

ANÁLISE COMPARATIVA DE MODELOS DE DADOS TEMPORAIS¹

COMPARATIVE ANALYSIS OF TEMPORAL DATA MODELS

Juliana de Moraes Posser²

Giliane Bernardi³

RESUMO

Nos sistemas de informação, os bancos de dados são implementados para armazenarem os mais recentes tipos de informações pertencentes a uma organização, bem como suas atividades. Porém, atualmente, tem-se a preocupação de acrescentar aos bancos de dados as informações que possuem aspectos ligados ao tempo, pois à medida que as modificações são estocadas no banco de dados, as informações antigas são descartadas. Na tentativa de suprir esta preocupação, tanto os bancos de dados temporais quanto os modelos de dados temporais foram projetados para tratar com as situações que envolvem informações referentes ao presente, passado e futuro. Um grande número de modelos de dados temporais foi proposto por meio de pesquisas desenvolvidas nos últimos anos. Estas pesquisas revelaram, claramente, a importância de se lidar com a temporalidade nos sistemas de informação e a necessidade de se manter um histórico das informações. Este artigo apresenta um estudo e uma análise comparativa entre os modelos temporais mais conhecidos e estudados atualmente.

Palavras-chave: temporalidade, banco de dados temporais, modelos de dados temporais.

ABSTRACT

In Information Systems, the databases are implemented to maintain the most recent information types of an organization, as well their activities. In conventional databases the updates destroy the old information. Therefore, the temporal information is the principal goal to be implemented in these usual database systems. A lot of temporal databases models was proposed in the last years, to maintain relative information about the past, present and the future. This paper presents a study and a comparative analysis among the most important temporal data models.

Key words: temporality, temporal databases, temporal data models.

¹ Trabalho Final de Graduação.

² Curso de Sistemas de Informação. UNIFRA.

³ Orientador.

INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, um banco de dados é implementado para guardar os dados mais recentes de uma organização, bem como suas atividades. Porém, à medida que as modificações são efetuadas no banco de dados, as informações antigas são descartadas. Desta forma, os bancos de dados convencionais capturam somente a visão estática da realidade, não armazenando a visão dinâmica, ou seja, a maneira como evoluiu a informação, sua história (AMO, 1995).

A idéia de tempo associada à informação é estudada por mais de 20 (vinte) anos, e nela, diversos conceitos foram desenvolvidos, vários modelos elaborados, porém, pouquíssimos sistemas foram implementados. O aspecto temporal é de grande importância no tratamento das informações. O tempo age sobre os dados de maneira dinâmica, mostrando a evolução das informações e dos sistemas propostos. Segundo EDELWEISS (1994), um modelo conceitual deve ser representado por características estáticas e dinâmicas que compõem o sistema. As características estáticas descrevem os aspectos estruturais, tais como documentos, objetos, mensagens, etc. As dinâmicas, descrevem a evolução das entidades estáticas no esquema do sistema, ou seja, descrevem o fluxo válido de informações.

Na tentativa de solucionar este problema, os bancos de dados temporais foram projetados para tratar com as situações que envolvem informações referentes ao presente, passado e futuro. Assim, o aspecto temporal é de grande importância na manipulação das informações, pois o tempo age sobre os dados de maneira dinâmica, mostrando a evolução das informações e dos sistemas propostos.

Em um sistema de informação temporal é necessário, além de definir, na coleta dos requisitos do sistema, os elementos necessários à posterior modelagem, também identificar os requisitos temporais da aplicação. Assim, na modelagem de sistemas de informação temporais deve-se representar não só a estrutura dos dados que serão manipulados, mas também sua dinâmica, isto é, seu comportamento com a passagem do tempo (EDELWEISS, 1994).

