

# UM NOVO PARADIGMA PARA MODELAGEM E SIMULAÇÃO INTERATIVA VISUAL

PAULO RECH WAGNER<sup>1,2</sup>  
CARLA MARIA DAL SASSO FREITAS<sup>1</sup>  
FLÁVIO RECH WAGNER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UFRGS - Instituto de Informática  
Av. Bento Gonçalves, 9500 - Bloco IV  
Caixa Postal 15064, 91501-970 Porto Alegre, RS  
{prwagner, carla, flavio}@inf.ufrgs.br

<sup>2</sup> PUCRS - Instituto de Informática  
Av. Ipiranga, 6681 - Prédio 30  
Caixa Postal 1429, 90619-900 Porto Alegre, RS  
prwagner@music.pucrs.br

**Abstract.** In recent years, much work has been devoted to make simulation environments more friendly to model builders and decision makers. Computer graphics techniques are being heavily used in the design of the user interface, both for presenting the results after the simulation or during experiments and to build models through graphic editors. New concepts like Visual Interactive Simulation (VIS) and Visual Interactive Modeling (VIM) and their relationship to areas like scientific data visualization, CAD and visual programming languages have motivated this work, which goal is to present a new paradigm for simulation environments that integrate properties and resources found in VIS and VIM environments.

**Keywords.** Simulation Environments, Visual Interactive Simulation, Visual Interactive Modeling, Visual Interactive Simulation and Modeling

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos o uso de simulação se difundiu para as mais diferentes áreas de aplicações, causando deste modo um crescimento considerável na complexidade das simulações bem como no volume de dados gerados e que devem ser analisados pelos usuários. Com isto, a interpretação dos resultados das simulações se tornou uma tarefa muito dispendiosa e muitas vezes cansativa e improdutiva. Este fato deu início às pesquisas visando o desenvolvimento de ferramentas que permitissem uma melhor compreensão dos dados, através de apresentações mais eficientes para a análise dos mesmos. A partir deste momento houve uma tendência no uso de representações gráficas e animações nos objetos em estudo, com o objetivo de prover uma melhor compreensão do experimento realizado. A melhor compreensão dos dados e facilidades de interação com os mesmos, representados visualmente, é objetivo da área conhecida como visualização de dados científicos. A visualização científica é uma área relativamente nova dentro da Ciência da Computação [MCC87, EAR92] e emprega técnicas de computação

gráfica e processamento de imagens na apresentação de resultados de processamentos diversos.

Atualmente muitos estudos na área de simulação estão voltados para o desenvolvimento de sistemas que ofereçam ao usuário maiores facilidades para a simulação e modelagem. Além da necessidade de uma melhor visualização dos dados, é muito importante que os ambientes de simulação ofereçam recursos para a interação do usuário com os experimentos, tornando desta forma os termos interativo e visual cada vez mais presentes no processo de simulação. Enquanto que o propósito da simulação é obter um nível mais aprofundado no entendimento dos dados, o propósito da interação é oferecer ao usuário a facilidade de poder trabalhar diretamente com o modelo e o processo de simulação, influenciando no seu comportamento e realizando experimentações visando compreender suas propriedades e relacionamentos.

A análise de sistemas através de simulação está baseada na modelagem do sistema a ser simulado utilizando uma linguagem (de simulação ou de programação) e na submissão desse modelo a experimentos com diferentes parâmetros. O conceito de VIS (Visual Interactive Simulation) [HUR76] apud

[BEL87] surgiu com o propósito de facilitar a condução dos experimentos de simulação pelo usuário, possibilitando a visualização de dados intermediários e controle completo do experimento e de parâmetros do modelo. Os conceitos de interatividade apresentados em VIS começaram a ser propagados com naturalidade para todas as fases do processo de simulação, sendo que o processo de modelagem é o que mais faz uso destas características. O conceito de VIM (Visual Interactive Modeling) se refere à construção do modelo de simulação com o auxílio de um ambiente gráfico-interativo. Enquanto que VIS se concentra nas necessidades do usuário do modelo, VIM concentra-se no construtor do modelo de simulação.

O uso dos termos VIS e VIM, até certo ponto indiscriminado, tem causado uma certa confusão quanto a classificação de ambientes de simulação. Desta forma, a partir de uma análise e classificação dos ambientes de simulação, considerando os aspectos de modelagem e experimentação, tornaram-se mais claros os conceitos de VIS e VIM. Com base nesta classificação, o trabalho tem por objetivo apresentar um novo paradigma, chamado de VISM (Visual Interactive Simulation and Modeling), que integre os conceitos de VIS e VIM. O objetivo principal deste paradigma é o controle completo de todo o processo de simulação através de um ambiente integrado que ofereça as características e recursos de VIS e VIM.

