

Tempo em BDG

Clodoveu Davis

Representações de Tempo

- Marcos da evolução da idéia de tempo ao longo da história da civilização
- Conceitualização atual (pós-Relatividade) sobre o tempo
- Alternativas de representação temporal
- Integração a SIG

Antiguidade

- O primeiro idioma humano a incorporar tempos verbais separados para passado, presente e futuro parece ter sido o grego arcaico

Antiguidade

- O desenvolvimento de sistemas de contagem e numeração contribuiu para facilitar a criação de calendários
- Percepção e registro de ciclos naturais

Antiguidade

- Calendários
 - Caldeus (Babilônia): sistema numérico sexagesimal
 - Divisão atual de horas e minutos em 60 partes
 - Egípcios: calendário anual baseado nas enchentes do Rio Nilo
 - 365 dias, 12 meses de 30 dias mais 5 dias
 - Calendário Sótico (de Sotis, a estrela Sirius de Canis Major) (2773 a. C.):
 - 365.25 dias, meses divididos em 3 decanos de 10 dias cada, e dias divididos em 12 horas de dia e 12 horas de noite, independentemente das estações do ano
 - Base do calendário Juliano, dos Romanos, e conseqüentemente do calendário Gregoriano, da Igreja Católica (1582)

Antiguidade

- Calendários

- Chineses

- Narrativas de eventos diários começaram em 2200 a.C.
 - Calendário baseado em observações astronômicas e solares em uso desde 1500 a.C.

- Maias

- Contagem de dias iniciada em 10 de agosto de 3113 a.C.
 - Calendário baseado em astronomia, mais preciso em 1 dia a cada 1000 anos que o calendário Gregoriano

- Babilônios

- Calendário lunar com 12 meses, e acréscimo de um 13º mês a cada 19 anos (o ciclo lunar é de 18.6 anos)
 - Divisão do céu noturno em 12 signos (Zodíaco), sendo cada signo dividido em 30 partes, daí a divisão do círculo em 360 graus

Antiguidade

- Gregos: fundações filosóficas da noção de tempo e espaço
 - Hesíodo: “Teogonia”
 - Evolução do mundo de “Caos” para “Chronos” (tempo ordenado) antes do aparecimento de “Gaia” (Terra)
 - “Caos” associado a um tempo linear de mais alta ordem, enquanto “Chronos” é associado ao tempo cíclico

Antiguidade

- Gregos (cont)
 - Heráclito (500 a.C.): mundo em constante mudança, tempo definido como sendo “a ordem das coisas”
 - “Não se pode entrar no mesmo rio duas vezes”
 - Tempo e espaço integrados
 - Pitágoras (600 a.C.): importância dos números e sua relação com a realidade espacial e temporal
 - Tempo e espaço distintos
 - Espaço representado por geometrias, cuja configuração pode ser dependente do tempo
 - Visão predominante, adotada por filósofos posteriores

Antiguidade

- Zenão (460 a.C.): formulação de cinco paradoxos envolvendo tempo, espaço e movimento
 - Paradoxo de Aquiles e a tartaruga
 - O corredor mais rápido não pode ultrapassar o mais lento, pois precisa antes alcançar a posição que o mais lento ocupava
 - Paradoxo da dicotomia
 - Antes de chegar ao fim do caminho, é necessário chegar à metade do caminho
 - Paradoxo da flecha
 - Em um único instante de tempo, uma flecha ocupa apenas o seu próprio lugar no espaço
 - Cálculo infinitesimal e séries infinitas

Antiguidade

- Gregos: conflito entre a noção de tempo contínuo ou discreto, e entre a noção de independência ou não entre tempo e espaço
 - Platão: espaço é feito de matéria reduzida de caos a ordem pela razão, e o tempo é uma característica do movimento do universo
 - Aristóteles: tempo não pode ser definido pelo movimento, pois o movimento é em parte definido pelo tempo; tempo é a ordem dos eventos

Renascimento

- Evolução tecnológica
 - 1300: relógios d'água (China e Europa)
 - Séc. XIV: relógios mecânicos (1350)
 - Só então foi adotado o dia solar de 24 horas em vez de dia e noite de 12 horas cada (1380)
 - Relógio de pêndulo: Huygens (1657)
 - Calendário Gregoriano (1582): correção de 10 dias de erros acumulados

Renascimento

- Avanços na astronomia e outras ciências
 - Copérnico: heliocentrismo (1514)
 - Kepler: leis do movimento planetário (1609)
 - Galileu: princípio da inércia, noção de espaço vazio (vácuo), invenção do telescópio e observações astronômicas (1609-1632)
 - Roemer: medição da velocidade da luz (1676)
 - Descartes: eixos perpendiculares (1644), posicionamento relativo entre objetos, distinção entre “eternidade” e “tempo” (como sentido da realidade objetiva)

Renascimento

- Avanços
 - Newton: leis do movimento (1687), noção de espaço absoluto, e noção de tempo absoluto, que flui independentemente de referências externas
 - Espaço absoluto: movimento resulta de uma interação entre a matéria e o espaço
 - Tempo absoluto: o universo tem um único “relógio” capaz de determinar se duas ocorrências são ou não simultâneas
 - Lagrange: princípios da mecânica (1788), tempo apresentado como quarta dimensão

Renascimento – Idade Moderna

- Navegações
 - Cálculo preciso da longitude, envolvendo tempo diferencial, e exigindo o desenvolvimento de cronômetros
 - Lei da Longitude (Inglaterra, 1714), oferece um prêmio em dinheiro para uma solução do problema da longitude
 - Adoção do tempo médio (*mean time*) ajustado ao movimento aparente do Sol ao longo do ano
 - Adotado entre 1780 e 1816 na Europa
 - Adoção de horários padrão nacionais
 - Inglaterra (1880), Alemanha (1891), EUA (time zones, 1883, legalizado apenas em 1918)

