

INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Grafo Polar: uma abordagem radial para visualização e exploração de grafos

*Celmar Guimarães da Silva
Heloísa Vieira da Rocha*

Technical Report - IC-03-017 - Relatório Técnico

October - 2003 - Outubro

The contents of this report are the sole responsibility of the authors.
O conteúdo do presente relatório é de única responsabilidade dos autores.

Grafo Polar: uma abordagem radial para visualização e exploração de grafos

Celmar Guimarães da Silva

celmar@ic.unicamp.br

Heloisa Vieira da Rocha

heloisa@ic.unicamp.br

Núcleo de Informática Aplicada à Educação (Nied)
Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas
Caixa Postal 6176 – CEP 13083-970 – Campinas – SP – Brasil
Telefone: +55 (19) 3788-5866

RESUMO

Grafos são estruturas de grande relevância na representação de dados em formato de rede, como troca de mensagens entre pessoas em um ambiente de ensino a distância. Inspirada em representações radiais de grafos, a estrutura proposta neste artigo é baseada na disposição dos vértices de um grafo em dois anéis concêntricos e, ao mesmo tempo, na distorção de suas arestas com relação ao centro desses anéis. Este artigo apresenta ainda um protótipo que implementa essa estrutura, no qual a posição dos vértices e a distorção das arestas são controladas diretamente pelo usuário.

ABSTRACT

Graphs are structures of great relevance to network data representation, such as message exchange between people into an e-learning environment. Inspired by radial graphs representations, this article proposes a structure based on the disposition of the nodes of a graph into two concentric rings, and on the distortion of its edges related to the center of these rings. In addition, this article presents a prototype that implements this structure, in which the nodes' position and the edges' distortion are controlled directly by the user.

Palavras-chave

Visualização de informação, grafos radiais, distorção de arestas, anéis concêntricos.

INTRODUÇÃO

Visualização de Informação é uma área específica em Interfaces Humano-Computador que objetiva estudar o uso de representações visuais e interativas de dados abstratos e não baseados em aspectos físicos, com o propósito de ampliar a cognição [6]. Nessa área, de acordo com as características do conjunto de dados a ser representado, diferentes técnicas podem ser utilizadas para transformá-los em estruturas visuais. Por meio da interação do usuário, essas estruturas podem ser manipuladas, exibindo diferentes visões sobre esses dados e revelando ao usuário as informações de que necessita.

Nesse contexto, grafos são estruturas importantes utilizadas para representar relações entre dados. Através de arestas conectando vértices, pode-se representar no espaço interligações entre elementos não contíguos, criando assim

uma dimensão adicional de espaço [6]. Diversos são os algoritmos e técnicas para dispor esses elementos visualmente ao longo da tela, considerando ou não aspectos como planaridade do grafo, regras estéticas e previsibilidade [12].

Este artigo apresenta uma representação alternativa para a visualização de grafos de maneira interativa. Inspirado em representações radiais de grafos, o Grafo Polar dispõe todos os vértices de um grafo em dois anéis concêntricos, permitindo ao usuário mover os vértices não somente dentro desses anéis, mas também de um anel para outro. Visando simplificar o entendimento das relações entre os vértices do anel central do grafo, o protótipo implementado permite aplicar uma técnica de distorção de arestas, afastando do centro as arestas que não se relacionam aos vértices do anel central. Através de controles específicos, o usuário pode controlar o tamanho dos anéis e o nível da distorção das arestas, adaptando a visão do grafo às suas necessidades.

As seções deste artigo abordam esse tema da seguinte forma: a próxima seção resume alguns conceitos básicos da área de Visualização de Informação. Logo após, é apresentada brevemente a ferramenta InterMap, parte integrante do ambiente de ensino a distância TelEduc e responsável por representar a interação de pessoas através de grafos. A seguir, é apresentada uma visão teórica sobre a estrutura do Grafo Polar, abordando o posicionamento dos vértices, as distorções das arestas e os cálculos necessários para efetuar essas distorções. A seção seguinte mostra um protótipo que implementa a estrutura do Grafo Polar. Uma seção foi reservada para tratar resumidamente de alguns trabalhos relacionados à estrutura radial proposta neste artigo. Algumas idéias para trabalhos futuros com relação a essa representação compõem outra seção à parte. Por fim, as duas últimas seções apresentam considerações finais e a bibliografia consultada.

VISUALIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO

Como introduzido anteriormente, o estudo da área de Visualização de Informação está baseado nos seguintes aspectos:

- Representação de dados abstratos e não baseados em aspectos físicos;

- Representação visual;
- Interação humana na representação desses dados;
- Ampliação cognitiva.

Com relação ao último item, um estudo de Larkin e Simon estendido por [6] mostra que existem seis formas principais pelas quais a visualização pode ampliar a cognição:

1. Aumentando os recursos de memória e de processamento disponíveis para os usuários, através do uso direto dos recursos do sistema visual e da memória de trabalho externa e visual;
2. Reduzindo a busca por informação, de diversas formas: agrupando ou relacionando visualmente informações, compactando-as, exibindo uma visão geral ou mesmo mostrando detalhes sob demanda;
3. Usando representações visuais para melhorar a detecção de padrões;
4. Habilitando operações de inferência perceptiva, como tornar óbvia a resposta de um problema através de uma representação visual;
5. Usando mecanismos de atenção perceptiva para efetuar monitoramento de uma grande quantidade de eventos potenciais;
6. Codificando informação numa mídia manipulável.

Segundo [6], essa ampliação cognitiva pode ser propiciada pela Visualização de Informação em ao menos quatro níveis de uso:

1. **Visualização da "infosfera"**, ou seja, da informação fora do ambiente de trabalho do usuário, como por exemplo, de informações na Internet, como mostrado em [2].
2. **Visualização de uma área de trabalho de informação (information workspace)**, ou seja, o uso de visualização para organizar múltiplas visualizações individuais ou outras fontes de informação e

ferramentas, para se efetuar alguma tarefa, tal como apresentado em [5].

3. **Ferramentas visuais de conhecimento**, que contêm uma apresentação visual de algum conjunto de dados e um conjunto de controles para interagir com ela; seu foco é determinar e extrair as relações em um conjunto particular de dados; [1] e [10] são exemplos desse nível de uso de visualização.
4. **Objetos visualmente realçados**, principalmente objetos físicos inseridos no computador, que apresentam em destaque determinados grupos de informação graças a técnicas de visualização de informação. Um bom exemplo desse nível de visualização pode ser visto em [15].

