

Ferramentas de suporte às tarefas da análise exploratória visual

Carla Maria Dal Sasso Freitas e Flávio Rech Wagner

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Informática

Caixa Postal 15064 91501-970 Porto Alegre,RS

E-mails:carla,flavio@inf.ufrgs.br

Abstract

The paper presents a survey of visual and interactive tools for supporting visual exploratory analysis activities. Based on several case studies we initially classify the tasks frequently executed by scientists in analysing their data or models as navigation, selection, query, preparation, processing, annotation and storage. Tasks need the support of adequate tools; which are different mappings from data to visual representations, data exploration mechanisms, processing preparation and control, and annotation and storage of images.

Resumo

O trabalho apresenta de forma sistematizada as ferramentas interativas e visuais necessárias para suportar atividades de análise exploratória visual. Com base em diversos estudos de casos, as tarefas freqüentemente empregadas por cientistas na análise de seus dados ou modelos são classificadas em tarefas de navegação, seleção, consulta, preparação, processamento, anotação e armazenamento. As ferramentas necessárias ao suporte destas tarefas são: diferentes mapeamentos entre dados e representações visuais, mecanismos de exploração de dados, preparação e controle de processamento, anotação e armazenamento de imagens.

Keywords: visual exploratory analysis, scientific visualization, interactive tools **Palavras-chave:** análise exploratória visual, visualização científica, ferramentas interativas

1. Introdução

Em variadas áreas de atividade - social, científica ou tecnológica - dados são coletados ou produzidos por instrumentos. Na realização de um censo, por exemplo, uma infinidade de dados são levantados acerca da população da região em estudo: número de habitantes por domicílio, idade, grau de escolaridade, renda familiar, profissão, bens móveis e imóveis, etc. No estudo de uma determinada região natural são levantadas informações sobre a flora e a fauna existentes. Dependendo do nível de detalhe do estudo, estas informações devem ser sobrepostas, associadas, por exemplo, ao mapa geológico da região. No projeto de um motor, o campo eletromagnético induzido deve ser estudado e, para tanto, após a modelagem geométrica deste objeto pode ser aplicado o método de análise de elementos finitos. A partir dos valores assim obtidos, grandezas físicas podem ser calculadas de forma que o campo eletromagnético possa ser analisado. Radares e satélites meteorológicos coletam uma quantidade bastante grande de dados referentes a temperatura, umidade, precipitação pluviométrica, ventos e pressão atmosférica ao longo do tempo. Tais dados podem ser utilizados tanto para informação através de boletins meteorológicos como para análises posteriores dos fenômenos. Instrumentos como tomógrafos e de ressonância magnética produzem imagens de estruturas internas para possibilitar métodos de análise não-invasiva. Nestes casos, as necessidades giram em torno da extração de características da massa de dados e reconstrução de estruturas internas. Todos estes exemplos têm em comum a necessidade de exploração dos dados para fins de compreensão dos fenômenos que eles representam. Este é o objetivo principal do que é chamado de **análise exploratória de dados** [TUK 77], aplicação principal da **visualização científica**. "Observar os dados para ver o que eles dizem" requer interagir com os dados, selecionar subconjuntos, procurar características, enfim, realizar *guided tours* [HUR 90, YOU 91] pela massa de dados. As possibilidades de interação caracterizam, portanto, a análise exploratória de dados.

Isto não quer dizer que a visualização científica não se preocupe também com a apresentação dos dados de forma a facilitar sua comunicação. De fato, muitas aplicações ditas de visualização científica objetivam apenas apresentação de dados de forma mais compreensível ao usuário leigo, sem a preocupação com os aspectos interativos de exploração. A diferença entre visualização científica e apresentação visual de dados é que nesta última a

preocupação é a comunicação de resultados já previamente entendidos; já a visualização científica preocupa-se em possibilitar o entendimento destes dados [EAR 92].

Desta forma, a análise exploratória visual de dados congrega um conjunto de técnicas e ferramentas destinadas a promover novas maneiras de solucionar problemas nas áreas científicas e de engenharia, com tecnologia corrente. Tomando-se informações obtidas através de um censo numa determinada região, sua exploração visual pode ser feita com a exibição seletiva das informações sobre o mapa da região: o número de habitantes pode constituir a cota de um gráfico tridimensional (3D) e cores diferentes podem indicar as atividades sócio-econômicas predominantes. Embora estas mesmas imagens possam ser usadas para comunicação de resultados, a associação de informações sobre o mapa, numa primeira etapa, seria utilizada como preparação para verificação de correlação entre diferentes variáveis. Esta investigação prévia é facilitada pela possibilidade de selecionar variáveis e formas de apresentação em gráficos freqüentemente simples. Cabe ressaltar que na etapa de exploração de dados não é necessário o uso de imagens sofisticadas e carregadas de informação. Deve-se adequar a quantidade de informação a ser colocada na imagem à sua importância no momento, pois freqüentemente os especialistas em visualização tendem a criar imagens esteticamente interessantes, com muitos detalhes, esquecendo que a informação a ser transmitida é o fundamental. É importante, portanto, prover tanto técnicas simples como sofisticadas de representação visual, aliadas a formas de seleção de subconjuntos de dados, de modo que o usuário possa optar por aquelas que mais se adequam às suas situações particulares. Os critérios de escolha da representação visual mais adequada numa dada situação já foram discutidos em trabalho anterior [FRE 93]. Esta escolha toma por base a existência de diferentes classes de representações visuais, que são obtidas através das técnicas de visualização amplamente conhecidas [BRO 92]. É importante, neste processo de escolha, a identificação clara dos objetivos da análise e das tarefas necessárias para a realização destes objetivos.

O presente trabalho parte da identificação dos objetivos da análise exploratória visual em situações variadas e das tarefas desempenhadas para a consecução destes objetivos, determinando as ferramentas visuais interativas de suporte a estas tarefas. O conjunto de ferramentas assim obtido tem sido utilizado como uma base para projetos de aplicações de visualização científica e, ainda, é proposto como um referencial para avaliação de sistemas de vi-

sualização científica existentes.

2. Estudo de casos

Com vistas à identificação dos objetivos da análise exploratória visual, diversas situações foram observadas por Freitas [FRE 94], no que tange a diferentes classes de dados em estudo: dados multivariados populacionais, dados multivariados espaciais, dados univariados, dados obtidos de análise de elementos finitos aplicada a objetos 3D, dados de simulação da dinâmica do movimento e modelos de sistemas discretos. Três destes casos, bastante representativos, são resumidos a seguir.

Tomemos como exemplo da classe **dados multivariados populacionais** diversas populações de determinado gênero dentre os mamíferos, particularmente as espécies que se distribuem numa determinada área zoogeográfica [Freitas 1990]. Um dos objetivos da análise destes dados é verificar as diferenças entre as espécies em termos morfológicos.

Para tanto, as informações coletadas a respeito de cada exemplar são: nome da espécie, sexo, ponto de coleta (latitude, longitude) e 16 medidas de crânio. A análise destes dados exige a plotagem de gráficos diversos, o tratamento dos dados quantitativos em termos de normalização, a obtenção de medidas estatísticas, a realização de testes estatísticos e a utilização de procedimentos de análise multivariada [JOH 82], em especial, análise de componentes principais. Do ponto de vista de modelagem, cada entidade pode ser interpretada como um ponto no espaço multidimensional de atributos. Do ponto de vista de necessidades em termos de visualização, as representações visuais são, na maioria das vezes, gráficos 1D, 2D ou 3D, com ícones ou cores para distinguir diferentes classes (espécies e sexo, neste caso). Deve ser possível construir gráficos tanto para observação da relação entre diferentes medidas e características, como dos resultados de cálculos e análises. Deve ser possível, por exemplo, exibir informações de frequência de características, média e desvio padrão de medidas das diferentes espécies, classificadas ou não por sexo, em gráficos de barras. Na técnica de análise de componentes principais, as matrizes de correlação e de covariância das 16 medidas de crânio são utilizadas: os 16 autovetores obtidos formam um sistema de coordenadas multidimensional onde cada exemplar é localizado como um ponto. A observação do agrupamento dos pontos num gráfico com os três eixos de maior

autovalor permite analisar diferenças entre as classes de animais.

Um aspecto importante é a possibilidade de comparação de resultados de diferentes sessões de análise, seja em papel, seja numa sessão posterior. Para tanto, é necessário dispor de facilidades de salvamento de resultados em arquivos, registro (*log*) das sessões e de reprodução dos resultados (visuais ou numéricos) em papel. Deve ser possível, também, incluir anotações nas imagens produzidas. A leitura dos dados brutos de determinados exemplares exibidos nos gráficos é igualmente necessária, para a construção de hipóteses. Tais dados devem poder ser exibidos na forma de tabelas, seletivamente, ou seja, deve ser permitida uma operação tipo *browsing*.

