

Considerações acerca da Inclusão da Variável Tempo em Sistemas de Informação Geográfica

Alexandro G. Schäfer

UNIPAMPA – Campus Bagé
96415-700 Bagé RS
alexandro.schafer@unipampa.edu.br
UFSC - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
88040-900 Florianópolis SC

Resumo: Os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) são projetados para capturar, armazenar, visualizar, transformar e analisar informação geo-referenciada. Embora os SIGs constituam uma tecnologia capacitada para abordar problemas que envolvam o aspecto temporal dos dados, a representação da dinâmica espaço-temporal nesses sistemas foi ignorada até o final dos anos 1980. Para a inserção da variável tempo em SIG, diversas questões devem ser levadas em consideração. O presente artigo apresenta e discute questões relacionadas à inclusão da variável tempo em SIG. Inicialmente apresentam-se conceitos referentes à dimensão temporal em SIG. Em seguida, aborda-se a questão da semântica e da representação dos dados espaço-temporais em SIG. Por fim, apresentam-se as funções a que um SIG com características espaço-temporais deve atender.

Palavras-chave: SIG, Tempo, Dado espaço-temporal.

Abstract: The Geographic Information Systems (GIS) are designed to capture, store, view, process and analyze geo-referenced information. Although GIS constitute qualified technology to address problems involving the temporal aspect of the data, the representation of spatio-temporal dynamics in these systems was ignored until the late 1980s. For the insertion of the time variable in GIS, several issues must be taken into consideration. This paper presents and discusses issues related to inclusion of the variable time in GIS. Firstly presents concepts related to the temporal dimension in GIS. It then addresses the question of semantics and representation of spatio-temporal data in GIS.

Finally, we present the functions that a GIS with spatial and temporal characteristics must meet.

Key-Words: GIS, Time, Spatio-temporal data.

1 Introdução

A tecnologia de Sistemas de Informação Geográfica percorreu um longo caminho desde as suas primeiras aplicações. Com o rápido desenvolvimento técnico e a sofisticação conceitual, cresceram as demandas e expectativas da comunidade de usuários da tecnologia. Entre essas demandas, está a necessidade de incluir a dimensão temporal em SIG.

De acordo com Yuan (1996a), um SIG com características temporais tem como objetivo processar, gerenciar e analisar dados espaço-temporais. Esses sistemas melhoram os SIGs existentes (estáticos ou atemporais), pois proporcionam a manipulação da componente temporal do dado. Segundo Abraham e Roddick (1999), a possibilidade de considerar cenários passados, presente e futuros do ambiente modelado no sistema proporciona novas características aos SIGs, superando a capacidade dos SIGs estáticos atuais.

Segundo Peuquet (2002), embora os SIGs constituam uma tecnologia capacitada para abordar problemas que envolvam o aspecto temporal dos dados, a questão de como representar a dinâmica espaço-temporal nesses sistemas foi ignorada até o final dos anos 1980. Autores como Mcmaster e Usery (2004), Worboys e Hornsby (2004), Ahola *et al.* (2007), argumentam que a maioria dos SIG atuais são estáticos, não gerenciando de maneira adequada aplicações que envolvam o aspecto temporal dos dados.

De acordo com Couclelis (2005), a complexidade da gerência, da manutenção e da operação dos aspectos espaço-temporais gera, atualmente, forte demanda de pesquisa nessa área, já que muitas questões desafiadoras ainda permanecem sem resolução. Embora questões ontológicas relacionadas especificamente à questão temporal pareçam ser conhecidas e estar razoavelmente bem entendidas para propósitos de representação em banco de dados, a natureza de conceitos que são tanto espaciais quanto temporais (por exemplo, movimento) e a interação das dimensões espacial e temporal, precisam ser melhor entendidas. O presente artigo apresenta algumas das questões relacionadas à inclusão da variável tempo em SIG. Inicialmente apresentam-se conceitos referentes à dimensão temporal em SIG. Em seguida, aborda-se a questão da semântica e da representação de dados espaço-temporais em SIG. Por fim, apresentam-se as funções a que um SIG com características espaço-temporais deve atender.