Para estudar o processo de transformação de dados brutos em representações visuais que permitam ao usuário ampliar a cognição, um excelente ponto de partida é o modelo de referência proposto por [6], em que são discriminadas as diversas fases de transformações de dados e o papel do usuário nessas transformações. Como pode ser visto na Figura 1, o modelo define quatro maneiras de estruturação dos dados, as quais podem ser transformadas com auxílio da interação humana, evoluindo assim de um formato bruto dos dados para visões específicas desses dados:

- **Dados brutos**: dados armazenados em algum formato original;
- **Tabela de dados**: conjunto organizado de dados, formado por uma relação (ou seja, um conjunto de tuplas) e por dados que descrevem essa relação (metadados);
- **Estrutura visual**: conjunto formado por substrato espacial, marcas e propriedades gráficas diversas, com o objetivo de mapear visualmente uma tabela de dados;
- **Visão**: representação interativa de uma estrutura visual, visando exibir, por meio de interação, maior quantidade de informação do que seria possível estaticamente.

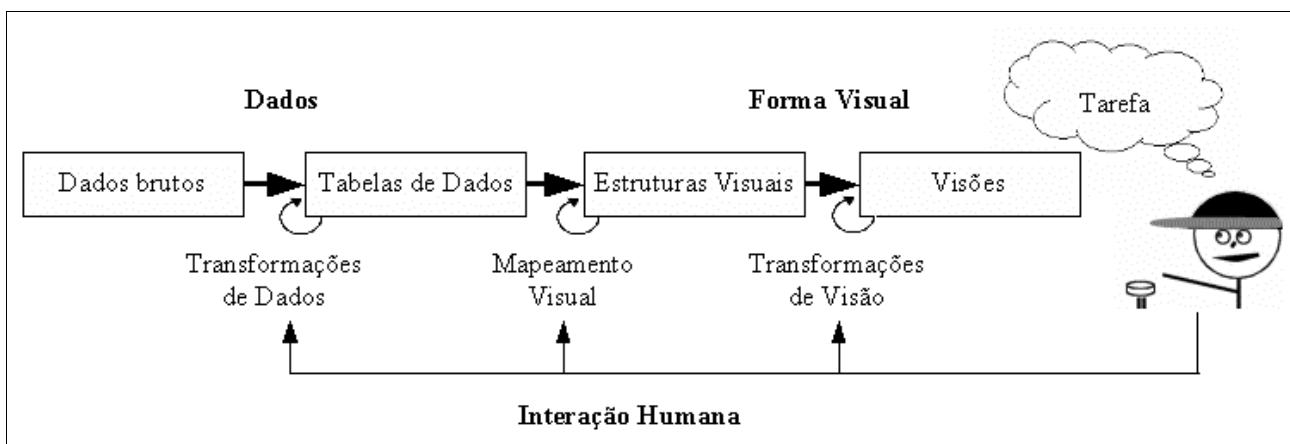


Figura 1 – Modelo de referência para visualização. Adaptado de [6] (p. 16, figura 1.23).

Segundo o modelo proposto, a evolução entre essas estruturas pode ser feita através de transformações de dados, mapeamento visual e transformações de visão. Dentre essas etapas de transformação, o mapeamento em estruturas visuais é considerado a mais importante do modelo, uma vez que nele reside o esforço de se transformar relações matemáticas em propriedades gráficas efetivamente processadas pela visão humana.

Em todas as etapas apresentadas, a interação humana é um fator sempre presente. Através de diversos controles e variadas técnicas de interação, o usuário pode ter o controle de cada uma das transformações do modelo, gerenciando todo o processo de evolução de dados brutos para representações visuais.

INTERMAP: MAPEANDO INTERAÇÃO EM CURSOS A DISTÂNCIA

Uma das diversas aplicações de Visualização de Informação é a representação de dados interligados de maneira não hierárquica, como redes de comunicação (por exemplo, sistema telefônico e Internet). Relacionamentos sociais são dados que se classificam nessa categoria, possuindo ao menos dois tipos de elementos a serem representados: pessoas e relações.

Uma das estruturas gráficas possíveis para representar dados em rede é um grafo, ou seja, um diagrama de pontos (vértices) interligados ou não por linhas (arestas). Ao usar um grafo para expressar relacionamentos sociais, cada pessoa pode ser representada por um vértice, e o relacionamento entre um par de pessoas pode ser mapeado através de uma aresta interligando seus respectivos vértices. Características específicas de cada pessoa ou de cada relacionamento podem ser mapeadas nos vértices e nas arestas de acordo com as propriedades retinais de Bertin (apud [6]).

Esse tipo de mapeamento é usado no ambiente de ensino a distância TelEduc [17], desenvolvido pelo Núcleo de Informática Aplicada à Educação e pelo Instituto de Computação, ambos pertencentes à Universidade Estadual de Campinas. Esse ambiente, detalhado em [20], apresenta uma ferramenta chamada InterMap [21], que representa visualmente as interações feitas entre participantes de cursos dados através do TelEduc. Uma das representações visuais exibidas nessa ferramenta é o mapa de interação, um grafo que apresenta os participantes de um curso como retângulos e a interação entre eles como arestas retas. Esse mapa é usado para representar a interação em três ferramentas de comunicação do TelEduc: Correio, Fóruns de Discussão e Bate-Papo. Ao representar a interação do Correio e do Bate-Papo, duas pessoas são interligadas se houve troca de mensagem entre elas num período preestabelecido; já no caso dos Fóruns de Discussão, a presença de uma aresta entre dois vértices indica o envio de respostas a uma mensagem. Professores são diferenciados de alunos por meio do uso de cores distintas em seus respectivos vértices.

Com essa representação, a interação entre os participantes de um curso, que somente podia ser percebida após longas análises de dados textuais apresentados pelo TelEduc, é tornada visível através do InterMap. Dessa forma, tornam-se mais claras as relações entre as pessoas e várias pistas são reveladas sobre o comportamento dos participantes de um curso, oferecendo assim subsídios ao professor para avaliar e modificar, se necessário, a metodologia adotada no curso [16].