O restante deste artigo está organizado da seguinte maneira. Na seção 2 são apresentadas as características de simulação interativa visual considerando os diferentes graus de interação com o usuário. Na seção 3, são apresentadas as características e os requisitos necessários para que um ambiente de simulação possa ser enquadrado como ambiente de VIS. A seção 4 discute modelagem interativa visual, apresentando a arquitetura típica de um ambiente e as formas de construção do modelo de simulação. Já a seção 5 apresenta o novo paradigma para ambientes de simulação que contemplem tanto os recursos de VIS quanto os de VIM. Finalmente a seção 6 resume os resultados do artigo.

## 2 SIMULAÇÃO INTERATIVA VISUAL

Conforme o grau de interação entre o usuário e o modelo durante o processo de simulação, utilizando recursos de visualização, Marshall [MAR90] estabelece três categorias para interação e visualização na simulação: *pós-processamento* (post-processing), *monitoramento* (tracking) e *controle* (steering). A interação com os dados durante a simulação é inexistente com pós-processamento e máxima com controle.

A técnica mais comum utilizada para análise de dados é o *pós-processamento*. O usuário não pode observar os resultados intermediários nem interagir com o modelo durante a experimentação. Os resultados gerados são armazenados em uma base de dados. Após o término da simulação, o usuário tem a sua disposição uma série de recursos visuais e interativos que permitem exibir os dados armazenados no banco de dados criado durante a simulação. A interação do usuário está restrita à análise em pós-processamento. A maioria dos sistemas que realizam a apresentação dos resultados em pós-processamento inclui recursos de animação desenvolvidos para integração a modelos de simulação descritos em linguagens de simulação que não possuem recursos gráficos para a análise de resultados. Exemplos de tais sistemas são Proof [EAR90] e CINEMA [POO90].

Os ambientes de simulação que utilizam a técnica de *monitoramento* são aqueles que possuem uma série de recursos para auxiliar o usuário na observação de resultados intermediários durante a fase de experimentação. Além de possuírem as facilidades oferecidas nos ambientes de pós-processamento, os ambientes classificados nesta categoria permitem que o usuário acompanhe o experimento através de recursos de visualização, tais como: associação de representações gráficas para entidades do modelo, múltiplas janelas, geração de gráficos e estatísticas e facilidades de animação. Além destes recursos visuais, o usuário deve ter à sua disposição uma série de recursos que permitam a condução da experimentação: determinação do tempo de execução da simulação, seja através de condições de parada ou indicação de um período de tempo; indicação e manipulação do conjunto de variáveis a serem monitoradas; operações para armazenar e recuperar estados da simulação. Estes ambientes, entretanto, não permitem a interação do usuário com o modelo, ou seja, o usuário não pode controlar parâmetros, variáveis ou atributos de entidades do modelo. Como exemplos, podem ser citados GPVSS [BIS90] e o ambiente de simulação do sistema AMPLO [WAG92].

O *controle* é a técnica onde o usuário detém o controle direto do modelo computacional através de uma série de recursos que permitem sua interação com o modelo durante a simulação. Além dos recursos oferecidos em monitoramento e pós-processamento, o usuário pode controlar a experimentação através de recursos que permitem a interação com o modelo de simulação, tais como: alteração de parâmetros do modelo; alteração de valores de variáveis e atributos de entidades e redefinição de distribuições. Ambientes que suportam estes tipos de recursos são geralmente chamados de ambientes de VIS. São exemplos de tais

ambientes VISE [LIN95] e o ambiente proposto por Rooks [ROO93].

A motivação principal de VIS é a integração com o processo de simulação, caracterizando-se pelo controle (steering) da simulação, ou seja, há a visualização de dados intermediários e capacidade de interação com o modelo durante o transcorrer da simulação. Podem ser modificados parâmetros e definições de variáveis, forma de apresentação dos resultados, etc fazendo com que as consequências no processo de simulação sejam imediatas. Deste modo, VIS engloba a realização interativa das várias etapas do processo de simulação, utilizando representações gráficas e, em algumas, animação [BIS90, STA90, VUJ90].