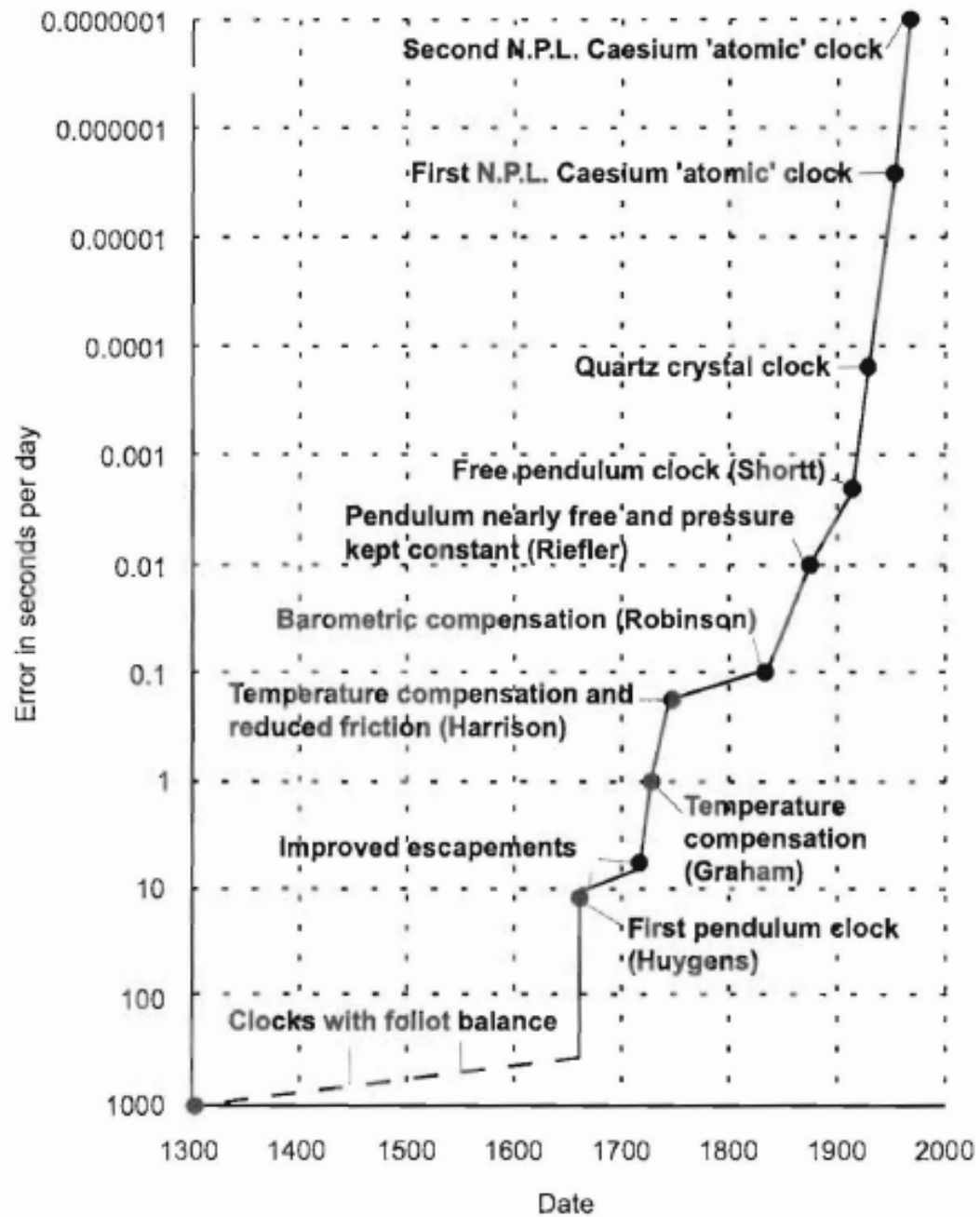


Figure 3.2 Improvements in timekeeping (from Whitrow 1988)

Era Moderna

- Século XX
 - Espaço e tempo vistos e estudados em domínios diferentes
 - Einstein: teoria da Relatividade (1905) exige a unificação dos conceitos de espaço e tempo
 - Revolução na física teórica e na cosmologia
 - Conflito com as noções Newtonianas
 - Pouca aplicabilidade prática

Ontologias SNAP e SPAN

- Proposta:
 - Grenon, P., Smith, B. SNAP and SPAN: Towards Dynamic Spatial Ontology. *Spatial Cognition and Computation* 4(1):69-104, 2004.

SNAP e SPAN

- Raciocínio básico
 - Acomodar duas visões diferentes e discrepantes da realidade:
 - Dicotomia/separação entre espaço e tempo:
 - realidade formada por entidades que têm existência contínua e capacidade de perdurar ao longo do tempo com a mesma natureza (*continuants*)
 - 3D + tempo
 - Visão unificada espaço-temporal:
 - Entidades 4D que se desenvolvem ao longo de um período de tempo, tais como processos, eventos, atividades, mudanças (*occurents*)
 - 4D

SNAP e SPAN

- Proposta SNAP / SPAN:
 - Continuants → ontologia SNAP
 - Occurrents → ontologia SPAN
 - Relacionamentos entre continuants e ocurrents: “trans-ontológicos”, conexões entre as duas ontologias

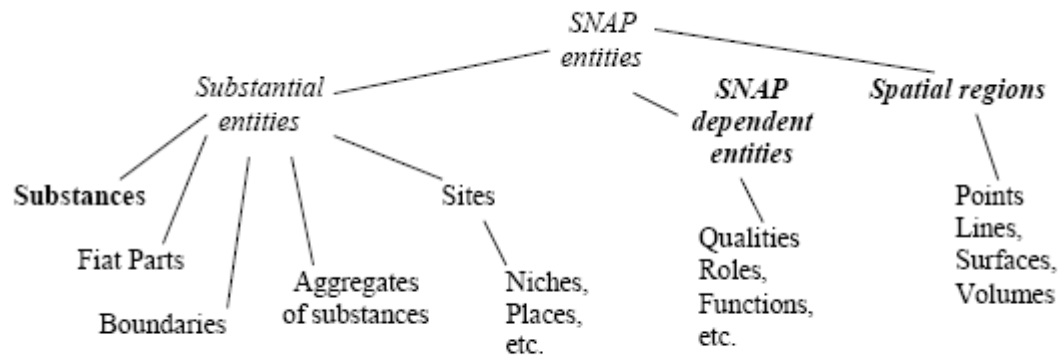


Figure 1. Taxonomy of SNAP entities.

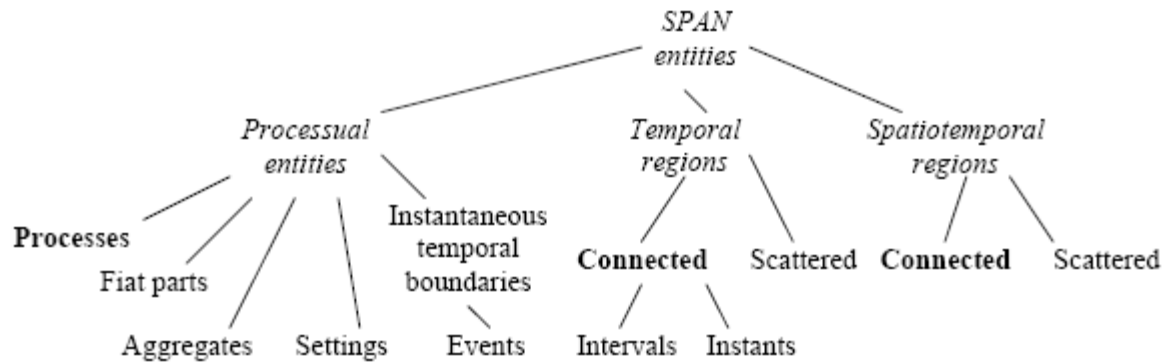


Figure 2. Taxonomy of SPAN entities.

Granularidade

- Granularidade
 - Níveis de detalhamento
 - Maneiras de fracionar a realidade em pedaços convenientes para estudá-la
 - Espacial: conexão com a resolução espacial, nível de detalhe nas representações
 - Temporal: escala de tempo adotada, menor intervalo relevante para o fenômeno

Entidades

- Tudo o que existe em uma ontologia é denominado *entidade*
 - Notação do paper:
 - $Entity(x) \rightarrow x$ existe no mundo espaço-temporal
 - $Constituent(x, a) \rightarrow x$ é parte da ontologia a
 - Axiomas
 - Entidades e ontologias são separados um do outro
 - Toda ontologia tem pelo menos um *constituent*
 - Qualquer entidade é *constituent* de alguma ontologia

Observação importante

- SNAP não é UMA ontologia, é um “TIPO” de ontologia
- SPAN não é UMA ontologia, é um “TIPO” de ontologia

- Cada ontologia SNAP é indexada (distinguida de outras ontologias) por
 - Um instante de tempo
 - Um domínio
 - Um nível de granularidade
 - Default: *tudo*, ou seja, todo o universo incluindo todas as suas partes, que existiram em algum instante de tempo
 - Exemplo: numa ontologia no domínio *zoologia*, com índice temporal *agora*, não existe nenhuma entidade *dinossauro*.

