente um ponto de partida, combinando uma linha e uma coluna.
2. Em seguida, é feita a escolha dos números aleatórios percorrendo a tabela de acordo com a sequência por colunas.

Para você entender melhor, vamos tomar como exemplo que se queira extrair cinco números aleatoriamente, tomando como ponto de partida o número que está na décima linha e na quinta coluna. Assim, a partir da **Tabela 12.1**, os números são os seguintes: 10, 38, 62, 50 e 41.

Observe que a **Tabela 12.1** funcionou como uma urna com pedras numeradas entre 0 e 100, na qual foram feitas cinco extrações sucessivas, com reposição a cada extração.

Já outra abordagem para o método apresentado por Prado (2004) seria a seguinte:

1. Seleciona-se arbitrariamente um ponto de partida, combinando uma linha e uma coluna.
2. Em seguida, é feita a escolha dos números aleatórios percorrendo a tabela de acordo com a sequência por linhas.

Apenas por questões didáticas, vamos utilizar o mesmo exemplo anterior: extrair cinco números aleatoriamente, tomando como ponto de partida o número que está na décima linha e na quinta coluna. Com base na **Tabela 12.1**, o resultado seria o seguinte: 10, 2, 69, 75 e 48. A extração gera uma sequência numérica diferente apenas por termos mudado na segunda etapa o critério de *colunas* para *linhas*.

Cabe observar que, a despeito desta modificação, a partir do número de partida “10”, a sequência de números segue a mesma lógica da **Tabela 12.1** funcionar como urna.

══════════════════ **Atividade 4** ══════════════════

Atende aos objetivos 2 e 3

Faça uma extração de cinco números aleatórios da **Tabela 12.1** considerando como ponto de partida o número que está na vigésima linha e na segunda coluna, considerando:

a) A escolha dos números aleatórios percorrendo a tabela de acordo com a sequência por colunas.

b) A escolha dos números aleatórios percorrendo a tabela de acordo com a sequência por linhas.

Resposta comentada

- a) Sequência de colunas: 38, 61, 52, 59 e 78.
- b) Sequência de linhas: 38, 57, 6, 13 e 13.

Frequência relativa

Para desenvolvermos o conceito de frequência relativa, vamos retornar ao exemplo da agência do banco BBC, da nossa Aula 4. Para isso, vamos utilizar os dados coletados na variável “intervalo entre as chegadas sucessivas de clientes ao caixa”, mostrados na **Figura 12.2**. Cabe aqui lembrar que os intervalos registrados com o número 0 (zero), na coleta, indicam que dois clientes chegaram simultaneamente no caixa.

PROJETO: Agência BBC		Ano: 2019								
Variável: Intervalo entre chegadas sucessivas de clientes ao caixa										
Dia: 29/mai	horário: início: 11:00 h		Término: 14:00 h							
Coleta feita por: F.S.S.	Unidade: minutos	Local: Ag. Indústria								
Dados:										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	2	2	0	3	1	1	3	1	1
2	1	2	2	0	3	1	1	3	1	1
3	3	1	1	2	3	4	2	1	1	1
4	0	2	4	3	1	2	1	3	4	2
5	2	1	3	0	1	2	3	0	12	1

Figura 12.2: Dados do exemplo da agência do banco BBC (ver Aula 4).

A partir dos números coletados, podemos identificar a *frequência absoluta*, que indica o número de vezes que um determinado número aparece na amostra. Da mesma forma, identificamos sua *frequência relativa*, que mostra percentualmente qual é a sua presença em relação à amostra como um todo.

A título de exemplo, vamos tomar o número 1, cuja contagem indica que ele ocorre 20 vezes. Esta é sua *frequência absoluta*. Sua *frequência relativa*, por sua vez, é de 0,4, já que temos 20 ocorrências em 50 observações. Podemos dizer, então, que existe uma probabilidade de 40% de que o intervalo entre a chegada de um cliente e outro ao caixa seja de 1 minuto.

Para evidenciar a relação entre as frequências absoluta e relativa, foi gerada a **Tabela 12.2**. Por meio dela, você poderá verificar a relação entre ambas de acordo com a classe de ocorrência dos intervalos entre as chegadas sucessivas de clientes ao caixa, em minutos.

Tabela 12.2: Frequências absoluta e relativa – Agência do banco BBC

Intervalo (minutos)	Frequência absoluta	Frequência relativa
0-2	36	0,72
3-5	13	0,26
6-8	0	0
9-12	1	0,02
Total	50	1

Uma análise dos dados permite identificar que a maior parte das chegadas sucessivas de clientes ao caixa da agência do banco BBC ocorre no intervalo entre 0 e 2 minutos e que, no intervalo entre 6 e 9 minutos, não ocorreram chegadas.

