

INTRODUÇÃO AO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO SIMUL8

Leonardo Chwif
Afonso Celso Medina

RESUMO

O software para simulação de eventos discretos Simul8 foi desenvolvido no início da década de 90 na Universidade de Strathclyde (Escócia) para uso didático em disciplinas de simulação. Devido ao seu sucesso como ferramenta de ensino, a Simul8 Corporation iniciou a comercialização do Simul8 como ferramenta profissional de projetos de simulação. O Simul8 incorpora uma série de tecnologias modernas quando comparado com os softwares de simulação que foram criados nas décadas anteriores, o que facilita o seu uso e acelera o tempo de desenvolvimento e análise de modelos de simulação. O objetivo deste trabalho é, baseado em um pequeno tutorial, discutir as principais características do Simul8 e o seu método de construção de modelos de simulação.

PALAVRAS CHAVE. Simulação de Eventos Discretos. Softwares de Simulação. Simul8. Simulação

ABSTRACT

The Simul8 discrete event simulation software was developed at the beginning of 90's inside Strathclyde University (Scotland) for learning purposes. Because of its enormous success among the students, it soon became a reference. Soon afterwards it was commercialized by Simul8 Corporation. Simul8 contains a series of modern technologies that eases its use and reduce drastically both model development and analysis time. The aim of this work is to show its main characteristics and through a short tutorial to depicts how its modeling paradigm works.

KEYWORDS. Discrete Event Simulation. Simulation Software. Simul8. Simulation.

1. Introdução

O Simul8 é atualmente um dos softwares de simulação com o maior número de licenças vendidas no mundo. Isso se deve, principalmente, ao seu preço de venda relativamente baixo. O desenvolvimento do Simul8 teve início na década de 90, com a finalidade de ensino de simulação na Universidade de Strathclyde (Escócia). Devido ao sucesso do Simul8 como ferramenta de ensino de simulação, a Simul8 Corporation iniciou a sua comercialização como ferramenta profissional para projetos de simulação. A figura 1 apresenta um exemplo de uma tela do Simul8 em execução.

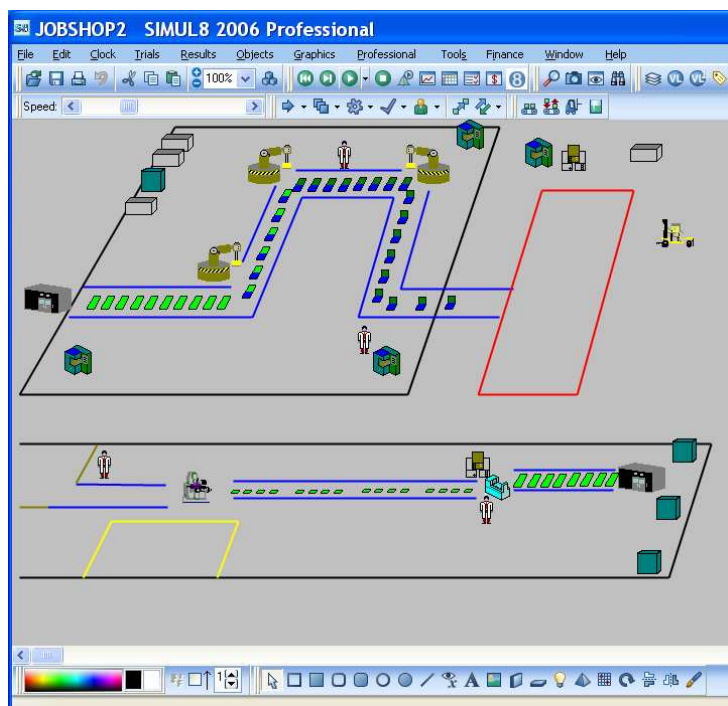


Figura 1: Exemplo de um modelo em execução no Simul8.

Como o desenvolvimento do Simul8 é relativamente recente, ele incorpora uma série de avanços tecnológicos tanto da área de simulação quanto da área de computação. Dentre estas tecnologias pode-se citar:

