O ENSINO DE TEORIA DAS FILAS E DA SIMULAÇÃO DISCRETA NOS CURSOS DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

TEACHING THEORY OF QUEUES AND SIMULATION DISCREET IN INDUSTRIAL ENGINEERING PROGRAMS

Ricardo Villarroel Dávalos[1]

Abstract — *The Queueing Theory and the Discrete Event Simulation has great application in Production Engineering Courses and its teaching becomes a challenge to teachers of the area because it involves abstract concepts and complex mathematical procedures. The aim of this article is to evaluate some experiments to support the teaching of these subjects at the Federal University of Santa Catarina - UFSC, based on the use of computational resources. Also, to verify the improvements made in education, will be commented some applications developed by the students.*

Index Terms — Teaching/Learning Strategies, Queueing Theory, Discrete Event Simulation, Applications.

INTRODUÇÃO

Nas diferentes aplicações ou estudos de caso realizados nos Cursos de Engenharia de Produção é comum se deparar com problemas de fluxo ou dimensionamento cuja solução é geralmente complexa. O estudo pode ser uma linha de produção de uma fábrica, o trânsito de veículos numa ou entre cidades, o fluxo dos processos de negócio ou de documentos de uma organização, a movimentação de navios, de cargas e/ou de operadores logísticos num porto, etc.

Assim, por exemplo, dado um determinado objetivo de produção, transporte ou de qualidade de atendimento, os estudos podem procurar dimensionar a quantidade correta de recursos (pessoas, máquinas, veículos, etc.), definir o melhor layout e o fluxo dentro do sistema analisado [5].

Desta maneira, o ponto de partida é a correta escolha da qualidade de atendimento e isto envolve formações de filas que acontecem quando a procura pelo serviço é maior do que a capacidade do sistema de atender a esta procura. O estudo das filas de espera é uma previsão do comportamento das mesmas com a finalidade de dimensionar a infraestrutura e o número de recursos necessários para diminuir esta fila de forma a manter os clientes satisfeitos [1].

Razões pelas quais gerentes e/ou supervisores das organizações dos diferentes setores não aumentam suas capacidades de atendimento pode ser resumida basicamente aos motivos: desconhecimento do tratamento das filas, inviabilidade econômica, limitação de espaço, escassez de recursos, aumento súbito da demanda, etc.

Dessa forma, a Teoria das Filas tenta através de análises matemáticas detalhadas encontrar um ponto de equilíbrio que satisfaça o cliente e seja viável economicamente para o provedor do serviço [2].

A Teoria das Filas é uma aplicação da Teoria das Probabilidades e que estuda a formação de filas, através de desenvolvimentos matemáticos detalhados para quantificar propriedades destas. Considera modelos para analisar previamente um comportamento que ofereça serviços cuja demanda cresce aleatoriamente, tornando possível dimensioná-lo de forma a satisfazer os clientes e ser viável economicamente para o provedor do serviço, evitando desperdícios e gargalos.

As filas são estudadas porque em todas elas, embora nem sempre se perceba, existe embutido um problema econômico e este surge porque existem o custo da fila e o custo do serviço.

Algumas das características básicas de uma fila são: taxas chegadas, taxas de serviços, disciplina de atendimento, capacidade de espera, população finita e infinita, tamanho e tempo fila, etc.

A Teoria das Filas por sua natureza pode-se considerar como um método analítico que aborda o assunto por meio de formulas matemáticas e a Simulação Discreta é uma técnica que usando o computador procura montar um modelo que melhor represente o sistema em estudo [6].

A Simulação Discreta vem sendo cada vez mais utilizada em diferentes áreas de conhecimento, tendo em vista a crescente complexidade dos problemas e a maior disponibilidade de recursos computacionais. Utiliza modelos lógicos e matemáticos, além de recursos computacionais, visando emular o funcionamento dos mais variados tipos de operação ou processos do mundo real [9].

Define-se a simulação como o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos, com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação. Dentre as vantagens do uso dos modelos de simulação, destaca-se que estes permitem obter conclusões sobre

[1] Ricardo Villarroel Dávalos, Professor da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Caixa Postal 476 – Campus Universitário Trindade – Florianópolis - SC, Brasil, ricardo.davalos@ufsc.br.

DOI 10.14684/ICECE.9.2015.106-110
© 2015 COPEC

sistemas sem construí-los e sem perturbá-los, se existentes [4].

Este trabalho apresenta algumas experiências do uso de recursos computacionais para apoiar o ensino de Teoria das Filas e de Simulação Discreta nos Cursos de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Além disso, para verificar as melhorias alcançadas no ensino, serão comentadas algumas aplicações realizadas pelos alunos.