=====**Atividade 5**=====

Atende aos objetivos 4 e 5

Leia as afirmativas a seguir, elaboradas com base na **Tabela 12.2**:

I. Com base na frequência relativa, podemos afirmar que existe uma probabilidade de 72% de que o intervalo entre as chegadas sucessivas de clientes ao caixa seja entre 0 e 2 minutos.

II. Podemos dizer que ocorreram 13 observações com o intervalo entre as chegadas sucessivas de clientes entre 3 e 5 minutos e podemos afirmar que há uma probabilidade de 26% de que este intervalo seja de até 5 minutos.

III. No intervalo entre 9 e 12 minutos, existe uma probabilidade de 2% de que ocorra a chegada de um cliente ao caixa.

É correto o que se afirma em:

- a) () I, apenas.
- b) () II, apenas.
- c) () I e II, apenas.

d) () I e III, apenas.

e) () I, II e III.

Resposta comentada

d) Apenas I e III são verdadeiras. Na afirmativa II, podemos dizer que a probabilidade é de 26% de que a chegada ocorra entre 3 e 5 minutos e não em *até* 5 minutos. Isso somente poderia ser afirmado se fosse conhecida a frequência acumulada, que será vista no próximo tópico.

Frequência acumulada ou cumulativa

Esta frequência é obtida pela acumulação da frequência relativa de cada intervalo de classe por meio de adição, como se pode verificar na **Tabela 12.3**.

Tabela 12.3: Frequências absoluta, relativa e acumulada – Agência BBC

Intervalo (minutos)	Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência acumulada
0-2	36	0,72	0,72
3-5	13	0,26	0,98
6-8	0	0	0,98
9-12	1	0,02	1
Total	50	1	

Observe que a frequência acumulada no intervalo de 3 a 5 minutos é igual a 0,98, que se dá pela soma da frequência relativa do intervalo 0-2, que é de 0,72, com a do intervalo 3-5, que é de 0,26. E assim sucessivamente.

Verifica-se também que, no intervalo 6-8, não há alteração da frequência acumulada, devido ao fato de não ter havido nenhuma chegada entre um cliente e outro aos 6, 7 ou 8 minutos.

Analisando a **Tabela 12.3**, podemos dizer que existe uma probabilidade de 72% de que o intervalo entre a chegada de um cliente e outro ao caixa da agência BBC seja de até 2 minutos.

Atividade 6

Atende aos objetivos 4 e 5

Qual a diferença entre a frequência relativa e a frequência acumulada?

Resposta comentada

A frequência relativa permite identificar qual é o percentual de ocorrência de um dado absoluto ou uma classe de dados em relação ao total da amostra. Em termos de análise, podemos afirmar qual a probabilidade de aquele dado ocorrer.

A frequência acumulada, por sua vez, é obtida pela acumulação da frequência relativa de cada intervalo de classe por meio de adição, implicando um campo de probabilidade maior que a frequência relativa. Em termos de análise, podemos afirmar qual a probabilidade de um dado ocorrer até determinado valor.

Aplicando o método de Monte Carlo

Agora que foram revistos os conceitos de números aleatórios, frequência relativa e frequência absoluta, podemos retornar ao conceito do método de Monte Carlo. Para tal, vamos simular o processo de chegada de clientes usando o exemplo da agência do banco BBC.

Você deverá utilizar a **Tabela 12.1**, de números aleatórios entre 0 e 100, e **Tabela 12.3**, onde está a frequência acumulada. Considerando que desejemos simular o processo de chegada dos clientes ao caixa da agência do banco BBC, será necessário obter o intervalo entre as chegadas

sucessivas deles. Isto será feito em etapas e após gerar o gráfico da frequência acumulada, que é mostrado na **Figura 12.3**.

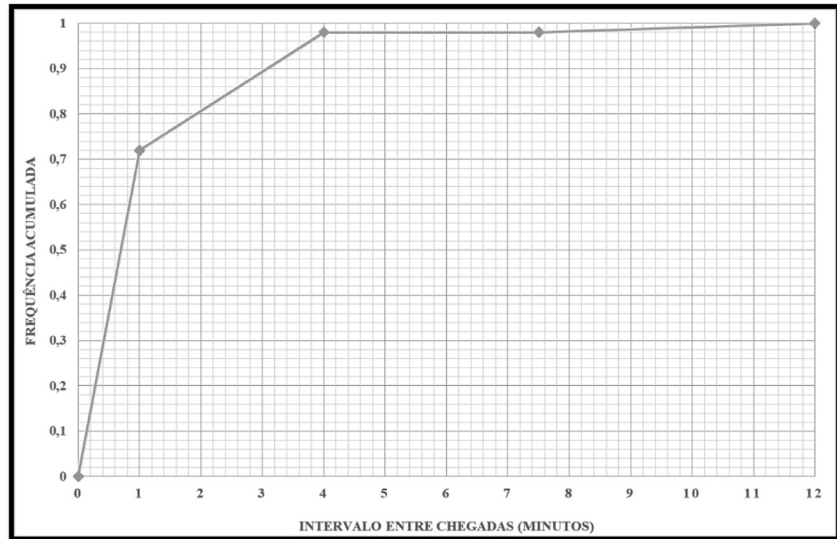


Figura 12.3: Função cumulativa dos intervalos entre chegadas.