- *Desenvolvimento para Windows.* A grande maioria dos softwares de simulação foi inicialmente desenvolvida em outros sistemas operacionais (como o DOS ou o Unix) e depois teve seu código migrado para o sistema operacional Windows. O Simul8 foi, desde o seu início, desenvolvido em ambiente Windows, sendo menos susceptível a “Bugs” e “Crashes”;
- *Mecanismo de simulação e processamento paralelo.* O Simul8 utiliza um mecanismo de simulação baseado no método das três fases (Chwif e Medina, 2006), o que acelera o tempo de simulação. Ele incorpora uma tecnologia de processamento paralelo, possibilitando que uma mesma simulação seja executada em mais de um microcomputador;
- *Paradigma de construção de modelos baseados em objetos.* Pode-se construir qualquer modelo a partir de apenas 5 objetos construtores básicos: Chegada, Fila, Centro de Trabalho, Recursos e Saída. Embora suas caixas de diálogo evitem a necessidade de se programar longas linhas de código, o software também possui uma linguagem interna: o Visual Logic, uma linguagem orientada a objetos semelhante ao Visual Basic;
- *“Plug-Ins” ou módulos com finalidades específicas.* O Simul8 incorpora funcionalidades ou pacotes específicos como o Optquest (otimização), Stat:Fit (análise de dados de

entrada), Transport (modelagem de sistemas de transporte, como AGV e empilhadeiras), Virtual Reality (módulo de realidade virtual) e Process (simulação contínua);

- *Assistente de simulação.* Um assistente de simulação, baseado em técnica de inteligência artificial, informa automaticamente quais podem ser os problemas oriundos de um determinado modelo. Isso é especialmente interessante para iniciantes em simulação, que necessitam de um maior auxílio durante a construção de um modelo. A figura 2 ilustra um exemplo do assistente de simulação em funcionamento;
- *Versão “Run-Time”.* O Simul8 possui uma versão “Run-Time” que permite rodar modelos de simulação em computadores sem o Simul8 instalado. Esta versão, denominada Simul8 Viewer, pode ser baixada, sem custo, a partir do endereço <http://simul8-online.com/viewer/download.htm>. O Simul8 Viewer permite, inclusive, que o usuário altere dados de entrada e customize dados de saída.

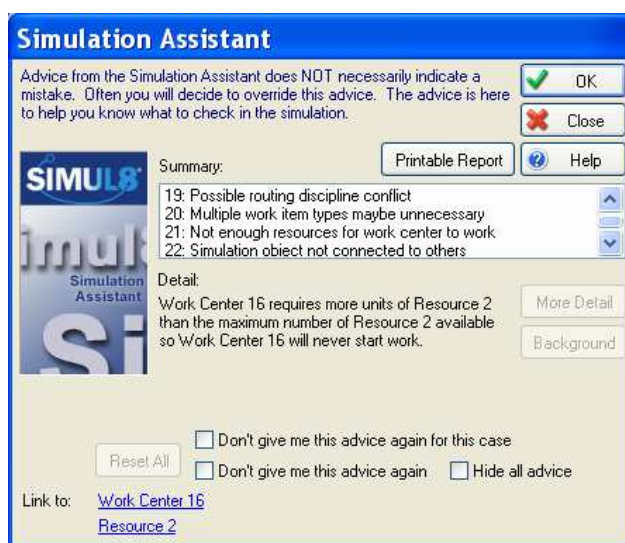


Figura 2: Exemplo de possíveis erros no modelo mostrado pelo assistente de simulação.

- *Intercâmbio com outros softwares.* O Simul8 permite a troca de informações com diversos outros softwares, tais como: Word, Excel, Autocad, bancos de dados no padrão SQL etc. As ferramentas de importação e exportação permitem a conversão de modelos de/para os softwares de simulação Automod e Witness. É possível ainda importar e simular modelos oriundos de softwares de criação de fluxograma de processos, tais como: Visio, Flowcharter, Igrafx, Mega, Salamander. O Simul8 ainda incorpora uma biblioteca e editor de ícones que lê arquivos gráficos no padrão BMP, JPEG e GIF.
O Simul8 é distribuído em três versões básicas:
- *Simul8 Standard.* Contém todas as funcionalidades para a construção de um modelo, exceto alguns módulos e características específicas existentes na versão profissional;
- *Simul8 Professional.* Inclui a versão Standard, mais os módulos: Optquest (otimização), Virtual Reality (realidade virtual), Process (simulação contínua), Stat:Fit (para análise de dados de entrada), Transport (modelagem de sistemas de transporte). Esta versão inclui ainda outras pequenas funcionalidades não presentes na versão Standard; Ainda habilita o Software Simul8 Viewer a rodar modelos (o que não ocorre na versão Standard)
- *Simul8 Educational.* É um pacote que contém um número ilimitado de licenças Standard para utilização acadêmica (o limite é o número de máquinas existentes em um campus universitário) e mais uma licença Simul8 Professional. Há inúmeras vantagens desta versão para universidades, tais como: não há taxas de manutenção, inclui materiais didáticos para alunos e professores, cópias disponíveis para os estudantes utilizarem o

Simul8 em seus computadores pessoais e um fórum de discussão na Internet (Simul8-Café). Uma relação de universidades que utilizam atualmente o Simul8 em seus programas de graduação e pós-graduação pode ser obtida no sítio da Internet: <http://www.simul8.com/products/edu/users.htm>.