- Cada ontologia SPAN é indexada por:
 - Um intervalo de tempo
 - Um domínio
 - Um nível de granularidade
 - Default: toda a história do Universo

Taxonomias

- Classificação de “material universals”, ou elementos do mundo real
 - Organizada como uma árvore, com grau crescente de especificidade
 - Na terminologia OO, relações pai-filho em uma taxonomia são sempre disjuntas e totais
- Obs: partonomias = taxonomias todo-partes = mereologia

Mereologia

- Axiomas do relacionamento todo-partes

$$(A5) \quad \text{Part}(x, x)$$

$$(A6) \quad (\text{Part}(x, y) \wedge \text{Part}(y, z)) \rightarrow \text{Part}(x, z)$$

$$(A7) \quad (\text{Part}(x, y) \wedge \text{Part}(y, x)) \rightarrow x = y$$

- Definições

$$(D8) \quad \text{ProperPart}(x, y) \equiv_{\text{def}} \text{Part}(x, y) \wedge x \neq y$$

$$(D9) \quad \text{Overlap}(x, y) \equiv_{\text{def}} \exists z (\text{Part}(z, x) \wedge \text{Part}(z, y))$$

$$(D10) \quad \text{Sum}(z, x, y) \equiv_{\text{def}} \forall w ((\text{Overlap}(w, x) \vee \text{Overlap}(w, y)) \leftrightarrow \text{Overlap}(w, z)) \\ \wedge \forall z' \forall w (((\text{Overlap}(w, x) \vee \text{Overlap}(w, y)) \leftrightarrow \text{Overlap}(w, z')) \rightarrow z = z')$$

Modelos de tempo para BD/SI

- Tempo ordenado
- Tempo linear e tempo cíclico
- Tempo ordenado seqüencial e ramificado
- Tempo de validade e tempo de transação

Ordem

- Tempo consecutivo e linearmente ordenado, ramificado ou circular

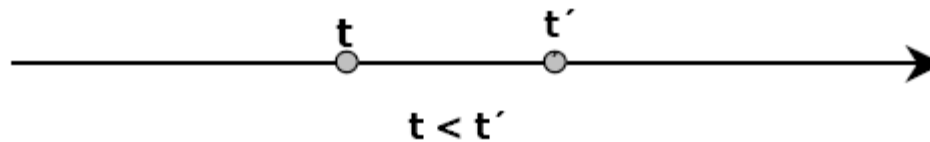
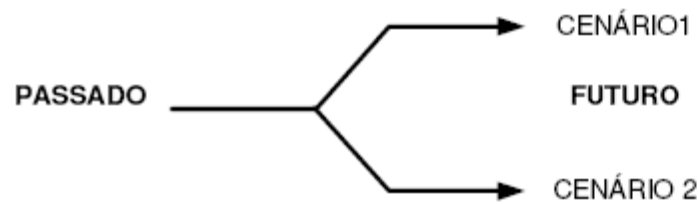


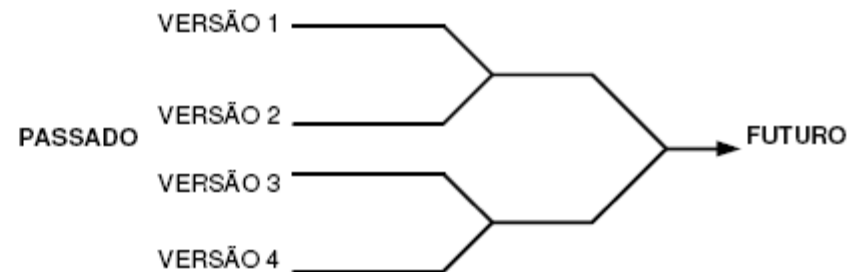
Figura 4.1 – Tempo consecutivo e linearmente ordenado .

Ordem

- Ramificado: possibilidade de existência de diferentes histórias futuras ou passadas



(a)



(b)

Figura 4.2 – Tempo ramificado (Fonte: adaptado de Worboys e Duckhan , 2004).

Ordem

- Tempo circular: fenômenos cíclicos

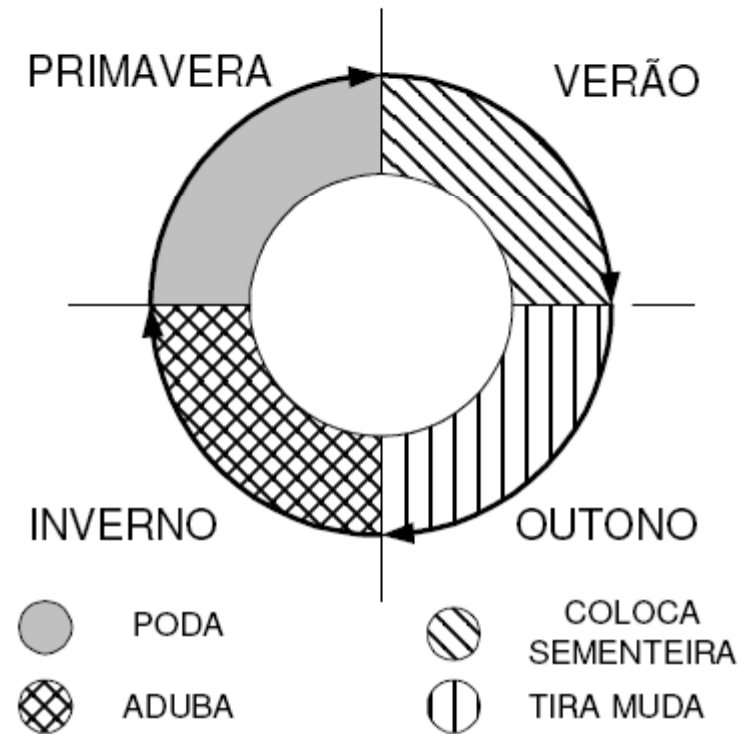


Figura 4.3 – Tempo circular.

Variação

- Tempo contínuo ou discreto
 - Embora o tempo seja contínuo por natureza, é necessário adotar uma representação computacional discreta
 - Noção de granularidade temporal; unidade: *chronon* (intervalo temporal que não pode ser decomposto)
 - Duração fixa ou variável

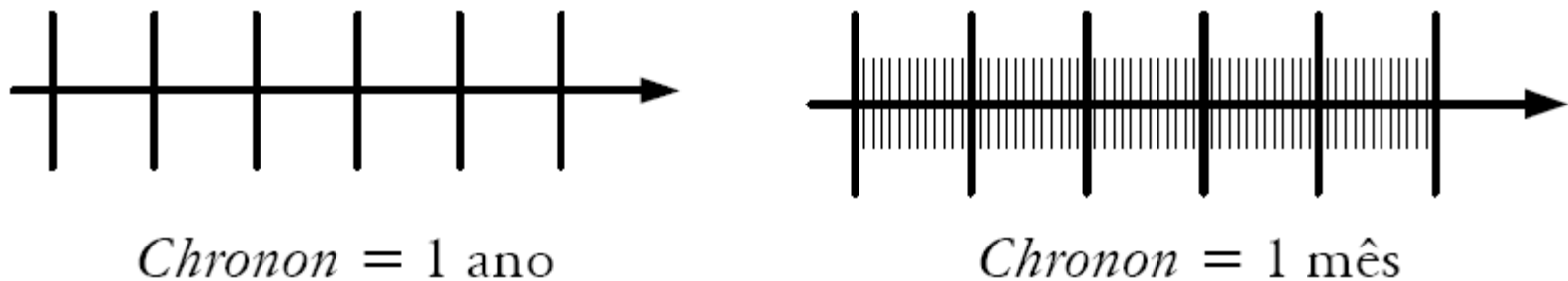


Figura 4.4 – Diferentes granularidades temporais.