Obtido o gráfico, devem ser seguidos os seguintes passos:

1. Sortear um número aleatório da **Tabela 12.1**.
2. Localizar o número sorteado no eixo das ordenadas (frequência acumulada) da **Figura 12.3**.
3. Identificar o ponto do eixo das ordenadas na curva cumulativa.
4. Encontrar o correspondente, que forma o par ordenado, no eixo das abscissas (intervalo entre chegadas). O número encontrado corresponde ao valor procurado.
5. Repita o processo até finalizar a simulação desta variável.

Conhecidas as etapas, você pode aplicar o método de Monte Carlo ao exemplo da agência do banco BBC. Utilizando a **Tabela 12.1**, de números aleatórios, vamos executar o passo 1 e sortear um número aleatório. Suponhamos que você sorteou o número 98, que está na linha 19 e coluna 9. Executando os passos de 2 a 4, foi obtido o número 4, que indica o instante em que chega o primeiro cliente. Agora, vamos ao passo 5 e reiniciamos o processo. O segundo número escolhido foi 72, que está na linha 22 e na coluna 4. Executando os passos de 2 a 4, será obtido

Resposta comentada

Para o cliente 3, o intervalo de tempo será igual a 12. Indicando que este chega ao caixa 12 minutos após a chegada segundo cliente 2. Para o cliente 4, o resultado obtido é igual a 2, indicando que este chegará após passados 2 minutos da chegada do cliente 3.

Agora que o Método de Monte Carlo já foi exemplificado, vamos retomar o exemplo da agência BBC, da aula 4, e fazer a simulação do processo de chegada de clientes ao caixa, do processo de atendimento de clientes no caixa e depois simular o funcionamento do sistema.

É importante ressaltar, que para efeitos didáticos, vamos utilizar os números aleatórios gerados na **Tabela 12.1**. O mesmo será feito com as funções acumuladas, geradas a partir das frequências cumulativas.

Nas simulações executadas em computador, o processo de gerar números aleatórios e identificar as funções acumuladas das distribuições de probabilidade é realizado por métodos computacionais adequados, disponíveis nos pacotes computacionais e muitas vezes inseridos já na programação.

Simulação do processo de chegada de clientes ao caixa

A chegada de 10 clientes será simulada com a utilização dos dados da **Tabela 12.1**, para sortear os números aleatórios, e da função acumulada da **Figura 12.3**, para a obtenção dos vales correspondentes aos intervalos entre as chegadas sucessivas de clientes ao caixa do banco.

A **Tabela 12.4** mostra os resultados obtidos, tendo como número aleatório de partida: 83, que está na linha 24 e na coluna 1. Para cada número aleatório sorteado, foi realizada a leitura na **Figura 12.3** (para se obter o valor do intervalo da próxima chegada) até se obter o valor para os 10 clientes.

Tabela 12.4: Resultados da simulação do processo de chegada

Cliente	Nº aleatório	Intervalo (minutos)	Relógio
1	83	2,3	2,3
2	3	0,1	2,4
3	96	3,8	6,2
4	64	0,9	7,1
5	33	0,5	7,6
6	76	1,2	8,8
7	38	0,7	9,5
8	45	0,62	10,12
9	43	0,6	10,72
10	5	0,1	10,82

A coluna “Relógio” representa o momento da chegada de cada cliente por acumulações sucessivas dos intervalos. Assim, o cliente 1 chegou aos 2,3 minutos, ou aos 2 minutos e 18 segundos. O cliente 6 chegou aos 8,8 minutos, ou aos 8 minutos e 48 segundos.

Os dados relativos ao intervalo entre as chegadas sucessivas, obtidos de forma estocástica, permitem calcular algumas variáveis para entender o comportamento do sistema em termos médios e de ritmo.

Pode-se dizer que, em média, a cada 1,08 minuto, um cliente chega ao sistema, o que dá uma estimativa de um ritmo de atendimento de 55,56 clientes que chegam ao sistema a cada hora. Estas são informações que auxiliam no entendimento do comportamento médio do sistema e na sensibilidade do analista em relação ao modelo em análise.