Dados multivariados espaciais, como o próprio nome representa, são dados associados a posições no espaço. Genericamente, este domínio pode ter dimensão maior ou igual a dois. Exemplos clássicos vêm da análise de dados meteorológicos, dinâmica de fluidos, análise de dados obtidos através de sistemas de aquisição de imagens médicas, etc.

Na análise de um conjunto de imagens tomográficas, as informações amostradas correspondem a um conjunto de matrizes de densidade (fatias) [MAN 94, SAC 93]. Justapostas, estas fatias formam um volume. Frequentemente este volume não é uniforme em função da diferença entre o número de fatias e as dimensões das matrizes bidimensionais. Um tratamento em pré-processamento gera fatias intermediárias por interpolação, para diminuir este problema. O objetivo nesta aplicação é explorar visualmente o volume e, além disso, obter modelos geométricos de regiões com característica expressa por um determinado intervalo de valores de densidade. Análise quantitativa em termos de área ou volume desses modelos geométricos deve ser igualmente possível.

Do ponto de vista de representação visual, cada fatia pode ser exibida isoladamente ou em conjunto com as outras, formando um volume, onde a transparência é utilizada para permitir a observação do interior [MAN 94]. Informações derivadas das fatias originais são necessárias e devem poder ser representadas graficamente. Exemplos típicos são histogramas, cortes do volume em outras orientações e contornos de regiões em cada fatia. A extração de modelos geométricos de regiões internas selecionadas [SAC 93] pode ser seguida de uma visualização deste modelo no contexto do volume ou separadamente.

A leitura de valores da densidade de pontos selecionados só é necessária eventualmente para guiar a escolha de intervalos de densidade para a de-

limitação de estruturas a serem visualizadas ou cujos modelos geométricos serão extraídos. Em ambos os casos é necessária a vinculação de parâmetros de cor e nível de opacidade aos intervalos de densidade selecionados.

No caso de volumes de dados tomográficos, as informações são obtidas através de fatias regularmente espaçadas e, nestas, em pontos distribuídos de forma regular. Entretanto isto não pode ser assumido para todas as situações [TRE 92]. Muitas vezes, dados são coletados e associados explicitamente a coordenadas de um espaço, caracterizando dados esparsos, como em situações de amostragem de concentrações químicas em diferentes profundidades do solo ou de temperaturas em diferentes pontos da atmosfera. Neste caso, na maioria das vezes, o objetivo é representar a variável medida como uma função das coordenadas do ponto [NIE 91] de modo que esta função possa ser avaliada numa malha regular e, então, exibida e analisada quantitativamente.

A análise pelo **método de elementos finitos** é bastante utilizada na avaliação de estruturas e objetos manufaturáveis em geral. O espaço-problema é discretizado de forma a tornar possível o cálculo de grandezas a serem utilizadas nesta análise. Tomaremos aqui como exemplo a aplicação deste método para o estudo de campos eletromagnéticos [SCH 94]. Após a modelagem geométrica das peças no espaço tridimensional, é gerada uma malha de elementos finitos (tridimensionais) e são calculados os valores nodais dos elementos. A partir dos valores nodais podem ser obtidos os valores de grandezas físicas como campo magnético, permeabilidade, indução magnética, etc. Tipicamente, a análise quantitativa é realizada em pós-processamento, ou seja, após a obtenção dos valores nodais, funções específicas são utilizadas para a obtenção dos valores das variáveis desejadas e para a representação visual dos resultados através de isolinhas na superfície ou em cortes do objeto. Técnicas de visualização volumétrica podem também ser utilizadas para a exibição de isosuperfícies internas, propiciando uma maior compreensão das grandezas, compreensão esta dificilmente obtida com uma série de cortes.

Em termos de visualização, esta classe de aplicações requer o mapeamento de grandezas escalares e vetoriais sobre a representação geométrica original do objeto, sobre as superfícies dos elementos finitos, sobre cortes selecionados ou, ainda, volumetricamente, ou seja, considerando apenas o espaço tridimensional ocupado pelo objeto. Entretanto, não se deve descartar a possibilidade de realizar gráficos mais simples representando a relação entre duas ou três variáveis calculadas.

As atividades de análise quantitativa centram-se em facilidades de con-

sulta e avaliação de grandezas sobre regiões do objeto em estudo. Schmidt [SCH 94] define ferramentas de exploração para obtenção destes resultados: interativamente é possível especificar um ponto, uma linha, uma face ou todo um elemento onde é calculado o valor de uma variável específica, a partir dos valores nodais. Obviamente, este cálculo é dependente da variável desejada e requer interpolação.

3. Objetivos da análise exploratória visual

Como pode ser observado, características (propriedades, atributos) das entidades (objetos) em estudo são representados como atributos visuais de representações gráficas diversas. Desta forma, o usuário pode construir um modelo mental da situação, a partir do modelo visual, constatando relações, testando hipóteses, questionando os dados, ou seja, realizando todo um processo de investigação, onde a exploração visual e o questionamento são predominantes. A escolha do atributo visual que deve representar um certo atributo do objeto é dependente da informação que o usuário deseja extrair naquele contexto, além de levar em conta, obviamente, a classe dos objetos em estudo e seus atributos.

Alguns autores distinguem necessidades de usuários-cientistas em termos de consultas que podem ser feitas, enquanto outros distinguem problemas num nível de abstração mais baixo. Considerando um conjunto de dados arbitrário, Robertson [ROB 91] distingue três tipos de consultas: determinação dos valores dos atributos em pontos específicos, determinação da distribuição local dos valores dos atributos e determinação da distribuição global dos valores dos atributos. Já Wehrend e Lewis [WEH 90] distinguem as classes de operações realizadas, considerando mais **ações**, do que propriamente **objetivos**: identificar, localizar, distinguir, categorizar, agrupar, distribuir, comparar, relacionar, associar e correlacionar.

Com base nos estudos de casos desenvolvidos, identificou-se o conjunto de objetivos da análise exploratória num primeiro nível de abstração [FRE 93, FRE 94] :

- análise de objetos num contexto;
- análise da estrutura de um objeto;
- análise das propriedades estáticas de um objeto;

- análise das propriedades dinâmicas de um objeto;
- análise comparativa de dois ou mais objetos;
- comunicação de informações.

Cabe observar que objetos podem pertencer a uma de três grandes classes: sistemas de múltiplas entidades, objetos manufaturáveis e entidades ou fenômenos naturais. Objetos têm propriedades, ou atributos, distingüidos de acordo com a natureza da informação (característica, escalar, vetorial, agregação), a natureza dos valores (alfanumérico, numérico, símbolo), a natureza do domínio (discreto, contínuo, contínuo-discretizado) e a dimensão do domínio (1D, 2D, 3D, nD) [FRE 93, FRE 94]. Um atributo do tipo **característica** denota, como o próprio nome sugere, uma característica isolada como o sexo de um indivíduo, por exemplo. Já um **escalar** denota um conjunto de valores amostrados de uma relação definida no espaço do objeto, como a sua temperatura. Grandezas vetoriais são representadas por atributos de natureza **vetorial**, permitindo representar direção, sentido e magnitude, como é necessário no estudo de fluidos. Atributos do tipo **agregação** permitem representar atributos compostos por outros, de natureza primitiva como, por exemplo, um atributo cariótipo, que agrega características como número e tipos dos cromossomos encontrados em indivíduos de uma população.

A **análise de objetos num contexto** corresponde ao objetivo de um usuário que analisa o comportamento de um sistema composto por múltiplas entidades, onde componentes precisam ser distingüidos para a observação do comportamento global; por exemplo, num sistema de manufatura onde diferentes máquinas estão representadas na realização de suas tarefas interdependentes. Um exemplo diverso seria um cirurgião que analisa um órgão e precisa identificar uma região a ser retirada, a qual não é necessariamente um componente estrutural do órgão.

A **análise da estrutura** de um objeto complexo é comum em aplicações de análise de sistemas mecânicos e de reconstrução de órgãos a partir de dados obtidos de equipamentos de aquisição de dados médicos. No caso de uma entidade da classe objeto manufaturável, sua estrutura está descrita explicitamente; no caso de entidades naturais, a estrutura deve ser extraída a partir de atributos existentes na amostra.

A **análise de propriedades estáticas** de dados obtidos por instrumentos ou gerados por ferramentas de simulação ou análise é o objetivo de um

usuário interessado em procurar padrões na massa de dados como, por exemplo, regiões de densidade ou temperatura constante. Cabe ressaltar que uma propriedade estática pode, dependendo da aplicação, identificar aspectos estruturais de objetos (p. ex., densidade de tecidos).

