Higrafos como Modelo Conceitual de Aplicativos Hipermídia

Renata Pontin de Mattos Fortes
ICMSC / USP
São Carlos – SP – Brasil
renata@icmsc.sc.usp.br

Maria do Carmo Nicoletti
DC / UFSCar
São Carlos – SP – Brasil
carmo@dc.ufscar.br

Abstract

This paper proposes the use of the mathematical concept of higraph as a conceptual model for hypermedia applications, since it conveniently reflects the complexity of such systems. Besides, it is shown that modelling using higraphs is suitable for checking for consistency and reuse, providing adequate support for the authoring process.

1. Introdução

É fato que sistemas hipermídia têm sido adotados como uma ferramenta que desempenha um papel altamente relevante nos ambientes computacionais existentes. No entanto, o projeto de sistemas hipermídia é uma atividade humana bastante complexa, principalmente devido ao grande volume e aos diferentes tipos de informação existentes nos aplicativos que os utilizam. A ausência de uma sistemática consolidada ou mesmo a inexistência de um conjunto de recomendações precisas a respeito do que deve ser levado em consideração quando da elaboração de um hiperdocumento, tornam o processo de sua criação difícil de ser gerenciado. Uma vez que não existe consenso com relação a qual metodologia adotar com o objetivo de produzir um bom hiperdocumento, é bastante comum encontrar hiperdocumentos que não são bem elaborados e/ou que têm uma organização pobre. Na literatura atual relacionada com possíveis medidas para qualificação de hiperdocumentos existe um número razoável de métricas, muitas delas subjetivas, que são usadas como critério para avaliação de hiperdocumentos. Um subconjunto delas, orientado a projeto, é proposto em [6] e consiste de: riqueza, consistência, auto-evidência, previsibilidade, leitura e reuso.

Este artigo propõe um novo modelo conceitual para sistemas hipermídia, de maneira que, com seu uso, se possa abordar convenientemente os critérios de consistência e reuso de *links*, com vistas a auxiliar o processo de autoria. Com esse objetivo, na próxima seção os sistemas hipermídia são caracterizados em função dos seus principais elementos constituintes, de seus objetivos e de seus processos intrínsecos. A Seção 3 apresenta os principais modelos conceituais de aplicativos hipermídia propostos na literatura e discute algumas limitações de tais modelos. A Seção 4 propõe o conceito de higrafos, como um modelo conceitual mais adequado de aplicativos hipermídia e conveniente para o tratamento de consistência e reuso de *links*. Na Seção 5 são apresentadas nossas conclusões e perspectivas de continuidade do trabalho.

2. Sistemas Hipermídia: Contextualização, Características e Objetivos

Os sistemas hipermídia são sistemas que tipicamente permitem a manipulação não sequencial de informações. Ao autor do hiperdocumento, que geralmente é também o responsável pelo desenvolvimento do aplicativo hipermídia, é permitida a criação de fragmentos de informação (nós), como páginas de documentos, por exemplo, e de referências que os relacionam através de ligações (*links*), com total liberdade, viabilizando a alta produção de documentos, bem como o estabelecimento de diversos tipos de ligação entre eles. O número de *links* existentes em um hiperdocumento não é pré-determinado e obviamente, é uma função do conteúdo dos nós. A estrutura de um aplicativo hipermídia, dessa forma, pode ser abordada como uma rede de nós e *links*, onde o usuário do sistema se movimenta de um nó a outro, por meio de *links*; a ordem de visitação dos nós é estabelecida pelo próprio usuário, durante o processo de navegação, ao escolher e acionar os *links*.

Geralmente a estrutura de um hiperdocumento é definida localmente como a união das decisões feitas durante a construção de cada nó e cada *link* individualmente. Muito embora existam trabalhos relacionados à definição automática de *links* e pesquisas relacionadas à modelagem conceitual das informações alocadas em um hiperdocumento, observa-se que a abordagem de Base de Dados não pode ser diretamente adotada para conceituar a base de documentos que compõe um hiperdocumento [11].

Existem trabalhos de pesquisa que propõem a modelagem conceitual do domínio de informações, de maneira análoga à definição de esquemas para a modelagem conceitual de dados. Nessa linha, destacam-se HDM (*Hypertext Design Model*) [5], AHM (*Amsterdam Hypermedia Model*) [7], RMM (*Relationship Management Methodology*) [10] e OOHDM (*Object-Oriented Hypermedia Design Model*) [13]. Já o modelo MCA (Modelo de Contextos Aninhados) [1] possui fundamentos específicos para o tratamento do aninhamento de nós, aqui referido como estruturação hierárquica de nós. Tal tratamento de aninhamento de nós de contexto foi formalmente definido e é bastante relevante, mas exige um sistema de navegação particular que o viabilize. Neste trabalho são considerados os sistemas hipermídia que proporcionam a forma mais simples de navegação. Além disso, a modelagem conceitual aqui proposta é independente do domínio de informações, ou seja, ela pode ser reutilizada para qualquer outro domínio de aplicação.