### 3 REQUISITOS PARA AMBIENTES DE VIS

O ponto principal de VIS é prover ferramentas ao usuário para que ele possa melhorar o entendimento do comportamento do sistema que está sendo modelado. Neste sentido, Rooks [ROO91] apresenta 4 requisitos que podem ser aplicados a modelos computacionais através do processo de simulação levando em consideração as formas de interação que podem ocorrer entre o usuário, o modelo e o ambiente de simulação: a *intervenção* visa prover o usuário de uma forma de interação com o modelo; a *inspeção* deve permitir ao usuário o acesso a todos os dados relevantes do modelo para realizar os experimentos; na *especificação* o usuário deve ser capaz de especificar os parâmetros do modelo, de acordo com os objetivos para a análise do modelo; a *visualização* deve fornecer ao usuário a capacidade de visualizar os dados do modelo de forma que ele possa compreender o seu comportamento.

Através do estudo de diversos sistemas e especificações [VUJ90, FRE94a, FRE94b], chegou-se a algumas conclusões de quais seriam as características desejáveis a um ambiente de VIS, a saber: **a)** visualização gráfica do modelo de simulação; **b)** possibilidade de interação do usuário com o modelo, ou seja, com sua representação gráfica; **c)** possibilidade de interação do usuário com o experimento; **d)** possibilidade de armazenar informações para análise em pós-processamento; **e)** possibilidade de interação com os dados a nível de pós-processamento. A figura 1 propõem uma arquitetura de um ambiente de simulação que possui as características necessárias para ser enquadrado como ambiente de VIS.

Dentro dos aspectos de interação com o usuário, a interação a nível de experimento é o primeiro nível de interação desejado. Alguns dos recursos de interação que devem estar disponíveis ao usuário neste nível são: seleção do modo de execução da simulação (passo a passo, por quantidade de tempo, por tempo específico

ou com interrupção até que se atinja algum ponto ou condição de parada), ativação e desativação do controle sobre o monitoramento de variáveis, alteração de parâmetros da simulação entre duas execuções, operações de salvamento e carga da simulação, alteração das estatísticas exibidas e das representações gráficas utilizadas para as entidades do modelo. Considerando estes recursos e as necessidades dos usuários no processo de análise da simulação, Freitas [FRE93] identifica as seguintes tarefas básicas: navegação pelo universo de objetos; seleção de um conjunto de objetos ou parte de um objeto; consulta a atributos de objetos; preparação de processamento (modificação de atributos, inicialização de parâmetros); processamento (simulação, cálculos, monitoramento, controle) e anotação de textos e armazenamento de dados.

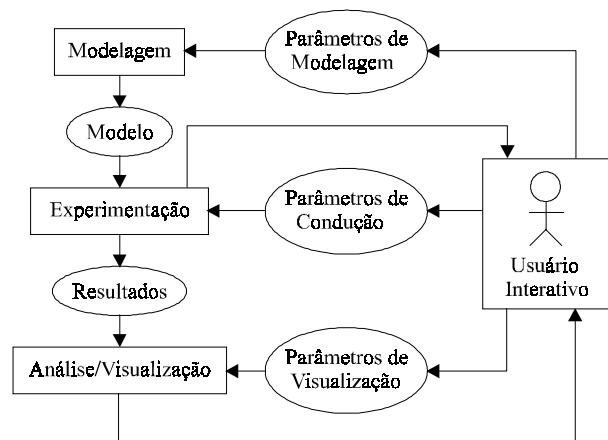


Figura 1. Arquitetura de um ambiente de VIS

Outro ponto muito importante durante a fase de experimentação são os recursos visuais disponíveis. Freitas [FRE93] apresenta uma classificação de ferramentas que são coleções de recursos visuais e interativos que suportam a realização das tarefas básicas identificadas na simulação. Estas ferramentas podem ser classificadas como de mapeamento, exploração, preparação e controle de processamento e registro. As ferramentas de mapeamento correspondem às facilidades oferecidas ao usuário para a associação de entidades e atributos a representações visuais. Diversas representações visuais podem ser utilizadas, tais como: ícones, diagramas, gráficos, tabelas, modelos geométricos, mapas e seqüências. Para que a análise dos resultados seja eficiente, é necessário que a escolha da representação visual para uma entidade ou atributo seja realizada de forma criteriosa, segundo uma metodologia apropriada. As ferramentas de exploração correspondem a facilidades de suporte à navegação, seleção e consulta

dos objetos em estudo. A navegação permite observar um objeto das mais diversas posições (vistas) possíveis, possibilitando um maior entendimento do mesmo por parte do usuário. A seleção de um conjunto de entidades tem por objetivo diminuir o volume de dados a ser analisado. As consultas permitem que sejam observados os valores dos objetos indicados. As ferramentas de preparação e controle de processamento permitem uma análise das informações existentes no modelo, através do estudo das entidades do modelo quando da variação dos parâmetros do modelo. As ferramentas de mapeamento, navegação, seleção e consulta são recursos destinados ao monitoramento da simulação. Para controlar a simulação, são necessários recursos que permitam o controle da execução dos experimentos, como os implementados por Lindstaedt [LIN95]. Finalmente, as ferramentas da classe registro fornecem os recursos para a anotação de textos em representações visuais e armazenamento de imagens, para análise posterior ou para apresentação.