Em nenhuma versão há limite para a construção de objetos de simulação – a própria Simul8 Corporation relata a construção de um modelo com mais de 10.000 objetos construtores de simulação. Com relação aos manuais e referências, o Simul8 possui manual de instruções impresso e em versão PDF, *help on-line*, um livro para iniciantes (Concannon *et al.*, 2004) e um guia de referência completo (Hauge e Paige, 2004). Embora um software de simulação não seja a garantia de um estudo de simulação bem sucedido (Chwif e Medina, 2006), a utilização de um software de simulação com tecnologia moderna como o Simul8 ajuda muito a minimizar os tempos de desenvolvimento e problemas futuros com o modelo.

Na próxima seção descreve-se como funciona a interface básica do Simul8 para rodar modelos. Nas sessões 3 e 4 descreve-se a construção de 2 modelos: uma fila M/M/1 e um sistema de carga e descarga de um armazém.

2. Interface Básica de Simulação

Ao se iniciar o Simul8, pode-se escolher entre abrir um modelo existente por meio da opção **File|Open** ou construir um novo modelo por meio da opção **File|New|Blank Simulation**. Aberto um modelo já pronto, o modelo pode ser executado por meio da barra de execução de modelos (figura 3). Uma barra deslizante permite aumentar ou diminuir a velocidade de execução da simulação (item 4 da figura 3).

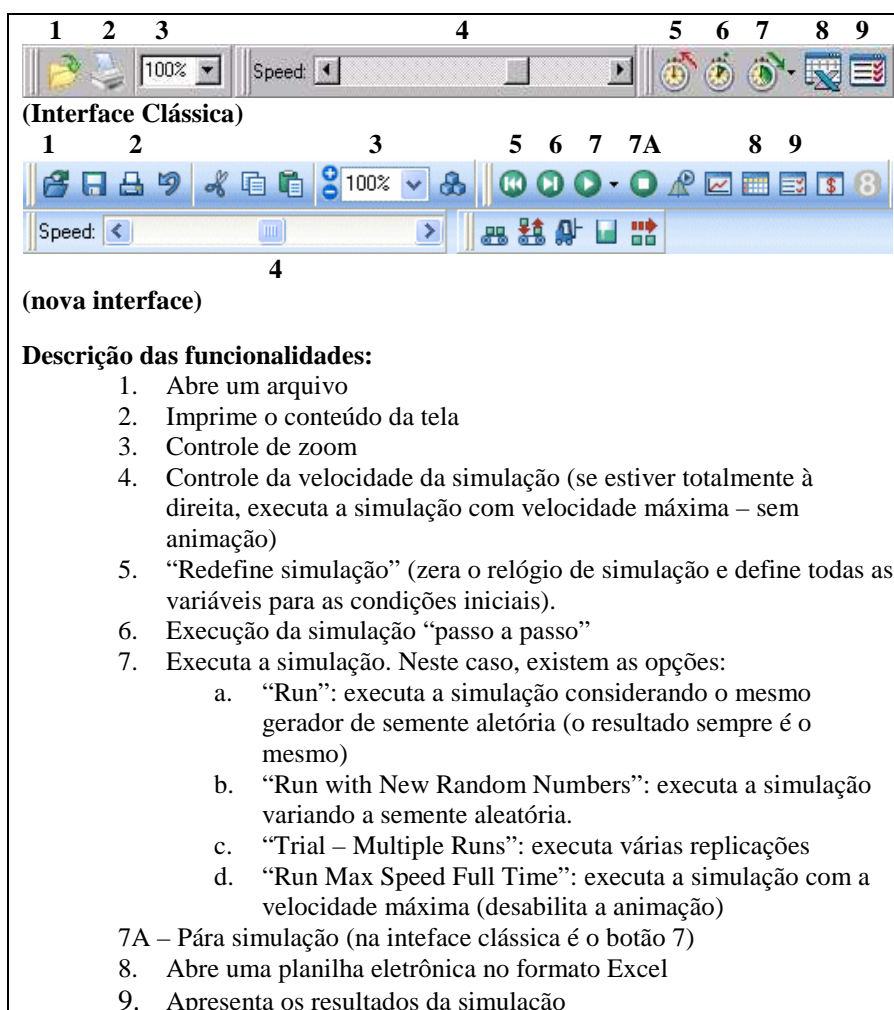


Figura 3: Barras para o controle da simulação.