Os processos típicos que devem ser supridos por um sistema hipermídia são: a criação de um hiperdocumento (autoria) para, em um momento posterior, colocá-lo à disposição para navegação e apresentação. O processo de navegação é o responsável pela interação com o usuário, seja ele um leitor ou um autor. Ao navegar pelo hiperdocumento, o usuário tem acesso às opções de caminhos a seguir, de maneira a dar continuidade à apresentação. Apresentação é o processo que viabiliza uma forma de mostrar ao usuário, geralmente através de janelas na tela ou outro dispositivo físico quando se tratar de multimídia, as informações contidas nos nós. O auxílio ao processo de autoria é uma das motivações desse trabalho; tal auxílio é concretizado por meio do estabelecimento de critérios de consistência e reuso de *links*. Para isso, entretanto, a definição de um novo modelo conceitual de sistemas hipermídia, outro que não os baseados em dígrafo e hipergrafo, é necessária.

As noções de consistência e reuso, como estabelecidas em [6] são: “reuso considera o uso de objetos e operações em contextos diferentes e para propósitos diferentes” e “consistência mede regularidade na aplicação”. No contexto de autoria de hiperdocumentos o reuso apropriado de objetos proporciona mais consistência, previsibilidade e riqueza; busca-se pois um modelo de hiperdocumento que favoreça o reuso, facilitando e promovendo a consistência. No que se segue, os modelos conceituais baseados em dígrafos, hipergrafos e redes de Petri são discutidos e então, higrafo é proposto como um novo modelo conceitual de aplicativos hipermídia.

3. Uso de Grafos, Hipergrafos e Redes de Petri na Representação de Aplicativos Hipermídia

Definição 1 - *Dado um conjunto finito $X = \{x_1, x_2, \dots x_n\}$ não vazio e uma família $U = (u_1, u_2, \dots u_m)$ de elementos do produto cartesiano $X \times X$, diz-se que o par $G = (X, U)$ constitui um grafo.*

Os elementos $x_1, x_2, \dots ,x_n$ de X são os vértices do grafo G e os elementos $u_1, u_2, \dots, u_m$ de U são as arestas do grafo G. Cada aresta $u_i = (x_{ij}, x_{ik})$ determina uma ligação bidirecional entre x_{ij} e x_{ik} e, geralmente, é representada graficamente por uma linha contínua entre os dois vértices x_{ij} e x_{ik}. Os grafos direcionados (dígrafos) têm sido amplamente adotados como a forma mais natural de representação de hiperdocumentos.

Como apontado em [12], sistemas hipermídia são, tradicionalmente, implementados de acordo com um modelo conceitual baseado em Teoria dos Grafos. Neste modelo o usuário pensa na informação como estando armazenada nos nós do grafo e se movimenta no sistema hipermídia, de um nó ao próximo, através dos arcos do grafo. Este modelo conceitual é apropriado para tarefas de conhecimento onde um nó explica, amplifica ou elucida um seu próximo. A modelagem de aplicativos hipermídia via grafos foi uma das primeiras a ser adotada. Em [2], por exemplo, o conceito de dígrafo é utilizado na definição de um estado da base de hiperdocumento, como uma 3-upla <N,L,E>, onde: N é um conjunto finito de nós, cada um dos quais contém uma unidade de informação; L é um conjunto de rótulos, os quais correspondem aos valores das âncoras; e E é um conjunto de arcos dirigidos rotulados, descrito pela função $E: N \times L \rightarrow N$.

Note que este modelo é simplista no sentido que os nós são unidades primitivas estanques, sem qualquer estruturação. Isso impossibilita que a complexidade estrutural da informação possa ser modelada. Por outro lado, a definição de *links*, como funções que associam pares nós-âncoras a nós, é limitada. Além de tal definição ser pontual, no sentido que os *links* são funções estritamente binárias, ela não contempla a navegação a conjuntos de nós e/ou porções de um nó. Por outro lado, um hiperdocumento modelado como um grafo, segundo [12], é definido como uma 3-upla ordenada $H_g = \langle N, A, L \rangle$, onde: $N = \{N_1, ...N_m\}$ é um conjunto de nós de informações; $A = \{A_{11}, ...A_{mp}\}$ é um conjunto de âncoras ou sub-regiões dentro dos nós, tais que cada nó N_i possui uma ou mais âncoras $\{A_{i1}, ...A_{ip}\}$; $L = \{\langle A_{ij}, A_{kl} \rangle\}$ é um conjunto de *links* ou pares ordenados de âncoras.