No caso da **análise de propriedades dinâmicas**, o objetivo é estudar a evolução de quaisquer propriedades que variem de acordo com algum parâmetro, inclusive tempo, o que pode levar ao emprego de simulação como técnica de análise. Exemplos tradicionais são velocidade do vento numa região ou comportamento de filas num banco. A análise requer muitas vezes, o controle das propriedades estáticas ou dinâmicas de um objeto, o que inclui, além da exibição dinâmica, a possibilidade de alteração de seus parâmetros.

A **análise comparativa** de dois ou mais objetos é característica da fase final ou decisória da análise ou simulação, quando são selecionados e comparados dois ou mais objetos para melhor compreensão tanto de estrutura e propriedades estáticas como de comportamento. Esta mesma análise se aplica à comparação de diferentes situações do mesmo objeto.

O objetivo **comunicação de informações** é tanto um objetivo em si como um sub-objetivo nas demais situações. Tipicamente, dados coletados ou resultados de técnicas de análise devem ser armazenados para análises posteriores pelo usuário-cientista ou para divulgação posterior numa forma compreensível a pessoas não necessariamente envolvidas com os processos de aquisição das informações e análise das mesmas.

4. Tarefas na análise exploratória visual

Os objetivos citados acima são gerais e para atingí-los é necessária a realização de **operações** ou **tarefas**, algumas gerais, outras específicas para cada caso. A par das operações identificadas por Wehrend e Lewis [WEH 90] já listadas anteriormente, outros autores referem-se a ações destinadas a atender os objetivos da análise exploratória visual.

Springmeyer et al. [SPR 92], por exemplo, caracterizam o processo de análise de dados científicos e estabelecem ações ou tarefas que são desempenhadas por cientistas. Sob a denominação de **interação com representações**, são identificadas as ações de (1) geração de representações visuais; (2) exame das representações; (3) manipulação da representação visual; (4) consulta a valores numéricos; (5) comparação; e (6) classificação. Já numa

outra fase do processo de análise, a fase de **processamento**, há três outras tarefas: (1) estimativas e transformações; (2) derivação de novas condições; e (3) geração de estatísticas. Em outras duas fases do processo de análise, **manipulação de dados e expressão de idéias**, outras ações específicas são realizadas, a saber: (1) navegação; (2) gerência de dados; e (3) seleção de subconjuntos de dados, a título de **manipulação**; (1) registro e (2) descrição, como ações de **expressão de idéias**.

Beshers e Feiner [BER 93], tratando exclusivamente da exploração de dados multidimensionais, resumem todas as tarefas de visualização a uma combinação de três ações básicas: explorar (quando a relação é desconhecida), pesquisar (quando o objetivo é buscar uma característica particular no conjunto de dados) e comparar (quando a meta é analisar comparativamente dois subconjuntos da mesma relação, ou de relações distintas).

Considerando os objetivos mencionados anteriormente e o exposto acima, identificamos as seguintes tarefas básicas que, combinadas, permitem o cumprimento dos objetivos dos usuários no processo de análise exploratória visual (Tabela I):

- navegação pelo universo de objetos;
- seleção de um conjunto de objetos ou de parte de um objeto;
- consulta a atributos de objetos;
- preparação de processamento (modificação de atributos; inicialização de parâmetros);
- processamento (simulação; cálculos; monitoramento; controle; registro da evolução);
- anotação de textos e armazenamento de imagens.

Objetivos	Tarefas
Análise de objetos num contexto	Navegação, Seleção, Consulta Anotação, Armazenamento
Análise da estrutura	Navegação, Seleção, Consulta Anotação, Armazenamento
Análise das propriedades estáticas	Navegação, Seleção, Consulta Preparação, Processamento Anotação, Armazenamento
Análise das propriedades dinâmicas	Navegação, Seleção, Consulta Preparação, Processamento Anotação, Armazenamento
Análise comparativa	Navegação, Seleção, Consulta Preparação, Processamento Anotação, Armazenamento
Registro e Comunicação	Anotação, Armazenamento

Tabela I -Relação das tarefas com os objetivos de análise exploratória visual

A primeira tarefa corresponde a ações de navegação, seja por um volume de dados, coletado através de sensores ou gerado por algum processamento, seja pelo domínio de uma relação descrita formalmente ou, ainda, por um modelo representado em alguma linguagem visual. A tarefa de navegação é diferente para cada classe de dados, sendo, portanto, efetivada através de diferentes recursos interativos. O requerimento básico neste tipo de tarefa é a possibilidade de observação dos objetos, para efeitos de localização e determinação de operações posteriores. Esta tarefa suporta a realização de praticamente todos os objetivos, pois serve ao posicionamento do usuário para os procedimentos específicos de análise.

A tarefa de seleção de um conjunto de entidades ou de parte da massa de dados visa diminuir o espaço de navegação e consulta, através da redução do número de objetos em análise direta. Isto quer dizer que o conjunto total de objetos é submetido a um critério seletivo e dele são extraídos apenas

aqueles objetos que satisfazem as restrições impostas pelo usuário, para uma dada situação particular de análise. Este critério seletivo pode ser dado por uma condição ou por indicação direta. Novamente neste caso, os recursos interativos para esta tarefa diferem de acordo com a natureza das entidades envolvidas. A tarefa de seleção é utilizada para propiciar o atendimento de todos os objetivos listados para qualquer classe de objetos mencionada: a especificação de um determinado intervalo de densidade para a visualização de determinada região num volume de dados tomográficos ou a indicação de atributos a serem monitorados numa simulação são exemplos de critérios de seleção.

A tarefa de consulta a atributos enfatiza os aspectos quantitativos da exploração visual, isto é, engloba as ações de questionamento por valores de atributos específicos dos objetos. Esta tarefa requer recursos interativos para indicação do objeto, especificação do atributo a ser consultado e possibilidade de indicação da forma de representação dessa informação: gráfica ou numérica. Eventualmente, o atributo que está sendo solicitado não existe explicitamente no modelo e deve ser derivado a partir daqueles existentes; facilidades de cálculo para este caso são essenciais. A tarefa de consulta é utilizada na realização de praticamente todos os objetivos listados.

Já a tarefa de preparação de processamento corresponde a ações de iniciação de parâmetros diversos para a realização de procedimentos de análise ou simulação das propriedades dos objetos. A título de exemplo, pode-se citar a alteração da distribuição de probabilidade utilizada para gerar entidades de uma determinada classe num sistema sendo simulado ou, no caso de simulação de movimento, a alteração de parâmetros iniciais (posição, velocidade inicial, trajetória, forças, etc. dependendo do modelo físico sendo utilizado).

A tarefa de processamento corresponde à ativação de experimentos de simulação ou procedimentos específicos de cálculo, tais como análise de elementos finitos, análise estatística, etc. O usuário pode desejar monitorar ou controlar o processamento, sendo isto principalmente empregado na análise de propriedades dinâmicas. Neste caso são requeridos recursos para a determinação de pontos de observação (pontos de parada do processamento), exibição dinâmica do estado dos objetos, interrupção momentânea do processamento para o ajuste de algum parâmetro e, também, registro da evolução do processamento, como o armazenamento de valores de variáveis monitoradas para análise em pós-processamento.

Finalmente, as tarefas de anotação e armazenamento dizem respeito à preparação e ao armazenamento de material para análise posterior ou comunicação. A tarefa de anotação permite a composição de textos sobre as representações visuais, permitindo a explanação de resultados ali apresentados. Já a tarefa de armazenamento de imagens corresponde à gravação de representações visuais para posterior recuperação ou produção de *hardcopy*.

5. Ferramentas de suporte às tarefas

Recursos visuais interativos devem suportar a realização das tarefas identificadas acima. Estes recursos encontram-se reunidos em **ferramentas**, que podem ser classificadas como de **mapeamento**, **exploração**, **preparação e controle de processamento** e **registro**.

As ferramentas de **mapeamento** correspondem às facilidades de indicação de representações visuais para objetos e seus atributos. As ferramentas de **exploração** suportam navegação, seleção e consulta dos objetos em estudo. As ferramentas de **preparação e controle de processamento** contemplam as facilidades de processamento das informações existentes no modelo, através de métodos numéricos, estatísticos e de simulação. Além da geração de resultados a partir de um processamento específico, englobam a preparação do processamento, sua monitoração e controle. A preparação do processamento diz respeito ao estabelecimento das condições iniciais dos parâmetros; enquanto monitoração e controle do processamento implicam no acompanhamento do processamento, através da observação de atributos das entidades, armazenamento de sua evolução e, eventualmente, intervenção no processamento. Já as ferramentas da classe **registro** correspondem às facilidades de anotação de textos em representações visuais e armazenamento de imagens, para posterior recuperação ou reprodução em outros meios.