Dentre as características mais importantes do mapeamento visual adotado pelo InterMap está a forma como os vértices são posicionados no espaço. Para dispor esses elementos, o InterMap utiliza um método orientado a força (*Force-Directed Method*) que iterativamente aproxima os vértices das pessoas que trocaram mais mensagens entre si. No entanto, esse método pode facilmente tornar confuso o grafo de interação (Figura 2), levando o usuário a intervir na disposição de alguns vértices para eliminar a oclusão de outros elementos do grafo. Não satisfeitos com a disposição oferecida pelo InterMap, vários usuários interrompiam a animação que aplicava passo a passo o método de aproximação dos vértices do grafo. Manualmente, eles dispunham em maneira elíptica esses elementos, trazendo em um segundo instante para o centro da tela aqueles que desejavam analisar com mais detalhes, como mostrado na Figura 3. Esse tipo de separação, supostamente intuitiva, é justificado por [23]: "Desde que o foco de atenção é um único vértice, é natural colocar esse vértice focado ao centro da tela e desenhar os outros vértices ao redor dele".

A partir dessa observação, surgiu a idéia de dispor inicialmente os vértices do grafo em uma forma circular, permitindo ao usuário movê-los para o seu centro de acordo com seu interesse. Assim, o usuário se torna apto a analisar um mesmo grafo interativamente sob diferentes perspectivas, sendo conduzido a fazer novas descobertas [23].

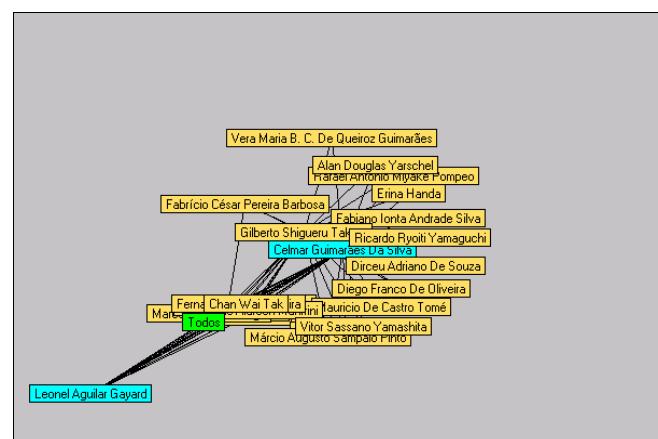


Figura 2 – Mapa de interação gerado pela ferramenta InterMap. A posição dos vértices foi calculada automaticamente pela ferramenta.

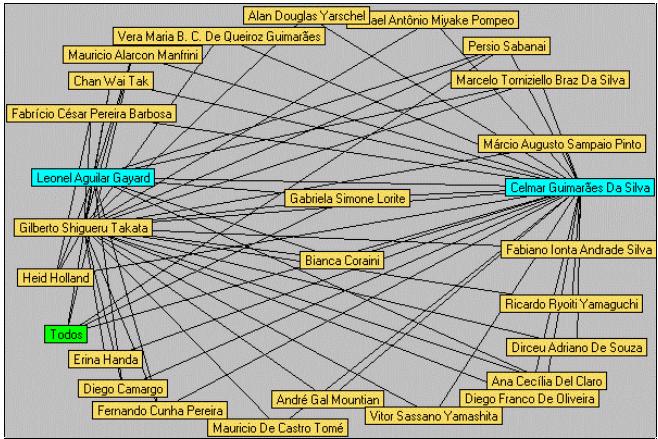


Figura 3 – Mapa de interação da Figura 2, após intervenção de um usuário na ferramenta InterMap.

GRAFO POLAR

O Grafo Polar é uma estrutura visual para representação de grafos baseada em dois pontos fundamentais a serem explicitados: a separação dos vértices em anéis e a distorção de arestas.

Separação dos vértices em anéis

Como o espaço é um aspecto dominante com relação à percepção (MacEachren apud [6]), a escolha de quais variáveis serão mapeadas no espaço ou não deve ser a primeira decisão no design de visualizações. Essa decisão torna-se mais simples se variáveis espaciais estão associadas aos vértices do grafo, como mostrado em [3], numa situação em que as coordenadas geográficas associadas aos vértices (representando cidades) são usadas para posicioná-los na tela. Em outros casos, a similaridade entre informações dos vértices pode ser usada para determinar sua disposição no espaço, como abordado em [9]. Quando não há informação extra associada diretamente aos vértices, algoritmos gráficos de layout baseados em propriedades internas do grafo podem ser adotados para dar a ele uma aparência organizada [6], usando o espaço sem associar nenhum eixo a ele.

O Grafo Polar, por sua vez, utiliza uma abordagem distinta das apresentadas, baseando-se na divisão da percepção visual humana apresentada em [6]. De maneira geral, a percepção visual pode ser dividida em duas partes principais:

- **foco:** usa a fóvea – região central do olho – para efetuar um processamento detalhado e consciente das imagens sendo capturadas;
- **periferia:** usa a região periférica do olho para efetuar um processamento automático e inconsciente das imagens sendo vistas.

Explorando essa divisão, o Grafo Polar dispõe os vértices em dois anéis concêntricos e invisíveis. O mais interno deles, chamado de *anel central*, é tratado como o foco de

atenção do usuário, onde devem ser posicionados os vértices mais relevantes para ele; considerado o pólo do grafo, originou o nome "Grafo Polar" à estrutura. O mais externo, chamado de *anel periférico*, relaciona-se à visão periférica; nele devem ser colocados os vértices de menor importância para o usuário. Cada anel dispõe seus vértices de maneira uniforme, espaçando-os igualmente entre si, como pode ser visto na Figura 4.

Essa divisão em anéis implica uma classificação das arestas, que será utilizada adiante para determinar quais delas podem ou não sofrer distorções:

- *Arestas centrais:* aquelas cujas extremidades são vértices posicionados no anel central;
- *Arestas periféricas:* aquelas cujas extremidades são vértices posicionados no anel periférico;
- *Arestas centro-periféricas:* aquelas com uma extremidade no anel central e outra no anel periférico.

Como os usuários devem poder interagir com o processo de layout de um grafo para poder customizá-lo a seus interesses e necessidades atuais [11], é ideal que no Grafo Polar os vértices possam ser movimentados de um anel para outro, permitindo ao usuário colocar em destaque no centro do grafo os vértices que lhe interessarem. Além disso, é preciso permitir a alocação dos vértices dentro de seus respectivos anéis pelo usuário, dando condições a ele de agrupar vértices relacionados entre si ou mesmo buscando manualmente uma possível planaridade do grafo.