2 A dimensão temporal em sistemas de informação geográfica

O tempo é um elemento essencial para fins de localização e análise visando o estabelecimento de padrões, predição de eventos futuros ou explicação de ocorrências. A informação temporal pode ter diferentes formas quando dados geográficos são coletados. Pode ser um simples instante de tempo, ou pode ser uma expressão de duração. Dados geográficos podem ser coletados em intervalos regulares, ou podem ser registrados somente quando uma mudança ocorre. Em se tratando de SIG, os tipos de tempo auxiliam na decisão de como analisar o que acontece em determinados locais, determinar quando ocorrem mudanças e no exame de vários cenários possíveis (VASILIEV, 1997).

Muitos conceitos fundamentais sobre tempo e propriedades do tempo têm sido profundamente discutidos na literatura da ciência da computação e da informação geográfica. Progressos significantes vêm sendo alcançados no desenvolvimento conceitual assim como em estudos de caso em diferentes domínios de aplicação (YUAN, 2008).

Conforme Worboys e Dunckham (2004), o tempo pode ser representado por meio de diferentes estruturas, definidas principalmente com base em três elementos da representação temporal: variação temporal (contínua ou discreta); ordem no tempo (linear, ramificado e circular) e granularidade (instante de tempo, intervalo de tempo, período ou elemento temporal).

Quanto à variação temporal, considera-se a possibilidade de variação contínua e variação discreta. A variação temporal contínua é usada em processos que demandam medidas de tempo com níveis arbitrários de precisão. Já a variação temporal discreta é usada quando o tempo é medido em certos pontos ou intervalos de tempo, e a variação é descontínua entre estes pontos (WORBOYS e DUCKHAM, 2004). Um intervalo de tempo é o tempo entre dois instantes. Um instante pode ser definido como um ponto no tempo em um eixo temporal.

Com relação à ordem, o tempo pode ser classificado como linear (ou linearmente ordenado), circular (ou cílico) e ramificado (WORBOYS e DUNCKHAM, 2004). O tempo linear considera que os pontos da linha do tempo fluem sequencialmente (há uma ordem de precedência entre eles) e os eventos podem ser medidos em escala ordinal ou em intervalos. O tempo circular representa tempos recorrentes e combina ordem de eventos e seus intervalos de tempo de ocorrência. Neste caso, a periodicidade de sua ocorrência faz com que sempre se volte à mesma referência de tempo (DIAS *et al.*, 2005). O tempo ramificado permite que dois pontos diferentes sejam sucessores (ramificação no futuro) ou antecessores (ramificação no passado) imediatos de um mesmo ponto. Para ambos a restrição linear é abandonada.

Embora o espaço e o tempo sejam contínuos, eles são convencionalmente divididos em unidades discretas, de comprimento uniforme ou variável para propósitos de medição objetiva. Associado à variação temporal discreta está o conceito de granularidade. Intuitivamente, a granularidade define uma partição, possivelmente não total, do domínio do tempo (CAMOSSI *et al.*, 2006). Associado a essa variação, existe o conceito de *chronon*, que pode ser definido como a menor duração de tempo suportada por um sistema, podendo variar em diferentes aplicações (EDELWEISS e OLIVEIRA, 1994). Qualquer atividade em um banco de dados temporal acontece durante o período de pelo menos um *chronon*. Os elementos primitivos

de representação da granularidade temporal são o instante de tempo (representa um ponto particular de tempo), o intervalo de tempo (tempo decorrido entre dois pontos) e o período ou elemento temporal (sequência de intervalos de tempo) (WORBOYS e DUCKHAN, 2004).