ENSINO DE TEORIA DAS FILAS E DE SIMULAÇÃO DISCRETA

Educadores, pedagogos e psicólogos há tempos propõem novos paradigmas para o processo de ensino-aprendizagem. Os estudos de Papert e a Teoria das Múltiplas Inteligências, de Gardner são dois importantes exemplos dessas mudanças. Nessa nova visão o professor deixa de ser o centro irradiador de conhecimento, passando o aluno a ser o centro de construção desse conhecimento [7].

Nos Cursos de Engenharia de Produção é comum o uso de práticas de laboratório e o desenvolvimento de projetos como forma de complementação do conteúdo teórico. Essas práticas costumam apresentar bons resultados justamente por atenderem alguns princípios como motivação, participação e personalização.

O emprego de recursos computacionais pode complementar algumas dessas práticas e possibilitar o atendimento dos requisitos e conceitos aqui apresentados no ensino de Teoria das Filas e de Simulação Discreta, onde os objetivos procurados são, normalmente, mais difíceis de serem atingidos pelos meios convencionais de ensino.

O ensino de Teoria das Filas e de Simulação Discreta devem dar ao estudante uma grande visão de modelagem, solução e análise de problemas decisórios, a partir dos conhecimentos adquiridos nas disciplinas relacionadas com Probabilidade e Estatística, Linguagens de Programação e aquelas que estão destinadas a dar a base teórica para as aplicações que são realizadas pelos alunos.

O plano de ensino proposto para o ensino de Teoria das Filas e de Simulação Discreta na UFSC apresenta uma metodologia, em geral, definida por aulas expositivas, seminários, trabalhos de pesquisa, exercícios teóricos e práticos, assim como o atendimento aos alunos.

O conteúdo programático geral é definido conforme o projeto pedagógico da Universidade, onde são consideradas as necessidades de atualização, boa formação teórico-acadêmica e evolução gradual para enfoques aplicados e específicos, conduzindo, naturalmente ao estabelecimento dos itens a seguir:

Estudo de conceitos básicos, que tem por objetivo proporcionar ao aluno uma revisão de conceitos gerais adequados para a disciplina: Probabilidade, Distribuições de Probabilidades Discretas e Contínuas, Técnicas e Testes de Geração de Variáveis Aleatórias e, com a finalidade de aplicar os conceitos básicos estudados aqui são utilizados como recursos computacionais as planilhas eletrônicas.

Ensino de Teoria das Filas, considera um estudo dos Processos Estocásticos, sendo principalmente estudados e modelados os processos: Passeio Aleatório, Ruina do Jogador, Morte Pura, Nascimento Puro, Morte e Nascimento, Modelo Generalizado de Poisson e de Autosserviço e Processos Markovianos. Como uma aplicação do último processo são modeladas matematicamente as filas com chegadas e atendimento, representadas pelas Funções de Distribuição Exponencial e Poisson, para um atendente e considerando uma população infinita e/ou finita.

Aqui é dada grande importância à teoria, modelagem matemática e sua aplicação prática mediante o uso das planilhas eletrônicas próprias para apoiar o ensino de Teoria das Filas.

Ensino de Simulação Discreta, possibilita ao aluno ter uma visão geral do uso de recursos computacionais específicos, utilizados na simulação de sistemas e à aplicação mais criteriosa dos conceitos estudados anteriormente. Os tópicos abordados no ensino: Pesquisa de ferramentas de simulação; Uso do pacote de simulação Arena; Análise e implementação de sistemas no Arena. No estudo desta ferramenta são aplicados todos os objetos do painel "*Basic Process*" e são discutidas as aplicações da simulação em sistemas reais que estão sendo implementadas. Também, são pesquisados aplicações de sistemas reais; experiências relatadas pelo professor e como trabalho final é implementado um sistema com características reais nesta ferramenta.

EXPERIÊNCIAS BASEADAS NO USO DE RECURSOS COMPUTACIONAL

A seguir são descritas duas experiências baseadas no uso de recursos computacionais para apoiar o ensino de Teoria das Filas a de Simulação Discreta no curso de Engenharia de produção da UFSC.

O USO DE PLANILHAS ELETRÔNICAS PARA APOIAR O ENSINO DE TEORIA DAS FILAS

Inicialmente são discutidos com os alunos exemplos e exercícios que tratam sobre a chegada de navios num porto, de clientes num banco, de insumos num sistema produtivo. Logo, é analisada a forma aleatória de chegadas de qualquer destas entidades ao sistema, ou seja, o número de entidades que chegam por unidade de tempo varia segundo o caso. Assim sendo, torna-se importante realizar um levantamento estatístico com a finalidade de descobrir se o processo de chegadas pode ser caracterizado por uma função de probabilidades, isto significa que esta função define a chegada hoje e será a mesma para amanhã.

