

Estudo comparativo de softwares de simulação de eventos discretos aplicados na modelagem de um exemplo de Loja de Serviços

Nelson Sakurada (USP - Poli) nelson.sakurada@poli.usp.br
Dario Ikuo Miyake (USP - Poli) dariomiv@usp.br

Resumo

O presente trabalho dedica-se ao estudo comparativo de dois softwares de simulação de eventos discretos: Arena e ProModel. A análise é realizada baseando-se na modelagem de um sistema de operações de serviços, que mais especificamente, pode ser enquadrado como exemplo de Loja de Serviços. Ao final do trabalho, é proposto um quadro comparativo considerando aspectos referentes a: 1) foco inicial de aplicação; 2) típicas aplicações; 3) tradução do modelo; 4) ferramentas de suporte ao processo de modelagem; 5) animação. Palavras chave: Simulação de Eventos Discretos, Loja de Serviços, Softwares de Simulação.

1. Introdução

A simulação pode ser definida como uma ferramenta de apoio a tomadas de decisão que utiliza modelos para reproduzir um sistema em estudo e resolver problemas cuja solução analítica se mostre inviável. A crescente popularidade desta ferramenta pode ser atribuída aos avanços da tecnologia computacional, e a sua aplicabilidade no estudo de problemas complexos.

Atualmente, encontram-se disponíveis no mercado diversos softwares de simulação, com aplicações nos mais diversos setores da economia. O presente trabalho analisa comparativamente dois softwares de simulação, Arena 5.0 (Rockwell Softwares) e ProModel 4.22 (ProModel Corporation), aplicados na simulação de eventos discretos de sistemas de operações de serviços que, mais especificamente, de acordo com a classificação proposta por Silvestro (1999) e Correa e Caon (2002), poderiam ser caracterizados como exemplo de Loja de Serviços.

2. Simulação de eventos discretos

A simulação de eventos discretos abrange o estudo de modelos de simulação cujas variáveis mudam de estado instantaneamente em pontos específicos de tempo, em contraste aos modelos contínuos, cujas variáveis mudam de estado continuamente no decorrer do tempo.

Law e Kelton (1991) comentam que é comum considerar para fins de simulação o aspecto predominante do sistema, seja discreto ou contínuo. Gordon (1978); Law e Kelton (1991) atentam para o fato que poucos sistemas, na prática, são totalmente discretos ou totalmente contínuos.

3. Softwares de simulação

Segundo Law e Kelton (1991) existem duas grandes classes de softwares de simulação:

- **Linguagens de simulação:** São "pacotes" computacionais de natureza genérica, porém com características especiais para determinados tipos de aplicações em simulação. A vantagem das linguagens de simulação é a grande flexibilidade que permite modelar qualquer tipo de sistema. As desvantagens estão associadas à necessidade de conhecimentos específicos de programação, e ao tempo demandado para a construção de

modelos mais complexos.

- **Simuladores:** São "pacotes" computacionais que favorecem a modelagem de sistemas específicos com pouca programação. As vantagens dos simuladores estão associadas ao tempo reduzido para construção do modelo, e a facilidade de utilização (*user-friendly*), com menus e gráficos relacionados com o sistema específico. A desvantagem principal pode ser atribuída a pouca flexibilidade de modelagem.

3.1 Arena

O software de simulação Arena foi desenvolvido inicialmente pela *Systems Modeling Corporation* e baseia-se na linguagem de simulação SIMAN. A construção do modelo é feita através da seleção do módulo que contém as características do processo a ser modelado. O modelador não precisa necessariamente conhecer a linguagem SIMAN para construir um modelo. Utilizando os *templates* disponibilizados pelo Arena, o usuário pode extrair um módulo (construção por blocos, *drag-and-drop*), localizá-lo no sistema analisado e parametrizá-lo de acordo com as características do sistema.

Um painel de construção de modelos agrupa uma coleção de blocos, chamados de módulos, que são utilizados para construir e definir um processo. Esses módulos estão organizados sob três tipos de painéis conforme apresentado no Quadro 1.