Do ponto de vista do armazenamento em banco de dados, de acordo com Snodgrass (1992) existem dois tipos de tempo, o tempo de validade e o tempo de transação. O tempo de validade é o momento em que o evento ocorreu. O tempo de transação é o momento em que essa ocorrência foi registrada no banco de dados. Conforme a presença ou ausência do registro do tempo de validade e/ou do tempo de transação, quatro tipos de Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD) podem ser identificados: estático, de tempo de validade (histórico), de tempo de transação (*rollback*) e bitemporal. Um SGBD estático não mantém nem o tempo de validade nem o tempo de transação. Um SGBD histórico lida somente com o tempo de validade, podendo recuperar o histórico de um evento de acordo com o tempo de validade registrado. Um SGBD de tempo de transação registra o instante da inserção de dados no banco de dados (BD), possibilitando uma recuperação de dados para desfazer uma transação. Um SGBD bitemporal registra tanto o tempo de validade quanto o tempo de transação (WORBOYS, 1994).

3 Semântica dos dados espaço-temporais

Existem, em particular, duas grandes categorias de conceitos geográficos com as quais as pessoas estão familiarizadas: entidades e fenômenos geográficos (e as propriedades e relações espaciais e temporais que as caracterizam). Os fenômenos geográficos são abstratos ou concretos e ocorrem na natureza de forma contínua ou discreta. Os fenômenos geográficos são distintos de dados geográficos, os quais são feições selecionadas (geralmente numéricas) que os geógrafos usam para descrever ou medir direta ou indiretamente o fenômeno que tem a qualidade de ser espacial. Por exemplo, o fenômeno clima pode ser visto em parte através dos dados da precipitação (DENT, 1996). Os fenômenos são analisados através de dados que podem ser qualitativos ou quantitativos e que podem ser descritos nominalmente, ordinalmente, ou proporcionalmente, e representados por pontos, áreas, linhas, usando variáveis visuais tais como cor, tamanho, forma, etc. As entidades podem ser consideradas como os elementos ou classes representados em meio analógico ou digital. A segunda categoria de conceitos geográficos universalmente compartilhados refere-se a noções de espaço e tempo aplicáveis a escalas geográficas, e em particular as relações espaciais e temporais entre entidades e fenômenos geográficos (COUCLELIS, 2005).

A visão de temporalidade compartilhada pela maioria dos pesquisadores relaciona-se a uma sequência de estados pontuados por eventos que transformam um estado no próximo (LANGRAN, 1992). Um elemento central na modelagem espaço-temporal são as mudanças que ocorrem ao longo do tempo e a maneira de representá-la em SIG (AHOLA et al., 2007).

A mudança é normalmente descrita como um evento ou coleção de eventos. Cada mutação de um objeto é um evento que produz uma nova versão do objeto e um novo estado do mapa (LANGRAN, 1992). Para propósitos de modelagem espaço-temporal, Peuquet (2005) define evento como “uma mudança no estado de uma ou mais localizações, entidades ou ambos”. Os eventos são necessários para capturar os mecanismos de mudança (WORBOYS e HORNSBY, 2004).

Peerbocus et al. (2004) citam três tipos principais de mudança de documentação no contexto de gerenciamento de dados espaço-temporais, com base em três perspectivas no contexto da representação espaço-temporal em SIG (Figura 01): a) documentação sobre eventos ocorrendo no mundo real, constituindo o aspecto semântico da evolução; b) documentação referente a evolução cartográfica, descrevendo as diferentes modificações que o usuário faz no nível de interface e, c) documentação sobre a evolução do banco de dados, contendo informações sobre os diferentes objetos que estão sendo atualizados.

Do ponto de vista do mundo real, uma mudança refere-se a um evento do mundo real, que é uma consequência de fenômenos naturais ou da ação humana. De um ponto de vista do sistema de informação (ou perspectiva cartográfica), Peerbocus et al. (2004) consideram que o nível cartográfico é a interface do usuário com o banco de dados espaço-temporal. O usuário visualiza os dados armazenados no BD através de mapas. Como a perspectiva cartográfica corresponde a interface com o sistema, é através deste nível que as mudanças no mundo real se refletem no banco de dados.