Este procedimento também é aplicado para o modo de atendimento que realiza um recurso para a entidade em questão. Para complementar isto, discute-se o tamanho da

amostra que é considerado para estas funções, sendo inicialmente considerada como infinita e depois com finita.

Também, são definidas as regras de atendimento que determinam a ordem em que as entidades serão atendidas e isto pode ser realizado por ordem de chegada (o primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido), por ordem inversa de chegada (o último a chegar é o primeiro a ser atendido), ou por prioridades de certas classes.

Estes problemas são solucionados a partir de modelos matemáticos desenvolvidos e quando estes consideram muitas variáveis e se tornam complexos, utilizam-se planilhas eletrônicas próprias para apoiar o seu ensino [3].

A Figura 1 ilustra um exemplo de fila com dois servidores e com uma capacidade para de comportar uma fila de três clientes.

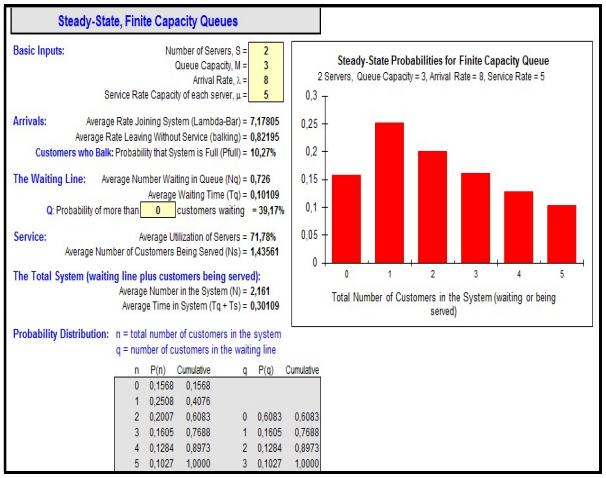

FIGURA. 1
EXEMPLOS DE TEORIA DAS FILAS A PARTIR DE PLANILHAS

Esta planilha calcula o número ideal de recursos (pontos de atendimento) para atender as entidades (clientes). Complementando esta análise discutem-se os custos envolvidos no processo (custos de permanência da entidade e custos de atendimento) e calcula-se a taxa ótima de atendimento que resulta no menor custo total.

É importante destacar que todas as fórmulas utilizadas para os cálculos de cada uma das variáveis dos diferentes tipos de fila estão definidas nestas planilhas.

Para reforçar o ensino de Teoria das Filas, também é utilizada a ferramenta Q 2.0 que pode ser acessada via web [10]. A Figura 3 ilustra o ambiente de trabalho deste *software*.

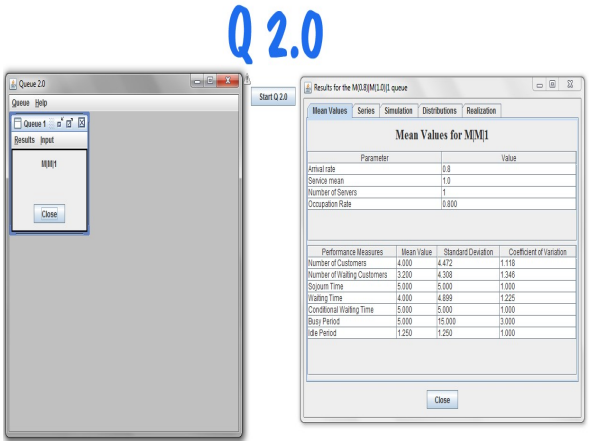

FIGURA. 2
EXEMPLOS DE TEORIA DAS FILAS A PARTIR DO Q 2.0

A FERRAMENTA ARENA PARA APOIAR O ENSINO DE SIMULAÇÃO DISCRETA

Os *softwares* de simulação podem ser de uso geral ou voltados para aplicações específicas, tais como transporte, manufatura, serviços, telecomunicações, reengenharia e outros. Os principais pacotes de simulação de uso geral são o Arena, ProModel, FlexSim, Micro Saint, Extend, AnyLogic, dentre outros [8].

Algumas características destes pacotes são o ambiente de trabalho muito amigável, com facilidades para a modelagem, depuração, visualização da execução, análise estatística de resultados e geração de relatórios. Mas, sem dúvida os mais procurados atualmente são os recursos de animação, que vão desde simples implementações até recursos de animações em 3-D que, obviamente, consomem considerável espaço de memória e encarecem o produto.