As diversas ferramentas são definidas, em sua maioria, como um **procedimento interativo sobre uma determinada representação visual**, sendo possível o compartilhamento de recursos. Por exemplo, um cursor é a base das ferramentas de navegação mas também o é das de seleção. São apresentados inicialmente os recursos de mapeamento, já que esta classe de ferramentas permite a criação de representações visuais a serem utilizadas em todas as tarefas de análise.

5.1 Mapeamentos para representações visuais

Os dados representando as entidades e seus atributos podem ser representados graficamente de inúmeras formas, dependendo dos objetivos do usuário. Conforme já foi mencionado, a escolha da representação visual mais adequada segue critérios já estabelecidos e supõe a existência de diferentes classes de representações visuais [FRE 93]. Assim, a classe das ferramentas de **mapeamento** parte do conceito de que as representações visuais são, na realidade, resultado de mapeamentos do espaço dos objetos para o espaço das representações. As representações visuais são classificadas em ícones, diagramas, gráficos e tabelas, modelos geométricos, mapas e seqüência [FRE 93].

Ícones visam identificar um elemento (objeto) num determinado contexto e, se necessário, explicitar, através de propriedades visuais do ícone, atributos do objeto sob análise. A utilização de ícones na forma *bitmap* é limitada do ponto de vista dos atributos que podem ser associados a suas propriedades (fig. 1a). Mais representativos são os ícones descritos no plano ou no espaço, como entidades geométricas com propriedades diversas para as quais possam ser mapeados os atributos dos objetos do modelo (fig. 1b e 1c).

Para que ícones possam ser construídos a partir de outros, de forma a representar objetos mais complexos ou mais informações de um mesmo objeto, é necessário o uso de representação hierárquica na sua estruturação. Dimensões, cor, textura e texto servem de base para o mapeamento de atributos.

Os **diagramas** (fig. 2) são construídos a partir de símbolos (ícones) conectados, ou seja, um diagrama é modelado como um objeto composto de outros objetos primitivos e, portanto, utiliza métodos de exibição herdados destes. **Diagramas de blocos** e **redes** são também modelados da mesma forma, considerando ícones para blocos e para componentes primitivos da rede. Os atributos das entidades do modelo são, então, mapeados para propriedades dos ícones. Como um diagrama é basicamente utilizado na representação da estrutura do sistema modelado, atributos globais deste sistema devem ser representados visualmente de outra forma (gráfico ou ícone especial).

Gráficos são as formas visuais mais utilizadas para representar e permitir a análise da variação de um atributo no tempo, no espaço, ou em relação

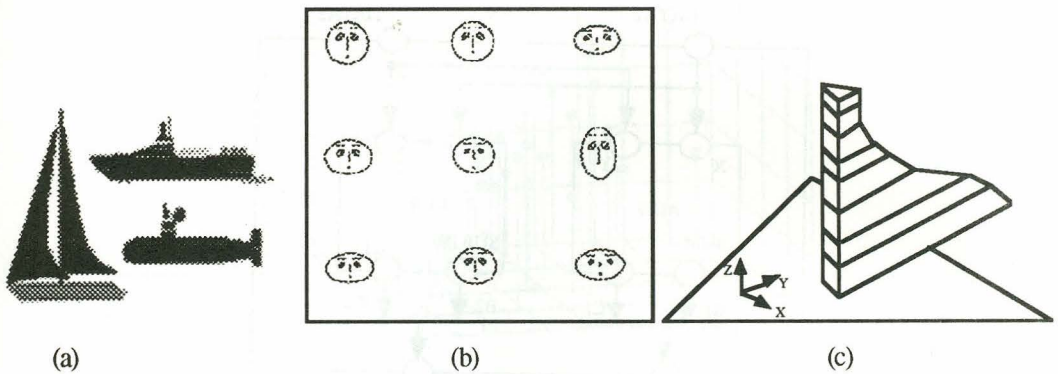


Figura 1: (a) Ícones na forma bitmap obtidos com SIMGRAPHICS; (b) subconjunto das faces de Chernoff, utilizadas para representar dados multivariados; (c) ícone 3D onde tamanho e forma representam magnitude de velocidade e direção de fluxo; cores no ícone e na base representam temperatura e pressão de um fluido [ELL 88]

a outro(s) atributo(s). Os tipos mais comuns são gráficos de pontos (de dispersão, *scatter plots*), gráficos de linhas, gráficos de barras, histogramas de frequência, todos bi- ou tridimensionais (fig. 3). Além do tipo, cada gráfico tem propriedades visuais como apresentação dos eixos, texto associado ao eixo, apresentação da entidade geométrica básica do gráfico (ícone associado ao ponto, tipo e cor da linha, tamanho e cor da barra, etc). Neste sentido, os gráficos correspondem a uma classe de objetos, com propriedades alteráveis dependendo dos atributos dos dados que se queira representar.

Tabelas são utilizadas quando há necessidade de relacionar dados brutos tais como foram coletados, ou dados derivados dos quais se deseja observar os valores numéricos. As tabelas podem apresentar todos ou parte dos atributos dos objetos.

Os **modelos geométricos** visam representar mais realisticamente os objetos em estudo, mostrando forma, tamanho e estrutura. A exibição se dá em função da técnica de modelagem utilizada: linhas, faces poligonais, sólidos componentes, superfícies, etc. Visualmente, o modelo geométrico de um objeto pode variar desde a forma aramada até formas foto-realistas. Além de representar a estrutura dos objetos, os modelos geométricos servem de su-

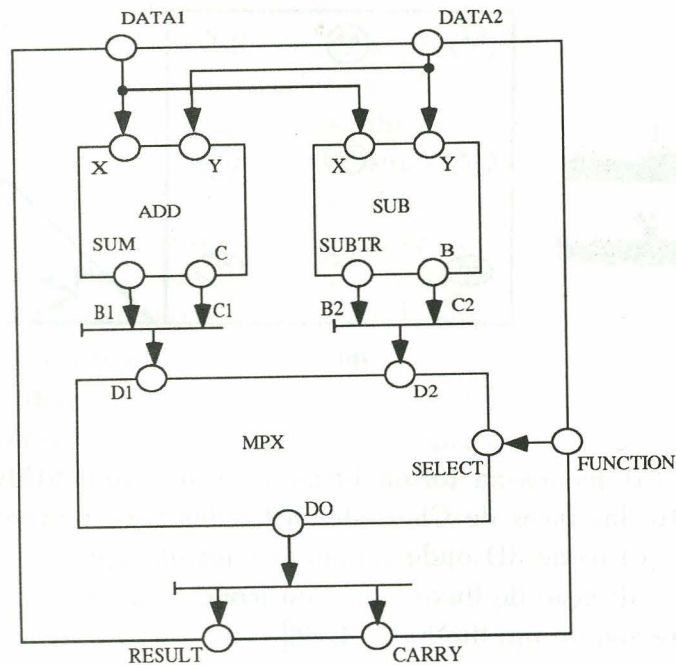


Figura 2: Diagrama de uma unidade aritmética simples na linguagem REDES [GOL 90]

porte para o mapeamento de diferentes atributos, com a utilização de outras representações visuais.

Mapas designam todas as representações visuais resultantes do mapeamento dos atributos dos objetos para elementos gráficos num plano, num volume ou na geometria dos objetos. Linhas, cores, texturas e ícones podem ser utilizados sobre a representação geométrica para indicar valores diversos, associados a vértices ou faces (fig. 4).

No caso de objetos ou fenômenos sem descrição geométrica (volumes de dados estruturados ou não), o mapeamento dos valores em questão para um plano ou volume exige interpolação ou exibição direta (volumétrica). Diferentes mapas podem ser obtidos através de: preenchimento de cores falsas

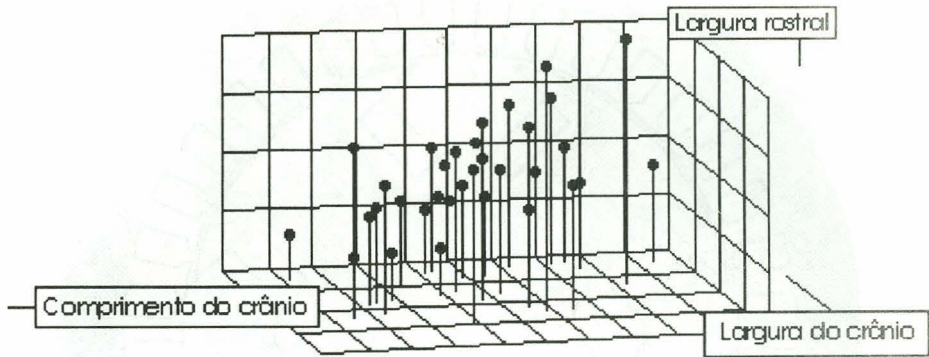


Figura 3: Gráfico tipo diagrama de dispersão com dados de medidas de crânio de roedores. Cada ponto representa as coordenadas de um espécimen no espaço tridimensional definido pelas variáveis.