É importante notar, entretanto, que a semântica de cada *link*, que varia enormemente é um aspecto que não pode ser representado por grafos/dígrafos. Além disso, como apontado em [15], a simplicidade de um modelo baseado em grafos não representa a estrutura dos dados adequadamente; tal modelo ignora os padrões de compartilhamento entre subcomponentes que ocorrem em hiperdocumentos. A estruturação dos *links* representada por dígrafos focaliza as ligações definidas entre os diversos nós contidos em um hiperdocumento. É fato que para o modelamento de muitos domínios, os recursos fornecidos pelo modelo baseado em grafo/dígrafo são insuficientes; uma das principais limitações sendo a da impossibilidade de representação de relações, outras que não binárias. Além disso, o fato de não fornecer recursos para a representação de relações hierárquicas (nos nós) torna essa modelagem inadequada para aplicações hipermídia. A tentativa do modelamento de relações n-árias entre nós de um hiperdocumento se concretizou com a utilização de hipergrafos como modelo conceitual desses sistemas.

Definição 2 - *Dado um conjunto $S = \{s_1, s_2, ... s_n\}$ e uma família $E = (E_i \mid i \in \{1,..m\})$ de subconjuntos (partes) de S, diz-se que o par $H = (S, E)$ constitui um hipergrafo, se:*

$$E_j \neq \varnothing \text{ , } j = 1, m \qquad\qquad \bigcup_{j=1}^{m} E_j = S$$

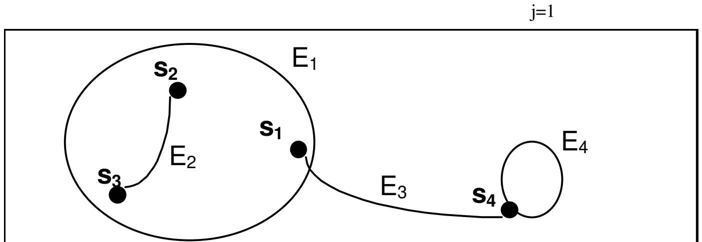
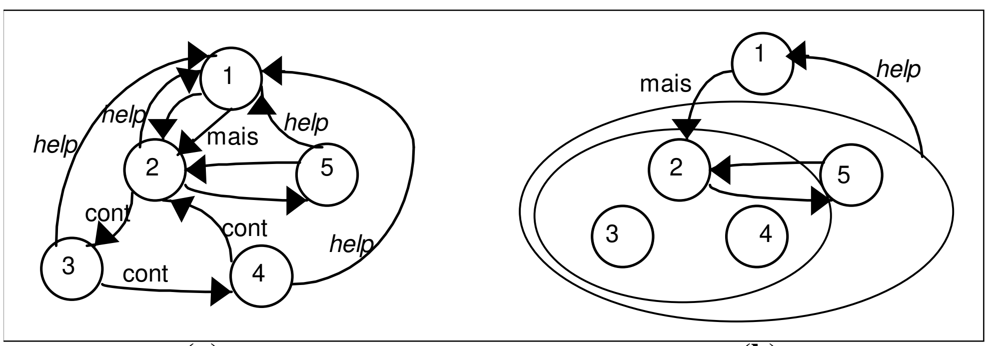


Figura 1 - *Representação gráfica do hipergrafo $H = (\{s_1, s_2, s_3, s_4\},\{E_1, E_2, E_3, E_4\})$*

Os elementos $s_1, s_2, ... ,s_n$ de S são os nós do hipergrafo e os elementos $E_1, E_2, ..., E_m$ de E são as arestas do hipergrafo. Numa possível representação gráfica de um hipergrafo $H = (S, E)$, as arestas E_j podem ser representadas por um traço contornando seus elementos se $|E_j| > 2$; e por um traço ligando seus dois elementos se $|E_j| = 2$. Quando $|E_j| = 1$, E_j pode ser representado como um laço. No hipergrafo da Figura 1 o conjunto de nós é $S = \{s_1, s_2, s_3, s_4\}$ e o de arestas é $E = \{E_1, E_2, E_3, E_4\}$, onde $E_1= (s_1, s_2, s_3)$, $E_2 = (s_2, s_3)$, $E_3 = (s_1, s_4)$, $E_4 = (s_4)$.

Os hipergrafos foram utilizados em [15] para representação da estruturação dos *links* do hiperdocumento, em sua proposta de uma modelagem de dados através de um hipergrafo instanciado, mostrado na Figura 2. O hipergrafo instanciado corresponde a um esquema dos dados contido no hiperdocumento. Convém notar, entretanto, que apesar do conceito de hipergrafo ser relevante para a expressão de relações n-árias entre elementos de um domínio, este conceito não oferece elementos para a expressão de uma relação de hierarquia entre aqueles elementos, característica que é fundamental para a representação da composição de nós, em sistemas hipermídia. Além disso, como em um hipergrafo cada arco é um conjunto, não existe uma ordem implícita entre os seus elementos; isso dificulta o emprego do formalismo matemático do hipergrafo como um modelo para representação da semântica de navegação inerente a aplicativos hipermídia.