3. Construção de um Modelo Simples: a Fila M/M/1

Esta seção descreve a construção de um modelo de filas M/M/1 (processos de chegadas e de atendimentos de Poisson e um servidor para atendimento). Considere-se uma fila M/M/1 com tempo médio entre chegadas sucessivas de clientes de 10 minutos e com tempo médio de atendimento de 8 minutos. Para a construção do modelo de simulação no Simul8, deve-se, inicialmente, criar um novo arquivo por meio da opção **File|New|Blank Simulation**.

Qualquer modelo pode ser construído no Simul8 por meio dos seguintes construtores básicos: Chegada, Fila, Centro de Trabalho, Recurso e Saída e mais as ferramentas de conexão. Os construtores básicos e as ferramentas de conexão estão ilustrados na figura 4.

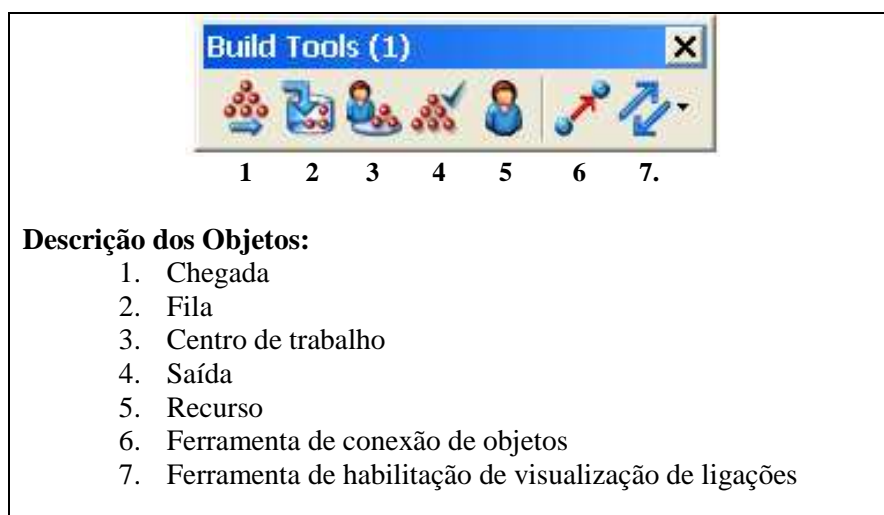


Figura 4: Construtores básicos de um modelo de simulação.

O modelo de simulação da fila M/M/1 é composto por 4 objetos de simulação em seqüência: uma Chegada, uma Fila, um Centro de Trabalho e uma Saída. Primeiramente clica-se em cada respectivo objeto (figura 4) e em qualquer porção da tela aonde se deseja posicioná-lo. Se os objetos forem criados na seqüência sugerida, o Simul8 liga-os automaticamente. Para eliminar uma ligação basta selecioná-la e pressionar a tecla de “excluir” ou “delete”. Para ligar os objetos manualmente, basta clicar na ferramenta de conexão de objetos, no primeiro objeto a ser conectado (origem) e no segundo objeto a ser conectado (destino). O resultado final dos procedimentos descritos está representado na figura 5.

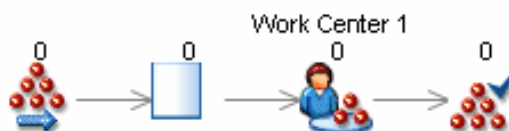


Figura 5: Estrutura do modelo M/M/1.

A uma linha de conexão também pode ser associado um tempo de transporte ou transferência. O tempo de transporte é dado por uma constante multiplicada pelo tamanho da linha (esses parâmetros podem ser ajustados em **Tools|Preferences|Distance**). Caso não se queira considerar este tempo (como é o caso da fila M/M/1) deve-se pressionar o botão “Travel Times = 0” que desativa o tempo de transporte na linha.