Um grande número de modelos de dados temporal foi proposto em pesquisas desenvolvidas nos últimos anos. Estas pesquisas revelam, claramente, a importância de se lidar com a temporalidade nos sistemas de informação e a necessidade de se manter um histórico das informações. A maioria dos modelos temporais propostos são extensões de modelos tradicionais já existentes. Alguns são baseados no modelo relacional, outros no entidade-relacionamento (ER) e alguns no modelo orientado a objetos, entre outras extensões.

Portanto, enquanto os bancos de dados convencionais manipulam dados estáticos que apresentam somente as informações atuais, os bancos de dados

temporais trabalham com as informações dinâmicas, em que são mantidos históricos para preservar os dados antigos. Conseqüentemente, o tempo é uma informação dinâmica e não estática, caracterizando um sistema de informação que irá possuir um banco de dados temporal e uma modelagem que retém informações com aspectos temporais.

Neste artigo, são abordados alguns modelos, sendo que se levaram em consideração os mais conhecidos e estudados nos últimos tempos, com a intenção de realizar uma análise comparativa entre os mesmos.

ASPECTOS DE TEMPORALIDADE

O tempo pode ser considerado como um marcador dos fatos e das ações transcorridas durante um período, intervalo de tempo ou instante. Sem a noção de tempo não haveria a possibilidade de realizar associações entre situações passadas, atuais e futuras. Segundo EDELWEISS (1994), o tempo é de extrema importância na representação das informações, pois serve para identificar a duração de eventos, o calendário, as previsões e ainda o tempo de vida dos documentos e operações.

Para a melhor compreensão dos bancos e modelos de dados temporais faz-se necessário o conhecimento de alguns conceitos ligados ao tempo.

INSTANTE TEMPORAL

Os instantes (pontos) consistem simplesmente na representação particular de um ponto no tempo. No caso de considerar-se o instante atual (tempo presente), também conhecido por *now*, é preciso um certo cuidado, pois o atual de hoje é passado no amanhã (EDELWEISS, 1994).

INTERVALO TEMPORAL

O intervalo, pela própria definição, é a representação da percussão do tempo entre dois pontos quaisquer, em que estes pontos especificam os limites do intervalo (EDELWEISS, 1994).

ORDEM TEMPORAL

A ordem, a ser seguida na linha temporal, é importante para a representação dos aspectos de temporalidade, existindo três casos a serem analisados, de acordo com EDELWEISS (1994): tempo linear, tempo ramificado e tempo circular.

Há uma afirmação que diz "o tempo flui linearmente"; isto significa que deverá haver uma ordenação entre dois instantes quaisquer de tempo. Consideram-se os dois instantes como sendo: t e t' . O conjunto ($t > t'$ ou $t' > t$) reflete o aspecto linear do tempo, pois apenas uma, e somente uma, das duas comparações deverá ser verdadeira. Já, o tempo é ramificado (branching time) quando existem dois pontos de tempo que são incomparáveis. Neste caso, o tempo pode ser ramificado no futuro ou ainda ramificado no passado. Ramificado no futuro é a consideração de várias possibilidades futuras, ou seja, dois instantes diferentes, sucessores e imediatos de um mesmo ponto. Já no caso de tempo ramificado no passado, a visão é contrária, com dois instantes, também distintos e antecessores de um mesmo ponto. E, por fim, cita-se o tempo circular, no qual existem vários pontos de tempo que formam uma seqüência crescente, mas que voltam ao estado inicial. Por exemplo, os dias da semana.

VARIAÇÃO TEMPORAL

Existem dois tipos de variação temporal: o tempo contínuo e o tempo discreto. O tempo contínuo, segundo AMO (1995), é quando, entre dois instantes, existem infinitos instantes intermediários e o tempo discreto é quando uma linha temporal apresenta consecutivos intervalos de tempo, de mesma duração, sendo estes intervalos temporais denominados de chronons. Logicamente, o tempo discreto é expresso da seguinte maneira: para todo o instante inicial (t_0) existirá um instante imediato posterior (t_1), isto é, (t_0, t_1) e entre estes não devem existir instantes intermediários (EDELWEISS, 1994).