Variação

- Eixo temporal: seqüência de pontos consecutivos com tempo de variação discreto, linear e finito
- Valores válidos: de acordo com 4 modelos

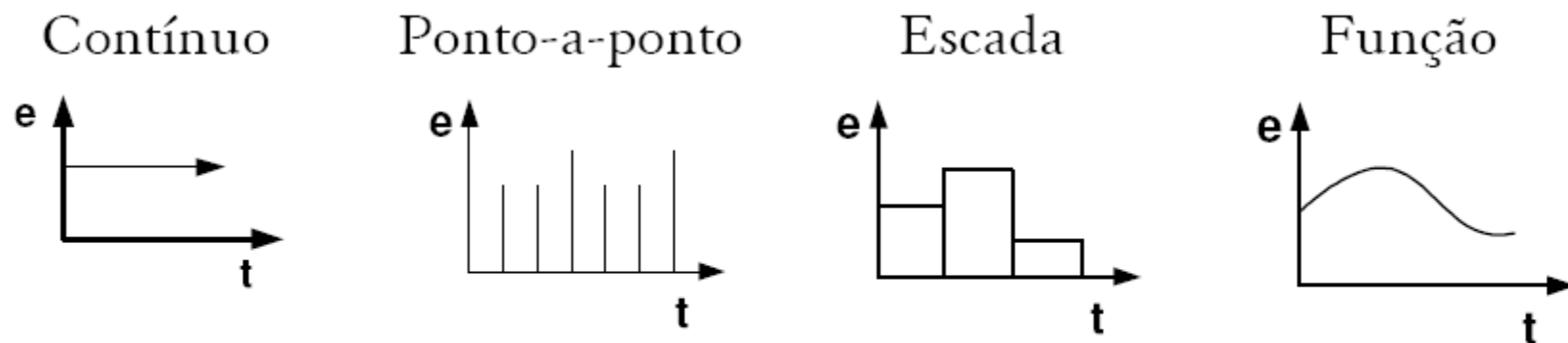


Figura 4.5 – Variação do tempo contínuo e discreto.

Granularidade

- Duração de um *chronon*
- Tem que ser adequada para a representação do fenômeno
- Primitivas de representação:
 - Instante
 - Contínuo: ponto no tempo com duração infinitesimal
 - Discreto: um *chronon* no eixo temporal
 - Intervalo
 - Subconjunto dos pontos no eixo temporal compreendidos entre dois pontos
 - Discreto: conjunto finito de chronons
 - Elemento temporal
 - União finita de intervalos de tempo

Granularidade

- Tempo absoluto e relativo
 - Absoluto: associado a um fato com granularidade definida
 - Relativo: se refere à validade de outro fato
- Definição explícita ou implícita
 - Explícita: timestamp
 - Implícita: lógica temporal

Dimensão temporal em BD e SI

- Tempo de validade
 - Momento em que o evento ocorreu
- Tempo de transação
 - Momento em que o evento foi registrado no banco de dados, ou seja, momento em que a informação referente ao evento se tornou disponível para o usuário

Dimensão temporal em BD e SI

- Classificação dos SGBD de acordo com o suporte à dimensão temporal
 - SGBD estáticos: não suportam a dimensão temporal (BD *instantâneos*)
 - SGBD de tempo de validade (*históricos*)
 - Registra o momento do evento, não o momento da carga no BD
 - SGBD de tempo de transação (*rollback*)
 - Registra o instante de inserção, possibilitando a recuperação de falhas em transações
 - SGBD *bitemporais*
 - Registra tanto o tempo de validade, quanto o de transação, porém não permite “atualizar o passado”

Dimensão temporal em BD e SI

- Tempo de validade: representado no BD por um ponto no tempo, com variação por escada ou intervalo de tempo
- Tempo de transação: representado por um *chronon* único

Dimensão temporal em BD e SI

Tabela 4.1 – Classificação de SGBD de acordo com a dimensão temporal
(Fonte: adaptado de Snodgrass, 1992).

	Sem tempo de Transação	Com tempo de Transação
<i>Sem tempo de Validade</i>	Banco de dados estático	Banco de dados por tempo de transação
<i>Com tempo de Validade</i>	Banco de dados por tempo de validade	Banco de dados bitemporal

Relacionamentos espaço-temporais

- Allen (1983): sete relações entre intervalos de tempo
 - Before
 - Meets
 - During
 - Finishes
 - Equal
 - Overlaps
 - Starts
- Claramunt e Juang (2000): 56 combinações entre esses intervalos e a matriz de 4 interseções

Relacionamentos espaço-temporais

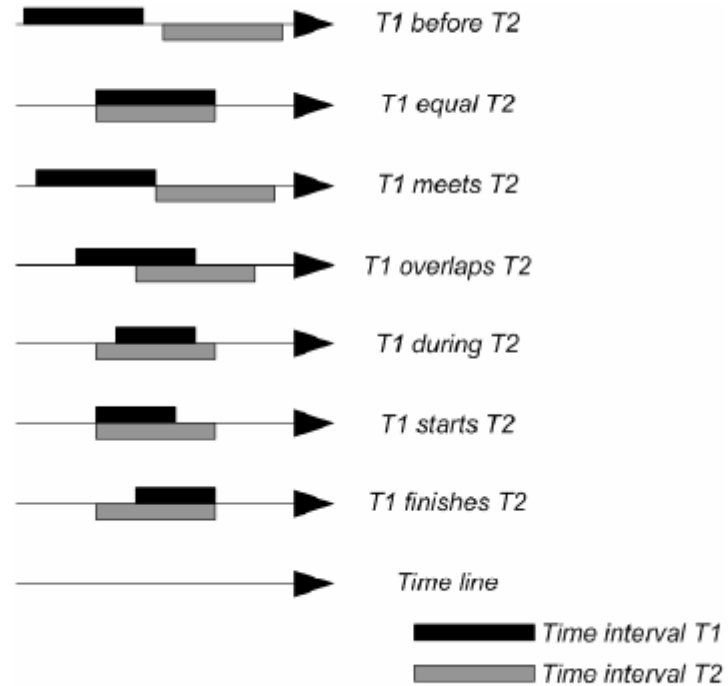


Figura 4.8 – Predicados temporais (Fonte: adaptado de Allen, 1993).

Identidade, vida e evolução de objetos

- A noção de identidade de objetos é importante para SIET e BDG
- Objetos podem ter suas características alteradas para acompanhar as mudanças da realidade, e isso pode ter conseqüências para a sua representação
 - Identidade: característica imutável do objeto
 - É diferente de *identificador*: uma pessoa pode tirar uma carteira de identidade com número diferente, e isso não a torna outra pessoa
 - Identificadores são recursos artificiais criados para distinguir entre tuplas em um BD relacional (elementos de um conjunto)

Identidade, vida e evolução de objetos

- O valor dos atributos em geral pode mudar sem que isso tenha impacto sobre a semântica do objeto
- Quando a mudança atinge sua representação espacial, nem sempre esse é o caso
 - Exemplo: lote urbano, desapropriado para construção de uma nova avenida; se a parte remanescente do lote, ou seja, a parte que não interessa para a avenida, for pequena demais, o terreno resultante não poderá ser edificado, e portanto muda de natureza (área remanescente, p. ex.)

Identidade, vida e evolução de objetos

- A partir de que nível de modificação haverá uma perda de identidade do objeto?
- Como registrar o histórico de mudanças em um banco de dados geográfico?
 - Versões conectadas em um banco de dados espaço-temporal
- Como registrar os *processos de mudança* que levaram à transformação?

Exemplo



(a) visão geral do projeto

(b) trecho de alargamento da avenida

Figura 4.6 – Alguns geo-objetos do projeto “Duplicação da Av. Antônio Carlos”.



(a) imagem anterior à execução do projeto (b) geo-objetos implantados x projetados
Figura 4.7 – Imagem de uma parte da avenida que será modificada.

Fonte: Foto aérea de 1998-1999, Prodabel.



Figura 4.8 – Imagem da área preparada para execução do alargamento.

Fonte: Imagem do satélite QuickBird de março de 2006, SMARU.

