

# LINGUAGENS DE CONSULTA ESPAÇO-TEMPORAIS

Olga R. F. Oliveira	Gilberto Câmara	Antônio M. V. Monteiro
<i>Divisão de Processamento de Imagens - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)</i>	<i>Divisão de Processamento de Imagens - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)</i>	<i>Divisão de Processamento de Imagens - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)</i>
<i>São José dos Campos – SP - Brazil</i>	<i>São José dos Campos – SP - Brazil</i>	<i>São José dos Campos – SP - Brazil</i>
<i>olga@dpi.inpe.br</i>	<i>gilberto@dpi.inpe.br</i>	<i>miguel@dpi.inpe.br</i>

## Resumo

*O ambiente geográfico atual impõe a necessidade de trabalhar com dados que combinem espaço e tempo. Neste artigo apresentamos um estudo da inclusão da dimensão temporal em bancos de dados geográficos. Para isso propomos uma tipologia para dados espaço-temporais, revemos algumas linguagens de consulta, discutimos a linguagem TerraMAP e mostramos os desafios de trabalhar com dados espaço-temporais nesse contexto.*

**Palavras-chave:** *linguagens de consulta, banco de dados geográficos, dados espaço-temporais*

## 1. Introdução

Grande parte das linguagens de consulta disponíveis em de sistemas gerenciadores de banco de dados (SGBDs) [11] não é capaz de manipular adequadamente tipos específicos de dados utilizados no contexto de geoinformação (dados espaciais, temporais e espaço-temporais[22]). Existe então a necessidade de desenvolver linguagens de consulta espaciais que manipulem e consultem esses dados conhecidos por não convencionais.

Como resposta parcial a esse desafio, a equipe do INPE vem desenvolvendo um linguagem para álgebra de mapas denominada TerraMAP [18]. Em sua formulação inicial, a TerraMAP é uma linguagem de manipulação de dados espaciais. Em médio prazo nosso trabalho consiste em estendê-la para suportar a dimensão temporal e manipular dados espaço-temporais.

Para caracterizarmos as consultas e operações sobre esses dados é importante distinguirmos os diferentes tipos existentes nesse contexto. Para isso propomos uma tipologia para caracterizar os distintos tipos de dados espaço-temporais e separamos as características de cada um, formalizando o problema que pretendemos atacar e contribuindo para as pesquisas nessa área.

Assim, a motivação principal desse trabalho é estudar a inclusão da dimensão temporal em bancos de dados geográficos. Para isso, propomos uma tipologia para dados espaço-temporais, fazemos uma revisão de algumas linguagens de consulta, discutimos a linguagem TerraMAP e os desafios espaço-temporais que esperamos que ela possa responder.

Esperamos com esse trabalho contribuir para a evolução da TerraMAP e para o desenvolvimento de uma linguagem mais robusta, completa e simples que incorpore a dimensão espaço-tempo na sua definição.

## 2. Espaço e tempo

A dimensão espaço é comumente tratada por banco de dados geográficos e as consultas sobre esses dados espaciais se baseiam principalmente em relacionamentos métricos, direcionais e topológicos.

Os relacionamentos direcionais e métricos se baseiam principalmente no trabalho de Papadias e Egenhofer [19]. Os direcionais são aqueles que expressam noções de direção, como *acima* e *ao norte*. Já os relacionamentos métricos expressam uma noção métrica, por exemplo, retornar a distância entre duas geometrias. Os relacionamentos topológicos se baseiam principalmente nas matrizes de intersecções ([9,

10]) e caracterizam relacionamentos que não são alterados por transformações topológicas, como translação, rotação e mudança de escala. Exemplos desses relacionamentos são: *contém*, *disjunto* e *intercepta*.

Analisando a representação de dados temporais devemos estar atentos ao fato de que os SGBDs podem permitir a modelagem de conceitos distintos de tempo que dependem da granularidade, da ordem (indica a fluidez do tempo e pode ser representada como *linear*, *ramificada* ou *cíclica*) e da variação do tempo (*tempo de validade* e *tempo de transação*). A Figura 1 ilustra esses tipos de estruturas temporais.