(fig. 4); padrões ou texturas; traçado de linhas de contorno (isovalores) que delimitam regiões numa superfície; exibição de superfícies de isovalor, que limitam regiões no espaço com determinado valor de atributo; traçado de linhas de trajetória, em se tratando de grandezas vetoriais; mapa de ícones sobre o plano ou espaço, com diferentes atributos representados como características dos ícones; e mapa volumétrico, onde a distribuição global de um atributo num domínio 3D pode ser observada (fig. 5).

Embora classicamente a dinâmica de objetos possa ser representada através de gráficos que mostram a evolução de valores de atributos ao longo do tempo, quando se tem estes valores mapeados para um tipo de representação visual pode-se facilmente mostrar esta representação variando ao longo do tempo com a exibição de uma **seqüência** de mapeamentos. Esta seqüência pode ser apresentada de forma estática, isto é, várias “fotos“ uma ao lado da outra, ou, então, de forma dinâmica, utilizando animação. Na realidade, a seqüência, em si, não é uma representação visual, mas uma forma de apresentação de representações visuais. Entretanto, optamos por definí-la como uma classe especial devido a representatividade que tem.

No decorrer da análise exploratória visual, pode ser necessária tanto a alteração da representação visual do objeto em estudo como a criação de re-

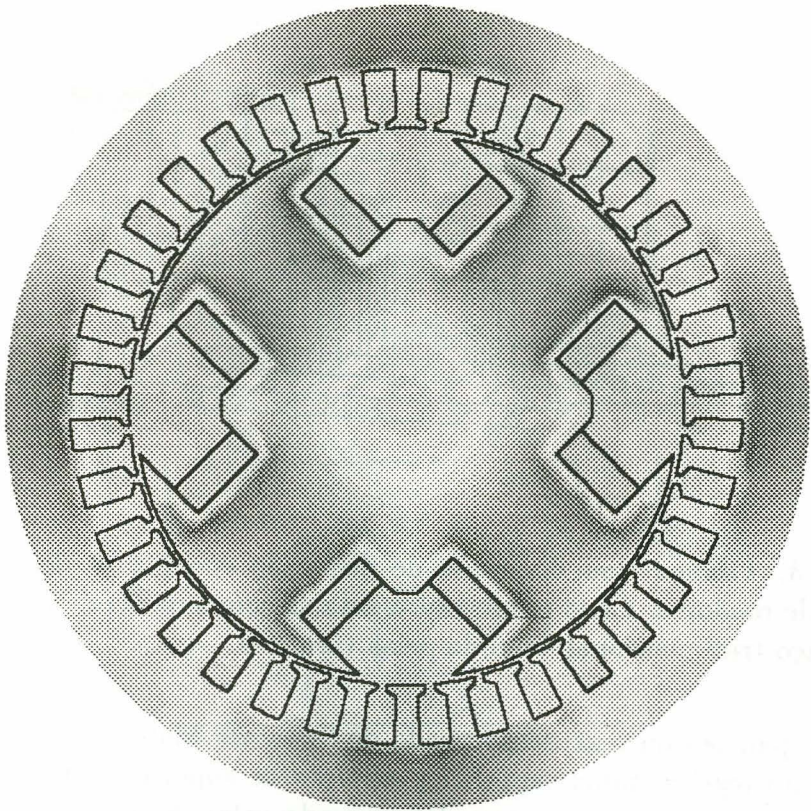


Figura 4: **Mapa** de cores falsas (aqui em tons de cinza) sobre modelo geométrico, representando a grandeza indução em um motor (imagem cedida pelo GRUCAD, UFSC).

apresentações diferentes para atributos diferentes do mesmo objeto. Assim, os mapeamentos devem ser declarados explicitamente, de forma interativa. Isto contrapõe-se à forma implementada pelos sistemas de visualização científica, nos quais a representação visual é, geralmente, um fim em si mesma e não a base de um processo de exploração. Como exemplo de declaração explícita de mapeamento, pode-se citar a alternativa utilizada por Schmidt [1994] onde é feita a associação entre uma lista de objetos/variáveis e uma lista de representações (fig. 6). Neste exemplo de mapeamento, observa-se a possibilidade de selecionar mais de um atributo (*fieldname*) de modo a compor na mesma imagem mais de um atributo do mesmo objeto.

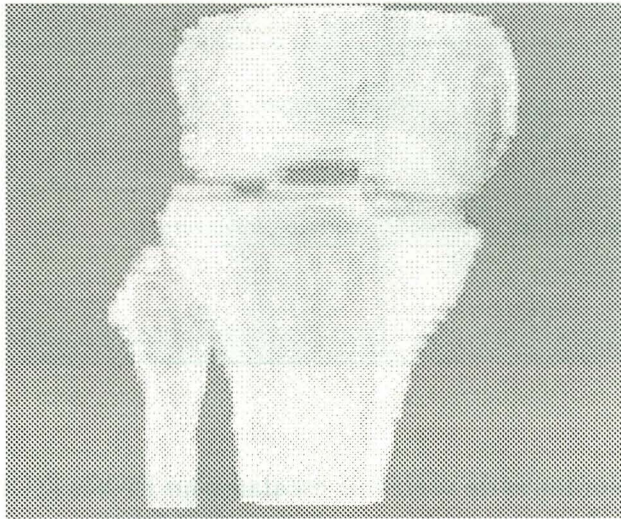


Figura 5: Mapa volumétrico obtido de volume de dados tomográficos por Manssour [MAN 94].

5.2 Navegação

Navegar pelo objeto em estudo significa observá-lo de todas as posições possíveis, em função da natureza do objeto, mas, principalmente, da dimensão do seu domínio. A navegação requer uma ferramenta básica denominada **cursor**. Normalmente o cursor indica o que se costuma chamar de posição corrente (**cursor espacial**, navegação no espaço) ou objeto corrente (**cursor individual**, navegação num conjunto de objetos). A navegação, portanto, corresponde à alteração da posição deste cursor, conforme o interesse do usuário, sendo uma tarefa preparatória para outras atividades. A abordagem mais comum de cursor é um ícone que pode ser levado a diferentes posições do espaço-objeto representado na tela, indicando o ponto de interesse.

Considerando-se objetos da classe de sistemas compostos por múltiplas entidades, tipicamente representados por diagramas ou redes bidimensionais, os recursos visuais necessários à navegação são fornecidos por ferramentas relativamente simples que permitem “passar” sobre o diagrama ou rede.

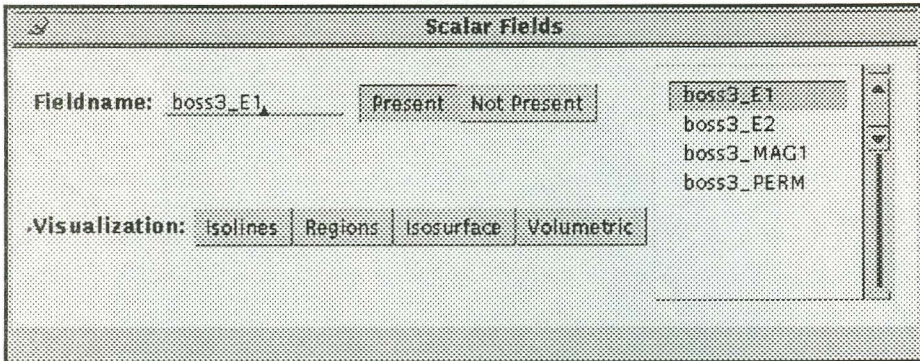


Figura 6: Mapeamento de variáveis escalares no EFVis [SCH 94]: os campos escalares são selecionados e a representação visual é escolhida, dentre as possibilidades oferecidas.

Isto é comumente feito com ferramentas deslocadoras do foco de interesse (**focalizadores**). Uma implementação comum deste tipo de ferramenta é a barra de *scroll* em janelas. O mesmo tipo de navegação é utilizado em outras classes de objetos cujo domínio é 2D como, por exemplo, entidades naturais ou fenômenos apresentados como mapas (imagens).