Construída a estrutura do modelo, o próximo passo é inserir os parâmetros que, no exemplo em estudo, são os tempos entre chegadas sucessivas de clientes e os tempos de

atendimento no servidor. Por meio do duplo clique em cada objeto, o Simul8 abre uma janela de edição de propriedades. Inicialmente, dá-se um duplo clique no objeto Chegada e configura-se o tempo entre chegadas sucessivas como uma distribuição exponencial com média de 10 minutos. Ao se clicar na lista de distribuições, observa-se que o Simul8 contém a maioria das distribuições discretas e contínuas usuais em modelos de simulação. O título do objeto pode ser mudado e, no exemplo, adotou-se o título “Chegada”. Para que o título se torne visível na tela de simulação, utiliza-se a opção **Graphics|Title|Show Title**. O objeto Fila não possui nenhum parâmetro a ser inserido, mas pode-se melhorar a sua visualização por meio da opção **Graphics|Queue**. O Centro de Trabalho, cujo tempo é exponencialmente distribuído com média de 8 minutos, deve ser alterado de modo semelhante ao objeto Chegadas. Para o objeto Saída, não há nenhuma configuração necessária, mas, para facilitar a sua visualização, pode-se incluir o título “Saída”. Opcionalmente, pode-se mudar o nome das entidades do modelo utilizando-se a opção **Objects|Work Item Types** ou mesmo alterar sua figura (a partir ou da biblioteca ou do editor de figuras). A figura 6 ilustra os passos anteriormente descritos.

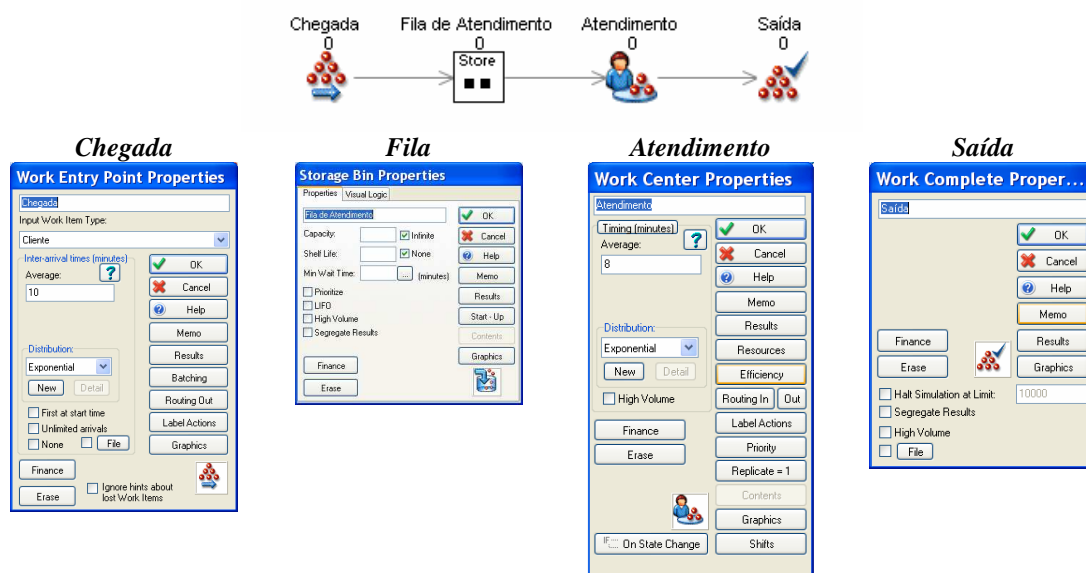


Figura 6: Configuração dos parâmetros do modelo M/M/1.

As medidas de desempenho e as propriedades do relógio de simulação são configuradas ao se clicar em cada objeto e no botão “results”. Diferentemente de outros softwares de simulação, o Simul8 permite a customização de um relatório de saída. Para se adicionar ao sumário de resultados a(s) medida(s) de desempenho desejada(s), basta apontar o mouse para a medida de desempenho e pressionar o botão direito. Para o exemplo em estudo, selecionam-se quatro medidas de desempenho: o tempo médio de espera em fila, o número médio de elementos na fila, a utilização do servidor e o tempo total médio no sistema. Neste caso as duas primeiras medidas de desempenho podem ser escolhidas no objeto Fila, a terceira no objeto Centro de Trabalho e a última no objeto Saída. Ao se utilizar o método de seleção pelo botão direito e se selecionar **Results|Results Summary**, estas medidas estarão disponíveis para visualização e intercâmbio com outros softwares. Na realidade, há uma série de outras medidas e gráficos que o Simul8 fornece, mas, por motivos de espaço, apresentam-se apenas àquelas de importância para o exemplo. A figura 7 apresenta o resultado do Results Summary após a execução do procedimento descrito.