Painel de Construção de Modelos			
	Painel Básico de Processos	Painel Avançado de Processos	Painel de Transferência Avançado
Função	Compreende os módulos mais usados na modelagem	Usado para modelagem de lógicas mais complexas	Usado para movimentação de materiais, inclui esteiras e equipamentos de transporte
Módulos	<i>Create, Dispose, Process, Decide, Batch, Separate, Assign, Record, Entity, Queue, Resource, Variable, Schedule e Set.</i>	<i>Delay, Dropoff, Expression, Failure, File, Hold, Match, Pickup, ReadWrite, Release, Remove, Search, Seize, Signal, Stateset, Statistic, Storage, Store, Unstore.</i>	<i>Access, Activate, Allocate, Convey, Conveyor, Distance, Enter, Exit, Free, Halt, Leave, Move, PickStation, Request, Route, Segment, Sequence, Start, Station, Stop, Transport, Transporter.</i>

Fonte: (Adaptado de Manual Arena 5.0, 2000)

Quadro 1 – Módulos do painel de construção de modelos

O Arena também oferece a modelagem denominada de baixo nível (*low-level modeling*) para usuários experientes que preferem ter o total controle da modelagem. Modelar nesse nível é similar à modelagem em linguagem SIMAN porque os módulos desse painel correspondem diretamente aos comandos em SIMAN.

Os painéis que oferecem a modelagem em baixo nível são: Painel de Blocos e Painel de Elementos. “Utilizar esses painéis não é o método mais eficiente de modelagem e requer um conhecimento mais aprofundado sobre simulação e a linguagem SIMAN” (MANUAL ARENA 5.0, 2000).

3.2 ProModel

O software de simulação ProModel, desenvolvido pela PROMODEL Corp., possui características voltadas para a manufatura, mas sua flexibilidade de programação permite aplicações em diversas áreas, como serviços. Law e Kelton (1991) classificam o software ProModel como um dos simuladores mais flexíveis devido a sua capacidade de construir lógicas complexas. Apresenta também bons recursos de análise estatística, interface simples (*user-friendly*), permite considerar paradas baseadas em calendário, turnos de trabalho e

múltiplas replicações de simulação.

Os principais elementos do ProModel são:

- *LOCATIONS* (locais): São elementos fixos (estacionários) onde as operações acontecem. São definidos nos locais: capacidade, unidades, regras de atendimento (*FIFO*, *LIFO*, etc).
- *ENTITIES* (entidades): São elementos móveis que sofrem alguma transformação nos *LOCATIONS*. Podem representar matéria-prima, produtos, documentos, informações, pessoas, etc. O ProModel possibilita parametrizar as características das entidades (por exemplo: velocidade, dimensões, tipo).
- *ARRIVALS* (chegadas): É preciso definir a forma como as entidades chegam ao sistema em estudo. Através de *ARRIVALS*, definem-se parâmetros como local da chegada da entidade no sistema, quantidade, frequência e distribuições de probabilidade.
- *PROCESSING* (processos): Os processos definem as interligações entre os locais, os tempos de operação, os recursos necessários, a lógica de movimentação, os roteamentos de entidades, etc. É possível no ProModel inserir comandos específicos de simulação e também criar rotinas específicas através do *Logic builder*. Este recurso do software confere a flexibilidade de programação de diferentes lógicas, de acordo com cada sistema analisado. O conjunto de comandos que podem ser inseridos pelo *Logic Builder* são agrupados em diferentes categorias, tal como descreve o Quadro 2.