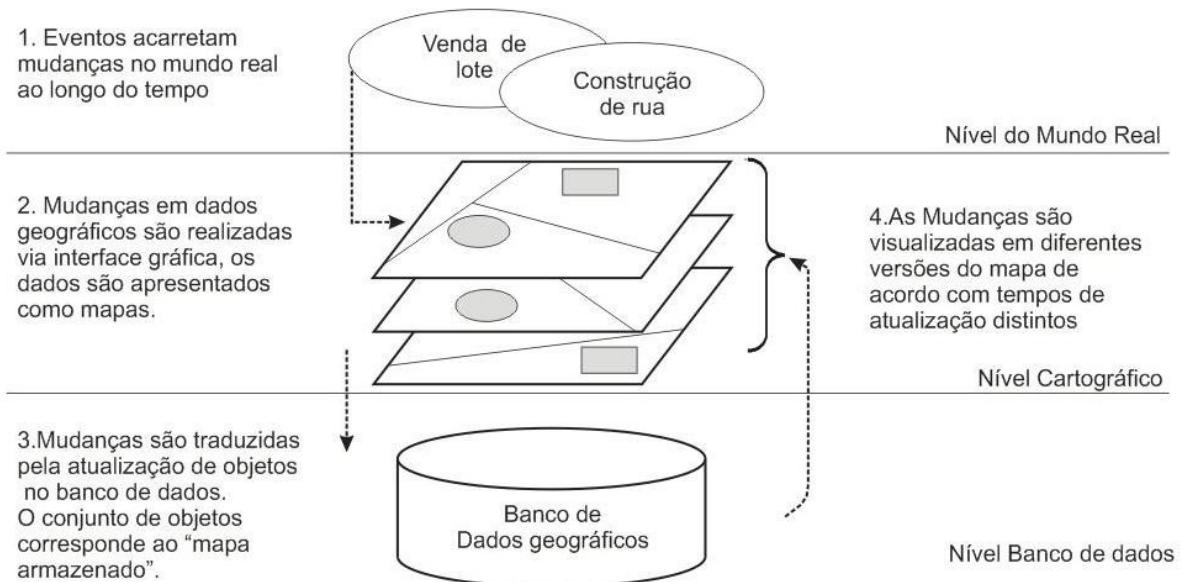


Figura 01 : Perspectivas no contexto da representação espaço-temporal em SIG e diferentes níveis de mudança (modificado de Peerbocus et al., 2004).

No nível do banco de dados, um evento do mundo real é representado por atualizações – isto é, criação, destruição e modificação – dos objetos no banco de dados. A granularidade das mudanças pode variar de um nível para o outro. No nível do banco de dados, cada atualização corresponde a uma mudança, considerando que no nível cartográfico – que é o nível que o usuário visualiza e com o qual ele interage – uma mudança pode corresponder a várias operações de atualização de dados (PEERBOCUS et al., 2004).

Sinton (1978) e Yuan (1996a) investigaram diferentes tipos de mudanças espaço-temporais e como elas podem ser medidas, representadas e analisadas em SIG. Em se tratando de objetos, Armstrong (1988) argumenta que oito subtipos de mudanças temporais resultam da combinação de mudanças em seus atributos, morfologia e topologia (Figura 02).

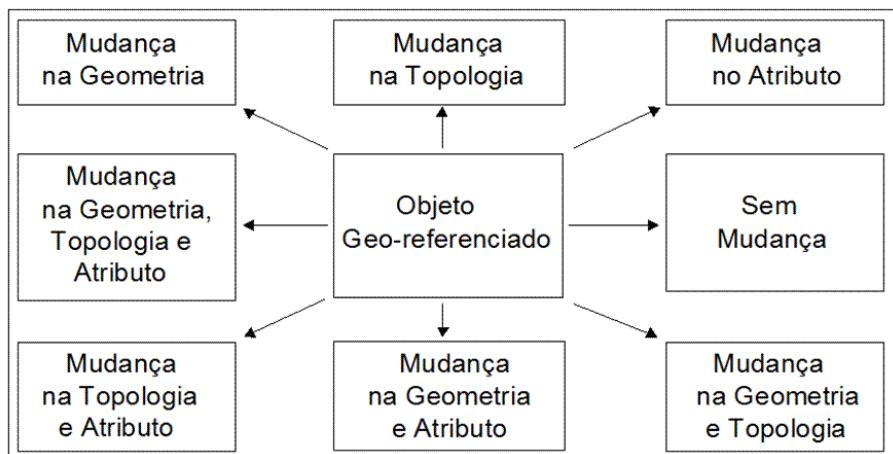


Figura 02 : Oito possíveis mudanças espaço-temporais de um objeto geográfico (modificado de Sinton, 1978).