Simulação do processo de atendimento aos clientes no caixa

Para realizar esta etapa, será necessário calcular as frequências *absoluta*, *relativa* e *acumulada* do tempo de duração do atendimento. Para isso, serão considerados os dados hipotéticos mostrados a seguir, na **Tabela 12.5**, referentes aos tempos coletados para o atendimento no caixa da agência do banco BBC.

Tabela 12.5: Dados hipotéticos do tempo de atendimento

Duração do atendimento									
2	1	4	3	6	1	2	1	8	3
4	1	1	5	2	4	10	3	5	6
7	12	5	3	2	7	2	1	1	9
15	2	1	6	4	9	11	3	1	2
2	3	1	7	9	13	4	2	3	1

=====**Atividade 8**=====

Atende aos objetivos 1, 2, 3, 4, 5 e 6

Com base nos dados da **Tabela 12.5**, calcule as frequências *absoluta*, *relativa* e *acumulada*, considerando os seguintes intervalos de classe em minutos: 1-3, 4-6, 7-9, 10-12 e 13-15.

Resposta comentada

A partir dos dados da **Tabela 12.5**, foram calculadas as frequências absoluta, relativa e acumulada, referentes ao atendimento dos clientes no caixa, conforme mostrado **Tabela 12.6**.

Tabela 12.6: Frequências absoluta, relativa e acumulada do tempo de atendimento

Intervalo (minutos)	Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência acumulada
1-3	27	0,54	0,54
4-6	11	0,22	0,76
7-9	7	0,14	0,9
10-12	3	0,06	0,96
13-15	2	0,04	1
Total	50	1	

A análise de frequência relativa nos permite afirmar que há uma probabilidade de 54% de que o tempo de atendimento seja de 1 a 3 minutos. Podemos afirmar também que há uma probabilidade de 76% de que o atendimento de um cliente seja de até 6 minutos, com base na frequência acumulada.

Função cumulativa

O próximo passo é obter o gráfico da função cumulativa, que é mostrado a seguir, na **Figura 12.5**, e repetir os procedimentos utilizados na simulação do processo de chegada.

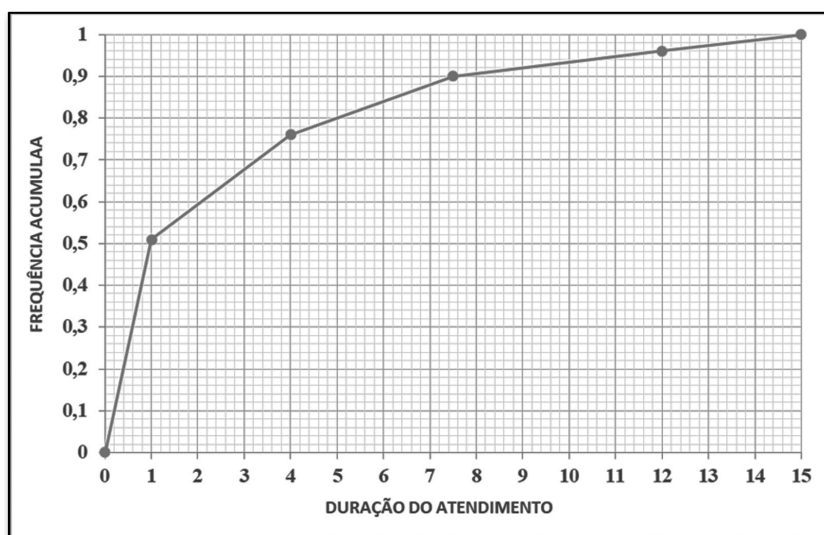


Figura 12.5: Função cumulativa da duração dos atendimentos.

Realizando a simulação

Obtido o gráfico, devem ser seguidos os seguintes passos:

1. Sortear um número aleatório da **Tabela 12.1**.
2. Localizar o número sorteado no eixo das ordenadas (frequência acumulada) da **Figura 12.5**.
3. Identificar o ponto do eixo das ordenadas na curva cumulativa.

d) Encontrar o correspondente, que forma o par ordenado, no eixo das abscissas (intervalo entre chegadas). O número encontrado corresponde ao valor procurado.

e) Repita o processo até finalizar a simulação desta variável.

Feito isso para os 10 clientes, os dados foram consolidados na **Tabela 12.7**, apresentada a seguir.

Tabela 12.7: Resultados da simulação do atendimento

Cliente	Nº Aleatório	Duração do atendimento (minutos)
1	46	0,9
2	80	5
3	100	15
4	60	2,1
5	72	3,5
6	43	0,8
7	70	3,3
8	32	0,6
9	40	0,8
10	21	0,4

Os dados relativos ao tempo de duração do atendimento, obtidos de forma estocástica, permitem calcular algumas variáveis para entender o comportamento do sistema em termos médios e estimar seu ritmo.