(a) **(b)**

Figura 2 - (a) *Representação da estrutura de um hiperdocumento por um grafo dirigido rotulado e* (b) *Representação por um hipergrafo dirigido rotulado, como proposto em* [15].

Para outros tipos de tarefas, um modelo conceitual baseado em Teoria de Conjuntos é, possivelmente, mais adequado. Este tipo de modelo facilita a manipulação de coleções de nós semelhantes, os quais podem ser associados a um ou mais conjuntos. Os usuários se movem de um nó a outro dentro do mesmo conjunto, e de um conjunto a outro, através dos nós que estão na intersecção dos correspondentes conjuntos. Além disso, por meio de conjuntos, o processo de autoria se beneficia pelo tratamento mais uniformizado das informações que se relacionam, e conseqüentemente auxiliar a manutenibilidade do aplicativo.

Uma definição da hiperbase baseada em conjunto é apresentada em [12] como sendo um par ordenado $H = \langle N, S \rangle$, onde N é um conjunto dos nós e $S \subseteq 2^N$ é um conjunto de subconjuntos de N. De fato, o objetivo dessa definição é focalizar as relações entre os nós de informação, desconsiderando a estrutura definida por meio dos *links*. Assim sendo, um hiperdocumento baseado em conjunto consiste do par ordenado $H_c = \langle N, S \rangle$, onde: $N = \{N_1, ...N_m\}$ é um conjunto de nós de informações e $S \subseteq 2^N$ é um conjunto de subconjuntos de N.

Esta definição, essencialmente baseada em conjuntos, focaliza apenas o modelamento de uma eventual estruturação da informação contida nos nós. Em [12], entretanto, são propostas duas funções de navegação específicas para o tratamento de tais conjuntos de nós, de forma a possibilitar um mecanismo de navegação sobre eles. Convém observar, no entanto, que mesmo com o auxílio de tais funções, o fato dessa definição ignorar os *links* a torna inviável à modelagem de aplicativos hipermídia nos termos dos sistemas de navegação convencionais.

Um outro possível modelo conceitual é aquele que faz uso de Redes de Petri. Nesse modelo, conforme proposto em [14], um hipertexto H é uma 6-upla $H = \langle N, C, W, B, Pl, Pd \rangle$, onde:

i. $N = \langle S, T, F \rangle$ é uma rede de Petri, sendo que: S é um conjunto de lugares; T é um conjunto de transições; e $F = (S \times T) \cup (T \times S)$ é uma relação de fluxo;

ii. C é um conjunto cujos elementos são conteúdos de documentos (textos, gráficos, informação de áudio);

iii. W é um conjunto de janelas;

iv. B é um conjunto de botões;

v. Pl é uma projeção lógica para o hiperdocumento;

vi. Pd é uma projeção de apresentação (*display*) para o hiperdocumento.

Dada a estrutura de uma rede de Petri $N = \langle S,T,F \rangle$ em um hipertexto H, a "projeção lógica" de H consiste da 3-upla $Pl = \langle Cl, Wl, Bl \rangle$, na qual:

- $Cl : S \rightarrow C \cup \{v\}$ (Cl associa um elemento de conteúdo a cada lugar da rede de Petri);
- $Wl : S \rightarrow W \cup \{v\}$ (Wl associa uma janela lógica a cada lugar da rede);
- $Bl : T \rightarrow B \cup \{v\}$ (Bl associa um botão lógico a cada transição da rede); e v é o valor nulo.

A "projeção de apresentação" Pd é definida como sendo uma coleção de mapeamentos que associam os botões lógicos e as janelas de um hipertexto a uma representação física e de localização na tela, para que possam ser apresentados.

Um aspecto fundamental na modelagem que faz uso de redes de Petri é a necessidade de se considerar uma "marcação" M, definida formalmente como uma função $M : S \rightarrow \{0,1, ...\} \cup \{\omega\}$ que associa a cada lugar da rede de Petri um inteiro não negativo ou então o símbolo ω. Uma marcação é normalmente escrita como um vetor $\{m_1, m_2, ..., m_n\}$ tal que $m_i = M(s_i)$, $i = 1..n$. Cada inteiro da marcação indica o número de *tokens* que residem no lugar correspondente. O símbolo ω indica um número arbitrariamente grande de *tokens* e é incluído com o objetivo de tornar o modelo consistente com a teoria de redes de Petri existente.

A Figura 3 mostra uma rede de Petri representando a estrutura de um hiperdocumento. Nela existem caminhos de navegação ativos, conforme pode ser visto a partir da marcação apresentada, ou seja, os quatro lugares s3, s4, s5 e s6 estão simultaneamente visíveis e a partir deles o usuário pode selecionar três botões distintos, habilitados nas transições t3, t4 e t5. Caso o usuário selecione o botão habilitado na transição t4, a rede poderá então ter duas marcas no lugar s6 e uma marca no lugar s7 e, dependendo de condições estabelecidas ao se efetivar a transição t4, possibilitar a habilitação de t6.