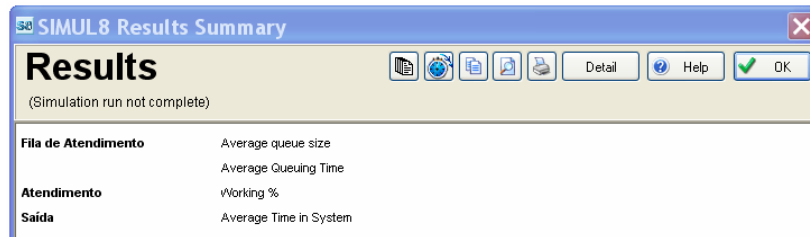
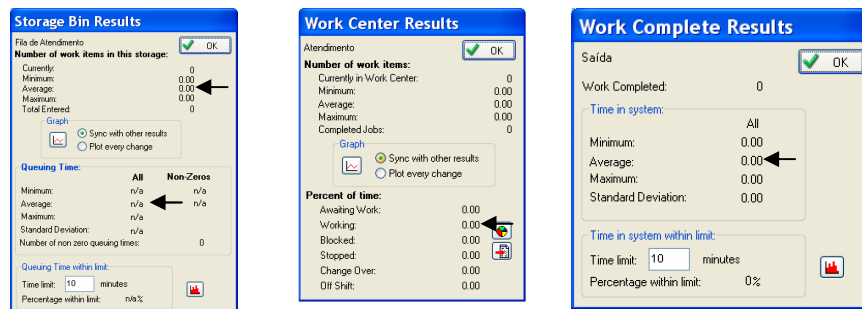


Figura 7: Configuração dos resultados do modelo M/M/1.

Finalmente, devem-se configurar as propriedades do relógio de simulação por meio da opção **Clock|Clock Properties**. A unidade padrão do Simul8 é “minutos” (caso esta unidade seja alterada para segundos, horas ou dias, todos os tempos serão considerados nesta nova unidade). Como período de simulação (*results collection period*), adotou-se 50.000 minutos e como período de aquecimento (*warm-up*), adotou-se 5.000 minutos. Estas configurações estão ilustradas na figura 8.

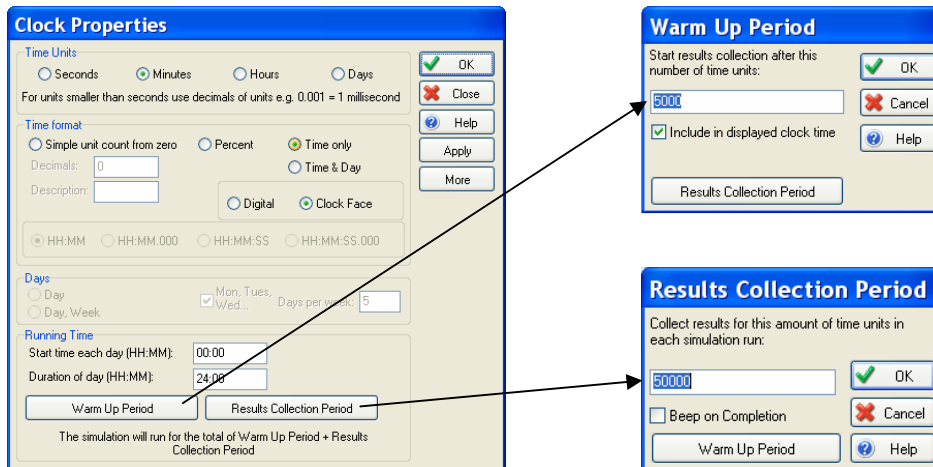


Figura 8: Configuração dos parâmetros do relógio.

Para se executar a simulação, basta que seja pressionado o botão de “executar” (figura 3) e, para verificar os resultados, deve ser selecionada a opção **Results|Results Summary** ou pressionado o botão 9 (figura 3). A figura 9 ilustra como o Simul8 mostra a animação. Há ainda possibilidade de construir gráficos dinâmicos em diferentes objetos e para tal deve-se selecionar o objeto desejado e clicar na ferramenta de geração de gráfico. Na figura 9 pode-se ver o gráfico do número de elementos em fila versus o tempo de simulação.