Distorção de arestas

Embora na maioria dos casos a planaridade não seja uma questão central em visualização de informação [12], uma das regras estéticas para o layout de grafos estabelece que os cruzamentos de arestas devem ser reduzidos ao menor número possível. Como em teoria os vértices centrais representam o foco de atenção do usuário, é interessante tentar aplicar essa regra de alguma forma na área em que eles se localizam, ou seja, na área do anel central e em suas proximidades. No entanto, as arestas centrais e centro-periféricas não podem ser afetadas, por estarem diretamente relacionadas aos vértices centrais e ao posicionamento escolhido para eles pelo usuário; assim, resta trabalhar com as arestas periféricas, que não se relacionam a esses vértices.

Uma das alternativas possíveis seria não exibir essas arestas; isso no entanto confundiria o usuário, que veria arestas surgindo e desaparecendo repentinamente do grafo à medida que seus vértices fossem movidos entre os anéis. Outra alternativa seria colocar as arestas periféricas em segundo plano, pintando-as com uma cor fraca o suficiente para não chamar a atenção, mas forte o suficiente para ser vista; isso não reduziria os cruzamentos, mas reduziria a percepção dos cruzamentos pelo usuário. Porém, essa escolha vai de encontro à solução adotada para representar os pesos das arestas, explicitada a seguir.

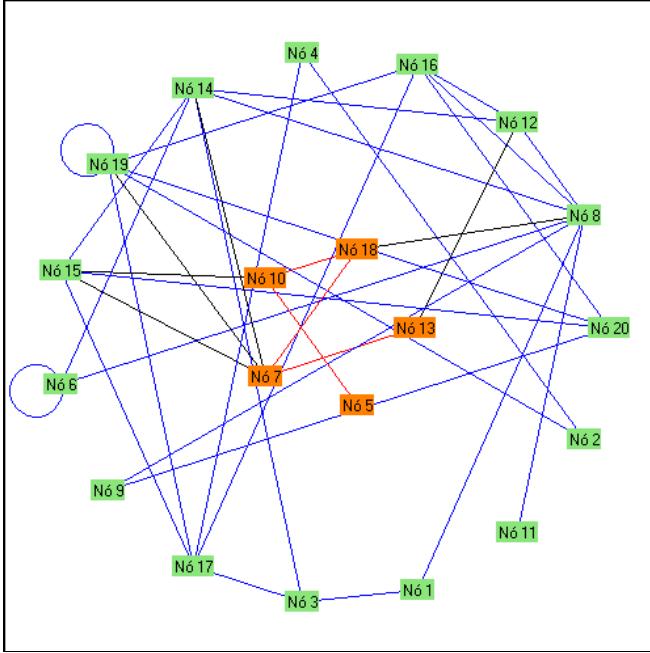


Figura 4 – Exemplo de grafo de 20 vértices, com 5 deles dispostos no anel central e 15 no periférico.

Cada aresta do grafo pode ter um valor (peso) a ela associado. Para escolher uma forma de representar esse peso, foi consultado o ranking de tarefas perceptivas para dados quantitativos apresentado por [14], sendo descartadas as representações que não eram aplicáveis às arestas do Grafo Polar. Posição, tamanho, ângulo e inclinação foram descartados, pois dependem diretamente da localização dos vértices da aresta, posicionados pelo usuário. Área e volume foram rejeitados por aumentarem a possibilidade de oclusão de arestas. Por fim, densidade (no caso, uso de padrões tracejados e pontilhados para representar as linhas das arestas) foi descartada pela elevada possibilidade de tornar confusa a representação na presença de um número elevado de arestas. Como as próximas características no ranking se referiam ao uso de cores, para as quais não havia nenhuma restrição relacionada à estrutura do Grafo Polar, foi escolhido representar o peso de cada aresta através de cores, impedindo, portanto, o uso dessa propriedade para representar em segundo plano as arestas periféricas.

Desse modo, era necessário encontrar uma outra maneira de minimizar o cruzamento de arestas na área central do grafo. A alternativa escolhida para isso foi afastar as arestas periféricas do centro do grafo, criando uma área circular pela qual elas obrigatoriamente não podem passar. Chamada de *área proibida*, ela distorce as arestas que passariam por ela (Figura 5), transformando-as em curvas que tangenciam sua borda. Essa área é um disco invisível, concêntrico aos anéis central e periférico, e seu tamanho pode ser regulado para, por exemplo, encobrir o anel central, deixando em seu interior apenas as arestas centrais e centro-periféricas.

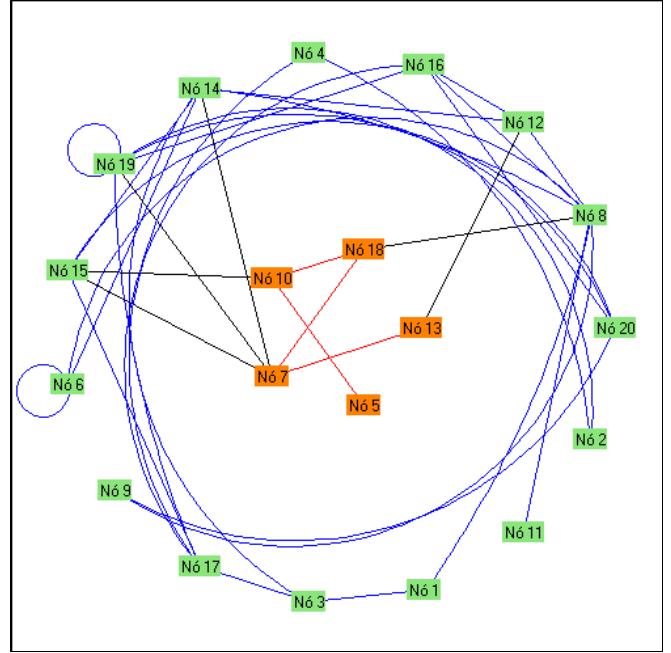


Figura 5 – Grafo apresentado na Figura 4, com distorção de arestas.

Calculando a distorção das arestas

Para calcular a curvatura de uma aresta, é necessário levar em conta os seguintes elementos, mostrados na Figura 6:

- A e B: vértices de uma aresta periférica;
- C: centro do grafo polar;
- M: mediana de uma aresta;
- M': mediana do segmento de reta AB;
- rp: medida do raio periférico, ou seja, do raio do anel periférico;
- rap: medida do raio da área proibida = |CM|;
- r: reta que passa por C, M e M';
- ra: raio do arco-aresta AMB;
- D: centro de distorção.