GRANULARIDADES TEMPORAIS

Granularidades temporais são as diferentes unidades de tempo integradas em um banco de dados. As unidades podem ser expressas em dias, semanas, meses, anos, horas, minutos, etc. EDELWEISS (1994) considera que a granularidade temporal de um sistema consiste em um chronon. Embora o chronon do sistema seja único, é possível fazer a manipulação das diferentes granularidades por meio de funções e operações disponíveis nos gerenciadores de banco de dados. Também, dependendo da aplicação, às vezes torna-se necessário considerar simultaneamente diversas granularidades (dias, meses, anos) para definir uma melhor representação da realidade. Em um SGBD temporal, a menor duração de tempo suportada por este é o chronon, pertencente à representação discreta de tempo.

FORMA TEMPORAL EXPLÍCITA E IMPLÍCITA

O tempo possui duas formas de representação que devem ser abordadas: a explícita e a implícita. Segundo EDELWEISS (1994), a representação temporal explícita é obtida quando se tem uma informação associada a um instante (timestamping) e a representação temporal implícita ocorre pela manipulação do conhecimento por intermédio de eventos relacionados com os intervalos temporais. A forma implícita é utilizada com base em uma linguagem temporal.

TEMPO DE TRANSAÇÃO, TEMPO DE VALIDADE E TEMPO DEFINIDO PELO USUÁRIO

O tempo de transação representa o exato momento em que é verificada a ocorrência de uma atualização em um banco de dados. Para HÜBLER (1998), o tempo de transação é o tempo no qual o valor foi definido no banco de dados e o tempo de validade expressa a validade da informação no mundo real. Já o tempo definido pelo usuário, segundo EDELWEISS (1994) e SIMONETTO (1998), consiste de propriedades temporais definidas explicitamente pelos usuários em um domínio temporal e manipuladas pelos programas de aplicação.

BANCOS DE DADOS TEMPORAIS

Segundo AMO (1995), o tempo é um aspecto importantíssimo que se refere a todo o evento do mundo real, sendo que o principal objetivo dos bancos de dados temporais é a eficiente capturação da evolução temporal dos objetos nele modelados.

"Uma forma possível de implementar um banco de dados temporal é mapear o modelo temporal para um banco de dados tradicional. Neste mapeamento, as informações temporais, implícitas no modelo temporal, devem ser explicitamente representadas e manipuladas." (HÜBLER, 1998, p.1).

De acordo com SCHIEL (1996), os banco de dados relacionais podem temporalizar tuplas (tuple timing), acrescentando dois atributos à relação, ou ainda temporalizar atributos (attribute timing), transformando os valores de atributos em compostos de três valores: o valor propriamente dito e o intervalo de tempo. Já, os bancos de dados semânticos ou orientados a objetos, podem temporalizar, analogamente, os objetos ou os relacionamentos (ou atributos). Por último, pode-se acrescentar uma temporalização do esquema (schema timing), o qual registra o histórico do próprio esquema do banco de dados. Na temporalização de esquemas, toda classe de objetos é instância de uma metaclasses, assim, o schema timing se reduz ao object timing das instâncias desta metaclasses.

Existem quatro tipos diversificados de banco de dados temporais, que são classificados por EDELWEISS (1994) como: banco de dados instantâneo, de tempo de transação, de tempo de validade e os bitemporais.

BANCO DE DADOS INSTANTÂNEO

O estado atual do banco de dados é composto pelos valores atuais, sendo o único existente. Portanto, banco de dados instantâneo (snapshot) somente armazena os valores instantâneos (presentes) e realiza a organização das informações temporais explicitamente, pela inclusão de atributos definidos sobre o domínio tempo e pela manipulação por meio de programas de aplicação (tempo definido pelo usuário) (EDELWEISS, 1994).