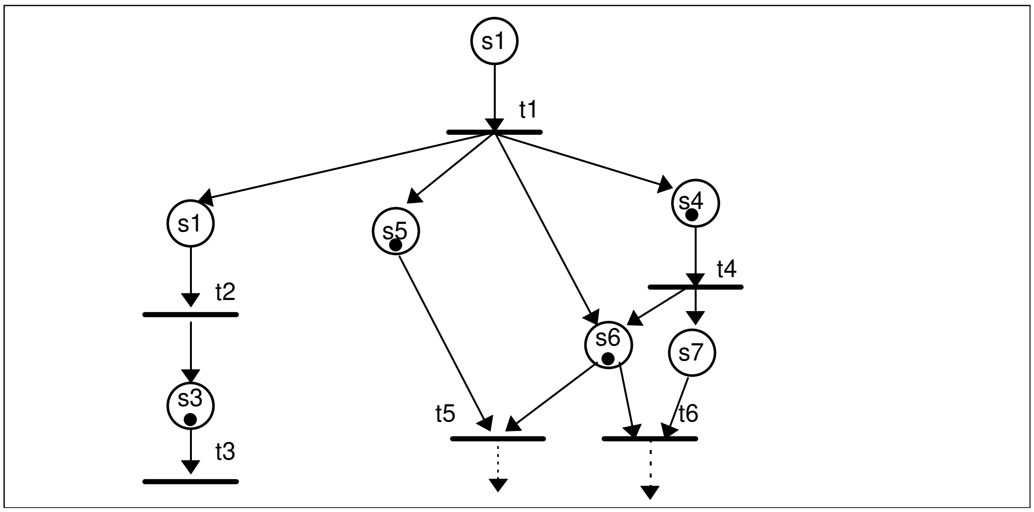


Figura 3 - *Uma rede de Petri representando a estrutura de um hiperdocumento com múltiplos caminhos de navegação independentes*.

O modelo Trellis de hipertexto [14] utiliza as redes de Petri e sua semântica de execução para descrever a rede de nós e *links* do hiperdocumento conforme discutido acima. As redes de Petri possuem um formalismo rico que proporciona recursos adicionais para se especificar, além dos *links*, a semântica de navegação, que consiste de um conjunto de propriedades de navegação que são estabelecidas relativas a um hiperdocumento (por exemplo, controle de acesso, habilitação/desabilitação de botões e apresentação simultânea de várias páginas). Existem dois aspectos importantes na proposta Trellis: (1) a separação entre conteúdo e estrutura, o que permite a ocorrência de mais de uma versão de um mesmo hiperdocumento; (2) a projeção de apresentação Pd, que permite que um conjunto de entidades lógicas sejam representadas de diferentes formas para consumo e que botões de controle não selecionáveis possam ser definidos.

As principais vantagens na utilização do modelo Trellis são:

- redução da complexidade de especificação da apresentação;

- boa representação de caminhos de navegação concorrentes e de sincronizações, devido à utilização da teoria de redes de Petri, tipicamente orientada para esse fim;
- facilidade na determinação da alcançabilidade ou não dos nós, com o objetivo de se verificar: se uma parte do hiperdocumento pode ser atingida; se existe um término; se qualquer estado terminal numa sessão de navegação deixa a tela em branco; se existem relações ou restrições (por exemplo, se qualquer sessão de navegação que encontra o elemento Y deve ter passado antes pelo documento Y);
- possibilidade do controle de acesso a certas páginas ser especificado a partir da marcação no hiperdocumento;
- definição de versões personalizadas de um hiperdocumento, incluindo a possibilidade de se ter partes comuns a todas as versões e partes pertencentes a versões específicas.

É importante notar, entretanto, que nesse modelo muito embora, por um lado, a marcação seja fundamental, por outro, ela torna a modelagem de hiperdocumentos bastante complexa e de difícil legibilidade para projetistas. A busca de um conceito que contemplasse ambos: a estruturação de nós e seus relacionamentos n-ários, evidenciou o conceito matemático de higrafo como uma alternativa possível ao modelamento de aplicativos hipermídia. Além disso, tal modelo se mostrou conveniente às abordagens de verificação de consistência e reuso de *links*, fundamentais como critérios para auxílio ao processo de autoria.