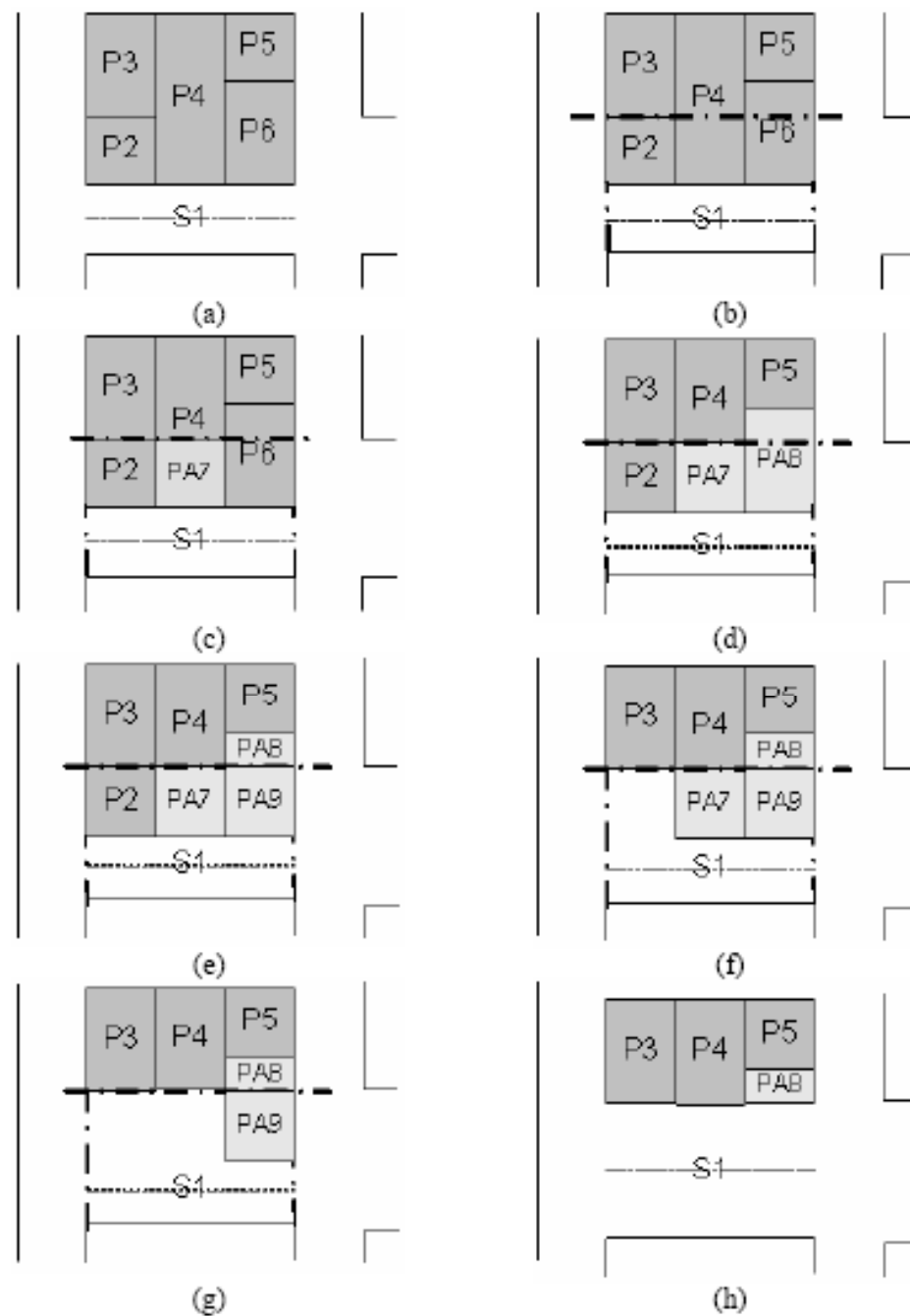


Figura 4.9 – Atividade *alargamento de via* do projeto "Duplicação da Av. Antônio Carlos".

* Activity Alargamento de via, applied to object(s) 1, 2, 4 and 6, resulting object(s) 1, 4 and 8, executed by Marcos as a part of plan Duplicacao da Av. Antonio Carlos. It started in 2003-06-05 and finished at 2007-08-02. This activity was executed with the following atomic operations:

- * Splinter, applied to object(s) 4, resulting object(s) 4 and 7, with the following basic operations:
 - * Assign Geometry in object 4.
 - * Create in object 7.
 - * Assign Attributes to PublicArea with usage "Desapropriação" in object 7.
 - * Assign Geometry in object 7.
- * Evolve, applied to object(s) 6, resulting object(s) 8, with the following basic operations:
 - * Destroy in object 6.
 - * Create in object 8.
 - * Assign Attributes to PublicArea with usage "Remanescente" in object 8.
 - * Assign Geometry in object 8.
- * Splinter, applied to object(s) 8, resulting object(s) 8 and 9, with the following basic operations:
 - * Assign Geometry in object 8.
 - * Create in object 9.
 - * Assign Attributes to PublicArea with usage "Desapropriação" in object 9.
 - * Assign Geometry in object 9.
- * Join, applied to object(s) 1 and 2, resulting object(s) 1, with the following basic operations:
 - * Destroy in object 2.
 - * Assign Geometry in object 1.
- * Join, applied to object(s) 1 and 7, resulting object(s) 1, with the following basic operations:
 - * Destroy in object 7.
 - * Assign Geometry in object 1.
- * Join, applied to object(s) 1 and 9, resulting object(s) 1, with the following basic operations:
 - * Destroy in object 9.
 - * Assign Geometry in object 1.