BANCOS DE DADOS DE TEMPO DE TRANSAÇÃO

Os bancos de dados de tempo de transação são aqueles que associam aos dados apenas o tempo em que a informação foi inserida no banco de dados, recuperando somente o passado e o presente das informações (HÜBLER, 1999).

Para EDELWEISS (1994), o armazenamento das informações relativas ao tempo é feito pela associação de cada valor definido ao instante temporal no qual foi realizada a transação, sob a forma de um rótulo temporal (timestamp). Neste tipo de banco de dados, o tempo que equivale ao tempo de transação é definido automaticamente pelo SGBD.

BANCOS DE DADOS DE TEMPO DE VALIDADE

Segundo HÜBLER (1999), o banco de dados de tempo de validade é aquele que realiza a associação apenas do tempo em que a informação será válida no banco de dados, possibilitando a recuperação tanto do passado quanto do presente e do futuro das informações.

A cada informação temporal, é associado o seu tempo de validade, que deve ser fornecido pelo usuário do sistema. No caso de uma informação válida ter sido registrada incorretamente, uma nova definição pode ser efetuada, sendo que somente a última versão ficará disponível (EDELWEISS, 1994).

BANCOS DE DADOS BITEMPORAIS

Os bancos de dados bitemporais são aqueles que armazenam, de forma completa, as informações temporais, através da associação tanto do tempo de transação como do tempo de validade. Assim, mantém-se toda a história do banco de dados. Portanto, é possível ter acesso a todos os estados:

passados, presentes e futuros. O estado atual é definido pelos valores atualmente válidos e o estado futuro constitui-se por meio de tempo de validade (EDELWEISS, 1994).

MODELOS DE DADOS TEMPORAIS

O modelo de dados, segundo KORTH (1995), é um conceito fundamental à estrutura de um banco de dados, por corresponder a uma coleção de ferramentas conceituais utilizadas para realizar a descrição dos dados, os relacionamentos, a semântica dos dados e ainda as restrições de consistência. EDELWEISS (1994) considera que a modelagem temporal de um sistema de informação deve representar não só a estrutura dos dados manipulados, mas também sua dinâmica - seu comportamento com a passagem do tempo.

A seguir serão apresentados três modelos temporais: o modelo TRM (Temporal Relational Model), que é um modelo relacional estendido, no qual foi acrescida a dimensão temporal. Já, o TempER refere-se a um modelo ER estendido. E, por último, o TF-ORM (Temporal Functionality in Objects with Roles Model), que é um modelo orientado a objetos, em que apenas foi incorporada a capacidade de representação dos aspectos temporais.

TRM - TEMPORAL RELATIONAL MODEL

Um banco de dados temporal é expresso pela união de dois conjuntos de relações: as estáticas e as temporais (EDELWEISS, 1994).

O modelo TRM apresenta em cada esquema relacional temporal dois atributos obrigatórios: tempo_de_início (Ts) e tempo_de_fim (Te). Estes dois atributos temporais (timestamps) correspondem aos limites inferior e superior de um intervalo. O tempo de validade é representado por meio das relações temporais as quais possuem duas chaves candidatas (TIK, Ts) e (TIK, Te). O TIK é uma chave primária invariante no tempo que é utilizada como chave de uma relação também invariante no tempo (EDELWEISS, 1994 e SIMONETTO, 1998).

Pelos atributos Ts e Te, podem ser definidos instantes presentes, passados e futuros e, conseqüentemente, os atributos podem caracterizar intervalos fechados. O tempo de validade apresenta-se como uma parte total das relações temporais, enquanto que o tempo atribuído pelo usuário e o tempo de transação podem ser acrescidos na definição das propriedades temporais (EDELWEISS, 1994 e SIMONETTO, 1998).