4. O Uso de Higrafos como Modelo Conceitual de Aplicativos Hipermídia

Nesta seção é proposta a utilização de higrafos como o formalismo adequado para representação da estrutura de hiperdocumentos visando auxiliar o processo de autoria. Os higrafos fornecem meios para o modelamento de relacionamentos entre os nós e entre conjuntos de nós, tanto estruturais/hierárquicos (intra-relacionamentos), quanto de relacionamentos n-ários dos elementos componentes daqueles conjuntos (inter-relacionamentos.). O conceito de higrafo foi proposto por Harel em [7, 8]. Harel inspirou-se nos termos *high graphs* e *hierarchical graphs* para a escolha do termo higrafo para nomear o novo conceito que propunha, muito embora os diagramas de higrafo não sejam limitados à estratificação induzida pela palavra *hierarchical*. Harel sugere o uso de higrafos como uma linguagem gráfica para Diagramas Entidade Relacionamento (do MER), Redes Associativas e Semânticas, e ainda Diagramas de Fluxo de Dados.

Higrafo é um conceito topológico-visual que combina noções de conjuntos (representados pelos diagramas de Venn/Euler) e hipergrafos. Se por um lado grafos e hipergrafos são uma maneira conveniente para representar conjuntos de elementos com alguma(s) relação(ões) especial(is) entre eles, por outro, os diagramas de Venn/Euler são uma forma mais adequada para a representação de uma *coleção* de conjuntos, com eventuais relacionamentos de hierarquia entre eles. Harel afirma que a principal motivação para a definição dos higrafos foi a de ter observado que a maioria das aplicações computacionais são caracterizadas em função da complexidade dos sistemas, dos seus objetos, estados e de seus relacionamentos. Para tanto, achou necessário propor um novo modelo que permitisse a expressão dos relacionamentos de hierarquia e de relações n-árias dos elementos que compõem as aplicações; tais características são contempladas através do uso do conceito de higrafo. Foi justamente o fato de higrafo possuir tais características que tornou esse conceito atraente como uma nova proposta ao modelamento de aplicativos hipermídia. A seguir é apresentada uma definição de higrafo, que é uma extensão daquela encontrada em [9].

Definição 3 - *Um higrafo é uma quádrupla (*β, σ, π, α*), onde:*

- β é um conjunto finito de elementos chamados "bolhas";
- σ é a função de hierarquia que associa a uma bolha $\in \beta$, um conjunto de "sub-bolhas". É definida por $\sigma: \beta \to 2^{\beta}$, que associa a cada bolha $x \in \beta$ seu conjunto de sub-bolhas, com a restrição de não conter ciclos. Além disso, são definidos também:

$$\sigma^0(x) = \{x\} \qquad \sigma^{i+1}(x) = \bigcup_{y \in \sigma^i(x)} \sigma(y) \qquad \sigma^+(x) = \bigcup_{i=1}^{\infty} \sigma^i(x) \qquad \sigma^*(x) = \bigcup_{i=0}^{\infty} \sigma^i(x)$$

Note que σ é tal que: $x \notin \sigma^+(x)$ e $x \in \sigma^*(x)$. Além disso, quando $\sigma(x) = \emptyset$ a bolha x é denominada "bolha atômica".

- π é a função de partição que define a decomposição de uma bolha $x \in \beta$ em seus "componentes sub-bolhas", através de alguma relação de equivalência $\pi(x)$ definida sobre o conjunto de sub-bolhas $\sigma(x)$. De fato, essa é a forma rigorosa de se especificar a divisão de x em seus componentes ortogonais, que são então definidos simplesmente como classes de equivalência induzidas pela relação $\pi(x)$. Para $x \in \beta$ denotam-se essas classes por $\pi_1(x)$, $\pi_2(x)$, ... $\pi_k(x)$. Para a divisão ortogonal em componentes ser representável graficamente (e para tornar a semântica mais clara) é requerido que bolhas em diferentes componentes ortogonais de x sejam disjuntas. Formalmente, para todo x exige-se que nenhum de quaisquer dois elementos y e z de $\sigma(x)$ possam se interceptar, ou seja, possam satisfazer $\sigma^+(y) \cap \sigma^+(z) \neq \emptyset$, a menos que pertençam à mesma componente ortogonal.
- α é um conjunto finito de arcos que correspondem a "hiperarcos direcionados", definido como: $\alpha \subseteq \beta^n$

A Figura 4 ilustra uma representação gráfica de um higrafo, na qual pode-se observar:

a) β = {A, C, F, B, B1, B2, D, D1, D2, D3, E, G, R, I, I1, I2, P, Q, L, J, J1, J2, K, M, N} é o conjunto de "bolhas" ;

b) A função σ de hierarquia associa uma bolha às suas "sub-bolhas" imediatas. Assim, por exemplo: σ (A) = {C, F}; σ (C) = $\emptyset$; σ (D) = {D1, D2, D3}; σ (D1) = {F}