A idéia da distorção é garantir que M esteja fora do círculo delimitado por (C, rap), ou seja, fora da área proibida, ou no máximo tangente a ela. Desse modo, se $|CM'| \geq rap$, a aresta pode ser desenhada reta; caso contrário, precisará ser distorcida. Para efetuar a distorção, a aresta passa a ser desenhada como um arco de círculo com centro em D, cujas coordenadas devem ser calculadas. D pertence à reta r, de modo que se conseguirmos calcular o vetor CD, conseguimos achar a posição de D e desenhar o arco-aresta.

Considerando que $CD = M'D - M'C$, podemos orientar a reta r no sentido MC, fazendo com que os sinais de CD indiquem para que lado ele está direcionado. Com um pouco de trigonometria e algumas simplificações triviais, é possível calcular CD pela expressão:

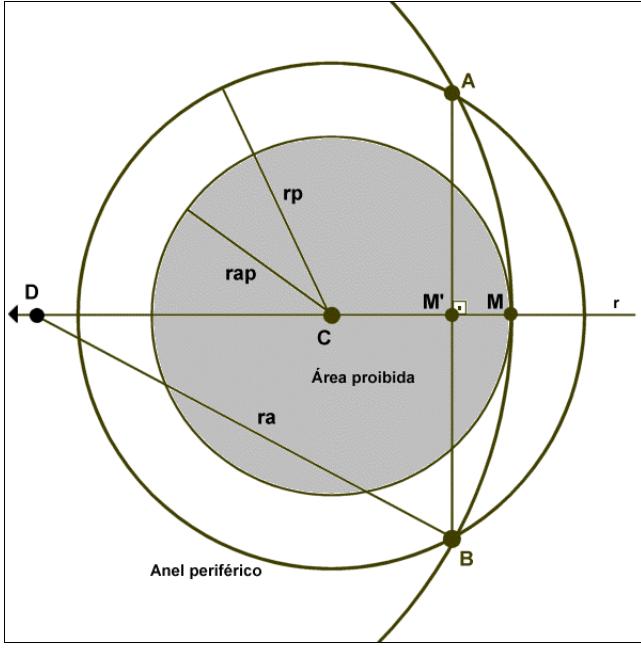


Figura 6 - Esquema de construção do arco-aresta AMB

$$CD = \frac{rp^2 - rap^2}{2(rap - \sqrt{rp^2 - \frac{|AB|^2}{4}})}$$

Assim, CD é expresso em termos de rap e rp, medidas já conhecidas ao se traçar o grafo, e de $|AB|$, que é facilmente calculável levando em conta que as coordenadas de A e B são conhecidas. Com o vetor CD calculado, a posição do centro de distorção D é calculada sem maiores problemas, o que por sua vez permite desenhar o arco de círculo que representa a aresta entre A e B.

PROTÓTIPO IMPLEMENTADO

Após efetuar os cálculos necessários para a distorção das arestas, foi criado em Delphi [4] um protótipo que implementasse todos os conceitos abordados na seção anterior. A interface de interação, como pode ser visto na Figura 7, apresenta a tela dividida em duas partes: uma contendo o grafo em si, e outra contendo controles a ele relacionados.

No lado esquerdo, o grafo é exibido em anéis segundo a divisão proposta. Nele, o usuário pode clicar em um vértice de um anel e arrastá-lo para o outro anel, conforme desejar. Ao movimentar o vértice de um anel para outro, o espaço que esse vértice ocupava no anel original desaparece, ao mesmo tempo em que aparece um novo espaço para ele no anel de destino. Ao soltar o vértice, este automaticamente se posiciona no anel que lhe estiver reservando um espaço. Esse comportamento contempla um aspecto tradicionalmente focado por outros algoritmos de layout de grafos: a distribuição uniforme dos vértices [11]. O usuário

pode ainda movimentar o vértice no mesmo anel, obrigando os outros vértices a se deslocarem para outras coordenadas angulares.

Os vértices do Grafo Polar são representados por retângulos contendo um texto, do qual são mostrados apenas os primeiros caracteres para evitar problemas de oclusão. Cor laranja é usada para dar destaque aos vértices do anel central (vértices centrais), enquanto os demais vértices (vértices periféricos) são pintados de verde.

Ao ser selecionado, o vértice muda sua cor de fundo para amarelo, mostra o seu conteúdo por extenso (caso ele esteja abreviado) e ressalta suas arestas, que ficam vermelhas e desenhadas como linhas retas, independentemente da área proibida. Essa seleção pode acontecer de duas formas: enquanto o vértice é arrastado pelo grafo, ou quando o usuário pressiona o botão direito do mouse sobre ele. Neste último caso, o vértice fica selecionado até que o usuário pressione novamente sobre ele o mesmo botão.

As arestas do grafo, como já foi abordado, podem ser representadas por linhas retas ou por arcos. As arestas centrais são pintadas de vermelho, para receberem destaque com relação às demais, pintadas de preto (arestas centro-periféricas) e de azul (arestas periféricas).

Para representar grafos com pesos nas arestas, conforme explicado anteriormente, foi adotado modificar a intensidade da cor de cada aresta de acordo com o seu respectivo peso. Assim, arestas com o peso máximo do conjunto aparecem ressaltadas, enquanto arestas com o peso mínimo tendem a ser confundidas com o fundo branco que envolve o grafo, como pode ser visto na Figura 8.

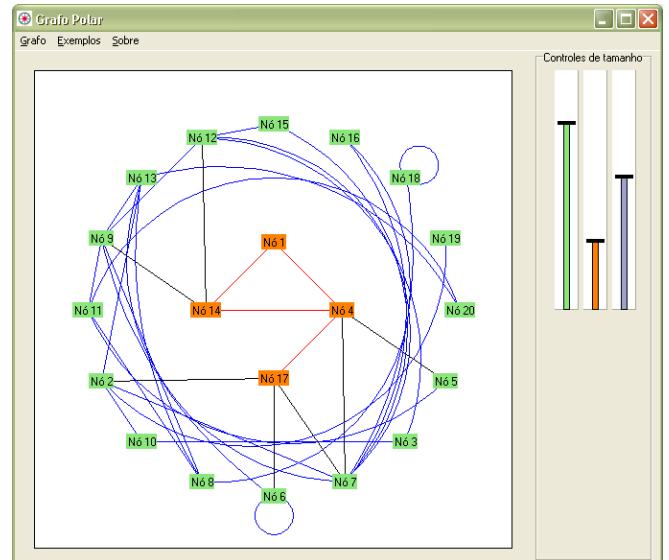


Figura 7 – Protótipo do programa exibindo um grafo.