Pode-se dizer que, em média, a cada 3,24 minutos um cliente é atendido, o que dá uma estimativa de um ritmo de atendimento de 18,51 clientes a cada hora. Essas são informações que auxiliam no entendimento do comportamento médio do sistema e na sensibilidade do analista.

Simulação do sistema de atendimento no caixa da agência do banco BBC

Neste ponto, é possível simular o funcionamento do sistema, pois tanto os resultados do processo de chegada quanto os do atendimento foram obtidos por meio do método de Monte Carlo, estão disponíveis e podem ser consolidados em conjunto, permitindo compreender a dinâmica da operação. Para isso, você deve inicialmente considerar o fluxo do cliente no sistema, conforme o mostra a **Figura 12.6**.

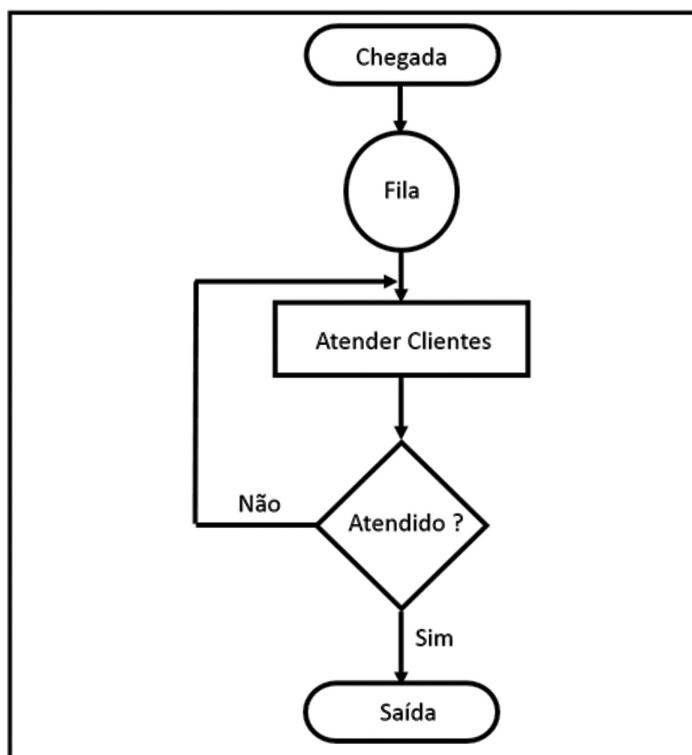


Figura 12.6: Modelo conceitual do atendimento no caixa.

O cliente chega ao sistema, dirige-se ao caixa para ser atendido e, após terminado o serviço sai. Caso, ao chegar, haja algum cliente em atendimento, aguarda na fila. Considerando esse fluxo e com o auxílio de uma planilha eletrônica, você pode simular a operação do sistema, conforme mostrado no Quadro 12.1, que representa a lógica do modelo conceitual.

Quadro 12.1: Exemplo de simulação do atendimento no caixa

Relógio (minutos)	Chegada	Cliente na fila			Atendimento			
	Cliente que chega	Entra	Sai	Tempo (minutos)	Cliente que termina	Cliente que inicia	Duração (minutos)	Momento do término (minutos)
0								
2,3	1					1	0,9	3,2
2,4	2	2						
3,2			2	0,8	1	2	5	8,2

Para realizar a simulação, você precisa das informações constantes das Tabelas 12.4 e 12.7. Observando a coluna “Relógio”, verifica-se que, no instante 0, nenhum cliente chegou ao sistema, assim como nenhuma outra atividade ocorreu. O sistema está em estado estacionário.

Quadro 12.2: Simulação do atendimento no caixa

Relógio (minutos)	Chegada		Cliente na fila			Atendimento		
	Cliente que chega	Entra	Sai	Tempo (minutos)	Cliente que termina	Cliente que inicia	Duração (minutos)	Momento do término (minutos)
0								
2.3	1					1	0.9	3.2
2.4	2	2						
3.2			2	0.8	1	2	5	8.2
6.2	3	3						
7.1	4	4						
7.6	5	5						
8.2			3	2	2	3	15	23.2
8.8	6	6						
9.5	7	7						
10.12	8	8						
10.72	9	9						
10.82	10	10						
23.2			4	16.1	3	4	2.1	25.3
25.3			5	17.7	4	5	3.5	28.8
28.8			6	20	5	6	0.8	29.6
29.6			7	20.1	6	7	3.3	32.9
32.9			8	22.78	7	8	0.6	33.5
33.5			9	22.78	8	9	0.8	34.3
34.3			10	23.48	9	10	0.4	34.7
34.7								