Goodchild et al. (2007) argumentam que a dinâmica do comportamento de objetos pode ser capturada em três dimensões fundamentais, caracterizadas como estrutura interna, geometria e movimento.

Na dimensão relacionada à geometria do objeto, distingue-se entre objetos que permanecem com a mesma forma e objetos que mudam de forma ao longo do tempo. Na dimensão relacionada à estrutura

interna do objeto, distingue-se entre objetos que são homogêneos e objetos que tem variação interna. Na dimensão relacionada ao movimento, distingue-se entre objetos que se movem e aqueles que permanecem fixos em um local ao longo do tempo.

Com relação aos tipos de dados, tendo por base as características espaciais, semânticas e temporais, Price et al. (1999) definem cinco tipos diferentes de dados para aplicações espaço-temporais: dados espaciais, dados temporais, dados espaço-temporais, dados semânticos e dados compostos (quadro 01).

Quadro 01: Tipos de dados para aplicações espaço-temporais.

Tipo de dado	Característica
Dados espaciais	Possuem somente domínio espacial
Dados temporais	Possuem somente domínio temporal
Dados espaço-temporais	Dados espaciais que se alteram com o tempo
Dados semânticos	Podem ter variações em consequência de mudanças puramente espaciais, temporais ou espaço-temporais
Dados compostos	Constituídos por associação de dados e cujos componentes podem mudar com o tempo ou espacialmente

4 Funções de aplicações com características espaço-temporais

Um SIG com características temporais tem como objetivo processar, gerenciar e analisar dados espaço-temporais (YUAN, 1996b). Uma importante questão a ser considerada na construção de um SIG com características temporais são as funções a que esse SIG deve atender.

De acordo com Langran (1992), as funções de um SIG temporal são inventário, análise, atualização, controle de qualidade, visualização e agendamento (que é opcional). O quadro 02 apresenta essas funções.

Quadro 02 – Principais funções de um SIG temporal.

Função	Descrição
Inventário	Armazena uma descrição completa da área de estudo e considera as mudanças no mundo físico e no meio computacional.
Análise	Explica, explora ou prevê os componentes e os processos atuando em uma determinada área.
Atualização	Atualiza informação desatualizada por informação corrente.
Controle de qualidade	Avalia onde novos dados apresentam inconsistência lógica, de acordo com versões e estados prévios.
Agendamento	Identifica ou antecipa estados limiares do banco de dados que ativam respostas pré-definidas do sistema.
Visualização	Gera um mapa estático ou dinâmico, ou uma tabela, de processos temporais atuantes em uma determinada área.

4.1 Suporte a consultas

Segundo Yuan e McIntosh (2002), o suporte a consultas é uma das funções mais importantes de um sistema de informação. A identificação dos tipos de consultas tem profunda implicação no projeto de um sistema de informação espaço-temporal e no processamento e mineração da informação espaço-temporal. As consultas refletem o tipo de informação que o usuário deseja obter. Um sistema de informação deve ter a habilidade de representar as entidades de interesse visando obter respostas acerca dessas entidades.

Yuan e McIntosh (2002) tomaram como base os trabalhos de Langran (1992), Peuquet (1994), Yuan (1996) e Yuan (1999) para propor uma tipologia de consultas espaço-temporais (quadro 03) de acordo com os elementos de informação, buscando suporte ao processamento automático de consultas.