No caso de entidades de domínio tridimensional, sistemas representados por diagramas ou redes de ícones 3D, objetos manufaturáveis, entidades ou fenômenos naturais amostrados no espaço, a navegação mais usual é a da **câmera sintética**. Duas situações surgem aqui: (1) a navegação pode ser apenas ao redor do objeto; (2) a navegação pode ser livre, tanto ao redor como no interior do objeto. O primeiro caso pode ser tratado como uma ferramenta do tipo da mostrada na figura 7, onde os controles da câmera permitem girar ao redor de um objeto - que é o ponto de interesse na cena - e, eventualmente, aproximar-se e distanciar-se do mesmo. A movimentação é, portanto, limitada sobre esferas concêntricas, que englobam o objeto. A navegação livre deve ser tratada com controles que, além das funções do controle anterior, permitem alterar o ponto de interesse, ou seja, a câmera pode ser direcionada para outra posição, com outra orientação, além do centro do objeto.

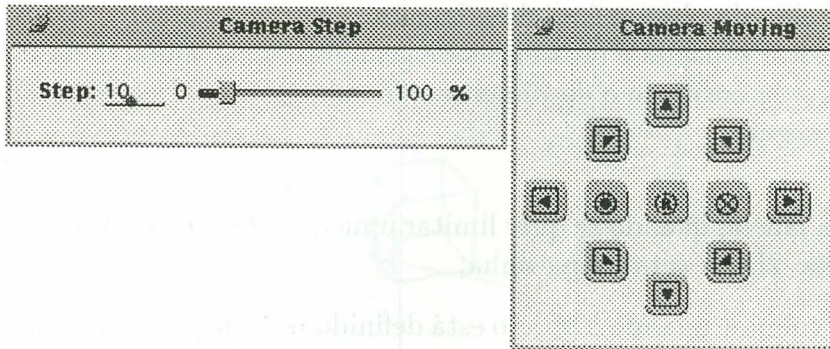


Figura 7: Recurso de navegação câmera sintética para um objeto [SCH 94]: os botões com setas permitem a movimentação em torno do objeto; os três botões centrais permitem aproximação, afastamento e reset

5.3 Seleção

A tarefa de seleção de um conjunto de entidades ou de parte da massa de dados visa diminuir o volume de dados a ser navegado, consultado ou operado. Assim como a base da navegação é um cursor, a seleção é efetuada através de um **seletor**. Funcionalmente, os seletores determinam um ou mais “objetos correntes”. Seletores podem ser de três classes:

- **seletor individual**, onde a seleção é feita por indicação de entidade(s) exibida(s) na tela;
- **seletor espacial**, pela delimitação física de uma parte do conjunto de entidades, ou
- **seletor lógico**, pela determinação de um critério com base nas propriedades das entidades. Esta classe de recursos é especialmente útil para casos onde o volume de dados é muito grande.

Um seletor individual (de indicação) é um cursor individual associado a uma confirmação, usado para a escolha de entidades designadas por atributos tipo característica ou para entidades modeladas como sistemas compostos

por múltiplas entidades. É encontrado usualmente em aplicações interativas, para a escolha de objetos individualmente.

Um seletor espacial é uma entidade geométrica, dependente da dimensão do domínio da entidade e da dimensão do sub-domínio desejado, como enumerado a seguir:

- uma janela, quando se quer limitar uma área a ser observada sobre uma região 2D ou sobre uma linha;
- um volume, quando o objeto está definido no espaço 3D e se quer limitar um sub-volume;
- um plano de corte aplicado a um volume quando se quer obter um plano ou um subvolume;
- uma linha quando se quer limitar a consulta a esta categoria de entidade geométrica;
- um cursor espacial de ponto, quando se quer selecionar um ponto apenas do domínio.

Seletores espaciais podem ser implementados com graus variáveis de envolvimento com a estrutura espacial do objeto a sofrer o corte. Uma forma genérica de plano de corte prevê sua representação geométrica no espaço, em conjunto com o objeto, e sua manipulação interativa para posicionamento e orientação (fig. 8). Uma forma mais simplificada baseada no conhecimento da entidade a ser explorada pode determinar previamente posições possíveis dos planos de corte e apresentar tais alternativas ao usuário. O usuário apenas escolhe qual plano (qual das posições de corte) deseja observar. Um exemplo deste último foi implementado por Manssour [MAN 94]. Neste caso, ao longo da direção de observação, são determinadas as posições possíveis de corte de um volume de dados tomográficos. O usuário escolhe um dos planos pré-determinados (fig. 9).

Um seletor lógico atua a partir da especificação de restrições sobre valores de atributos das entidades. É necessário que uma ou mais entidades tenham sido previamente representadas visualmente ou selecionadas. As restrições são, na realidade, expressões lógicas envolvendo os seus atributos:

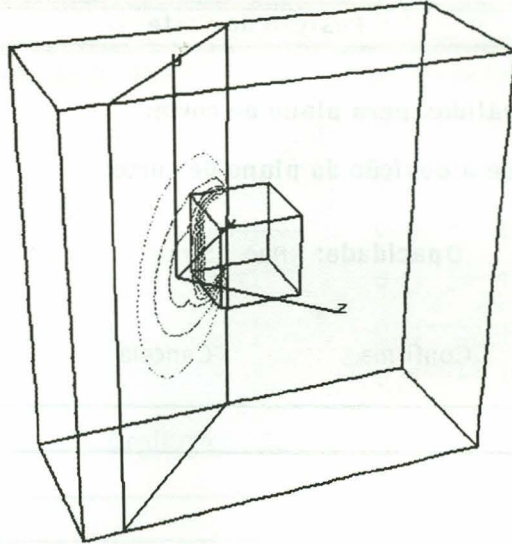


Figura 8: Seletor espacial plano de corte tal como disponível no software MPGS [CRA 91] (imagem cedida pelo CESUP-UFRGS)

- considerando um atributo tipo característica de uma população em estudo, a restrição sobre valores deste atributo seleciona um subconjunto de indivíduos desta população;
- considerando uma entidade com um atributo escalar, definido no plano, a especificação de um intervalo de valores deste atributo seleciona uma região do plano;
- diversos valores fixos deste atributo escalar no plano selecionam sub-áreas;
- um ou mais intervalos de valores de um atributo escalar no espaço selecionam uma ou mais sub-regiões do espaço (fig. 10);
- um ou mais valores de um atributo escalar no espaço selecionam sub-regiões (fig. 11).

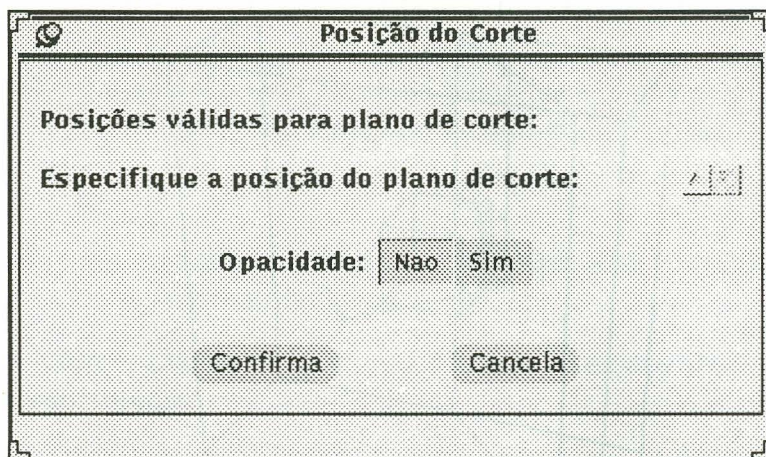


Figura 9: Seletor espacial plano de corte, implementado por Manssour [MAN 94], para visualização do volume resultante após o corte. É possível a modificação do mapeamento com a indicação de opacidade.

5.4 Consulta e comparação

Consultas estão associadas ao tipo do dado sob análise, resultando uma representação gráfica ou valores numéricos, dependentes do domínio do atributo. Representações visuais de uma entidade ou atributo permitem, em primeira instância, a análise qualitativa do objeto. Verificações quantitativas são possíveis através de observações dos valores dos atributos em questão. As ferramentas de consulta podem ser dos seguintes tipos:

- **leitor**, que serve a atributos do tipo característica, permitindo apenas a exibição dos valores associados à entidade indicada, ou seja, presentes no modelo;
- **medidor escalar**, para o caso de obtenção de valores escalares. Os valores escalares em geral são calculados por interpolação ou aproximação, com base naqueles presentes no modelo;
- **medidor vetorial**, análogo ao medidor escalar, para grandezas vetoriais.