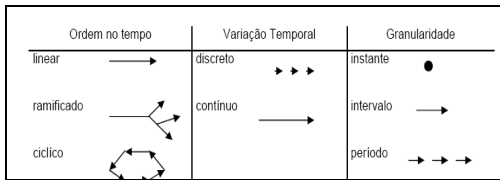


Figura 1 – Estruturas temporais (Fonte: adaptada de [25])

A dimensão tempo possui como característica a utilização de relacionamentos temporais cujos relacionamentos básicos[3] para intervalos (Figura 2) são: *antes*, *toca*, *durante*, *termina*, *igual*, *sobrepo*e e *inicia*.

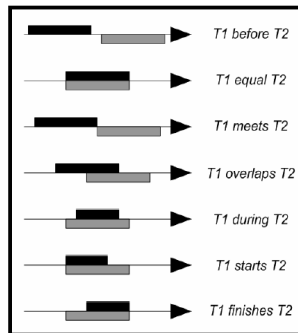


Figura 2 – Predicados temporais de intervalos (Fonte: adaptado de [3])

Quando SIGs e SGBDs tentam inserir e associar a dimensão tempo aos seus contextos espaciais surgem questões e desafios cada vez mais difíceis de serem modelados e respondidos. Diversos fatores contribuem para tornar esse estudo complexo como o dinamismo dos dados, a capacidade de representação do mundo de cada sistema, o comportamento dos objetos ao longo do tempo, a interpretação da variação do tempo e a natureza das mudanças. Esses são problemas atualmente em estudo e maiores detalhes podem ser encontrados em [6] e [20].

### 3. Tipos de dados espaço-temporais

Para definir consultas e operações que caracterizam dados espaço-temporais é importante distinguirmos os diferentes tipos de dados existentes nesse contexto. Para alcançarmos esse objetivo propomos uma nova classificação para os tipos de dados espaço-temporais cujas propriedades observadas são:

- *Geometria*: considera o formato geográfico que pode ser ponto, polígono ou célula.
- *Localização*: determina a posição no espaço que o objeto pode ocupar. Nesse caso classificamos em fixa ou variável.
- *Movimento*: determina o modo como as diferentes posições no espaço são ocupadas por um objeto. Nesse caso, classificamos em:
  - *Pré-determinado*: as posições são previamente acordados em uma convenção.
  - *Previsível*: permite que sua posição futura seja prevista através de modelos matemáticos.
  - *Trajétória plana*: distintas posições ocupadas por um ponto durante seu deslocamento no espaço.
  - *Trajétória complexa*: distintas posições ocupadas por um objeto não pontual (polígono ou célula) durante seu deslocamento no espaço.
- *Genealogia*: considera o gerenciamento das distintas versões de um objeto, ou seja, o acompanhamento das modificações que ocorrem com a descendência do objeto. Maiores detalhes sobre genealogia de objetos podem ser encontrados em [6] e [14]. Aqui, consideramos duas formas de observação:
  - *Histórico de ações*: é importante manter os históricos das ações e mudanças que aconteceram.
  - *Modelo funcional*: utiliza funções matemáticas para modelar o problema e prever acontecimentos futuros.
- *Vida*: caracteriza todas as mudanças que ocorreram com um objeto específico durante sua existência. Classificamos como:
  - *Instantânea*: somente o momento específico é relevante.
  - *Longa*: considera tanto o momento específico, quanto os anteriores ou posteriores e tem uma duração definida.
  - *Permanente*: não são considerados os momentos de início ou fim, considera-se uma continuidade do tempo.

- *Evolução*: caracteriza as mudanças no formato (expansão, contração ou deformação) e nos atributos (conteúdo dos atributos, criação ou desativação) que ocorrem com o passar do tempo.

A Tabela 1 apresenta um a nossa proposta de caracterização dos tipos de dados espaço-temporais em cinco tipos: *eventos*, *fenômenos sociais e econômicos*, *fenômenos contínuos*, *pontos móveis* e *regiões móveis*. Cada um desses tipos e suas principais características são mostrados com mais detalhes nas próximas seções.

### 3.1 Eventos

Um evento pode ser definido como uma ocorrência singular no tempo e no espaço. Ele não tem duração e representa um momento específico. Um exemplo de evento é a descoberta de um foco de incêndio. Uma questão típica seria “*Quantas ocorrências de descoberta de focos de incêndio aconteceram na região do Pará no mês de setembro de 2005?*”.