Comandos Gerais		Comandos Operacionais	
Comandos de Ação	Comandos de Controle	Relacionados com Entidades	Relacionados com Recursos
<i>Activate, Animate, Assignment, Close, Comment, Dec, Display, Inc, Log, MapArr, Order, Pause, Prompt, Read, Report, Reset, Stats, Send, Sound, Stop, Trace, View, Warmup, Write/Writeline.</i>	<i>Begin/End, Break, BreakBlk, Goto, If-then, If-then-else, Return, Do-While, While-Do.</i>	<i>Accum, Combine, Create, Graphic, Group, Join, Load, Match, Move, Rename as, Route, Split As, Ungroup, Unload, Wait, Wait Until.</i>	<i>Free, Free All, Get, Graphic Statement, Jointly get, Use.</i>

Fonte: (Adaptado de Manual ProModel 4.22, 2000)

Quadro 2 – Comandos do *Logic Builder*

- *RESOURCES* (recursos): Os recursos são elementos necessários para a operação das entidades. Podem corresponder a equipamentos de transporte ou recursos humanos (estacionários ou móveis). O modelador pode definir características tais como; velocidade do recurso, regra de atendimento, tempo de coleta e tempo de descarregamento.
- *PATH NETWORKS* (rede de caminhos): Definem o caminho pelo qual os recursos se movimentam, e as inter-relações desses recursos com os locais e entidades. Podem ser unidirecionais ou bidirecionais.

4. Sistemas de operações de serviço

Na produção de um serviço, o processo não só cria o produto como também o entrega ao cliente. O sistema de prestação do serviço envolve o processo em que o próprio cliente pode participar e é classificado em função de quatro dimensões-chave, as quais são enumeradas a seguir: intangibilidade, percibilidade, heterogeneidade do produto, e simultaneidade da produção e consumo. Distinguir a definição entre bens e serviços aparentemente é tarefa fácil, porém, na prática, o que percebemos é uma combinação entre ambos no ato da aquisição do

bem ou serviço.

Sasser *et al.* (1978) consideram que a melhor maneira de entender o conceito de serviço é avaliar os componentes que o compõem, percebidos pelo consumidor que recebe o serviço e pelo vendedor/provedor que o fornece. Podem-se destacar 3 elementos presentes na prestação de serviço, a saber:

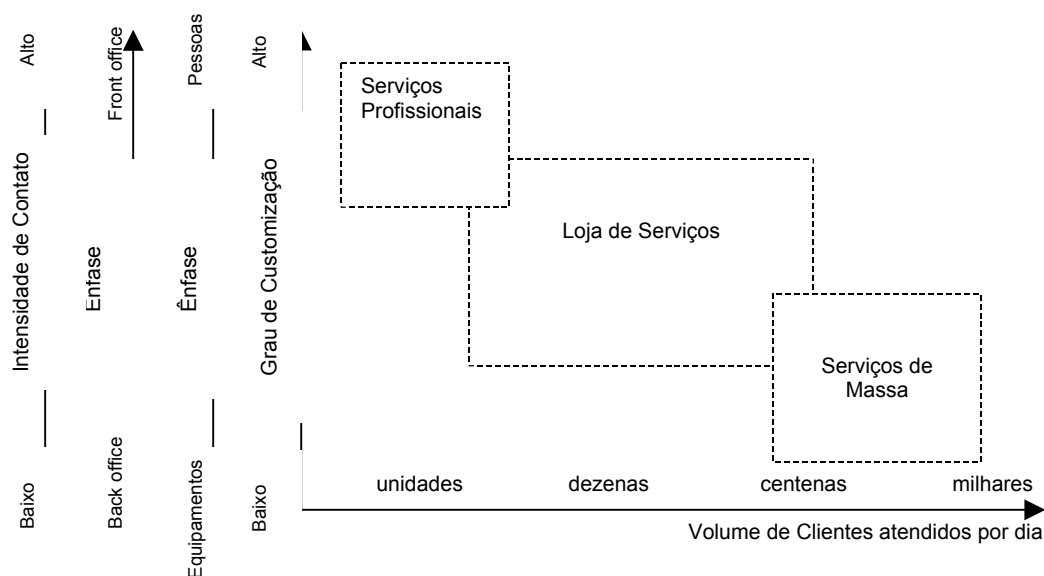
- Itens físicos que permitem que o serviço seja realizado (chamados de bens facilitadores);
- Os benefícios sensoriais ou serviços explícitos;
- Os benefícios psicológicos ou serviços implícitos.