Observando o quadro anterior, pode-se verificar que todos os clientes chegaram até os 10,82 minutos de operação do sistema, porém o último cliente, o número 10, somente terminou de ser atendido aos 34,7 minutos. Além disso, pode-se ver que – apesar de a duração do seu atendimento ter sido pequena, 0,4 minutos (ou 24 segundos) –, ele ficou um período maior no sistema devido aos 23,48 minutos em ficou esperando na fila. Essa espera na fila ocorre também com os clientes 4, 5, 6, 7, 8 e 9. Os elevados tempos de atendimento dispensado aos clientes 2 e 3 no início da operação causaram esse efeito.

Calculando variáveis de saída

Os resultados obtidos na simulação permitem caracterizar o sistema em estudo e seu desempenho, assim como trazer respostas para questões como:

- Quanto tempo em média os clientes ficaram esperando na fila?
- Durante o tempo total da simulação, quantos clientes em média ficaram na fila?
- Qual a taxa de ocupação do caixa, ou seja, quanto tempo ele esteve ocupado atendendo aos clientes?

neste caso. Assim, $TS = 178,14 / 10 = 17,814$. Ou seja, em média, cada cliente ficou 17,81 minutos no sistema. A **Tabela 12.7** (a seguir) foi utilizada para consolidar os tempos de permanência dos clientes individualmente.

Tabela 12.7: Tempo no sistema por cliente

Cliente	Chegada	Saída	Tempo no sistema
			(em minutos)
1	2,3	3,2	0,9
2	2,4	8,2	5,8
3	6,2	23,2	17
4	7,1	25,3	18,2
5	7,6	28,8	21,2
6	8,8	29,6	20,8
7	9,5	32,9	23,4
8	10,12	33,5	23,38
9	10,72	34,3	23,58
10	10,82	34,7	23,88
Total			178,14

d) O número médio de clientes no sistema (NS) é obtido pela divisão do tempo que os clientes permaneceram no sistema dividido pelo tempo total da simulação. Assim, temos que $TS = 178,14 / 34,70$, resultando em 5,13. Isso indica que, em média, durante os 34,70 minutos de operação, temos 5,13 clientes no sistema.

Avaliando uma alternativa

Uma das finalidades da simulação é a possibilidade de avaliarmos um cenário alternativo. Os resultados da simulação de Monte Carlo, para o processo de chegada e para o processo de atendimento no nosso exemplo didático, possibilitaram a obtenção de informações a respeito do sistema estudado. A **Tabela 12.8** mostra as variáveis de saída obtidas para o sistema com um caixa, considerando 34,70 minutos de simulação.

Tabela 12.8: Resultados da simulação

Sistema com 1 caixa	
Fila:	
Tempo médio na fila (TF)	14,57
Número médio de clientes na fila (NF)	4,2
Sistema:	
Tempo médio no sistema (TS)	17,814
Número médio de clientes no sistema (NS)	5,13
Recurso:	
Taxa de ocupação do atendente	0,9337

A partir do momento em que as variáveis de saída estão calculadas, é possível avaliar o impacto de mudanças no sistema. Considere que o objetivo é avaliar o efeito da inclusão de mais um caixa com o mesmo nível de habilidade do caixa já existente. Neste caso, o tempo de simulação deverá ser igual ao do cenário atual: 34,7 minutos. O processo de chegada e atendimento obtidos pelo método da simulação de Monte Carlo também deverá ser mantido. Os resultados da alternativa com dois caixas deverão ser calculados e comparados com o sistema com apenas um caixa. O **Quadro 12.3** mostra os ajustes, incluindo o caixa A e o caixa B no atendimento.

Quadro 12.3: Exemplo de simulação do atendimento com dois caixas

Relógio (minutos)	Chegada	Cliente na fila			Atendimento						Ocupação	
	Cliente que chega	Entra	Sai	Tempo (minutos)	Cliente que termina	Cliente que inicia	Caixa A	Caixa B	Duração (minutos)	Momento do término (minutos)	Caixa A (min)	Caixa B (min)
0							A-Livre	B-Livre				
2,3	1					1	A		0,9	3,2	0,9	
2,4	2					2		B	5	7,4		5
3,2					1		A-Livre					

No exemplo, é possível verificar, na coluna “Relógio”, que – no instante 0 minuto – não ocorre nenhum evento, o que apenas se dá aos 2,3 minutos, com a chegada do cliente 1. Como não há mais clientes no sistema, seu atendimento pelo caixa A tem duração de 0,9 minutos e termina aos 3,2 minutos. Antes disso, no instante 2,4 minutos, chega o cliente 2, sendo seu atendimento feito pelo caixa B, que estava livre. A duração do atendimento foi de 5 minutos e o término se deu aos 7,4 minutos. Aos 3,2 minutos, termina o atendimento do cliente 1 pelo caixa A

ficando este livre, uma vez que não houve a chegada de nenhum cliente, nem havia ninguém esperando na fila.