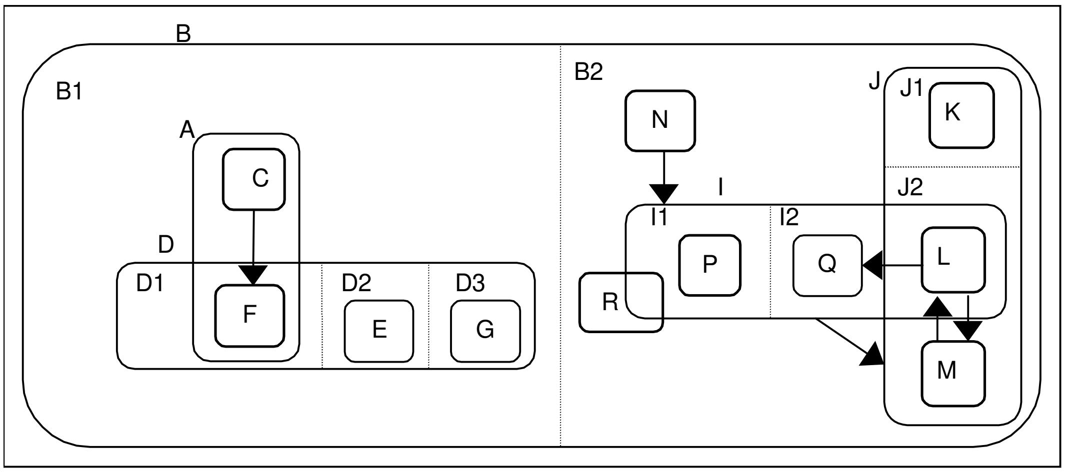


Figura 4 - *Representação gráfica de um higrafo.*

A função σ^+ fornece o conjunto de todas as sub-bolhas descendentes de uma bolha na hierarquia (exemplo: σ^+ (D) = {D1, D2, D3, F, E, G}). A função σ^* fornece as sub-bolhas descendentes de uma bolha e inclui a própria bolha ao conjunto fornecido (exemplo: σ^* (D) = {D, D1, D2, D3, F, E, G}).

c) Com relação à função de partição π, ela é representada por uma linha tracejada. Dessa forma, a Figura 4 mostra que o estado J não é simplesmente constituído pela união de K, L e M, mas sim pelo produto cartesiano de K com a união dos dois últimos. Ou seja: $J = J1 \times J2 = K \times (L \cup M)$

d) O conjunto α de "hiperarcos direcionados" é representado na Figura 4 pelas setas que ligam "bolhas". Os hiperarcos direcionados possuem aridade 2; o que liga C a F possui significado semelhante aos arcos de grafos. Já o hiperarco direcionado ligando I a J conecta o conjunto de "bolhas" de I ao conjunto de "bolhas" de J. Comumente interpreta-se os arcos do higrafo como uma coleção de arcos regulares, conectando todo elemento de um conjunto a cada elemento do outro conjunto. Porém, essa semântica de todos-para-todos não é obrigatória, pois o significado básico do arco do higrafo é de que o relacionamento que ele representa seja válido entre os conjuntos que ele conecta. Portanto, existe a liberdade de se atribuir um significado aos relacionamentos que são definidos entre os conjuntos de elementos através dos "hiperarcos direcionados".

Uma distinção que se deve considerar entre higrafos e diagramas de Venn/Euler (conjuntos) é a de que, nos higrafos, todo conjunto de interesse deve ser representado graficamente através de uma "bolha" com seus próprios delimitadores de área. Dessa forma, é possível estabelecer os níveis hierárquicos. Portanto, o fato das bolhas R e I se interceptarem no higrafo da Figura 4 não significa, necessariamente, que os conjuntos representados por R e I devam ter uma intersecção ou que o conjunto diferença I - R não deva ser vazio. Ou seja, conforme a semântica do formalismo definido em higrafos, a intersecção de duas bolhas não tem significado intrínseco, a não ser que apareçam bolhas totalmente contidas na região de intersecção. Por isso, a bolha R poderia ter sido desenhada não interceptando I.

É fato que o conceito de higrafo permite o modelamento de relações hierárquicas, fundamental para a representação de sistemas hipermídia. Através da definição da função σ, obtém-se uma formalização da estrutura de hierarquia que geralmente está presente nos intra-relacionamentos existentes entre os nós. Num hiperdocumento modelado por higrafos, os nós que realmente existem (que possuem um volume de informação) correspondem às bolhas atômicas. Dessa forma, as bolhas com sub-bolhas modelam "abstrações" (ou estruturas virtuais) definidas pelo autor do hiperdocumento, levando em consideração algum critério de relacionamento existente entre as sub-bolhas componentes. Quando o relacionamento expressa uma partição da bolha, através da função π, ele modela um mecanismo de apresentação simultânea dos nós que correspondem às bolhas atômicas nas partições. Já quando expressa simplesmente uma relação de hierarquia, através da função σ, o relacionamento permite a agregação das bolhas atômicas constituintes usando um determinado critério estabelecido pelo autor (por exemplo, um contexto ou uma mesma mídia). A definição de higrafo contempla o reuso de informações em um hiperdocumento na medida em que a função σ, da maneira como é definida, permite que bolhas, primivas ou não (e obviamente seus arcos) possam ser reusadas na definição de outras bolhas. Os arcos de um hipergrafo correspondem aos *links* em um hiperdocumento. Quando um arco liga bolhas não atômicas, ele indica que todas as sub-bolhas constituintes possuem a definição dos *links* que aquele arco representa. Assim sendo, o critério de consistência é atendido e pode ser facilmente verificado.