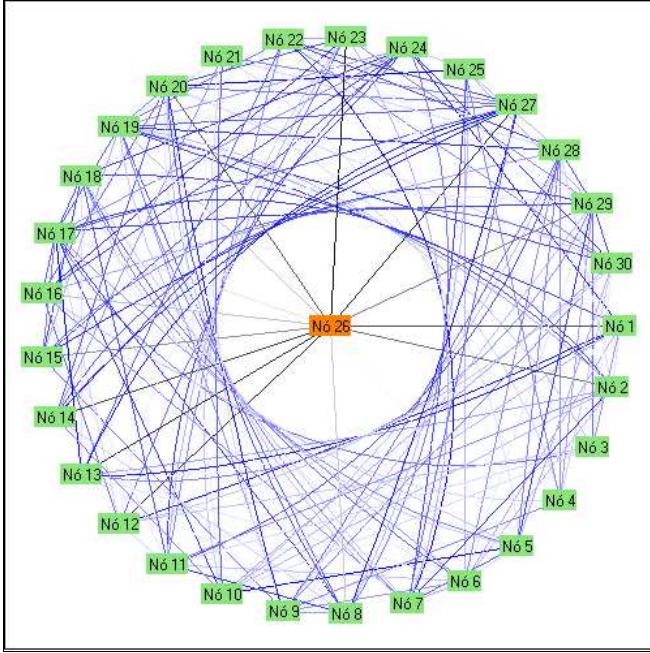


Figura 8 – Grafo exibindo arestas com diferentes pesos.

Do lado direito da tela, há uma caixa com três controles em formato de barras, responsáveis por regular o raio do anel periférico, do anel central e da área proibida. Quando esses controles são manipulados pelo usuário, o programa modifica simultaneamente o grafo de acordo com a nova configuração (ao menos em grafos de tamanho e densidade razoáveis, nos quais não acontece atraso na criação da nova imagem).

Cada controle apresenta uma cor distinta, idêntica à cor dos elementos do grafo a serem modificados: o controle cinza indica a área proibida; o verde, o anel periférico; e o laranja, o anel central.

Durante a manipulação de um controle específico, o programa torna visível o anel (através de uma circunferência) ou a área proibida (através de um círculo), de acordo com o controle sendo modificado. Como exemplo, a Figura 9 mostra o usuário alterando o raio da área proibida através de seu respectivo controle. Nessa situação, além de exibir a área proibida, uma linha horizontal é desenhada do topo de seu círculo em direção à caixa de controles; com isso, o usuário tem a noção de que ele está controlando aquela linha, a qual por sua vez modifica o tamanho da área proibida. Esse comportamento é reproduzido da mesma forma ao se modificar os controles do anel central e do anel periférico.

O programa consegue ainda salvar e carregar grafos em arquivos baseados em XML [22], os quais armazenam não somente os vértices e as arestas do grafo, mas também características relacionadas especificamente ao Grafo Polar, como: tamanho do anel periférico, do anel central e da área proibida; anel a que cada nó pertence; e estado de cada nó (selecionado ou não) e de cada aresta (selecionada ou não).

Para ler um arquivo em XML, foi utilizada a biblioteca XML Parser [13]. Um exemplo de arquivo gerado pode ser visto na Figura 10. Embora não se tenha utilizado até o momento uma linguagem conhecida para representação de grafos, pretende-se utilizar numa próxima versão do programa uma linguagem como o XGMML (*eXtensible Graph Markup and Modeling Language*) [18] para propiciar um melhor intercâmbio de informação deste protótipo com outros programas que criem e/ou exibam grafos.

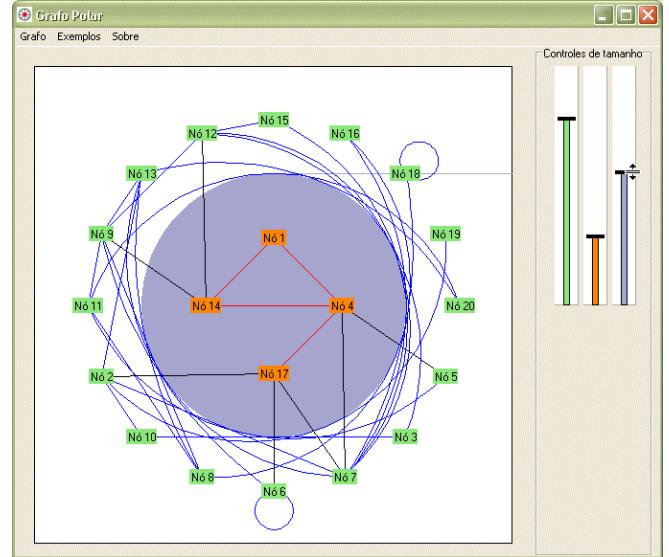


Figura 9 – Alteração do controle de tamanho da área proibida: a área é tornada visível.