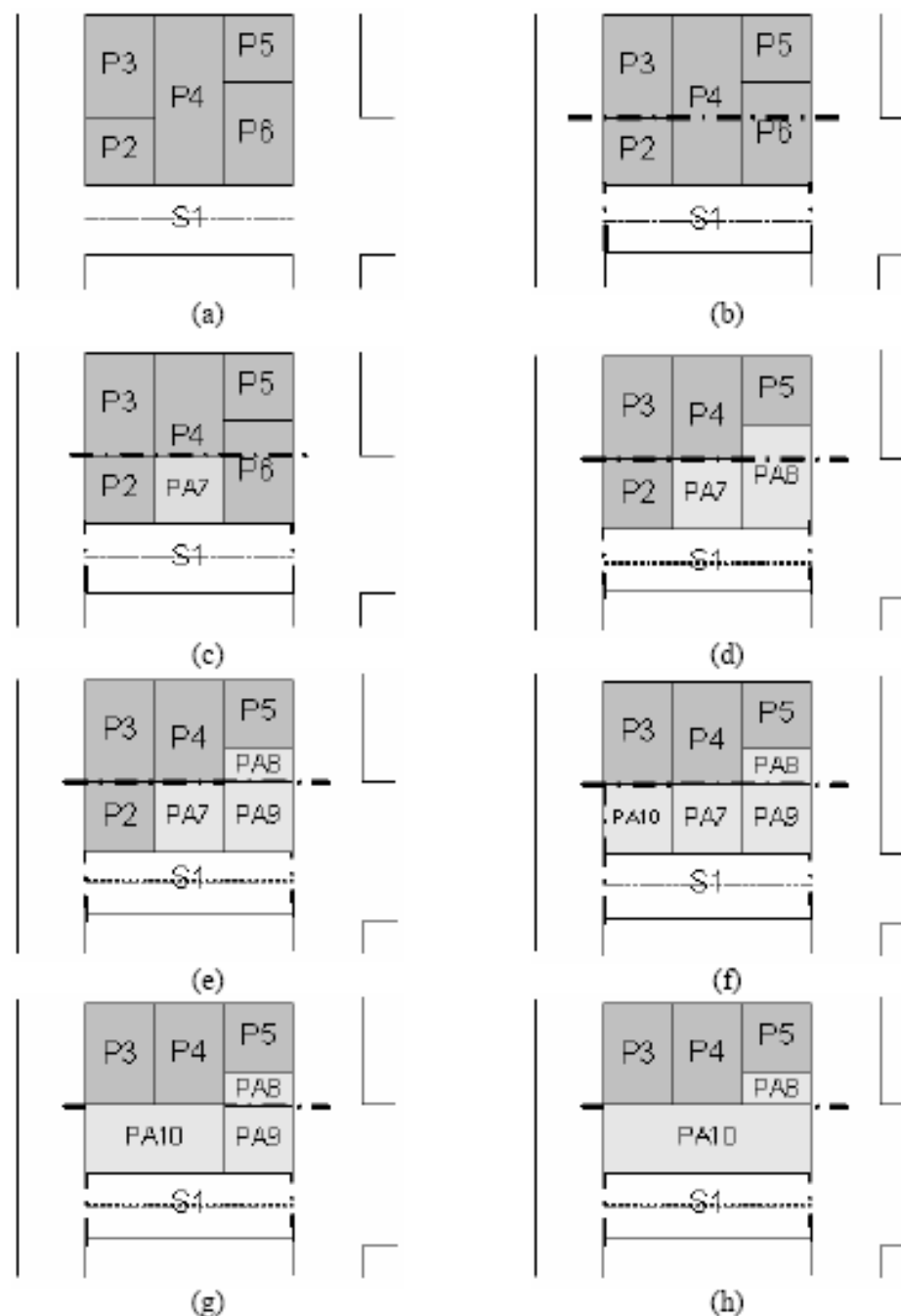


Figura 4.11 – Atividade *desapropriação* do projeto "Duplicação da Av. Antônio Carlos".

```

* Activity Desapropriação, applied to object(s) 1, 2, 4 and 6, resulting
object(s) 4, 8 and 10, executed by Marcos as a part of plan Duplicação da Av.
Antonio Carlos. It started in 2003-06-05 and finished at 2007-08-02. This
activity was executed with the following atomic operations:
  * Splinter, applied to object(s) 4, resulting object(s) 4 and 7, with the
following basic operations:
    * Assign Geometry in object 4.
    * Create in object 7.
    * Assign Attributes to PublicArea with usage "Público" in object 7.
    * Assign Geometry in object 7.
  * Evolve, applied to object(s) 6, resulting object(s) 8, with the
following basic operations:
    * Destroy in object 6.
    * Create in object 8.
    * Assign Attributes to PublicArea with usage "Remanescente" in object
8.
    * Assign Geometry in object 8.
  * Splinter, applied to object(s) 8, resulting object(s) 8 and 9, with the
following basic operations:
    * Assign Geometry in object 8.
    * Create in object 9.
    * Assign Attributes to PublicArea with usage "Público" in object 9.
    * Assign Geometry in object 9.
  * Evolve, applied to object(s) 1, resulting object(s) 10, with the
following basic operations:
    * Destroy in object 1.
    * Create in object 10.
    * Assign Attributes to PublicArea with usage "Público" in object 10.
    * Assign Geometry in object 10.
  * Join, applied to object(s) 2 and 10, resulting object(s) 10, with the
following basic operations:
    * Destroy in object 2.
    * Assign Geometry in object 10.
  * Join, applied to object(s) 7 and 10, resulting object(s) 10, with the
following basic operations:
    * Destroy in object 7.
    * Assign Geometry in object 10.
  * Join, applied to object(s) 9 and 10, resulting object(s) 10, with the
following basic operations:
    * Destroy in object 9.
    * Assign Geometry in object 10.

```

Figura 4.12 – Descrição da história da atividade *desapropriação* do projeto "Duplicação da Av. Antônio Carlos"

Modelagem OMT-G temporal

- Proposta na dissertação de Giovani Meinerz, ITA (2005)
- Inclui estereótipos, que indicam o tipo de representação escolhida
- Cada estereótipo pode ser aplicado a classes, atributos ou relacionamentos OMT-G
- Em cada um deles, conforme o tipo, define-se *primitivas de valor, primitivas de definição e restrições*
 - Mecanismos de extensão da UML

Modelagem OMT-G temporal

- Estereótipos temporais

Tabela 5.1: Estereótipos Temporais da *OMT-G Temporal*.

<i>Estereótipos</i>	<i>Tipo Temporal</i>
	<i>Tempo de Transação</i>
	<i>Tempo de Validade</i>
	<i>Tempo Bitemporal</i>
	<i>Tempo Ramificado</i>
	<i>Tempo Indefinido</i>

Modelagem OMT-G temporal

- Primitivas de armazenamento temporal
 - Instante temporal
 - Intervalo temporal
 - Bitemporalidade (união de intervalos temporais, em tempo de transação e tempo de validade)

Tempo de transação

- Primitivas de valor
 - tt = {ct, now} (Instante temporal)
 - ct = database creation time
 - now: valor especial, indicando o timestamp atual do BD

Tempo de validade

- Primitivas de valor
 - $tv = \{ t1, t2 \}$ (Intervalo temporal)
 - $t1$ e $t2$ devem ser definidos de acordo com a granularidade temporal desejada (ex.: datas, ou timestamps)

Bitemporal






- Primitivas de valor
 - $tb = \{ tt, tv \}$, onde $tt = \{ ct, now \}$ e $tv = \{ t1, t2 \}$
 - Também segue a granularidade de tempo de validade definida para o caso específico

Tempo ramificado e tempo indefinido

- O tempo ramificado segue exatamente o mesmo do tempo de validade
- A diferença é que o tempo de transação segue uma ordem linear
- O tempo indefinido deixa a critério do projeto a definição de tempo

Definições temporais

Tabela 5.2: Definições temporais da *OMT-G Temporal*.

Tipo	Ordem	Propriedade	Granularidade
	Linear	Instante	<i>ct</i>
	Linear	Intervalo	definida pelo usuário
	Linear	Instante/Intervalo	<i>ct</i> e definida pelo usuário
	Ramificada	Intervalo	definida pelo usuário
	Indefinida	Indefinida	Indefinida

Temporalidade em classes e em atributos

- Exemplo: lote

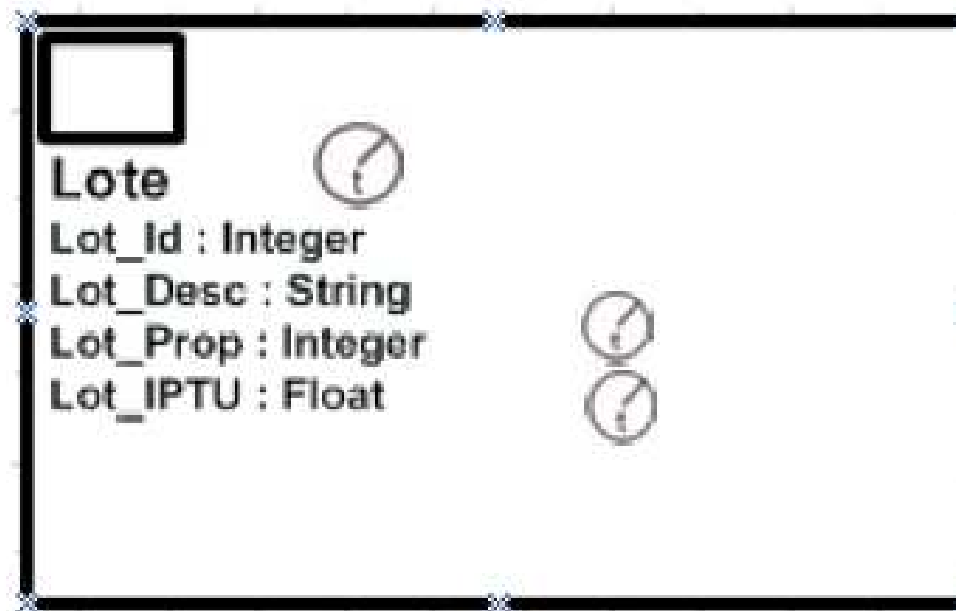


Figura 5.3: Objeto e atributos temporais para a *OMT-G Temporal*.