Os recursos que permitem o controle da execução da simulação permitem uma interação entre o usuário e o modelo de simulação. Deste modo, independentemente da forma como foi construído o modelo (de forma textual ou através de recursos gráficos), é desejável que o modelo seja visualizado graficamente para uma melhor interação com o usuário. Através de recursos de navegação e de seleção sobre a representação gráfica do modelo, o usuário pode alterar os parâmetros do modelo, alterar os valores de variáveis e atributos de entidades, modificar uma determinada distribuição, etc. Esta interação não permite que seja realizada uma alteração no modelo, como por exemplo remoção de uma entidade ou alteração de uma conexão; somente é permitida a interação com parâmetros e variáveis. Uma forma alternativa para a visualização do modelo de simulação é a empregada em VISE [LIN95]. Todos os objetos (variáveis e entidades) passíveis de alteração no transcórre da experimentação são apresentados em diversas listas. Através da seleção de um objeto em uma das listas o usuário pode modificar seu valor e/ou atributo.

A interação a nível de pós-processamento permite que o usuário faça o controle da visualização dos resultados da simulação somente após o término da simulação. Neste nível de interação, o usuário pode selecionar variáveis a serem observadas e avançar e retroceder o tempo de simulação para observar quadro a quadro as informações apresentadas. Desta forma, o usuário pode analisar diversas vezes os resultados até que ele chegue a um entendimento dos mesmos. Para que esta facilidade esteja disponível no ambiente é necessário que o mesmo permita que os dados sejam coletados para pós-processamento durante a execução

da simulação. Esta coleta de resultados deve ser realizada em intervalos de tempo determinados.

Os recursos de interação, controle e visualização suportam diversas fases do processo de simulação: verificação e validação do modelo, experimentação e análise de resultados. Os recursos oferecidos agilizam a especificação da visualização do comportamento do modelo facilitando a validação do mesmo. Também através destes recursos, a análise da sensibilidade do modelo em relação à alteração de certos parâmetros é aumentada. A fase de experimentação também é beneficiada pelo maior controle que se tem sobre a execução da simulação, permitindo que o usuário interfira em determinados aspectos do experimento, modificando desta forma o andamento da execução. Na fase de análise de resultados, as facilidades oferecidas possibilitam uma melhor interpretação dos resultados, pois tornam possível um acompanhamento mais efetivo de alterações nos estados de variáveis e atributos de entidades do modelo.

#### 4 MODELAGEM INTERATIVA VISUAL

Quando Hurrion [HUR76] apud [BEL87] apresentou pela primeira vez o termo “visual interactive simulation”, seu propósito era o de visualizar os resultados intermediários e possibilitar interação com o modelo, para modificação de parâmetros e variáveis. Até este momento, não era mencionada explicitamente a construção do modelo de simulação utilizando-se de recursos gráficos e interativos. Atualmente diversos ambientes de modelagem tem sido desenvolvidos, sendo constituídos por inúmeras ferramentas que auxiliam o desenvolvimento de modelos de simulação [BAL92, PAU94]. O objetivo principal destes ambientes é aumentar a produtividade do modelador, com ênfase na construção do modelo através de recursos gráficos. Uma proposta de arquitetura típica de um ambiente de VIM pode ser vista na figura 2.

O módulo gerador de modelos permite que o modelador construa graficamente o modelo de simulação e a sua visualização para uma posterior análise por parte do usuário. Por intermédio de uma linguagem de especificação de modelos (LEM), o modelador especifica a lógica do modelo. Seu propósito principal é descrever o comportamento dos elementos do sistema modelado. Diversas técnicas diagramáticas, tais como diagramas ciclo-atividade e redes de Petri têm sido utilizadas para a especificação de modelos [SCH92, KIE94]. O módulo gerador de modelos é o ponto mais estudado hoje em dia em um ambiente de modelagem e será tratado com mais detalhes a seguir. Após a construção do modelo, o módulo analisador de modelos verifica a correção da especificação do modelo gerada.

Caso esta especificação seja assegurada, ela é passada ao tradutor de modelos que a transforma em uma representação executável. Normalmente o modelo executável é representado através de uma linguagem de programação, como C ou Pascal. A partir deste momento, o ambiente de VIS pode ser ativado para realizar os experimentos sobre o modelo construído.