### 3.2 Fenômenos sócio-econômicos

Está associado a partições do espaço definidas por convenções legais e institucionais. Como exemplo, podemos citar a definição de uma reserva indígena. Uma questão típica do tipo fenômeno sócio-econômico é “*Quais foram as distintas configurações espaciais da reserva*

*indígena “Kayapo” desde o ano de 1970?*”.

### 3.3 Fenômenos contínuos

Está associado a partições fixas do espaço que possuem um movimento contínuo intrínseco que pode ser modelado matematicamente possibilitando até previsões futuras. Um exemplo são os modelos hidrológicos.

Uma questão típica do tipo fenômeno contínuo é “*Qual será a distribuição de água na bacia do “Amazonas” daqui a 6 meses?*”.

### 3.4 Pontos Móveis

É caracterizado por poder se mover continuamente ao longo do tempo. Alguns exemplos de aplicações dessa área envolvem soluções em tempo real ou que requerem previsão do futuro, como o monitoramento do tráfego. Uma questão típica do tipo objeto móvel pontual é “*Quais os trajetos dos barcos que partiram da “sede do Ibama” em abril?*”.

### 3.5 Regiões móveis

Distingue-se dos pontos móveis porque possuem extensão. Suas características são semelhantes, porém bem mais complexas por estarmos tratando com objetos extensos. Alguns exemplos são o monitoramento de áreas desmatadas ou de tempestades. Uma questão típica do tipo objeto móvel complexo é “*Quais cidades foram atingidas pela tempestade que ocorreu no dia 15 de setembro de 2005?*”.

Tabela 1 – Abstrações de tipos de dados espaço-temporais.

<i>Classificação x Propriedade</i>	<i>Eventos</i>	<i>Fenômenos Sociais e Econômicos</i>	<i>Fenômenos Contínuos</i>	<i>Pontos Móveis</i>	<i>Regiões Móveis</i>
<i>Geometria</i>	Ponto	Polígono	Célula, Polígono	Ponto	Célula, Polígono
<i>Localização</i>	Fixa	Variável	Fixa	Variável	Variável
<i>Movimento</i>	-	Pré-determinado	Previsível	Trajетórias planas	Trajетórias Complexas
<i>Vida</i>	Instantânea	Longa	Permanente	Longa	Longa
<i>Genealogia</i>	-	Histórico de ações	Modelo funcional	-	-
<i>Evolução</i>	Atributos	Formato e Atributos	Atributos	Atributos	Formato e Atributos
<i>Exemplo</i>	Morte	Loteamento de uma reserva	Modelo hidrológico	Automóveis do IBAMA	Tempestades

## 4. Linguagens de consulta para dados geográficos

Uma abordagem para tratar consultas a dados geográficos é a utilização de linguagens de consulta derivadas da linguagem SQL. Exemplos de linguagens desenvolvidas são SQL/MM[15], SF-SQL[17] e Spatial SQL[8] que fazem extensões espaciais da SQL [1, 2] para ter acesso aos atributos geográficos dos dados. Outros exemplos são as linguagens TSQL2 [23] e SQL<sup>ST</sup>[7] que buscam incorporar a dimensão temporal e a espacial.

Outra abordagem, mostrada na Seção 5, pode ser vista em Map [24] e LEGAL [4] e cria extensões e modificações baseadas nas operações locais, focais e zonais existentes na álgebra de mapas de Tomlin [24]. A Figura 3 ilustra essas operações, onde:

- Operações Locais: operam sobre valores de localizações correspondentes em layers (camadas de informação) distintos.
- Operações Focais ou de Vizinhança: operam sobre valores de localizações vizinhas no mesmo layer.
- Operações Zonais: operam sobre valores de localizações de um layer contidas em uma zona definida em outro layer.

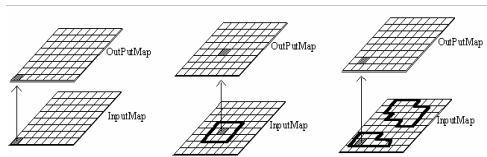


Figura 3 - Ilustração de operações locais, focais e zonais. (Fonte: adaptada de [24])

### 4.1 Linguagens de consulta para objetos móveis

Objetos Móveis representam uma área de pesquisa importante e atual dentro em banco de dados espaciais[21]. O maior desafio nessa área é que nem os bancos de dados, nem as modelagens e nem as linguagens disponíveis estão preparados para trabalhar com eles.