No modelo TRM, o aspecto temporal é obtido pela forma normal temporal (Temporal Normal Form - TNF), na qual, sempre se pode realizar o desmembramento de uma relação não normalizada temporalmente em duas ou

mais relações normalizadas, pela partição apropriada de atributos e uma combinação dos intervalos de tempo relevantes

O desmembramento não acarreta perdas na semântica da relação, apenas representa a informação sobre o tempo de vida de um atributo de uma maneira compacta e concisa. Assim, a normalização temporal assegura que o tempo de vida de uma tupla e seus valores de atributos sejam os mesmos após o desmembramento (SANTOS, 2000).

Conseqüentemente, as operações são realizadas com maior praticidade nas relações normalizadas temporalmente, pois os dados temporais referentes às propriedades estão armazenados em uma única tupla (EDELWEISS, 1994).

LINGUAGEM DE CONSULTA DO MODELO DE DADOS TRM

A TSQL (Temporal Structured Query Language) é a linguagem de consulta do modelo TRM que, segundo Navathe, citado por EDELWEISS (1994) e SIMONETTO (1998), é um superconjunto da linguagem SQL, permitindo a realização de consultas a um banco de dados temporal. A Temporal SQL introduz algumas construções sintáticas e semânticas adicionais ao SQL, com o princípio de garantir uma maior capacidade a este, no que diz respeito à recuperação das informações temporais: (i) expressões utilizando a cláusula WHEN; (ii) recuperação de timestamps; (iii) recuperação de informações ordenadas temporalmente; (iv) especificação do domínio tempo utilizando a cláusula TIME-SLICE; (v) funções de agregação e cláusula GROUP BY modificada; e, (vi) especificação do comprimento de um intervalo temporal usando a cláusula MOVING WINDOW.

MODELO TEMPER

Em uma abordagem ER convencional, as propriedades temporais são tratadas nas entidades e nos relacionamentos simplesmente como atributos comuns que guardam datas, horas, períodos ou qualquer outro tipo de informação que se apresente na forma de tempo. Desta maneira, todo modelo de dados convencional apresenta duas dimensões: as instâncias (linhas) e os atributos (colunas). Porém, em um modelo ER temporal, acrescenta-se uma nova dimensão, responsável pela manipulação da temporalidade, chamada de dimensão temporal (HEUSER, 1998).

Assim, a dimensão temporal, nos sistemas de informação, é referenciada como uma seqüência discreta, linear e finita de pontos, constituindo-se de pontos isomórficos ao conjunto dos números inteiros, isto é, entre dois pontos de tempo consecutivos não existe outro ponto de tempo, e esta seqüência de pontos de tempo é denominada de eixo temporal (HEUSER, 1998).

Segundo HEUSER (1998), pela modelagem dinâmica dos dados é possível especificar restrições. Um exemplo disto, é a remuneração de um funcionário que deve possuir o seu período de validade entre a data de admissão e a data de demissão, deduzindo-se, assim, que não deve ser permitido aumentar a remuneração deste funcionário após a sua data de demissão. Não é possível realizar tal restrição nos modelos ER convencionais.

Outro aspecto importante, a ser considerado nos modelos de dados temporais, é a possibilidade de associar objetos (entidades, relacionamentos ou atributos) temporalizados com objetos não-temporalizados. Conseqüentemente, ambos devem assumir uma dimensão temporal, isto é, uma "existência" ou validade temporal. Portanto, os objetos não-temporalizados são aqueles que existem sempre, ou seja, adquirem uma validade temporal, implícita e constante, igual em todo o conjunto de pontos do eixo temporal (HEUSER, 1998).

O TempER é um modelo de dados do tipo Entidade-Relacionamento, que permite referenciar os objetos (entidades, relacionamentos ou valores de atributos) à dimensão temporal. Desta forma, é possível representar o relacionamento entre as entidades temporalizadas e as não-temporalizadas. No caso das entidades temporalizadas, a validade temporal é o subconjunto de pontos do eixo temporal, sendo assim denominada de entidade transitória. Já, com relação às entidades não-temporalizadas, admite-se que a sua existência ocorre durante todo o eixo temporal, ou seja, a validade temporal é constante. Deste modo, foram classificadas como entidades perenes (HEUSER, 1998).