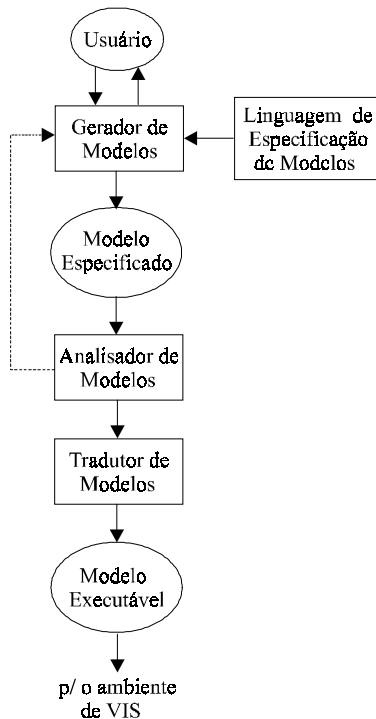


Figura 2. Arquitetura de um ambiente de modelagem.

O processo de construção do modelo de simulação pode ser dividido em duas partes: descrição da representação gráfica do sistema e o projeto do cenário. Ambos podem ser armazenados em uma base de dados para o desenvolvimento de futuros modelos. Normalmente o usuário é provido de um editor gráfico e/ou uma linguagem gráfica que permite uma construção visual-interativa do modelo de simulação. Em muitos sistemas atuais, o modelo de simulação é construído através de uma linguagem visual, geralmente provida por editores gráficos diagramáticos. Deste modo, tanto para a visualização de resultados como para a construção do modelo, é possível analisar as linguagens e sistemas de simulação do ponto de vista das linguagens visuais [CHA87, MYE90]. Myers [MYE90] adota uma taxonomia que divide as linguagens visuais em programação gráfica e visualização de programas, sendo esta última distinguida entre visualização de código, visualização de estruturas de dados e visualização de algoritmos. Em VIS o objetivo principal é a observação do estado

interno do modelo de simulação durante a realização dos experimentos e a visualização dos resultados de sua execução. Desta forma, VIS está relacionado com o uso das técnicas de visualização de dados e de algoritmos. Já em VIM, quando existe construção visual interativa do modelo de simulação, a linguagem de simulação pode ser enquadrada na categoria de programação gráfica. Neste caso, podem ser citados o sistema IMDE [OZD91], o ambiente ISI [NOL91], o ambiente GPVSS [BIS90] e algumas ferramentas de sistemas de simulação comerciais tais como o pacote Blocks para a construção de modelos SIMAN e os sistemas Slamsystem 2.0 e Tess para a construção de modelos em SLAM.

Independentemente de como o modelo de simulação é construído (forma textual ou através de recursos gráficos), o sistema deve prover uma ferramenta altamente amigável e composta de diversos recursos gráficos que permita ao usuário projetar o cenário que será utilizado para a apresentação de resultados. Através de operações de seleção, posicionamento e conexão dos objetos, o usuário pode construir o cenário do modelo.

A especificação da forma de apresentação dos dados provenientes da simulação, tais como entidades, atributos, variáveis e estatísticas também é muito importante e, deve-se garantir que a representação gráfica de uma determinada informação seja significativa para permitir que o usuário faça inferências sobre ela. Dentro deste contexto, a representação das entidades por ícones que lembrem seu significado no sistema real é de fundamental importância para a fase de apresentação de resultados. Para uma maior flexibilidade do usuário, ele deve ser capaz criar seus próprios ícones para realizar a associação com as entidades através de um editor gráfico específico. Deve ser prevista a abordagem hierárquica de modelagem proposta por Johnson [JOH88], onde recursos de visualização distintos para uma mesma informação, com complexidades crescentes, são associados a diferentes fases do processo de simulação.

Freqüentemente, se um modelo é complexo, ele pode ser particionado em uma rede de submodelos interconectados [GOR90]. Por sua vez, cada submodelo pode ser representado por uma nova rede de submodelos ou pode conter elementos básicos do modelo de simulação. Esta modelagem introduz hierarquia na descrição dos sistemas. A modelagem hierárquica se torna mais poderosa ainda quando combinada com recursos gráficos interativos.

## 5 VISM - O NOVO PARADIGMA PROPOSTO

O termo VIM ainda encontra-se um pouco confuso na literatura de simulação e está sendo muitas vezes absorvido por VIS, que tem sido utilizado genericamente para caracterizar os ambientes de simulação. Muitos autores classificam seus sistemas como ambientes de VIS, mas na realidade são ambientes que somente permitem a construção gráfica do modelo de simulação através de diversos recursos e depois simulam um executável deste modelo. Na verdade tais ambientes estão mais interessados em oferecer facilidades para a construção do modelo de simulação e não facilidades para o controle da experimentação e análise de resultados. Considerando os aspectos de modelagem e de experimentação, os ambientes de simulação podem ser classificados dentro de três categorias: VIS, VIM e VIS+VIM.