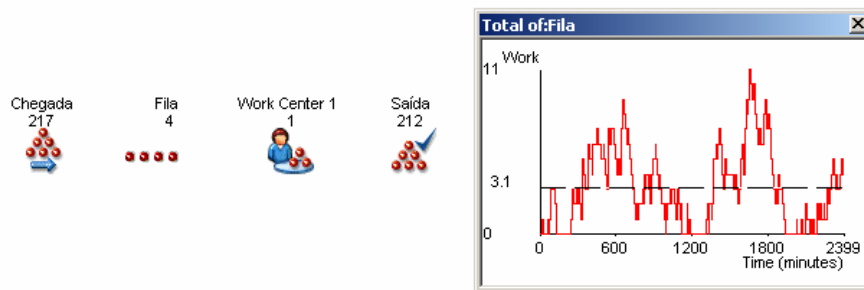


Figura 9: Animação Gráfica do Simul8

Como se trata de um modelo de simulação, resultados mais apurados podem ser obtidos ao se realizar várias replicações do modelo. A opção **Trial|Conduct Trial** permite selecionar o número de replicações desejadas (**Number of Runs in Trial**). Automaticamente, após a execução das replicações, aparecerão os resultados já com os intervalos de confiança construídos para os níveis de 95% e 99% de confiança. A figura 10 ilustra estes resultados para um conjunto de 10 replicações.

		Low 95% Range	Average Result	High 95% Range
Fila de Atendimento	Average queue size	2.77	3.06	3.34
	Average Queuing Time	28.02	30.70	33.38
Atendimento	Working %	79.04	79.95	80.87
Saída	Average Time in System	36.03	38.74	41.45

Figura 10: Resultados de 10 replicações com os respectivos intervalos de confiança.

Este é o procedimento básico de construção, execução e análise de um modelo de simulação no Simul8. Na próxima seção apresentar-se-á um modelo um pouco mais complexo que ilustra algumas funcionalidades do Simul8, em particular, a utilização de recursos.

4. Construção do Modelo do Processo de Carga e Descarga em um Armazém

Este modelo foi extraído de Moreira e Silva (2001): considere-se o problema de um armazém que possui duas docas para carregamento de caminhões e uma doca para descarregamento de comboios. Essas operações são realizadas por duas empilhadeiras. Os tempos entre chegadas sucessivas de comboios são constantes e iguais a 480 minutos, enquanto que os tempos entre chegadas sucessivas de caminhões são exponencialmente distribuídos com média de 20 minutos. O processo de carregamento de um caminhão consome, em média, 30 minutos segundo uma distribuição exponencial, e o processo de carregamento de um comboio consome, em média, 180 minutos, segundo uma distribuição exponencial. Pretende-se simular o sistema de modo a avaliar os tempos de espera médios e máximos tanto de caminhões como de comboios. Deseja-se também, avaliar o nível de utilização das empilhadeiras. O sistema opera durante 24 horas por dia e a simulação deve ser executada durante um mês.

O que difere este modelo do modelo anterior é a existência de 2 processos independentes que compartilham um mesmo recurso, no caso, empilhadeiras. No Simul8, um recurso sempre está associado a um ou mais Centros de Trabalho. Caso o recurso necessário para um determinado Centro de Trabalho não esteja disponível, não há processamento da entidade. No modelo da fila M/M/1, como o Centro de Trabalho estava 100% dedicado e disponível às entidades, não se associou nenhum recurso. A estrutura do modelo do armazém assemelha-se àquela representada na figura 11. A figura 11 (a) ilustra o fluxo com os desenhos padrão do Simul8; a figura 11(b), por sua vez, ilustra exatamente o mesmo modelo, mas alterando os

desenhos para um melhor entendimento e visualização.

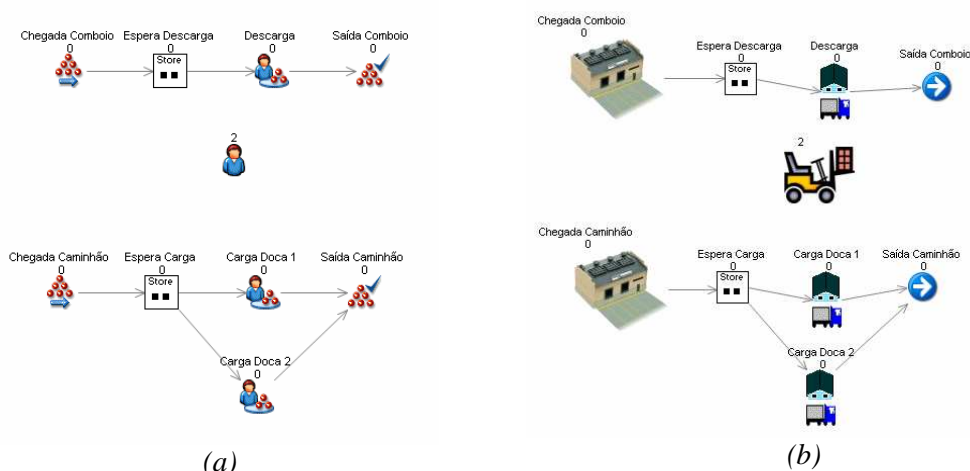


Figura 11: Estrutura do modelo do armazém com: (a) ícones padrão do Simul8 (b) ícones da biblioteca de ícones.