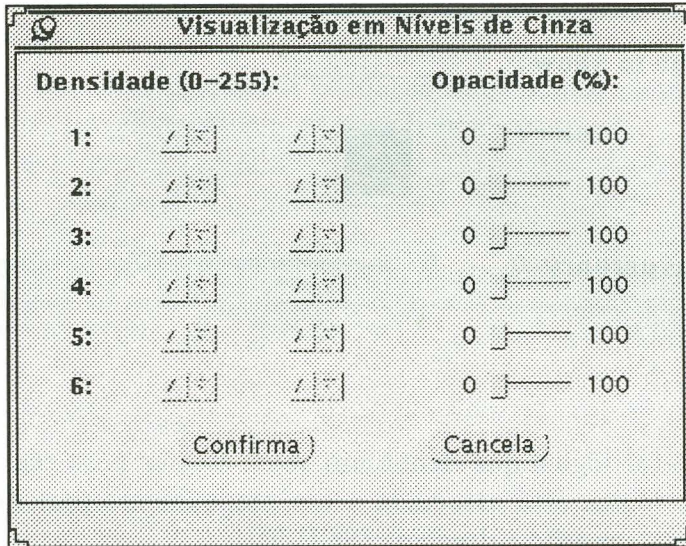


Figura 10: Seletor lógico que define intervalos de densidade a serem extraídos de um volume de dados tomográficos, como isosuperfícies, com diferentes graus de opacidade [MAN 94]

Um exemplo de leitura é a obtenção de valores de características de um determinado espécimen, selecionado num gráfico como o da fig. 3. Já um medidor escalar pode ser utilizado para retornar a temperatura de um ponto na massa de ar, quando este atributo está sendo exibido como um mapa de cores no espaço. O valor do ponto em questão seria calculado por interpolação dos valores presentes no modelo e que foram coletados por uma estação meteorológica. Estas ferramentas estão, portanto, associadas aos atributos coletados ou calculados previamente e atuam sobre um ponto selecionado, uma entidade ou um grupo de entidades, conforme estejam definidos os atributos em questão.

Há, entretanto, grandezas que são derivadas de atributos escalares ou vectoriais. Neste caso, é necessário um conjunto de **avaliadores**, que façam uso de funções de cálculo dependentes da aplicação. Estes avaliadores produzem novos dados a partir dos existentes e atuam sobre um sub-espaço ou sub-conjunto de entidades/atributos selecionados. Os avaliadores se enquadram melhor como ferramentas de processamento e são comentados na seção 5.6.

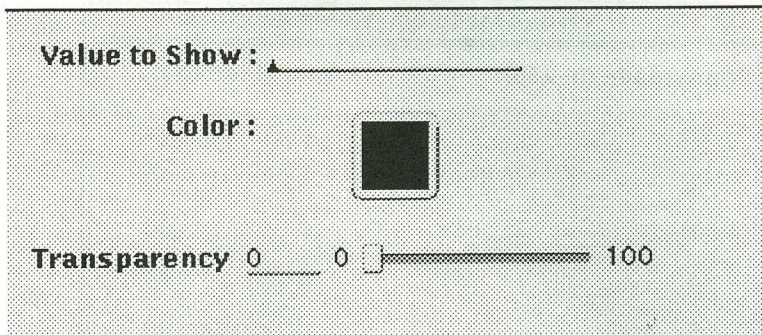


Figura 11: Seletor lógico que define um valor escalar para região a ser exibida; a seleção lógica está associada a um mapeamento para cor e grau de transparência da superfície desejada [SCH 94]

Tanto a verificação qualitativa como quantitativa de atributos de entidades devem poder ser comparativas, no sentido de que entidades diferentes, atributos diferentes da mesma entidade ou o mesmo atributo processado com estímulos diferentes possam ser analisados conjuntamente. Isto significa compor ou colocar lado a lado representações visuais das diferentes situações e permitir sua manipulação como elementos de um espaço de representações. As representações, sendo entidades (visuais), podem ser manipuladas geometricamente (transladadas) para melhor observação. A composição de representações visuais numa mesma imagem é automática no caso de serem escolhidos mapeamentos de atributos diferentes do mesmo objeto.

5.5 Preparação e controle de processamento

O estudo das entidades representadas num modelo envolve, em geral, algum tipo de processamento, o qual pode variar do cálculo de estatísticas simples como média e desvio padrão até a simulação do comportamento das entidades sob certas condições de contorno. O cálculo de novos dados a partir dos existentes corresponde aos avaliadores mencionados na seção 5.5. Esta classe de recursos é, portanto, dependente da natureza das entidades, da natureza e dimensão do domínio dos atributos. Por exemplo, a realização de uma análise de componentes principais requer a seleção das características a

serem correlacionadas (uso prévio de um seletor lógico), assim como a seleção da amostra (seleção espacial). No caso de entidades da classe objetos manufaturáveis, pode ser requerida a avaliação num ponto, numa linha, numa área ou num volume, dependendo da grandeza a ser calculada [SCH 94] (fig. 12).

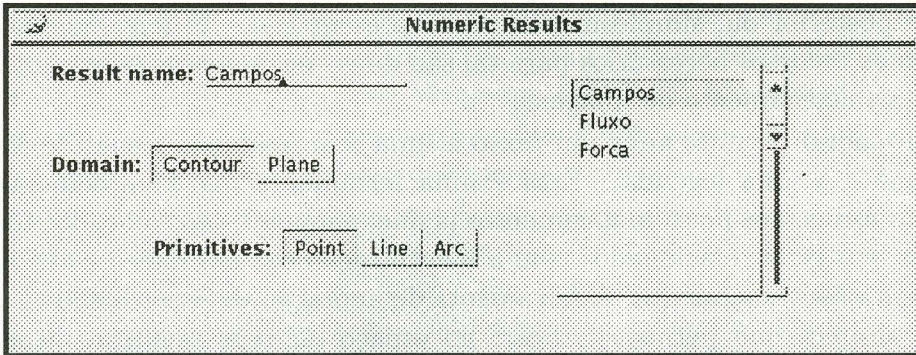


Figura 12: Ferramenta de avaliação, indicando domínio da variável e região de avaliação (ponto, linha, arco), tal como especificado no EFVis Neste caso, o sistema calcula a grandeza automaticamente, ou seja, o nome da grandeza aciona a função que a calcula.

Já em sistemas de múltiplas entidades submetidos à simulação é usual a coleta de estatísticas que devem ser analisadas: o conjunto de avaliadores é, portanto, diferente, adequado à análise de resultados de experimentos. Em se tratando de entidades naturais, como populações, a forma de avaliação usual é o cálculo de grandezas estatísticas. No caso de fenômenos naturais, os processos de avaliação estão mais relacionados com o mapeamento dos valores obtidos em coleta ou simulação para o domínio do fenômeno, sendo usual uma avaliação semelhante à dos modelos geométricos.

5.6 Registro

As ferramentas de registro congregam as facilidades de armazenamento de toda e qualquer informação que o usuário possa vir a necessitar a posteriori. Ferramentas desta classe podem ser ativadas para colecionar dados

durante o processamento (correspondendo a um *log*, portanto) ou podem ser empregadas para “salvar” uma determinada representação visual obtida.

No primeiro caso, o *log* é ativado, exigindo a indicação de quais atributos devem ser monitorados. Este *log* corresponde, na prática, a um arquivo onde é armazenado o estado dos objetos sob análise, ao longo do processamento.

No segundo caso, as representações visuais geradas pelas ferramentas de mapeamento podem ser manipuladas graficamente e armazenadas para análise posterior ou, simplesmente, para apresentação. As ferramentas que reúnem os recursos necessários para tal são duas: ferramentas para anotação e para armazenamento de imagens.

Anotação permite apor um texto a uma representação visual de forma semelhante a uma legenda. Esta é uma ferramenta que complementa os recursos fornecidos pelos mapeamentos já que, naqueles, são colocados textos simples, em geral relacionados com a identificação das entidades e atributos representados visualmente. A ferramenta de anotação deve ser baseada num cursor simples que permite indicar, no espaço da representação visual, a posição onde deverá ser inserido o texto especificado através de uma caixa de diálogo simples. O texto fica associado àquela representação visual e pode, assim, ser armazenado para uso futuro. Esta classe de ferramenta não é normalmente encontrada nos sistemas existentes.

O **armazenamento de imagens** permite indicar que representações visuais correntemente exibidas devem ser armazenadas em arquivo para posterior recuperação. Esta facilidade é análoga à captura de imagens através do utilitário *Snapshot* disponível em ambiente *OpenWindows* [SUN 1989]. Cabe ressaltar que esta recuperação é só para exibição; para que seja possível interagir novamente com o objeto, este deve ser recuperado e um mapeamento deve ser aplicado. Esta ferramenta é, em geral, representada por um “botão” na interface dos sistemas [MAN 94, SCH 94].