Em [3] é descrita uma ferramenta de apoio ao processo de autoria para análise de reuso de *links*. O uso experimental dessa ferramenta em alguns *sites* da WWW mostrou a existência de diferentes situações de reuso de *links*, o que levou à proposta de uma taxonomia de casos de reuso de *links* em hiperdocumentos da *web* [4]. Essa taxonomia revela que o formalismo de higrafo é a forma mais natural de representação de hiperdocumentos, quando reuso é focalizado.

5. Conclusões

Neste artigo foram apresentados e discutidos os principais modelos conceituais de sistemas hipermídia, aqueles baseados em grafos e hipergrafos e foram evidenciadas algumas limitações de tais modelos. O conceito matemático de higrafos foi então proposto, como um modelo conceitual alternativo para sistemas hipermídia, adequado à modelagem de abstrações de conjuntos de nós/*links*, selecionados mediante determinados critérios, com vistas à consistência e reuso. O poder representacional, a simplicidade e a legibilidade do formalismo de higrafos tornam essa abordagem bastante conveniente para a modelagem de aplicativos hipermídia. Pretende-se, como continuidade deste trabalho, investir numa caracterização mais detalhada de hiperdocumentos usando o formalismo de higrafos, com vistas a atender outros critérios de qualidade. Além disso, serão investigadas formas de dicionarização de âncoras para auxiliar o processo de autoria com vistas a atender o critério de consistência de *links*.

Referências

[1] Casanova,M.A. et al. "The Nested Context Model for Hyperdocuments" In: Third ACM Conference on Hypertext *Proceedings.* San Antonio, Texas, December 1991. pp.193-201.

[2] Delisle, N.; Schwartz, M. "Neptune: A Hypertext system for CAD appplications" In: ACM SIGMOD'86, Washington, D.C. , May 1986. *Proceedings.* ACM Press, 1986. p.132-142.

[3] Fortes,R.P.M. "Análise e Avaliação de Hiperdocumentos: uma abordagem baseada na Representação Estrutural" *Tese de Doutorado.* IFSC-USP, São Carlos-SP. 30 de agosto de 1996. 179p.

[4] Fortes,R.P.M. et al. "Avaliação de Hiperdocumento através de uma ferramenta orientada a *links*" In: Workshop de Sistemas Hipermídia Distribuídos, II. *Anais* Brasil, 18-19 maio de 1996, p.31-40.

[5] Garzotto,F. et al. "HDM - A Model-Based Approach to Hypertext Application Design" *ACM Transactions on Information Systems*, v.11, n.1, pp.1-26, January 1993.

[6] Garzotto, F. et al. "Hypermedia Design, Analysis, and Evaluation Issues" *CACM*, v.38, n.8, p.74-86, August 1995.

[7] Hardman,L. et al. "The Amsterdam Hypermedia Model: Adding Time and Context to the Dexter Model" *CACM*, v.37, n.2, pp.50-62, February 1994.

[8] Harel, D. "Statecharts: a Visual Formalism for Complex Systems" *Science of Comp. Programming*, 8, p.231-274, 1987.

[9] Harel, D "On Visual Formalisms" *CACM,* v.3, n.5, p.514-30, May 1988.

[10] Isakowitz,T. et al. "RMM: A Methodology for Structured Hypermedia Design" *CACM*, v.38, n.8, pp.34-44, August 1995.

[11] Nielsen, J. *Multimedia and Hypertext - The Internet and Beyond.* Academic Press, London, 1995.

[12] Parunak, H.Van D. "Don't Link Me In: Set Based Hypermedia for Taxonomic Reasoning" In: Hypertext'91, San Antonio, TX, December 1991. *Proceedings.* ACM Press, 1991. p.233-42.

[13] Schwabe,D.; Rossi,G.; Barbosa,S.D.J. "Systematic Hypermedia Application Design with OOHDM" In: Hypertext'96, Washington DC, USA, March 1996. *Proceedings.* ACM Press, 1996. pp.116-28.

[14] Stotts, P.D.; Furuta, R. "Petri-Net-Based Hypertext: Document Structure with Browsing Semantics" *ACM Transactions on Information Systems*, v.7, n.1, p.3-29, January 1989.

[15] Tompa, F.W.M. "A Data Model for Flexible Hypertext Database Systems" *ACM Transactions on Information Systems*, v.7, n.1, p.85-100, January 1989.