O procedimento de criação de um recurso é exatamente o mesmo de qualquer objeto: seleciona-se no menu de objetos a opção “Recurso” (figura 4) e posiciona-se o Recurso na tela. Com duplo clique, editam-se suas propriedades. Neste caso, pode-se alterar o nome e a quantidade de empilhadeiras (o padrão são 10 recursos). A seguir, devem-se associar os recursos aos Centros de Trabalhos (cada um dos três). Para tal, existem dois métodos: o método de *ligação direta*, utilizando a ferramenta de conexão, e o método de *adição de recursos* diretamente no respectivo centro de trabalho (opção: **Work Center Properties**|**Resources**|**Add**). Outro método é clicar-se no Centro de Trabalho e utilizar a opção **Resources**|**Add** – neste caso, surge uma lista de recursos para seleção pelo usuário. A figura 12 ilustra os procedimentos descritos.

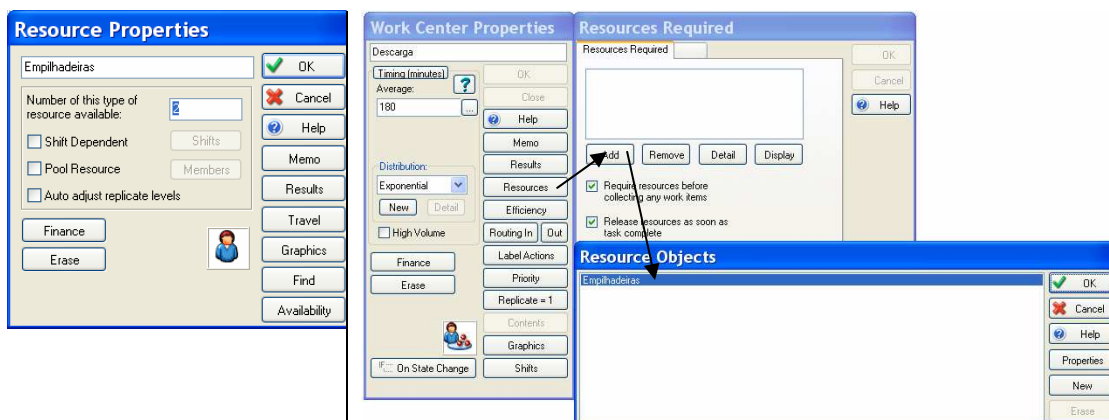


Figura 12: Configurações de utilização de recursos no Simul8.

O procedimento de configuração dos resultados e execuções é semelhante ao descrito no final da seção 3. Uma outra forma possível de modelagem é a de se criar apenas um Centro de Trabalho e replicá-lo com a opção **Replicate** definida para 2. Neste caso, um único Centro de Trabalho terá o mesmo efeito de 2 centros trabalhando em paralelo. Esta característica é interessante para o caso de modelos em que se necessita de uma grande quantidade de centros de trabalhos em paralelo.

5. Conclusões e Considerações Finais.

O presente trabalho fornece uma introdução ao software de Simulação Simul8 na forma de tutoriais simples. Este trabalho não pretende ser uma fonte de referência extensa do software (além do discutido neste texto, o software possui inúmeras outras funcionalidades), mas um trabalho para um primeiro contato com a ferramenta. Assim, procurou-se representar como é paradigma básico de construção de modelos do Simul8.

Para os interessados em conhecer mais sobre o Simul8, sugere-se a visita ao próprio sítio da Simul8 (<http://www.simul8.com>) ou mesmo a consulta das referências citadas sobre o Simul8.

Referências

Chwif, L. e Medina, A. C. *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações*, Ed. Bravarte, São Paulo, 2006.

Concannon, K.; Elder, M., Hunter, K.; Tremble, J. e Tse, S. *Simulation Modeling with Simul8*. Visual Thinking International, 2004.

Hauge, J.W. e Paige, K.N. *Learning Simul8: The Complete Guide*, PlainVu Publishers, Bellingham, 2 ed., 2004.

Moreira, N. e Silva, R. M. *Introdução à Simulação com o Simul8*. Seção de Urbanização e Sistemas, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, 2001. Disponível em: sus.civil.ist.utl.pt/~nmoreira/io2002/SIMUL8.pdf