4.1 Tipos de serviços

A forma de classificação dos sistemas de serviços adotada neste trabalho é baseada nos estudos de Silvestro (1999) e Correa e Caon (2002) que sugerem os seguintes 3 tipos básicos:

- **Serviços Profissionais:** São caracterizados por uma intensa participação do cliente no processo de prestação do serviço, o que demanda uma grande flexibilidade para atender as necessidades do cliente. Os recursos humanos geralmente apresentam alta qualificação e suas tarefas apresentam baixa especificação e repetição.
- **Serviços de Massa:** De forma geral, a especificação do serviço é feita antes do cliente entrar no processo. A consequência é a possibilidade de padronização do serviço de acordo com pesquisas sobre expectativas dos clientes. Os recursos humanos apresentam tendência à especialização de tarefas devido à divisão de trabalho para atender a demanda em alta escala. Isso também favorece a substituição dos recursos humanos por equipamentos.
- **Loja de Serviços:** Tipo definido como intermediário entre Serviços Profissionais e Serviços de Massa. Podem ser enquadrados nesta classificação, diversos sistemas de serviços encontrados em estabelecimentos como hotéis, restaurantes e hospitais.

A Figura 1 ilustra como estes 3 tipos se caracterizam em função do volume de clientes que atendem e do grau de customização do serviço que oferecem.



Fonte: (Adaptada de Silvestro, 1999; Correa e Caon, 2002).

Figura 1 – Classificação de Serviços

4.2 Modelo de simulação de Loja de Serviços

Para fins de comparação dos processos de modelagem baseados nos softwares Arena e ProModel, foi adotada a operação de um serviço de fotocópias como exemplo. Este serviço posiciona-se na classificação de Loja de Serviços. Oferece algumas opções de serviço para o cliente (redução, ampliação, reprodução em transparências, cópias coloridas, encadernação em espiral, entre outros) e atende, em média, cerca de 200 clientes por dia útil de trabalho. Os objetivos que direcionaram o processo de modelagem estão relacionados com a análise da capacidade dos equipamentos e alocação do quadro de funcionários do estabelecimento.

Segundo Banks *et al.* (1996), a atividade de tradução de um modelo de simulação, envolve basicamente os seguintes conceitos:

- **Elementos de Modelagem:** Qualquer objeto ou componente do sistema que requer representação explícita no modelo de simulação (ex: funcionário, cliente, máquina, etc.);
- **Atributos:** Propriedades das entidades (ex: tipo de cliente, tipo de pedido);
- **Filas:** Coleções de entidades, ordenadas de acordo com alguma lógica (ex: FIFO, LIFO);
- **Eventos:** Ocorrências que alteram o estado do sistema considerado (ex: chegada de um cliente);
- **Atividades:** Durações de tempo especificado (ex: tempo de atendimento, intervalo de chegadas). Podem ser definidas de maneira: A) determinística; B) estatística; C) através de uma função que depende das variáveis do sistema ou atributos de entidades;
- **Movimentações:** Roteamentos das entidades e recursos no sistema.

Nas duas seções seguintes, a tarefa de tradução do modelo mediante aplicação dos softwares que são objetos de comparação, é discutida com foco nos conceitos acima.