Uma álgebra para objetos móveis é apresentada em [13] e foi implementada no ambiente SECONDO [12], um SGBD extensível e modular. É um ambiente rico e que permite que possam ser testados e desenvolvidos novos tipos de dados e suas operações.

Um dos ramos atualmente em desenvolvimento dentro desse ambiente é como manipular operações como crescimentos e trajetórias de regiões, tarefas atualmente necessárias e não triviais.

## 5. Álgebra de mapas

*Álgebra de mapas* é o termo utilizado para descrever um sistema algébrico para realizar operações em dados armazenados em um SIG (Figura 4). A principal contribuição para álgebra de mapas é apresentada em [24] onde Tomlin define uma linguagem para álgebra que mapas, a MAP.

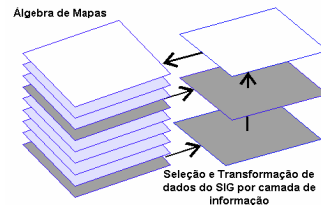


Figura 4 – Ilustração de uma operação de Álgebra de Mapas. (Fonte: adaptada de [18])

Essa álgebra de mapas é de extrema importância para dados geográficos por fornecer uma formalização inicial para trabalhar com esses dados. Porém a necessidade de lidar com dados espaço-temporais faz com que precisemos dar um passo adiante das álgebras de mapas existentes.

### 5.1 TerraMAP

TerraMAP pode ser definida como uma linguagem para álgebra de mapas baseada em predicados semânticos. É uma linguagem para banco de dados espaciais associada à biblioteca TerraLib [5]. Está sendo desenvolvida [18] para estender a álgebra de mapas de Tomlin incorporando as necessidades atuais das consultas a dados geográficos e da nova geração de SIGs

Algumas de suas principais características são:

- suporte a banco de dados objeto-relacionais.
- extensibilidade dos tipos de dados.
- independência de representação (matricial, vetorial e celular).
- possibilidade de definir funções e utilizar operadores e condições lógicas, inclusive em aninhamentos,
- alto nível de abstração para o usuário.
- utilização de predicados semânticos para definir as operações.
- compatível para ser implementada em banco de dados espaciais similares ao ambientes propostos pelo OGC [16].

O principal objetivo da linguagem TerraMAP é “permitir ao usuário modelar o maior número de diferentes problemas e obter o maior número de novas informações a partir de um conjunto de dados existente de uma maneira mais simples”. Para isso adaptamos a álgebra de mapas de

Tomlin para o ambiente de banco de dados espaciais, mantendo a linguagem o mais simples possível, com o mínimo de tipos de dados e um conjunto geral de operações.

Assim podemos fornecer aos usuários uma linguagem para trabalhar com dados geográficos independente de representação e mais amigável, e, preparar um ferramental poderoso para gerarmos uma linguagem para tratar dados espaço-temporais.

## 6. Considerações Finais

O ambiente geográfico atual impõe a necessidade de trabalhar com dados que combinem espaço e tempo e apresenta dificuldades e desafios de manipulação e tratamento desses dados.

Como resposta parcial a esse desafio a equipe do INPE vem desenvolvendo um linguagem para *álgebra de mapas* (TerraMAP) cuja formulação inicial permite a manipulação de dados espaciais. Sabendo da necessidade de estender a TerraMAP para tratar dados espaço-temporais, fizemos uma revisão bibliográfica e a análise de componentes necessários para a proposta de uma linguagem de que trate esses dados.

A contribuição atual desse trabalho é a apresentação de uma nova tipologia para caracterizar tipos de dados espaço-temporais de forma consistente. Buscamos também aumentar o conhecimento da área na tentativa de entender as propriedades da dimensão temporal em bancos de dados geográficos. Acreditamos que essas informações, em um futuro próximo nos auxiliarão na construção das respostas efetivas à manipulação de dados espaço-temporais em bancos de dados geográficos.