Ambientes de VIS possuem interação com o usuário na fase de experimentação, possuindo uma série de recursos interativos e visuais. O modelo de simulação é construído separadamente (pode até ser através de recursos gráficos) e o ambiente de simulação obtém a descrição deste modelo para realizar a experimentação. A interação possível entre o usuário e o modelo durante a simulação é a de controle, o que quer dizer que o usuário não pode modificar o modelo de simulação, apenas interagir com seu parâmetros e variáveis.

Ambientes de VIM permitem a construção do modelo de simulação através de recursos visuais e interativos. Tais ambientes estão interessados em oferecer recursos para o modelador, não possuindo recursos para a fase de experimentação do modelo. Posteriormente, um ambiente de simulação utiliza a descrição do modelo gerada pelo ambiente de VIM para realizar a experimentação.

Ambientes de VIS+VIM possuem tanto os recursos de VIM como de VIS. Existe a interação do usuário com a fase de experimentação e com o modelo, mas em momentos distintos. A experimentação é realizada sobre um modelo estático, ou seja, o usuário não pode modificá-lo, apenas alterar o conteúdo de variáveis, parâmetros e atributos de entidades. Caso haja a necessidade de alterar o modelo, deve-se interromper a experimentação, realizar as alterações no modelo e depois reiniciar a experimentação. Tais ambientes são constituídos, na realidade, de dois “sub-ambientes” internos, um de VIS e outro de VIM, que não trabalham em paralelo. Estes ambientes possuem na sua interface todas as ferramentas necessárias para ambientes de modelagem e simulação, de forma que se tem um ambiente único.

A idéia de um novo paradigma, chamado de VISM (Visual Interactive Simulation and Modeling), vem da

constatação da não existência de um ambiente integrado que possua recursos que permitam, ao mesmo tempo, a interação do usuário tanto com o modelo como com a experimentação. VISM é um ambiente completo de modelagem e simulação, onde o usuário, através de múltiplas janelas, tem à sua disposição ferramentas que oferecem tanto recursos para a experimentação quanto para a construção e modificação do modelo de simulação.

Imagine-se que o usuário tenha à sua disposição uma janela que corresponda a um ambiente de VIS e outra correspondendo a um ambiente de VIM. Ambas as janelas estariam trabalhando em paralelo e se comunicando uma com a outra. O modelo que está sendo visualizado na janela do ambiente de VIM é aquele sobre o qual está sendo realizada a experimentação no ambiente de VIS. Deste modo, durante a experimentação o usuário pode modificar o modelo, utilizando a mesma ferramenta gráfica-interativa que permite a sua construção, e continuar com os experimentos, sem a necessidade de interromper a simulação e começar novamente. Qualquer alteração no modelo causará automaticamente efeitos na experimentação e análise de resultados. A simulação de um sistema de tráfego seria um exemplo de aplicação deste novo paradigma. Durante a simulação, o usuário está visualizando a dinâmica do sistema na janela de VIS. Para contornar os gargalos existentes no sistema, tais como o engarrafamento em um determinado cruzamento, o usuário poderia introduzir ou remover semáforos em diferentes pontos sem que ele tenha a necessidade de recompilar o modelo e reinicializar a simulação. Alguns problemas surgirão com a introdução destas modificações dinâmicas no modelo, pois observa-se que os dados estatísticos coletados antes e depois destas modificações estarão distorcidos [STA90], causando desta forma um regime transitório no qual o usuário deve tomar muito cuidado na interpretação dos resultados.

Outras janelas poderiam ser utilizadas para visualizar os dados de saída em tempo real. Desta forma, o usuário poderia selecionar a melhor forma de visualização (representação gráfica) para cada aspecto do modelo (entidades, atributos, filas, etc). Esta associação entre uma representação gráfica e um determinado aspecto do modelo poderia ser modificada de forma dinâmica, conforme o nível de entendimento do sistema. Como VISM deve permitir o uso da modelagem hierárquica, outro recurso muito interessante é a associação de diferentes janelas para cada submodelo, tanto para propósitos de visualização como modificação.