4.2.1 Tradução do modelo utilizando o software Arena 5.0

- **Elementos de Modelagem:** A modelagem em Arena é feita através de módulos. No exemplo de aplicação, foi possível representar o sistema satisfatoriamente utilizando-se os módulos de alto nível. As entidades Clientes são definidas pelo módulo *ENTITY* no painel básico de processos. Neste mesmo painel, o módulo *RESOURCE* define os tipos de recursos (funcionários do estabelecimento) utilizados no modelo. Tempos de ociosidade, falhas e paradas também são especificadas nesse módulo. Diferentemente do ProModel, as decisões no modelo são representadas pelo módulo *DECIDE*. Esse módulo permite a utilização de probabilidades e condições de decisão para a definição de roteamentos no modelo.
- **Atributos:** Os atributos são definidos durante a construção do modelo através do módulo *ASSIGN*. Os atributos são essenciais na modelagem de serviços que oferecem ao cliente uma variedade de opções de serviços, pois correspondem à característica que diferencia o cliente e que provoca, no exemplo analisado, uma mudança nos tempos de processamento dos pedidos.
- **Filas:** Se a modelagem é feita utilizando os módulos de alto nível, as filas são automaticamente definidas quando da criação do módulo *PROCESS* e associação de um recurso para realização da atividade. Isso facilita o processo de modelagem. No modelo construído, as filas estão associadas à espera do cliente pelo processamento do seu pedido.
- **Eventos:** Os eventos do serviço analisado são as chegadas dos clientes ao estabelecimento. Estas chegadas são definidas no módulo *CREATE* do painel básico de processos. A parametrização desse módulo é feita definindo-se a entidade (clientes) que chega no sistema e o comportamento desta chegada, ou seja, através de funções probabilísticas,

constantes, aleatórias ou através de um programa.

- **Atividades:** Os tempos de processamento no Arena para a modelagem do exemplo analisado são definidos no módulo *PROCESS*. Os tempos podem ser constantes, função de uma distribuição de probabilidades ou definidos de acordo com o atributo da entidade.
- **Movimentações:** A movimentação das entidades (clientes) no sistema é feita através do botão *CONNECT* que liga os diferentes módulos, e também pelos módulos de transferência. Os módulos *ROUTE* e *STATION* são bastante utilizados para movimentação de entidades, principalmente em modelagens complexas, pois facilitam a organização e transparência do modelo. O módulo *DECIDE* é, basicamente, um módulo de roteamento que define o fluxo da entidade dada uma regra definida (no exemplo considerado, o que define a regra é o atributo da entidade).

4.2.2 Tradução do modelo utilizando o software ProModel 4.22

- **Elementos de Modelagem:** As entidades do sistema analisado (clientes) são definidas em *ENTITIES*. Os recursos considerados no modelo são os funcionários do estabelecimento, definidos em *RESOURCES*. De forma análoga ao Arena, ao definir os recursos é possível parametrizar a quantidade de recursos disponíveis para uma determinada atividade. O comando *RESOURCE GROUPING* também é destinado na definição de um *pool* de recursos. O que diferencia a modelagem desses recursos é o chamado *PATH NETWORKS* que são os caminhos por onde os recursos se movimentarão. No modelo construído, o *PATH NETWORK* conecta as operações no balcão de atendimento às máquinas que processam o pedido do cliente.

Outra observação importante que diferencia o ProModel do Arena quanto aos elementos de modelagem é em relação a *LOCATIONS*. Os equipamentos (máquinas de reprodução de documentos) são definidos como *LOCATIONS*, pois são elementos fixos onde as operações acontecem. São definidas capacidades, quantidade, regras de atendimento e tempos de parada. O modelador deve atentar-se ao fato que, em modelagem de operações de serviço, não é regra os recursos humanos serem representados por *RESOURCES* e as máquinas e equipamentos por *LOCATIONS*. Se existe um equipamento de movimentação no sistema, ele deve ser tratado como *RESOURCE*. Por outro lado, no exemplo estudado, caso existisse um funcionário dedicado à atividade de caixa, o modelador poderia optar por representá-lo como um *LOCATION* ou um *STATIC RESOURCE* (recurso estático).