Quadro 03: Tipologia das consultas espaço-temporais

Tipo de consulta		Definição	Exemplo
Atributo		Tem como base informação própria sobre um objeto identificado ou uma localização em um campo. Em muitos casos, tais consultas podem ser respondidas mediante a recuperação de dados gravados que cumprem certo conjunto de critérios. Frequentemente envolvem operação booleana.	Que país tem densidade populacional maior do que 500 habitantes por km ² ? Que medidor de vazão tem um período de registro de dados maior do que 5 anos?
Espacial	Simples	Tenta recuperar entidades espaciais sujeitas a critérios definidos. Usualmente não envolve computação geométrica, já que a seleção é feita por recuperação de dados gravados que satisfazem um dado conjunto de critérios.	Onde estão os medidores administrados pelo USGS? Onde o solo é arenoso?
	Série espacial	Busca informação sobre atributos ou entidades dentro de uma área específica. A área pode ser definida por entidades geográficas com limites determinados, ou pela proximidade a uma entidade geográfica. A consulta de série espacial requer computação geométrica através de sobreposição espacial para selecionar objetos espaciais que se posicionam dentro de uma área definida. É uma das mais populares consultas em SIG para análise exploratória e planejamento.	Quais tipos de uso e cobertura do solo existem nesta bacia hidrográfica e qual é a área de cada tipo existente? Qual é a temperatura média anual no estado do Rio Grande do Sul?
	Relacionamento espacial	Investiga como objetos e fenômenos se relacionam no espaço. Os relacionamentos espaciais podem ser classificados de acordo com a proximidade e a topologia. Consultas de proximidade espacial podem ser manipuladas como consulta de série espacial quando a proximidade definida é usada para fixar uma série espacial (usualmente construindo buffers em volta de um objeto específico).	Quais estradas cruzam a ferrovia? Quantas casas estão localizadas a jusante deste rio? Qual é o caminho mais curto (em distância ou tempo) do local A para o local B?
Temporal -considerando o tempo linear e tempo de validade	Simples	Busca informação sobre o estado de uma entidade em um dado momento (um instantâneo). Distintamente da consulta a atributos, a consulta temporal simples pode ou não ter registros correspondentes ao momento investigado.	Quando ocorreu a pior tempestade neste mês? Quem foi o proprietário desta casa em 1995?
	Série temporal	Questiona sobre o que acontece a uma entidade ao longo de um determinado período de tempo. A consulta de série temporal busca informação sobre o desenvolvimento (ou o não desenvolvimento) de um dado fenômeno no espaço durante um período de tempo específico.	Quão rápido esta tempestade se moveu na última hora? Quantas vezes este lote mudou de proprietário desde 1950?

	Relacionamento temporal	Questiona sobre como múltiplas entidades se relacionam no tempo. Relacionamentos temporais consistem de proximidade temporal e topologia temporal. Proximidade temporal considera entidades que ocorrem dentro de um período de tempo com relação ao evento em questão. A topologia temporal pode ter como base pontos no tempo ou intervalos de tempo.	Quantos deslizamentos de terra ocorreram em uma semana de ocorrência de tempestade na última estação chuvosa?
Espaço-temporal	Simples	Questiona onde os objetos de interesse existem em um dado momento, quando os objetos de interesse existem em um dado local, ou quando existem em um dado local em um dado momento. Esta consulta pode envolver somente dados consultados diretamente através de seleção e operações booleanas.	Onde João estava em 1997? Quando estas dunas de areia se estenderam em 100m a partir da linha costeira?
	Série espaço-temporal	Questiona sobre o que acontece a uma região ao longo de um período de tempo. Mudanças somente podem ocorrer a partes do fenômeno em questão ou causar diferenças fundamentais nas propriedades da entidade.	Que partes de uma área rural em 1/1/1980 mudaram para área residencial em 31/12/1989 em São Paulo? Onde houve mudança na vegetação nesta bacia hidrográfica entre 1/1/1980 e 31/12/1989?
	Comportamento espaço-temporal	Busca informação sobre mudança em objetos, fenômenos, eventos ou processos no espaço e no tempo, incluindo localização, tamanho, forma, partes espaciais, frequência de ocorrência, padrões de movimento e distribuição de intensidade. O foco aqui é o exame de atributos de entidades espaço-temporais de um determinado tipo e como estas propriedades se modificam a partir do exame da percepção dos mecanismos que são responsáveis pela mudança. Mudanças em padrões de distribuição e estruturas no espaço e tempo são também de interesse.	Quanto a precipitação e a temperatura variaram ao longo do curso desta tempestade? Onde estão as áreas em que houve aumento na probabilidade de enchentes nos últimos 10 anos?
	Relacionamento espaço-temporal	Questiona sobre como entidades de diferentes tipos se relacionam umas com as outras no espaço e no tempo. Teoricamente, relacionamentos espaço-temporais podem ser examinados de duas perspectivas: (1) mudanças em relacionamentos espaciais ao longo do tempo, e (2) mudanças em relacionamentos temporais sobre o espaço. A consulta de relacionamento espaço-temporal busca a informação que é central para o entendimento de eventos e processos e como eles interagem na dinâmica do mundo real.	Onde e quando é provável ocorrer a precipitação de máxima intensidade durante o desenvolvimento de uma tempestade? Onde e quando inundações alcançarão a área residencial a jusante, de acordo com a propagação desta tempestade?