Temporalidade em classes e em atributos

- No exemplo: o proprietário (Lot_Prop) e o IPTU do lote são atributos temporais
 - P1 foi proprietário do lote entre t1 e t2
 - P2 comprou o lote em t2 e ainda é o dono
 - P1 pagou R\$1000 pelo IPTU enquanto foi o dono, e P2 pagou até agora R\$1250
 - Lot_Prop: {t1, t2, P1}; {t2, now, P2}
 - Lot_IPTU: {t1, t2, 1000}; {t2, now, 1250}

Relacionamentos temporais

- Exemplo: o relacionamento “pertence a uma categoria” muda com o tempo

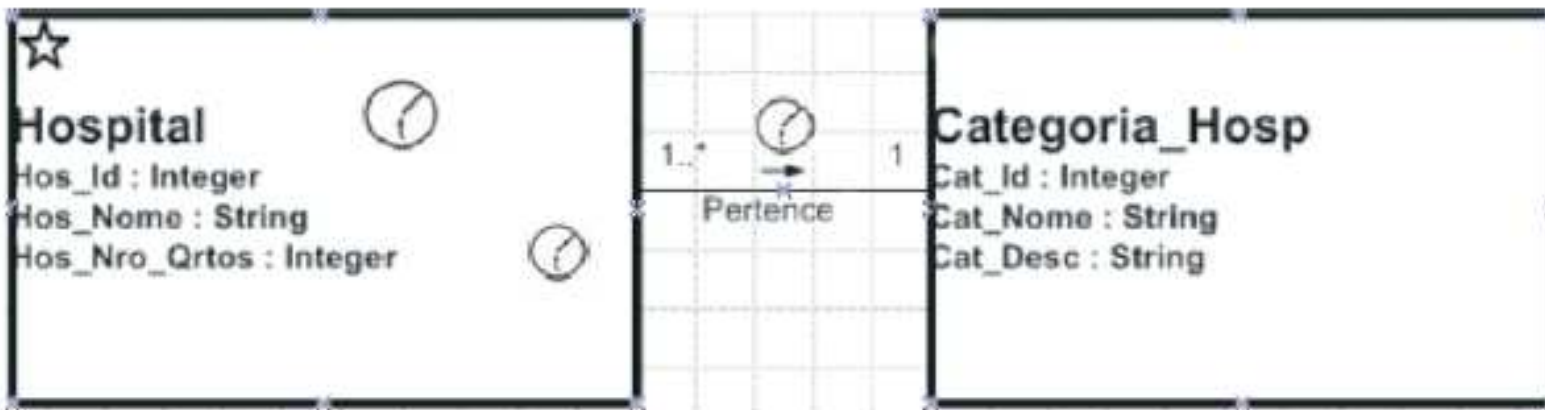


Figura 5.4: Esquema de representação de uma associação temporal simples.

Relacionamentos temporais

- Exemplo: contém
 - No caso, permitiria representar o aparecimento ou desaparecimento de estados ao longo do tempo (ex.: Tocantins, Guanabara)

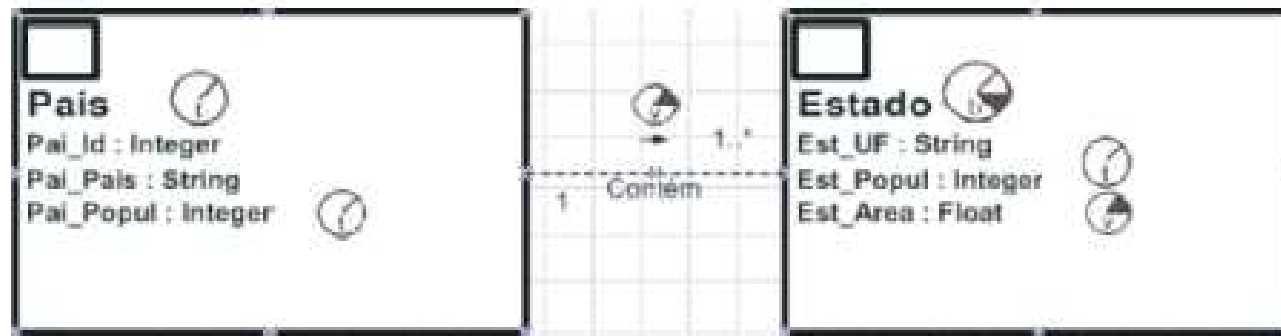


Figura 5.5: Esquema de representação de um relacionamento espaço-temporal.

Relacionamentos temporais

- Exemplo: generalização
 - A distinção entre as subclasses muda com o tempo

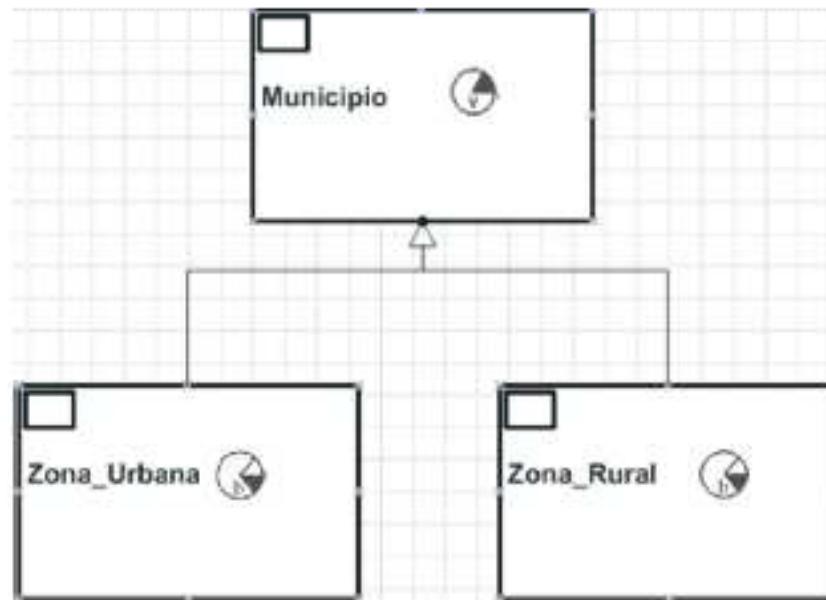
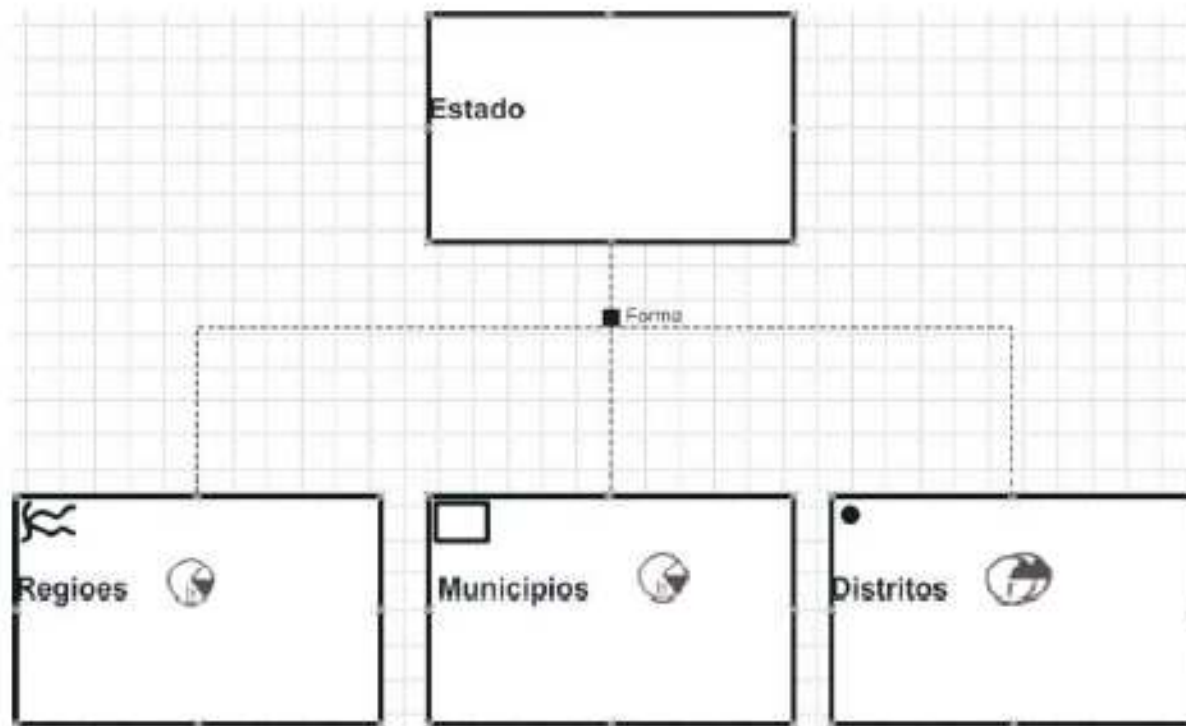


Figura 5.6: Generalização espaço-temporal.