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<graph external_ring_ray="194" internal_ring_ray="71"
prohibited_area_ray="138" weighted="no" >
<node cod_node="4" ring="internal" selected="no" >Nº 4</node>
<node cod_node="17" ring="internal" selected="no" >Nº 17</node>
<node cod_node="14" ring="internal" selected="no" >Nº 14</node>
<node cod_node="1" ring="internal" selected="no" >Nº 1</node>
<node cod_node="20" ring="external" selected="no" >Nº 20</node>
<node cod_node="5" ring="external" selected="no" >Nº 5</node>
...
<edge cod_start_node="7" cod_end_node="13" selected="no" />
<edge cod_start_node="12" cod_end_node="14" selected="no" />
<edge cod_start_node="7" cod_end_node="12" selected="no" />
...
</graph>
```

Figura 10 – Excertos do arquivo XML correspondente ao grafo exibido na Figura 9.

Classificação do protótipo de acordo com o modelo de referência

O protótipo apresentado pode ser classificado, com relação aos níveis de uso em Visualização de Informação, como uma ferramenta visual de conhecimento, à medida que apresenta um conjunto de dados (vértices e arestas de um grafo) e controles que permitem a interação do usuário com esse conjunto, com o objetivo de revelar as relações existentes entre esses dados.

Confrontando as características do protótipo com o modelo de referência para Visualização de Informação apresentado anteriormente neste artigo, pode-se perceber que algumas etapas da transformação de dados brutos em representações visuais foram implementadas sem a interação do usuário, o que não prejudica o funcionamento do sistema. Inicialmente, os dados brutos recebidos pelo programa são arquivos em XML representando grafos, que são transformados sem interação humana em tabelas de dados internas ao sistema. Por meio de manipulação direta, o usuário pode fazer mais transformações de dados, alterando a disposição dos vértices dentro de um anel ou movendo um vértice de um anel para outro. A técnica de detalhes-sob-demanda, outro tipo de transformação de dados, também é utilizada quando o usuário clica em um vértice, revelando completamente seu conteúdo. O mapeamento visual transforma essas tabelas na estrutura visual típica do Grafo Polar, novamente sem interação do usuário. Por fim, o uso de técnicas de seleção direta (em conjunto com a técnica de detalhes-sob-demanda) e a aplicação de distorções nas arestas são transformações de visão que geram para o usuário novas visões sobre o grafo sendo analisado.

TRABALHOS RELACIONADOS

Como se pode supor, a representação de um grafo através de formatos radiais não é uma abordagem nova. Di Battista et al. (apud [12]) apresenta os vértices de um grafo numa estrutura radial de anéis concêntricos de acordo com a distância desses vértices com relação ao vértice escolhido como foco. [23] estudou esse trabalho introduzindo técnicas de animação que permitem ao usuário entender a mudança de foco de um vértice para outro de maneira suave e sem perda de contexto. Um trabalho semelhante ao de Di Battista et al. pode ser visto em Eades (apud [12]), que usa uma estrutura radial para representar uma árvore. Em [19], é mostrado o uso de uma disposição inicial de vértices em um único anel; essa disposição pode ser alterada pelo usuário a qualquer momento, movendo para fora do anel vértices com muitas arestas, por exemplo. O programa Daisy Analysis [8] também utiliza um único anel para dispor vértices que representam valores de uma tabela; esses vértices são agrupados em arcos de acordo com a coluna da tabela à qual pertencem, e arestas são utilizadas para interligar elementos referentes à mesma linha da tabela.

A distorção de arestas e a possibilidade de destaque (*highlighting*) dos vértices e das arestas são características

intimamente relacionadas à técnica "foco + contexto" [6], na qual um display dinâmico deve combinar simultaneamente visão geral (contexto) e detalhes (foco). [7] apresenta um trabalho baseado nessa técnica, no qual distorção de arestas e ampliação focal são utilizados para destacar vértices em grafos de duas e três dimensões.

TRABALHOS FUTUROS

O programa desenvolvido para manipulação do Grafo Polar, como citado anteriormente, é um protótipo, e ainda não foi testado por usuários. Para auxiliar na execução de testes, está sendo desenvolvido um pequeno programa que salva em XML dados da ferramenta InterMap, tornando-os disponíveis para consulta por meio do protótipo visualizador do Grafo Polar.

Uma dificuldade comum presente na maioria das técnicas disponíveis é que elas são apenas aplicáveis para grafos relativamente pequenos [12]. Esse problema está presente também neste protótipo: ele apresenta lentidão para calcular e montar grafos densos (um grafo completo, por exemplo), mesmo com uma quantidade razoavelmente pequena de vértices (apenas 50, o que em um grafo completo leva a 1250 arestas). Assim, é necessário analisar cuidadosamente as estruturas de dados utilizadas e propor novas estruturas que agilizem os cálculos das posições dos vértices e, se possível, que desenhem mais rapidamente as arestas.

Quanto à interação do usuário com o grafo, pretende-se desenvolver controles que permitam a rotação individual dos anéis, de tal forma que o usuário possa descobrir a melhor posição angular para eles. Isso pode ser útil, por exemplo, para discernir duas arestas que numa visão estejam se sobrepondo e em outra não. Também se pretende suavizar a transição que ocorre quando se move um vértice de um anel para outro, ou dentro de um mesmo anel, animando os vértices envolvidos na mudança; essa suavização pretende, da mesma forma que em [23], reduzir uma possível desorientação dos usuários no rearranjo do grafo nessa situação.

A representação de grafos orientados também é um fator a se estudar. O uso de arestas em formato de seta tende a ser confuso quando grande quantidade de pequenos vértices estiver sendo representada; em vértices de alta cardinalidade, pode-se confundir facilmente quais arestas saem do vértice e quais incidem sobre ele. Uma abordagem inicial seria utilizar arestas finas em que cada extremidade apresente uma cor distinta, e cujo meio seja uma transição suave entre essas duas cores. Assim, desde que o usuário compreenda qual cor representa a origem da aresta e qual representa seu destino, é possível detectar mais facilmente quais vértices enviam mais arestas e quais recebem mais arestas.

Pode-se ainda estudar formas de o usuário agrupar conjuntos de vértices em estruturas maiores (supervértices), reduzindo assim a quantidade de arestas sendo mostradas no grafo e revelando informações relativas a

todo um grupo de vértices simultaneamente. Esse agrupamento pode tornar-se interessante, por exemplo, no estudo da interação entre grupos de pessoas num ambiente de ensino a distância (como o TelEduc), nos quais é importante analisar tanto a interação entre os grupos quanto entre os indivíduos de um grupo.