Um ambiente de VISM deve conter pelo menos as seguintes ferramentas: **a)** um editor gráfico para a

especificação da estrutura do modelo e do cenário. Este editor deve permitir a associação de representações gráficas às entidades. Para um melhor entendimento do sistema, o usuário pode modificar estas representações gráficas nas diferentes fases do processo de simulação (verificação, validação e análise); **b**) uma linguagem gráfica para a especificação do comportamento do modelo, de acordo com a abordagem de modelagem desejada (por exemplo orientação a eventos ou processos); **c**) um tradutor, que transforma a especificação do modelo em uma representação interna (para uma simulação interpretada) ou em um código executável (para uma simulação compilada). Enquanto que a simulação interpretada é melhor para as fases de verificação e validação, a simulação compilada pode ser mais eficiente para a análise de resultados, caso não sejam mais necessárias modificações no modelo; **d**) um módulo de experimentação que suporte todos os recursos visuais e interativos esperados em um ambiente de VIS.

## 6 CONCLUSÕES

Este trabalho se concentrou em estudar os recursos e características necessárias para que ambientes de simulação possam ser classificados de visuais-interativos. Com base neste estudo, pode-se definir de forma bem clara, os conceitos de VIS e VIM que são utilizados com frequência na área de simulação, mas que por muitas vezes ficam um pouco confusos devido às diversas definições dadas.

A partir da análise de diversos ambientes de simulação, procurou-se enquadrá-los dentro da classificação proposta por Marshall [MAR90]. Através dos recursos e facilidades disponíveis nos ambientes de simulação analisados, pode-se concluir quais seriam as características desejáveis para ambientes de VIS. Também foram identificados os conceitos e características para ambientes de VIM, procurando salientar que a construção do modelo de simulação através de recursos gráficos está relacionada com linguagens visuais de programação [MYE90]. Este artigo permitiu que, a partir de uma classificação dos ambientes de simulação considerando os aspectos de modelagem e experimentação, o uso dos termos VIS e VIM ficassem mais claros, evitando desta forma confusões entre eles.

De acordo com esta classificação, foi apresentado um novo paradigma, chamado de VISM (Visual Interactive Simulation and Modeling), integrando os recursos de VIS e VIM em um único ambiente. Este paradigma tem por objetivo a integração total das características e recursos oferecidos por VIS e VIM, de forma que o usuário tenha um controle completo sobre

todo o processo de simulação. A contribuição principal deste novo paradigma não são novas ferramentas criadas, mas os benefícios que podem ser alcançados através da disponibilidade simultânea de facilidades de VIS e VIM durante a experimentação.

Atualmente dentro Instituto de Informática da UFRGS, como parte de duas teses de doutorado, está em estudo o desenvolvimento de um ambiente de VISM que combina facilidades de VIM com uma plataforma de VIS orientada a objetos [COP96], que consiste de classes de simulação que suportam uma variedade paradigmas de modelagem.

## REFERÊNCIAS

- [BAL92] Balci, O.; Nance, R.E. The simulation model development environment: an overview. In: Winter Simulation Conference, Arlington, Virginia, Dec. 13-16, 1992. Proceedings. IEEE/ACM/SCS, 1992. pp. 726-736.
- [BEL87] Bell, P.C.; O'Keefe, R. M. Visual Interactive Simulation - history, recent developments, and major issues. *Simulation*, 49(3):109-116, set. 1987.
- [BIS90] Bishop, J. L.; Balci, O. General purpose visual simulation system: a functional description. In: Winter Simulation Conference, New Orleans, Louisiana, Dec. 9-12, 1990. Proceedings. IEEE/ACM/SCS, 1990. pp. 504-512.
- [CHA87] Chang, S. K. Visual languages: a tutorial and survey. *IEEE Software*, 4(1):29-39, jan. 1987.
- [COP96] Copstein, B.; Pereira, C.E.; Wagner, F.R. The object oriented approach and the event simulation paradigms. In: 10th European Simulation Multiconference, Budapest, Hungary, Jun. 2-6, 1996. Proceedings. pp. 57-61.
- [EAR90] Earle, N. J.; Brunner, D. T.; Henriksen, J. O. Proof: The general purpose animator. In: Winter Simulation Conference, New Orleans, Louisiana, Dec. 9-12, 1990. Proceedings. IEEE/ACM/SCS, 1990. pp. 106-108.
- [EAR92] Earnshaw, R. A.; Wiseman, N. An introductory guide to scientific visualization. Berlin, Springer-Verlag, 1992.
- [FRE93] Freitas, C. M. D. S.; Wagner, F. R. A methodology for selecting visual representations in scientific and simulation applications. In: Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens, VI. Recife, PE, 19-22 outubro 1993. Anais. SBC/UFPE, 1993. pp 89-97.