5 Conclusões

Incorporar o elemento temporal em SIG tradicional é um desafio que tem sido pesquisado por muitos anos e que apresenta diversas propostas de solução. Em aplicações avançadas, é necessária uma integração consistente do espaço e do tempo. Entretanto, como argumenta Yuan (2010), a incorporação da componente temporal em uma representação espacial não é uma tarefa trivial, pois tempo e espaço possuem propriedades distintas. Nesse contexto, o desenvolvimento de SIG com características temporais requer o conhecimento de algumas questões básicas, que foram abordadas no presente estudo: a) as estruturas temporais e tipos de tempo em bancos de dados; b) a semântica dos dados espaço-temporais; e c) as funções de um SIG com características espaço-temporais.

Problemas encontrados em SIG devido ao fato de ser uma tecnologia que tem como base o computador para manipular e analisar dados geográficos têm conduzido ao aumento da relevância de questões relacionadas à representação geográfica, tanto de uma perspectiva cognitiva quanto de uma perspectiva das ciências naturais (PEUQUET, 2002). Do ponto de vista cognitivo, as questões dizem respeito à representação dos dados geográficos em bancos de dados e à visualização gráfica desses dados de uma maneira mais intuitiva aos usuários. Do ponto de vista da análise científica, a questão é: como proporcionar técnicas de representação coerentes e consistentes que preservem o conteúdo da informação relativa aos dados e que também possam ser usadas em uma ampla variedade de contextos analíticos e de modelagem? Parte dessa questão envolve a representação espaço-temporal.

Worboys (2005) argumenta que o desenvolvimento de SIGs espaço-temporais ainda tem um longo caminho a ser trilhado, e que a próxima etapa na modelagem computacional de fenômenos geográficos será a mudança de uma visão orientada a objetos para uma visão orientada a eventos. Uma abordagem completamente orientada a eventos deverá permitir uma evolução de simples consultas relacionadas a um instante no tempo (por exemplo, “o que aconteceu neste local neste momento?”) para uma linguagem muito mais rica envolvendo a interação entre objetos e eventos e relacionamentos entre eventos.