## 7. Referências bibliográficas

- [1] X3.135-1986 *Database Language SQL*. American National Standards Institute, Washington, D.C., 1986.
- [2] X3H2-91-183 *Database Language SQL2/SQL3*. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1991.
- [3] Allen, J.F., "Maintaining Knowledge about Temporal Intervals", *Communications of the ACM*, 26 1983 832-843.
- [4] Câmara, G., Casanova, M.A., Freitas, U.M.d., Cardeiro, J.P.C., Hara, L. *A presentation language for GIS cadastral data*. In: Pissinou, N. (ed.): Fourth ACM workshop on Advances in geographic information systems - ACM GIS. ACM Press, Washington, D.C., 1996. 139 - 146.
- [5] Câmara, G., Souza, R., Pedrosa, B., Vinhas, L., Monteiro, A.M., Paiva, J., Carvalho, M.T., Gattass, M. *TerraLib: Technology in Support of GIS Innovation*. In: II Brazilian Symposium on Geoinformatics, GeoInfo2000. São Paulo, 2000.
- [6] Casanova, M., Camara, G., Davis, C., Vinhas, L., Queiroz, G. (ed.): *Bancos de Dados Geograficos (Spatial Databases)*. Editora MundoGEO, Curitiba, 2005.
- [7] Chen, C.X.a.Z., Carlo. *SQL<sup>ST</sup>: A Spatio-Temporal Data Model and Query Langu.* In: ER 2000 - International Conference on Conceptual Modeling. 2000. 96-111.
- [8] Egenhofer, M., "Spatial SQL: A Query and Presentation Language", *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 6 1994 86-95.
- [9] Egenhofer, M., Herring, J. *Categorizing Binary Topological Relationships Between Regions, Lines, and Points in Geographic Databases*. Department of Surveying Engineering, University of Maine, Orono, ME, 1991.
- [10] Egenhofer, M., P. Di Felice, Clementini, E., "Topological Relations between Regions with Holes", *International Journal of Geographical Information Systems*, 8 1994 129-144.
- [11] Elmasri, R.a.N., Shamkant B. *Fundamentals of Database Systems*. Addison-Wesley Longman, 2000.
- [12] Güting, R.H., Behr, T., Almeida, V.T.d., Ding, Z., Hoffmann, F., Spiekermann, M. *SECONDO: An Extensible DBMS Architecture and Prototype*. 313, Fernuniversität Hagen, 2004.
- [13] Güting, R.H., Bohlen, M.H., Erwig, M., Jensen, C.S., Lorentzos, N., Nardelli, E., Schneider, M., Viqueira, J.R.R. *Spatio-temporal Models and Languages: An Approach Based on Data Types*. In: Koubarakis, M.(ed.): *Spatio-Temporal Databases*. Springer, Berlin 2003.
- [14] Hornsby, K., Egenhofer, M., "Identity-Based Change: A Foundation for Spatio-Temporal Knowledge Representation", *International Journal of Geographical Information Science*, 14 2000 207-224.
- [15] Melton, J.S., A. *Advanced SQL 1999: Understanding Object-Relational, and Other Advanced Features*. Elsevier Science Inc., New York, NY, USA, 2002.
- [16] OGC (ed.): *The OpenGIS® Guide - Introduction to Interoperable Geoprocessing and the OpenGIS Specification*. Open GIS Consortium, Inc, Boston, 1996.
- [17] OGIS. *OpenGIS® simple features specification for SQL revision 1.1*. 1995.
- [18] Palomo, D.C., G.; Cartaxo, R. ; Oliveira, O.; Fonseca, F. *TerraMAP: A Generalized Map Algebra based on Semantic Predicates*. INPE, 2005.

- [19] Papadias, D., Egenhofer, M., "Hierarchical Spatial Reasoning about Direction Relations", *GeoInformatica*, 1 1997 251-273.
- [20] Pelekis, N.T., B. ; Kopanakis, I. ; Theodoridis, Y. , "Literature Review of Spatio-Temporal Database Models", *Knowledge Engineering Review*, To appear 2005.
- [21] Roddick, J.F.E., Max J.; Hoel, Erik; Papadias Dimitris; Salzberg Betty, "Spatial, Temporal and Spatiotemporal Databases Hot Issues and Directions for PhD Research", *SIGMOD'04, SIGMOD 2004*, 33 2004 126-131.
- [22] Schneider, M. *Spatial data types for database systems*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1997.
- [23] Snodgrass, R.T. *The TSQL2 Temporal Query Language*. Kluwer Academic Publishers, 1995.
- [24] Tomlin, C.D. *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1990.
- [25] Worboys, M. *A Generic Model for Spatio-Bitemporal Geographic Information*. In: Egenhofer, M.J.G., E. R. G. (ed.): *Spatial and Temporal Reasoning in Geographics Information Systems*. Oxford University Press, New York, 1998. 25-39.