=====**Atividade 11**=====

Atende aos objetivos 6, 7 e 8

Utilize os dados das **Tabelas 12.4 e 12.7** e o **Quadro 12.1** e considere, ainda, o modelo modificado apresentado no **Quadro 12.3** como exemplo. Em seguida, faça o que se pede:

a) Simule a operação do funcionamento do sistema com dois caixas, A e B, desde o instante inicial 0 até o término do atendimento do cliente 10.

b) Calcule as seguintes variáveis de saída constantes da **Tabela 12.8**, relativas à fila, ao sistema e aos recursos:

I. tempo médio na fila (TF);

II. **número médio de clientes na fila;**

III. tempo médio no sistema (TS);

IV. **número médio de clientes no sistema (NS);**

V. taxa e ocupação dos atendentes.

Resposta comentada

a) A simulação detalhada é mostrada no **Quadro 12.4**, a seguir:

Quadro 12.4: Simulação do atendimento com dois caixas

Relógio (minutos)	Chegada	Cliente na fila			Atendimento						Ocupação	
	Cliente que chega	Entra	Sai	Tempo (minutos)	Cliente que termina	Cliente que inicia	Caixa A	Caixa B	Duração (minutos)	Momento do término (minutos)	Caixa A (min)	Caixa B (min)
0							A-Livre	B-Livre				
2.3	1					1	A		0.9	3.2	0.9	
2.4	2					2		B	5	7.4		5
3.2					1		A-Livre					
6.2	3					3	A		15	21.2	15	
7.1	4	4										
7.4			4	0.3	2	4		B	2.1	9.5		2.1
7.6	5	5										
8.8	6	6										
9.5	7	7	5	1.9	4	5		B	3.5	13		3.5
10.12	8	8										
10.72	9	9										
10.82	10	10										
13			6	4.2	5	6		B	0.8	13.8		0.8
13.8			7	4.3	6	7		B	3.3	17.1		3.3
17.1			8	6.98	7	8		B	0.6	17.7		0.6
17.7			9	6.98	8	9		B	0.8	18.5		0.8
18.5			10	7.68	9	10		B	0.4	18.9		0.4
18.9								B-Livre				
21.2					3		A-Livre	B-Livre				
34.7							A-Livre	B-Livre				
Total				32.34					32.40		15.9	16.5

a) A análise dos resultados indica que houve menos tempo de espera dos clientes e que o atendimento como um todo foi mais rápido. Outros aspectos serão mostrados na análise comparativa com base nas variáveis:

I. Tempo **médio na fila**: $TF = 32,34 / 10 = 3,23$ minutos.

II. Número médio de clientes na fila: $NF = 32,34 / 34,70 = 0,93$ clientes.

III. Os dados para cálculo do tempo médio no sistema tomam como base a **Tabela 12.9**:

Tabela 12.9: Tempo no sistema por cliente com dois caixas

Cliente	Chegada	Saída	Tempo no sistema
1	2,3	3,2	0,9
2	2,4	7,4	5
3	6,2	21,2	15
4	7,1	9,5	2,4
5	7,6	13	5,4
6	8,8	13,8	5
7	9,5	17,1	7,6
8	10,12	17,7	7,58
9	10,72	18,5	7,78
10	10,82	18,9	8,08
Total			64,74

Tempo médio dos clientes no sistema: $TS = 64,74 / 10 = 6,474$ minutos.

IV. **Número médio de clientes no sistema:** $NS = 64,74 / 34,70 = 1,85$ clientes.

V. Taxa de ocupação dos atendentes: $TO = 0,467$ ou 46,7%

Caixa A: $TOA = 15,9 / 34,70 = 0,458$

Caixa B: $TOB = 16,5 / 34,70 = 0,476$

$TO = (0,458 + 0,476) / 2 = 0,467$

Análise comparativa

Esta etapa consiste em, a partir da comparação entre as variáveis e o cálculo das variações, avaliar o impacto de um cenário em relação a outro. Neste caso, da inclusão de mais um caixa. A **Tabela 12.10** consolida essas informações:

Tabela 12.10: Tempo no sistema por cliente com dois caixas

Variável	Sistema com 01 caixa	Sistema com 02 caixas	Variação %
Fila:			
Tempo médio na fila (TF)	14.57	3.23	-77.83
Número médio de clientes na fila (NF)	4.2	0.93	-77.86
Sistema:			
Tempo médio no sistema (TS)	17.814	6.474	-63.66
Número médio de clientes no sistema (NS)	5.13	1.85	-63.94
Recurso:			
Taxa de ocupação do atendente	0.9337	0.467	-49.98

Analisando os resultados, pode-se verificar que a adição de mais um caixa ao sistema reduziu significativamente tanto os tempos de espera na fila quanto o de permanência no sistema, o que pode indicar a possibilidade de melhoria da qualidade do atendimento e descongestionamento na área de serviço. Em contrapartida, houve uma redução na ocupação dos atendentes.