- **Atributos:** Os atributos no ProModel são definidos através de *ATTRIBUTES*. É possível inserir uma tabela de probabilidades em *USER DISTRIBUTIONS* e associá-la aos atributos da entidade. De forma análoga ao Arena, os atributos das entidades são muito utilizados pois determinam tempos de processamento dependendo do tipo de pedido solicitado pelo cliente.
- **Filas:** As filas no ProModel são consideradas *LOCATIONS* especiais. Elas são definidas da mesma forma que as esteiras (*CONVEYORS*) e sua forma pode ser definida pelo modelador. No modelo, foram localizadas filas antes da *LOCATION* definida como balcão de atendimento e antes da *LOCATION* definida como caixa.
- **Eventos:** Os eventos são parametrizados através de *ARRIVALS*. Diferentemente do Arena, as chegadas dos clientes são definidas fora do modelo gráfico. O modelador identifica a entidade e o local onde as chegadas ocorrem. Também é possível inserir distribuições de probabilidade, frequência de ocorrências, quantidade de entidades por ocorrência e ciclos de chegadas.
- **Atividades:** As atividades do sistema são definidas em *PROCESSING*. Nessa área são definidas duas ações importantes na modelagem: a operação (inclui tempo de

processamento) e o destino da entidade (decisão de roteamento). Não existe no ProModel o módulo específico de decisão. As decisões são tomadas de acordo com a definição de operação (*OPERATION*) ou através de regras (*RULE*). Em *OPERATION* são possíveis especificar os recursos necessários para a realização da atividade (comando *GET*) e os respectivos tempos de processamento (comando *WAIT*). No exemplo analisado, o tempo de processamento varia em função do tipo de pedido. Isso é possível utilizando os atributos das entidades e lógicas simples *IF-THEN-ELSE*, disponíveis no *Logic Builder*.

- **Movimentações:** As movimentações são definidas em *PROCESSING*. É possível associar um recurso na movimentação da entidade (quando as entidades são trabalhos, por exemplo). No exemplo analisado não foi necessário utilizar esses recursos de movimentação.

Simulador (Fabricante)		Arena 5.0 (Rockwell Software)	ProModel 4.22 (ProModel Corporation)
Foco inicial de Aplicação		Manufatura; Serviços; Negócios; Call-Center; Logística	Manufatura
Típicas Aplicações		Manufatura; Serviços; Cadeia de Suprimentos; Logística; <i>Call-Center</i> ; Treinamento; Armazenagem	Manufatura; Cadeia de Suprimentos; Movimentação e Armazenagem; Análise Discreta de Fluxo de Materiais
Tradução do Modelo	Elementos de Modelagem	Módulos de alto nível: 1) Painel Básico de Processos; 2) Painel Avançado de Processos; 3) Painel de Transferência Avançada	1) <i>Locations</i> , 2) <i>Resources</i> , 3) <i>Entities</i> , 4) <i>PathNetworks</i>
	Atributos	Módulo: <i>Assign (Attributes)</i>	<i>Attributes</i>
	Filas	Módulos: <i>Process, Queue</i>	<i>Locations (conveyor/queues)</i>
	Eventos	Módulo: <i>Create</i>	<i>Arrivals</i>
	Atividades	Módulo: <i>Process</i> (definição de tempos de processamento, associação de recursos, regras)	<i>Processing: Process (Operation: onde são definidas as lógicas, comandos, duração da atividade)</i>
	Movimentações	Módulos: <i>Route - Station; Decide</i>	<i>Processing: Routing (Destination)</i>
	Relógio	<i>Run Setup</i>	<i>Simulation Options</i>
Ferramentas de Suporte ao Processo de Modelagem	Modelagem Gráfica	<i>Darg-and-drop</i> ; blocos	<i>Drag-and-drop; locations</i>
	Verificação de Modelos	<i>Debugger</i> com levantamento de possíveis causas do problema	<i>Debugger</i> ; Rastreamento
	Ajuste Estatístico de dados de entrada	<i>Input Analyser</i>	<i>Stat-fit</i>
	Análise Estatística de dados de saída	<i>Output Analyser</i>	<i>Output Results</i>
	Templates reutilizáveis	<i>Submodels; Copy-Paste</i>	<i>Submodels; Merge submodels</i>
Animação	Recursos de Animação	Edição de Imagem; Importação	Edição de Imagem; Importação
	Visualização em Tempo Real	<i>Real-time simulation</i> ; comunicação com sistemas externos	Não dispõe desse recurso

Quadro 3 – Quadro comparativo de softwares de simulação: Arena x ProModel

5. Quadro comparativo

Com base numa pesquisa do tipo *survey* de Swain (2000) sobre os softwares de simulação disponíveis no mercado e na análise evolutiva da simulação de eventos discretos de Sakurada e Miyake (2002), os simuladores Arena e ProModel, objetos deste estudo, são finalmente comparados no Quadro 3 em relação a 5 quesitos gerais, quais sejam:

- **Foco inicial de aplicação:** Posicionamento de mercado que o software assumiu inicialmente. Indica quais tipos de sistemas de operação visava modelar e simular, a priori.