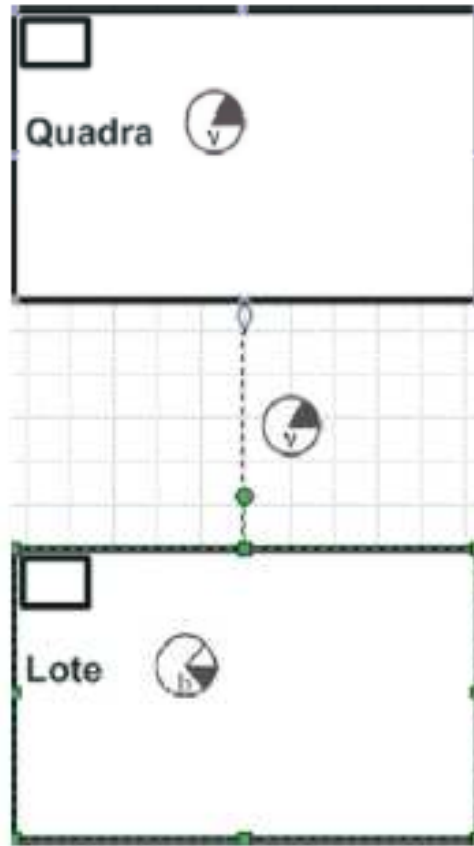
Relacionamentos temporais

- Exemplo: generalização conceitual temporal

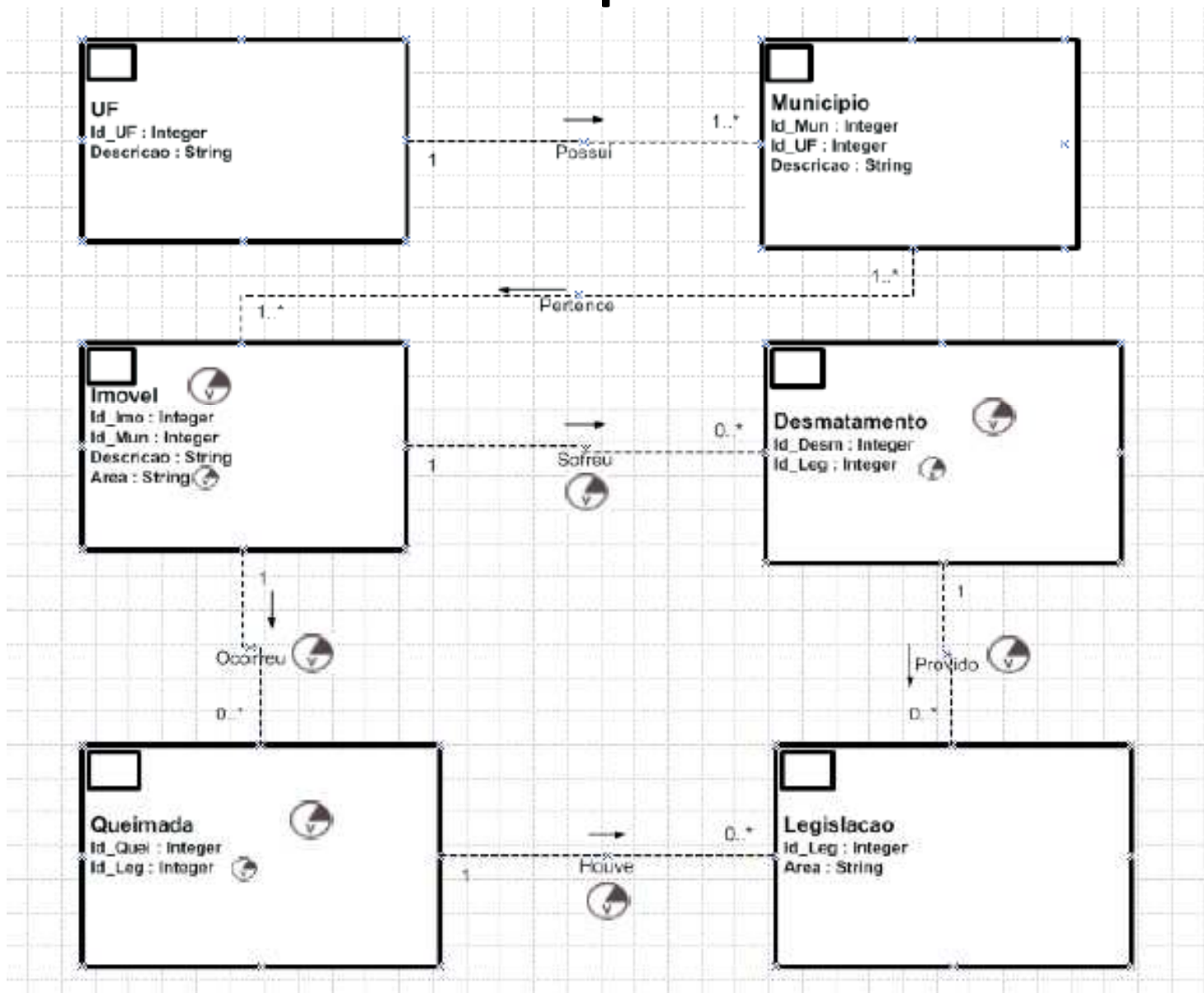


Relacionamentos temporais

- Exemplo: agregação temporal



Exemplo



Fontes e leitura complementar

- RAPER, J. “Multidimensional Geographic Information Science”. Taylor & Francis, 2000.
- DIAS, T. L.; CÂMARA, G.; DAVIS JR., C. A. Modelos espaço-temporais. In CASANOVA, M. A.; CÂMARA, G.; DAVIS JR., C. A.; VINHAS, L.; QUEIROZ, G. R. (eds.). Bancos de dados geográficos. Curitiba, PR: MundoGEO, 2005. Cap. 4, p. 147- 179.
- GRENON, P.; SMITH, B. SNAP and SPAN: towards dynamic spatial ontology. *Spatial Cognition and Computation*, v.4, n.1, p.69–104. 2003.
- WORBOYS, M. Event-oriented approaches to geographic phenomena. *International Journal of Geographic Information Systems*, 2005.
- MEDAK, D. Lifestyles - a new paradigm in spatio-temporal databases. Ph.D. Thesis. Technical University of Vienna, 1999.
- HORNSBY, K.; EGENHOFER, M. J., Identity-based change: a foundation for spatiotemporal knowledge representation. *International Journal of Geographical Information Science*. v.14, n.3, p.207-224, 2000.
- MEINERZ, G. V. OMT-G Temporal: uma técnica e extensão do modelo OMT-G para representar os aspectos temporais de dados geográficos. Dissertação de Mestrado, ITA, 2005.
- DIAS, T. L. Modelagem computacional de mudanças incrementais em objetos espaciais da realidade social. Tese de Doutorado, INPE, 2007.