Considerações a respeito do método e do exemplo utilizado

Para a utilização da simulação de Monte Carlo, a obtenção de uma função acumulada é essencial. Nesta aula, utilizamos um exemplo hipotético que serviu de base para realizar a simulação do processo de chegada e do processo de atendimento. Em ambos os casos, se a distribuição de probabilidade for conhecida (por exemplo, Poisson, Exponencial, Erlang, Lognormal), a função densidade da referida distribuição cumpre o papel da função cumulativa que foi obtida aqui por meio da acumulação aditiva da frequência relativa.

Outro aspecto a ser considerado é que, no exemplo utilizado, a amostra se refere a 10 clientes, o que pode não se aproximar do que ocorre no sistema real. Então, você pode utilizar os conceitos aprendidos na Aula 8, com a devida adequação do método da simulação de Monte Carlo de modo a eliminar ou minimizar a variabilidade decorrente de processos estocásticos. Uma das ações é uma amostra maior. Quanto maior, mais ela vai se aproximar do real, pela estabilização do valor em torno de uma média.

Além da amostra maior, cabe utilizar o conceito de replicação, simulando um maior número de vezes pelo método e depois fazendo uma média dos resultados, de modo a reduzir possíveis distorções. Nesse sentido, podemos realizar uma série de rodadas e tirar a média para cada processo em estudo. No caso apresentado nesta aula: para a chegada de clientes e para a duração do atendimento. Esta é uma boa estimativa. A precisão pode ser avaliada pela variância, a qual será tanto mais precisa quanto menor for.

Por fim, o exemplo didático apresentado, com o apoio do uso de uma planilha eletrônica, teve como finalidade possibilitar o entendimento e a compreensão da dinâmica envolvida na simulação quando operacionalizada. No mesmo sentido, mostrar o processo de análise do impacto de variações no sistema, a partir de possível mudança no cenário e com base nas variáveis de saída geradas na simulação.

Conclusão

A possibilidade de realizar a avaliação de alternativas, a partir de recursos básicos da estatística, na ausência de recursos computacionais mais sofisticados, é de grande valia para o profissional de engenharia.

Este é um dos benefícios da simulação de Monte Carlo. Uma segurança que este método dá é que, quando o processo que está sendo simulado é realizado com uma grande massa de dados, os valores obtidos “guardam estreita semelhança com os valores reais”, relacionados às variáveis de saída como tempo de espera na fila ou número de clientes no sistema.

O uso do método de Monte Carlo para realizar simulações de um sistema possibilita reproduções das variáveis randômicas, como, por exemplo, as mencionadas no parágrafo anterior, permitindo efetivamente simular o funcionamento do sistema real que esteja em estudo.

Resumo

Nesta aula foram abordados o que é a simulação de Monte Carlo, quais os seus componentes e a sua aplicação. Em linhas gerais, trata-se de um método que utiliza recursos estatísticos baseados em amostras aleatórias para obter resultados numéricos analíticos.

Além disso, foi apresentado o conceito de números aleatórios e revistos fundamentos básicos de estatística, como as frequências *absoluta*, *relativa* e *acumulada*, e a relação funcional entre elas.

Foram, também, apresentados dois exemplos da aplicação do método de Monte Carlo. O primeiro, com a simulação do processo de chegada de clientes a uma agência bancária, onde foi simulado o intervalo entre as chegadas sucessivas de 10 clientes. Já o outro processo, foi o de atendimento, quando foi simulado o tempo de atendimento a 10 clientes no caixa.

Por fim, a partir das simulações realizadas, foi apresentado um exemplo prático de simulação do sistema como um todo, com o apoio de planilha eletrônica. Com base nisso, foi possível realizar comparações e avaliar o impacto no sistema dado como exemplo.

Referências

PRADO, D. S. do. *Teoria das filas e da simulação*. 2. ed. Belo Horizonte: INDG, 2004.

RAYCHAUDHURI, S. Introduction to the Monte Carlo Simulation. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, p. 91-100, Miami, Florida, EUA, 2008.

SABBADINI, F. S. Apontamentos para aula de Simulação. Faculdade de Tecnologia, UERJ. Resende, 2018.