Por fim, o armazenamento de grafos pelo protótipo pode ser modificado para utilizar uma linguagem bem documentada de representação de grafos, como o XGMML [18], que permite tanto a representação de vértices e arestas como a especificação de outros atributos (nos quais se encaixariam as características relacionadas à interação com o usuário, como os raios dos anéis e da área proibida e as seleções de vértices e de arestas).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou o Grafo Polar, uma representação visual alternativa para grafos não orientados sem pesos nos vértices, baseada na divisão de vértices em dois anéis concêntricos e na distorção de arestas. Implementada através de um protótipo, essa estrutura apresenta como forte característica a interação do usuário, que ocorre na configuração do tamanho dos anéis e da área proibida, na seleção de vértices e no posicionamento dos vértices nos anéis por meio de manipulação direta.

Sua futura integração com a ferramenta InterMap irá prover maneiras de se efetuar os testes necessários, de modo a melhor poder avaliar a usabilidade da representação proposta e sua implementação. Ao tornar disponível esta forma de visualizar os dados de interação de participantes de um curso a distância, espera-se que os objetivos iniciais da proposta da ferramenta InterMap sejam melhor compreendidos e os professores possam entender e analisar de maneira mais clara as relações que se estabelecem (ou não) entre os participantes de um curso e a sua influência no andamento do curso.

A representação de relacionamentos por meio de grafos é apenas uma das diversas formas com que a Visualização de Informação pode auxiliar a área de Educação a Distância. Ambientes de ensino a distância (como o TelEduc) tendem a gerar uma quantidade gigantesca de dados, os quais nem sempre são mostrados para os usuários da forma mais adequada às suas necessidades. Para atender a essas necessidades, é necessário dar seqüência à integração entre as duas áreas iniciada pelo InterMap, utilizando representações visuais e interativas dos dados gerados por esses ambientes; assim, a compreensão desses dados poderá ser maximizada, ocorrendo por consequência um maior entendimento de aspectos importantes relacionados a cursos a distância através da Internet.

REFERÊNCIAS

1. Ahlberg, C., Shneiderman, B. Visual Information Seeking: Tight Coupling of Dynamic Query Filters with Starfield Displays. *Proceedings of CHI'94, ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* (New York, 1994), 313-317, 479-480; <http://sskkii.gu.se/Publications/Documents/SSKKII-94.02.ps> (20/Mar/03).
2. Andrews, K. Visualizing Cyberspace: Information Visualization in the Harmony Internet Browser. *Proceedings of InfoVis'95, IEEE Symposium of Information Visualization* (New York, 1995), 90-96; <ftp://ftp.unibw-muenchen.de/pub/comp/infosys/HyperG/papers/ivis95.ps.gz> (20/Mar/03).
3. Becker, R. A., Eick, S. G., Wilks, A. R. Visualizing Network Data. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 1, 1 (1995), 16-28; <http://citeseer.nj.nec.com/becker95visualizing.html> (20/Mar/03).
4. Borland Software Corporation. *Delphi Home Page*. <http://www.borland.com/delphi> (12/Mar/03).
5. Card, S. K., Robertson, G. G., York, W. The WebBook and the Web Forager: An Information Workspace for the World-Wide Web. *Proceedings of CHI'96* (1996), 111-117; <http://citeseer.nj.nec.com/card96webbook.html> (20/Mar/03).
6. Card, S. K., Mackinlay, J. D., Shneiderman, B. *Readings in Information Visualization: Using Vision to Think*. Morgan Kaufmann Publishers, 1999.
7. Carpendale, M. S. T., Cowperthwaite, D. J., Fracchia, F. D. Extending Distortion Viewing from 2D to 3D. *IEEE Computer Graphics and Applications : Special Issue on Information Visualization* (July/August 1997), 42-51; <http://citeseer.nj.nec.com/carpendale97extending.html> (20/Mar/03).
8. Daisy Analysis Ltd. *Daisy Home Page*. <http://www.daisy.co.uk/daisy.html> (12/Mar/03).
9. Fairchild, K. M., Poltrack, S. E., Furnas, G. W. SemNet: Three-Dimensional Representations of Large Knowledge Bases. In: Card, S. K., Mackinlay, J. D., Shneiderman, B. *Readings in Information Visualization: Using Vision to Think*. Morgan Kaufmann Publishers, 1999.
10. Feiner, S. K., Beshers, C. Worlds within Worlds: Metaphors for Exploring n-Dimensional Virtual Worlds. *Proceedings of UIST'90, ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (1990), 76-83; <http://citeseer.nj.nec.com/feiner90worlds.html> (20/Mar/03).
11. Henry, T. R., Hudson, S. E. Interactive Graph Layout. *Proceedings of the 4th annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (Hilton Head, South Carolina, United States, 1991), 55-64; <http://doi.acm.org/10.1145/120782.120788> (12/Mar/03).
12. Herman, I., Melançon, G., Marshall, M. S. Graph Visualization and Navigation in Information Visualization: a Survey. *Proceedings of Eurographics '99* (Aire-la-Ville, 1999); <http://www.cwi.nl/InfoVis/Survey/StarGraphVisuInInfoVis.pdf> (12/Mar/03).

13. Heymann, S. *XML Parser Home Page*; <http://www.destructor.de/xmlparser/index.htm> (07/Mar/03).
14. Mackinlay, J. D. Automating the Design of Graphical Presentations of Relational Information. *ACM Transactions on Graphics* 5, 2 (1986), 111-141; <http://doi.acm.org/10.1145/22949.22950> (20/Mar/03).
15. North, C., Shneiderman, B., Plaisant, C. User Controlled Overviews of an Image Library: A Case Study of the Visible Human. *Proceedings of ACM Digital Libraries'96*, (1996), 74-82; <http://citeseer.nj.nec.com/north95user.html> (21/Mar/03)
16. Oeiras, J. Y. Y., Rocha, H. V., Freire, F. M. P., Romani, L. A. S. Contribuições de conceitos de comunicação mediada por computadores e visualização de informação para o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem colaborativa. *Anais do XII Simpósio de Informática na Educação* (Vitória, 2001), SBC, p. 127-135; http://teleduc.nied.unicamp.br/pagina/publicacoes/7_sbie2001.pdf (17/Mar/03).
17. Projeto TelEduc. *TelEduc : Página do Projeto*. <http://teleduc.nied.unicamp.br> (07/Mar/2003).
18. Punin, J., Krishnamoorthy, M. *XGMML (eXtensible Graph Markup and Modeling Language) 1.0 Draft Specification*; <http://www.cs.rpi.edu/~puninj/XGMML/draft-xgmml.html> (12/Mar/03).
19. Rieger, T., Taponecco, F. Interactive Information Visualization of Entity-Relationship-Data. *Proceedings of WSCG 2002* (Plzen, Czech. Republic, 2002); <http://www.igd.fhg.de/~rieger/publications/WSCG2002E17.pdf> (07/Mar/2003).
20. Rocha, H. V. O ambiente TelEduc para educação a distância baseada na web: Princípios, funcionalidades e perspectivas de desenvolvimento. In: *Educação a distância: Fundamentos e práticas*. Moraes, M. C., Org. (Campinas, SP, 2002), Unicamp/Nied, 197-212; http://teleduc.nied.unicamp.br/pagina/publicacoes/8_Cap11_heloisa.pdf (12/Mar/03).
21. Romani, L. A. S. *Intermap: Ferramenta para visualização da Interação em Ambientes de Educação a Distância na Web*. Dissertação de Mestrado, Unicamp, 2000; http://teleduc.nied.unicamp.br/pagina/publicacoes/lromani_disser.pdf (12/Mar/03).
22. World Wide Web Consortium (W3C). *Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Second Edition)*. Outubro, 2000; <http://www.w3.org/TR/REC-xml> (12/Mar/03).
23. Yee, K., Fisher, D., Dhamija, R., Hearst, M. Animated Exploration of Dynamic Graphs with Radial Layout. *IEEE Symposium on Information Visualization* (San Diego, 2001), 43-50; <http://berkeley.edu/papers/infovis01.ps>. (12/Mar/03).