6. Conclusões

Os resultados do presente estudo apontam as ferramentas necessárias ao suporte das tarefas de análise exploratória visual. Exemplos das ferramentas foram implementados experimentalmente em três aplicações. *EFVis* [SCH 94] é uma aplicação para o estudo de campos eletromagnéticos sobre objetos modelados geometricamente. Neste sistema, foi possível avaliar na-

vegação com câmera sintética, diferentes mapeamentos para representações visuais, composição de mapeamentos numa mesma imagem e seleção baseada em valores de atributos. As necessidades desta aplicação permitiram ainda distingüir ferramentas de consulta e de avaliação associadas a diferentes seletores espaciais. Manssour [MAN 94] apresenta resultados com objetos da classe entidades naturais. Uma amostra de fatias tomográficas constitui um volume que pode ser explorado visualmente a partir de seletores lógicos e espaciais, associados a mapeamento para cores falsas. Nesta aplicação também existe a navegação por câmera sintética, para posicionamento do observador. Tanto Schmidt [SCH 94] como Manssour [MAN 94] implementam mapeamento de atributo escalar para cor/opacidade diretamente conjugado a seletores lógicos. Este é um aspecto que merece discussão pois as duas ferramentas são conceitualmente diferentes. A conjugação na interface é estritamente dependente da aplicação e deixa transparecer a idéia presente na maioria dos sistemas de visualização, onde o que o usuário informa são parâmetros para processos de visualização. Isto fica mais evidente quando se analisa uma situação diversa, como a tratada por Sachet [SAC 94], onde o objetivo é extrair um modelo geométrico de uma estrutura presente num volume de dados tomográficos (como em Manssour [MAN 94]). Nesta aplicação, um seletor lógico é utilizado para isolar contornos em todas as fatias do volume, os quais posteriormente são interligados num processo de triangularização, gerando uma isosuperfície definida como uma malha de triângulos. Esta superfície é posteriormente exibida, mas o objetivo do usuário poderia ser o cálculo do volume do espaço delimitado por ela.

A comparação das idéias aqui desenvolvidas com as implementadas por sistemas de visualização científica como AVS [UPS 89], Iris Explorer [SIL 91] e MPGS [CRA 91] revela que estes oferecem técnicas de visualização que exigem como parâmetros informações que aqui associamos conceitualmente às ferramentas de mapeamento, navegação e seleção. Neste aspecto reside a maior contribuição do presente trabalho: parte-se dos objetivos e tarefas da análise exploratória visual e não das técnicas de visualização que se deseja oferecer. Assim, obtém-se um referencial de ferramentas que todo sistema de apoio a esta classe de atividade deve prover.

A partir das ferramentas aqui descritas é possível projetar aplicações para problemas particulares e, eventualmente, avaliar sistemas existentes do ponto de vista das facilidades que oferecem. Esta identificação de ferramentas do ponto de vista conceitual foi utilizada para a definição de um ambiente de

análise exploratória visual baseado em uma abordagem “orientada a ferramentas” [FRE 94], alternativa à abordagem orientada a “fluxo de dados” utilizada em sistemas como AVS e Iris Explorer.

Referências

- [BER 93] Beshers, C. & Feiner, S. Autovisual: Rule-based design of interactive multivariate visualizations. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 13(4):41-49, July 1993.
- [BRO 92] Brodlie, K.W.; Carpenter, L.A.; Earnshaw, R.A.; Gallop, J.R.; Hubbard, R.J.; Mumford, A.M.; Osland, C.D. & Quarendon, P. (eds.) *Scientific visualization - techniques and applications*. Berlin, Springer-Verlag, 1992.
- [CRA 91] Cray Research. *Multipurpose Graphic System User Manual*. Eagan, 1991.
- [ELL 88] Ellson, R. & Cox, D. Visualization of injection molding. *Simulation*, 51(5):184-188, Nov. 1988.
- [EAR 92] Earnshaw, R.A. & Wiseman, N. *An Introductory Guide to Scientific Visualization*. Berlin, Springer-Verlag, 1992.
- [FRE 93] 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. Recife, Outubro 19-22, 1993. *Anais*. Rio de Janeiro, SBC, 1993. pp. 89-97
- [FRE 94] Freitas, C.M.D.S. *Uma abordagem unificada para análise exploratória e simulação interativa visual*. Porto Alegre, PGCC da UFRGS, 1994. (Tese de doutorado)
- [JOH 82] Johnson, R.A. & Wichern, D.W. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1982.

- [GOL 90] Golendziner, L.G.; Wagner, F.R.; Freitas, C.M.D.S. Modeling digital systems in an integrated design environment. In: Darringer, J.A. and Rammig, F.J. (eds.) *Computer Hardware Description Languages and Their Applications*. Amsterdam, North-Holland, 1990. pp 147-156.
- [HUR 90] Hurley, C. & Buja, A. Analyzing high-dimensional data with motion graphics. *SIAM J. Sci. & Statist. Comput.*, 11, 1193-1211, 1990.
- [MAN 94] Manssour, I.H. *Algoritmo de ray-casting para visualização volumétrica de dados obtidos por tomografia computadorizada*. Porto Alegre, PGCC da UFRGS, março 1994. (TI 372)
- [NIE 91] Nielson, G; Foley, T.; Hamman, B. & Lane, D. Visualizing and modeling scattered multivariate data. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 11(3):47-55, May 1991.
- [ROB 91] Robertson, P.K. A methodology for choosing data representations. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 11(3): 56-67, May 1991.
- [SAC 93] Sachet, D.F. *Um estudo de técnicas para obtenção de modelos geométricos a partir de dados médicos 3D*. Porto Alegre, PGCC da UFRGS, abril 1993. (TI 305)
- [SAC 94] Sachet, D.F. *Extração de modelos geométricos a partir de dados médicos 3D*. Porto Alegre, PGCC da UFRGS, 1994. (protótipo desenvolvido)
- [SCH 94] Schmidt, A.E.F. *Visualização e exploração de dados científicos associados a objetos tridimensionais*. Porto Alegre, PGCC da UFRGS, abril 1994. (Dissertação de mestrado)
- [SIL 91] Silicon Graphics. *Iris Explorer User's Guide*. La Jolla, CA, 1991.
- [SPR 92] Springmeyer, R.R.; Blattner, M.M. & Max, N.L. A characterization of the scientific data analysis process. In: VISUALIZATION'92, Boston, Mass., October 19-23, 1992. *Proceedings*. IEEE, Los Alamitos, 1992. pp. 235-242.
- [SUN 89] Sun Microsystems. *OPEN LOOK Graphical User Interface*. Sun Microsystems, Mountain View, 1989.

- [TRE 92] Treinish, L.A. *Introduction to data management methods for scientific visualization*. SIGGRAPH'92 Course 1 Notes, ACM, 1992. pp. 6.1 - 6.26.
- [TUK 77] Tukey, J.W. *Exploratory Data Analysis*. Reading, MA, Addison-Wesley, 1977.
- [UPS 89] Upson, C.; Faulhaber Jr, T.; Kamins, D.; Laidlaw, D.; Schlegel, D.; Vroom, J.; Gurwitz, R. & Van Dam, A. The application visualization system: a computational environment for scientific visualization. *IEEE Computer Graphics & Applications*, 9(4):30-42, July 1989.
- [WEH 90] Wehrend, S. & Lewis, C. A problem-oriented classification of visualization techniques. In: VISUALIZATION'90. San Francisco, October 23-26, 1990. *Proceedings*. IEEE, Los Alamitos, 1990. pp. 139-143.
- [YOU 91] Young, F.W. & Rheingans, P. Visualizing structure in high-dimensional multivariate data. *IBM Journal of Research and Development*, 35(1/2):97-107, Jan./Mar. 1991.

Agradecimentos - A Ana Elisa F. Schmidt e Isabel Harb Manssour, pela cessão de imagens que compõem a maioria das figuras aqui apresentadas. A Silvia Delgado Olabarriaga, pela inúmeras sugestões.

Autores: Carla Maria Dal Sasso Freitas - Doutora em Ciência da Computação pela UFRGS, professora do Instituto de Informática da UFRGS. Áreas de interesse: visualização científica, aplicações de computação gráfica em geral, simulação interativa visual, ambientes de visualização científica. Endereço eletrônico: carla@inf.ufrgs.br.

Flávio Rech Wagner - Doutor em Informática pela Universidade de Kaiserslautern, Alemanha, professor do Instituto de Informática da UFRGS. Áreas de interesse: CAD de sistemas digitais, ambientes de projeto, ambientes e aplicações de simulação. Endereço eletrônico: flavio@inf.ufrgs.br.