6 Referências Bibliográficas

- Ahola, T.; Virrantaus, K.; Krisp, J. M.; Hunter, G. J.** A Spatio-temporal population model to support risk assessment and damage analysis for decision-making. *International journal of geographical information science*, vol 21, n. 8, 2007. 935-953.
- Camossi, E.; Bertolotto, M.; Bertino, E.** A multigranular object-oriented framework supporting spatio-temporal granularity conversions. *International Journal of Geographical Information Science*, v. 20, n. 8, p. 511-534, 2006.
- Couclelis, H.** Space, time, geography. In: LONGLEY, P. A. et al. (Ed.). *Geographical information systems: principles, techniques, management, and applications*. New Jersey: Sons, John Wiley & Sons, 2005. p. 29-38.
- Dias, T. D. L.; Davis Jr., C. A.; Camara, G.** Modelos espaço-temporais. In: M. CASANOVA, G. CAMARA, C. DAVIS JR, L. VINHAS, & G. R. DE QUEIROZ (Eds.). Curitiba: Mundogeo, 2005
- Edelweiss, N.; Oliveira, J. P.** Modelagem de aspectos temporais de sistemas de informação. Recife: UFPPE-DI, 1994.
- Goodchild, M. F.; Yuan, M.; Cova, T. J.** Towards a general theory of geographic representation in GIS. *International journal of geographical information science*, vol. 21, n. 3, 2007. 239–260.
- Langran, G.** Time in geographic information systems: TAYLOR & FRANCIS, 1992.
- McMaster, R. B.; Usery, E. I.** A research agenda for geographic information science. Boca Raton, FL: CRC Press, 2004.
- Peerbocus, M. A.; Medeiros, C. B.; Jomier, G.; Voisard, A.** A system for change documentation based on a spatiotemporal database. *GeoInformatica*, Vol. 8, n. 2, 2004. 173-204.
- Peuquet, D. J.** Representations of space and time. New York: Guilford, 2002.
- Peuquet, D. J.** Time in GIS and geographical databases. In: LONGLEY, P. A. et al. (Ed.). *Geographical information systems: principles, techniques, management, and applications*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005. p. 91-103.
- Price, R.; Srinivasan, B.; Ramamohanarao, K.** Extending the unified modeling language to support

- spatiotemporal applications. Proceedings of Asia technology of object oriented languages and systems. 1999. p. 163-174.
- Sinton, D.** The inherent structure of information as a constraint to analysis - mapped thematic data as a case study. *Harvard Papers on GIS*, 7, 1978.
- Snodgrass, R. T.** Temporal databases. *Theories and Methods of Spatio-Temporal Reasoning in Geographic Space*, Berlin, 1992. 22-64.
- Vasiliev, I. R.** Mapping time. *Cartographica*, Toronto, 1997. Vol. 34, n.2. 1-51.
- Worboys, M. F.** A unified model for spatial and temporal information. *The computer journal*, Vol. 37, n. 1, 1994. 26-34.
- Worboys, M. F.** Relational databases and beyond. In: LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. *Geographical information systems - Principles, techniques, management and applications*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005. p. 163-174.
- Worboys, M. F.; Hornsby, K.** From objects to events: GEM, the geospatial event model. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON GISCIENCE*, 3., Proceedings... Heidelberg-Berlin: Springer-Verlag, 2004. v. 3234, p. 327-343.
- Yuan, M.** GIS and spatio-temporal modeling. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTEGRATING GIS AND ENVIRONMENTAL MODELING*, 3., Santa Fé. Proceedings... Santa Fé, New México, USA: NGCIA. 1996a.
- Yuan, M.** Use of a three-domain representation to enhance GIS support for complex spatiotemporal queries. *Transactions in GIS*, v. 3, n. 2, p. 137-159, 1999.
- Yuan, M.; Mark, D. M.; Egenhofer, M.; Peuquet, D.** Extensions to Geographic Representation. In: **Mcmaster, R.; Usery, L.** *A research agenda for geographic information science*. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2004. cap. 5. p. 129-156.
- Yuan, M.** Temporal GIS and Applications. In: SHEKHAR, S.; XIONG, H. *Encyclopedia of geographic information science*. Berlin: Springer-Verlag, 2008.
- Yuan, M.** Geographic Data Structures. In: *Manual of geospatial science and technology*. BOSSLER, J. (editor). New York: CRC Press, 2010.
- Yuan, M.; McIntosh, J.** A typology of spatiotemporal information queries. In: YUAN, M.; MCINTOSH, J. *Mining spatiotemporal information systems*. SHAW K.; LADNER, R.; ABDELGUERFI (eds.) Kluwer academic publisher. p. 68-82. 2002.