Uma característica marcante destes produtos diz respeito à etapa de modelagem/programação, onde se dispõe de uma vasta biblioteca de objetos e comandos, que são posicionados e conectados via *mouse*. Proporcionam interfaces com linguagens de programação para poder contornar algumas dificuldades encontradas na implementação de sistemas.

O ensino de Simulação Discreta na UFSC é apoiado pela ferramenta ARENA e nela são modelados e simulados diversos exemplos, exercícios e estudos de casos propostos, tais como, sistemas de produção, de transporte e estocagem, computacionais, administrativos, de prestação de serviços, etc.

A maioria objetos do painel "*Basic Process*" são utilizados a partir de um exercício que trata de uma aplicação de uma nova linha produtiva de uma empresa fabricante de autopeças. Incialmente esta linha tem 3 postos de trabalho com seus respectivos recursos, assim como tempos definidos para o processamento das peças. A chegada destas peças acontece com uma taxa de chegada definida previamente e o tempo de simulação corresponde a uma semana.

Neste exercício são consideradas algumas mudanças iniciais, tais como, por exemplo, no segundo recurso é incluída uma inspeção e são descartadas 10% das peças por problemas de qualidade. Outra mudança é que quando as peças saem deste segundo recurso devem ser levadas a um novo recurso, caso esta fila de peças em espera for menor que 10. Para uma fila maior ou igual que 10, as peças devem ser desviadas para outra linha de produção, de modo a não interromper a produção.

Outras mudanças também são consideradas, como por exemplo, a inclusão de um segundo recurso novo que trabalha com lotes de 10 peças. As 10 peças são colocadas neste recurso e sofrem juntas um tratamento. Depois disso, elas devem sair separadas e entrar cada entidade na fila de espera do recurso posterior. A Figura 4 ilustra o estudo de caso implementado conforme descrito até aqui.

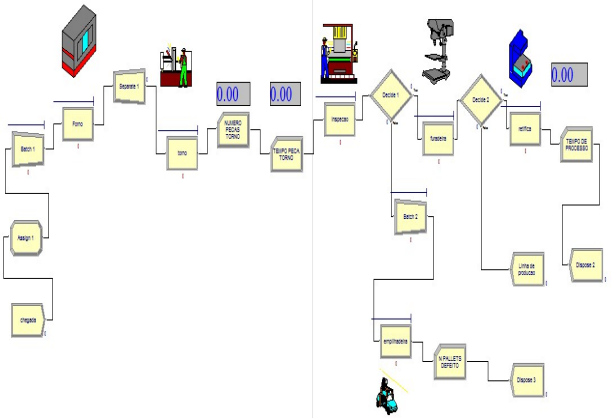

FIGURA. 4
MODELO DE SIMULAÇÃO IMPLEMENTADO NO ARENA

Para o modelo descrito acima são discutidas quais as informações importantes para a análise do processo produtivo e inicialmente deve ser calculado o tempo que a peça percorre todo o processo (*lead time*). Também, deve ser medido o tempo em que saem as peças defeituosas, ser encontrado o número de lotes de peças saem do recurso de tratamento e o tempo com que estes lotes saem deste recurso. Para representar todo isto é elaborado um painel de controle e apresenta os valores médios das cronometragens. Também é criado um gráfico para representar o valor instantâneo do *lead time* das peças.

Finalmente é necessário incorporar uma animação aprimorada para facilitar o entendimento do processo. Esta animação pode ser criada na área de trabalho separada da lógica, sendo acessada por uma tecla de atalho ou um link de navegação. A Figura 5 ilustra a animação e o painel estatístico de controle das variáveis definidas.

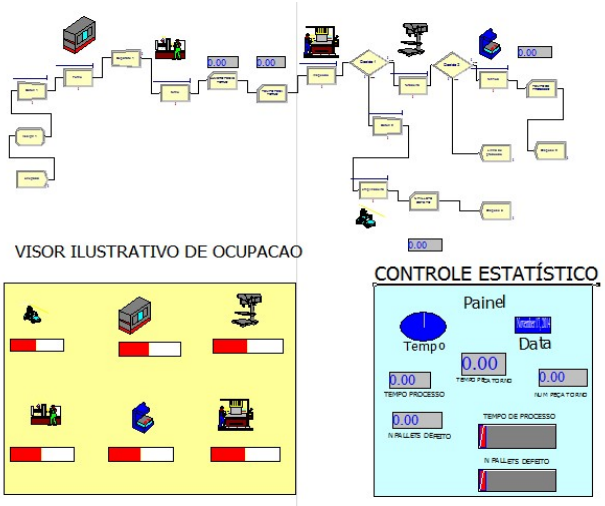

FIGURA. 5
MODELO COMPLETO DE SIMULAÇÃO DISCRETA NO ARENA

É importante comentar que o "Painel de Controle Estatístico" também é implementado no aplicativo complementar "ARENA Visual Designer", para múltiplas replicações, diferentes cenários e até animações do modelo em 3-D.

CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou algumas experiências realizadas no ensino de Teoria das Filas e de Simulação Discreta no curso de Engenharia de Produção da UFSC a partir do conteúdo programático que envolve desde o estudo de conceitos básicos até a implementação de sistemas com características reais.

A utilização da planilha eletrônica própria para apoiar o ensino de Teoria das Filas facilitou o entendimento dos conceitos e proporcionou maior participação dos alunos até a constatação das dificuldades de construção e alteração de lógicas mais detalhadas, as quais são contornadas pelo uso da ferramenta de simulação ARENA.

Devido a sua interface gráfica, recursos de animação e a facilidade de modelagem de sistemas, o uso desta ferramenta se traduz numa maior motivação dos alunos em aprender e aplica-la em sistemas que são estudados no curso e em estágios que realizam nas empresas da Região.

O emprego dos recursos computacionais relatadas no item anterior despertou grande interesse nos alunos em incorporar situações específicas e lógicas detalhadas nos modelos implementados e, para isto, foram discutidos e estudados outros recursos específicos da planilha utilizada e da ferramenta ARENA.

Relatos das experiências, exercícios e os estudos do caso preparados pelo professor, assim como a elaboração do trabalho final que considerou a implementação de um sistema com dados e características reais, também apoiaram o ensino.

Assim, o trabalho final constituí-o um instrumento que trouxe um bom *feedback* para o professor, pois percebeu-se novos desafios dos alunos e testou-se o seu aprendizado. Dentre destes trabalhos, destacam-se aplicações a diferentes setores da indústria e manufatura, logística e cadeias de suprimento, unidades de assistência médica, processos de negócio e sistemas de serviço, etc.

A partir dos trabalhos apresentados pode-se observar a complexidade e abrangência destes, apesar em alguns casos, das simplificações realizadas. Neste caso, os alunos têm percebido estas simplificações e se encontram motivados para aperfeiçoar os modelos e apresenta-los em Congressos de Iniciação Científica, publicações internas da Universidade e nas indústrias aplicadas que tem demonstrado interesse pelos estudos.

Considerando que o ensino de Teoria das Filas e da Simulação Discreta torna-se muito abrangente, sendo difícil para os professores atingirem todos os tópicos nela considerados de forma satisfatória, propõe-se e recomenda-se incentivar discussões com o objetivo de rever a forma de lecioná-las, com base nas experiências aqui relatadas, e direcionar a abordagem conforme as diretrizes do projeto pedagógico e o perfil esperado do egresso.

REFERÊNCIAS

[1] FOGLIATTI, M. C.; MATTOS, N. M. **Teoria de filas**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2007.

[2] HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. São Paulo: McGraw Hill, 2006

[3] McCLAIN, J. O. **A Teaching Spreadsheet for Queuing Theory.** Disponível em: http://forum.johnson.cornell.edu/faculty/mcclain/software/Queue.htm. Acessado em: 12/12/2014.

[4] KELTON, D.; SADOWSKI, D. A.; SADOWSKI, R. P. **Simulation with ARENA**. New York, McGraw-Hill, 2010.

[5] PRADO, D. **Usando o ARENA em Simulação**. Nova Lima - MG: FALCONI, 2010.

[6] PRADO, D. **Teoria das filas e da Simulação**. Nova Lima - MG: INDG Tecnologia e Serviços LTDA. 2006.

[7] RUPERT, C. R.; GASPARY, L. C. Uma experiência de aplicação da teoria das inteligências múltiplas em *softwares* educacionais. ***V Congresso Iberoamericano de Informática Educativa***, Viña del Mar, Chile, 2000.

[8] SALIBY, E. **Repensando a Simulação: A amostragem descritiva.** Rio de Janeiro, Atlas, 1989, 182 p.

[9] SALIBY, E. Softwares para Simulação. Rio de Janeiro, **SOBRAPO - Pesquisa Operacional**. V. 16, n. 1, 1996.

[10] UNIVERSITY OF TWENTE, **Ferramenta Q 2.0**. Disponível em: http://www.win.tue.nl/cow/Q2/. Acessado em: 10/12/1014.