- [FRE94a] Freitas, C. M. D. S.; Wagner, F. R. Análise exploratória visual orientada a ferramentas. In: Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens, VII. Curitiba, PR, 8-11 outubro 1994. Anais. SBC/UFPR, 1994. pp 197-203.
- [FRE94b] Freitas, C. M. D. S. Uma abordagem unificada para a análise exploratória e simulação interativa visual. Porto Alegre: CPGCC da UFRGS, 1994. 146p.
- [GOR90] Gordon, R. F.; MacNair, E. A.; Gordon, K. J.; Kurose, J. F. Hierarchical modeling in a graphical simulation system. In: Winter Simulation Conference, New Orleans, Louisiana, Dec. 9-12, 1990. Proceedings. IEEE/ACM/SCS, 1992. pp. 499-503.
- [HUR76] Hurrion, R. D. The design, use, and required facilities of an interactive visual computer simulation language to explore production planning problem. Londres, Univ. of London, 1976. (PhD Thesis).
- [JOH88] Johnson, M. E.; Poorte, J. P. A hierarchical approach to computer animation in simulation modeling. *Simulation*, 50(1):30-36, jan. 1988.
- [KIE94] Kienbaum, G.; Paul, R. J. H-ACD: hierarchical activity cycle diagrams for object-oriented simulation modelling. In: Winter Simulation Conference, Lake Buena Vista, Flórida, Dec. 11-14, 1994. Proceedings. ASA/IEEE/ACM/SCS, 1994. pp. 600-610.
- [LIN95] Lindstaedt, E; Wagner, F. R. Um ambiente de simulação visual interativa. In: XXII Seminário Integrado de Software e Hardware. Canela, RS, 31 julho - 4 agosto 1995. Anais. SBC/CLEI/II-UFRGS, 1995. pp. 1365-1375.
- [MAR90] Marshall, R.; Kempf, J.; Dyer, S.; Yen, C. Visualization methods and simulation steering for a 3D turbulence model of Lake Erie. *Computer Graphics*, vol. 24, n. 2, 89-97, mar. 1990.
- [MCC87] McCormick, B. H.; DeFanti, T. A.; Brown, M. Visualization in scientific computing. *Computer Graphics*, vol. 21, n. 6, nov. 1987.
- [MYE90] Myers, B. Taxonomies of visual programming and program visualization. *Journal of Visual Languages and Computing*, 1:97-123, 1990.
- [NOL91] Nolan, P. J.; Lane, G. M.; Fegan, J. M. ISI - An environment for the engineering use of general purpose simulation languages. *Simulation*, 56(1): 41-47, jan. 1991.
- [OZD91] Ozden, M. F. Graphical programming of simulation models in an object-oriented environment. *Simulation*, 56(2):104-116, feb. 1991.
- [PAU94] Paul, R. J.; Hlupic, V. The CASM environment revisited. In: Winter Simulation Conference, Lake Buena Vista, Florida, Dec. 11-14, 1994. Proceedings. ASA/IEEE/ACM/SCS, 1994. pp. 641-648.
- [POO90] Poorte, J. P.; Davis, D. A. Computer animation with CINEMA. In: Winter Simulation Conference, New Orleans, Louisiana, Dec. 9-12, 1990. Proceedings. IEEE/ACM/SCS, 1990. pp. 123-127.
- [ROO91] Rooks, M. A unified framework for visual interactive simulation. In: Winter Simulation Conference, Phoenix, Arizona, Dec. 8-11, 1991. Proceedings. IEEE/ACM/SCS, 1991. pp. 1146-1155.
- [ROO93] Rooks, M. A user-centered paradigm for interactive simulation. *Simulation*, 60(3):168-177, mar. 1993.
- [SCH92] Schruben, L. W. Graphical model structures for discrete event simulation. In: Winter Simulation Conference, Arlington, Virginia, Dec. 13-16, 1992. Proceedings. IEEE/ACM/SCS, 1992. pp. 241-245.
- [STA90] Standridge, C. R. Interactive simulation (panel). In: Winter Simulation Conference, New Orleans, Louisiana, Dec. 9-12, 1990. Proceedings. IEEE/ACM/SCS, 1990. pp. 453-458.
- [VUJ90] Vujosevic, R. Object oriented visual interactive simulation. In: Winter Simulation Conference, New Orleans, Dec. 9-12, 1990. Proceedings. IEEE/ACM/SCS, 1990. pp. 490-498.
- [WAG92] Wagner, P. R.; Wagner, F. R. O ambiente de simulação do sistema AMPLO. In: VII Simpósio Brasileiro de Concepção de Circuitos Integrados. Rio de Janeiro, RJ, 29 setembro - 02 outubro 1992. Anais. SBC/NCE/UFRJ, 1992. pp. 255-269.