- **Típicas Aplicações:** Identifica em quais áreas os softwares são comumente empregados.
- **Tradução do modelo:** É o processo de transformação do modelo conceitual em um modelo computadorizado conforme a concepção de modelagem de um dado software.
- **Ferramentas de suporte ao processo de modelagem:** Facilitam a modelagem e análise dos dados de entrada e saída da simulação.
- **Animação:** Recurso visual e dinâmico incorporado à simulação que agregou novas dimensões de utilização dos softwares.

6. Considerações finais

Ambos os softwares de simulação possuem recursos para a modelagem de sistemas de operação do tipo Loja de Serviços. Apesar da aplicação inicial do software ProModel ter sido voltada para a manufatura, sua flexibilidade permite a modelagem de diferentes sistemas de operação. Muitas das ferramentas de suporte à modelagem oferecidas pelos dois simuladores são similares em aplicação e bastante integradas aos softwares, o que facilita o processo de tradução do modelo.

O tempo de construção do modelo para os dois softwares foi considerado similar. Não foi necessário utilizar a linguagem de baixo nível do Arena porque os módulos de alto nível bastaram para os requerimentos modelo construído. No ProModel, os comandos utilizados na definição das operações também são de rápida modelagem devido ao *Logic Builder*, ferramenta que auxilia a programação diminuindo as chances de erro de lógica.

Nota-se pelo Quadro 3, que apesar dos comandos e denominações para modelagem serem distintos, ambos os softwares apresentam potencial similar. Em alguns aspectos, para aqueles familiarizados com o uso de fluxogramas na representação de sistemas, o Arena oferece uma modelagem muito próxima aos símbolos comumente utilizados. Em contrapartida, o ProModel possui uma modelagem gráfica bastante simples, quase intuitiva, ideal para modeladores com pouco conhecimento de programação e que desenvolvem a tradução sobre plantas do sistema real (ou projeto).

Agradecimentos

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – pelo apoio e financiamento da pesquisa.

Referências

- BANKS, J.; CARSON, J.; NELSON, B. (1996) - Discrete-Event system Simulation. New Jersey: Prentice Hall.
- CORREA, H.L., CAON, M. (2002) – Gestão de Serviços: Lucratividade por meio de operações e satisfação dos clientes. São Paulo: Editora Atlas.
- LAW, Averill M.; KELTON, W. David. (1991) - Simulation Modeling and Analysis. 2nd ed. New York: McGraw-Hill.
- MANUAL ARENA 5.0 (2000) - User's Guide Online. Rockwell Softwares. USA.
- MANUAL PROMODEL 4.22 (2000) – User's Guide Online. ProModel Corporation. USA.
- SAKURADA, N., MIYAKE, D.I. (2002) – Softwares de Simulação de Eventos Discretos: Uma Análise Evolutiva. V SIMPOI. Anais de Simpósio. São Paulo: FGV/EAESP.
- SASSER, W.E., OLSEN, R.P., WYCKOFF, D.D. (1978) - Management of Services Operations. Allyn and Bacon. USA
- SILVESTRO, R. (1999) - Positioning Services Along The Volume-Variety Diagonal. International Journal of Operation & Production Management. Vol.19, nº4, p.399-420.
- SWAIN, J. Simulation Software Survey. Atlanta. 2000. Lionheart Publishing. INFORMS. Disponível em: <<http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/Simulation/Simulation.html>>. Acesso em 12 de jun. 2002.