Tanto as entidades transitórias como as entidades perenes apresentam duas perspectivas: temporal e intemporal. No enfoque da perspectiva intemporal, as entidades possuem duas dimensões: tupla x atributos intemporais, entretanto, na perspectiva temporal são identificadas três dimensões: tupla x atributos temporais x eixo temporal. Os relacionamentos ou as entidades associam-se entre si na perspectiva temporal - relacionamentos temporais ou na perspectiva intemporal - relacionamentos intemporais (HEUSER, 1998).

Toda entidade, no TempER, é uma instância de um conjunto-entidade, assim como todo o relacionamento é uma instância de um conjunto-relacionamento. As figuras 1 e 2 referem-se à notação de conjuntos-entidade e conjuntos-relacionamento. Os atributos são propriedades das entidades e dos relacionamentos, os quais não são representados graficamente e sim por meio de um dicionário de dados associado ao diagrama ER, resultando em um modelo mais claro visualmente.

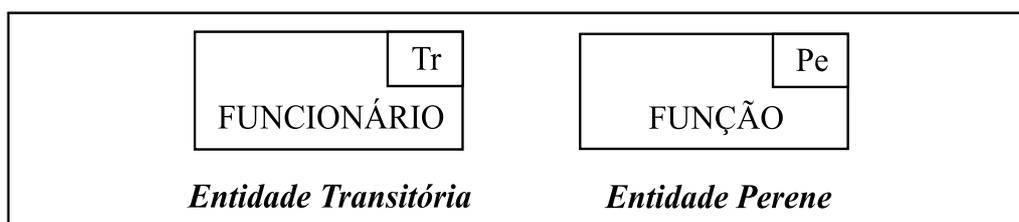


Figura 1 - Notação de Conjuntos-Entidade

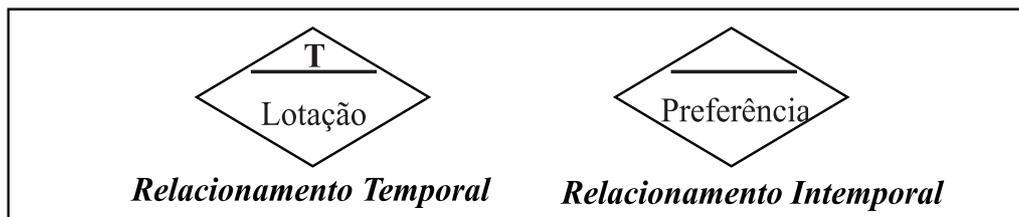


Figura 2 - Notação de Conjuntos-Relacionamento

Em nível de modelagem, considera-se apenas um eixo temporal, o qual representa o tempo de validade, não é necessário especificar o tempo de transação, pois se trata de um aspecto inerente à implementação física.

Toda entidade que apresentar como rótulo temporal [" , "] será classificada como uma entidade perene, isto porque sua validade temporal inicia no primeiro ponto do eixo temporal e estende-se até o último, como se pode notar na figura 3. Porém, o fato de uma entidade ser perene não significa que esta entidade não possa ser excluída do banco de dados. Conseqüentemente, enquanto uma entidade perene estiver presente no banco de dados, sua existência será constante e igual ao conjunto de pontos do eixo temporal, não sendo permitido ampliar ou reduzir sua validade temporal (HEUSER, 1998).



Figura 3 - Visualização da Validade temporal de uma Entidade Perene.

Ao contrário da entidade perene, a entidade transitória é modelada para existir apenas por curtos períodos de tempo, e é possível aumentar ou reduzir a sua validade temporal, conforme a figura 4 exemplifica.

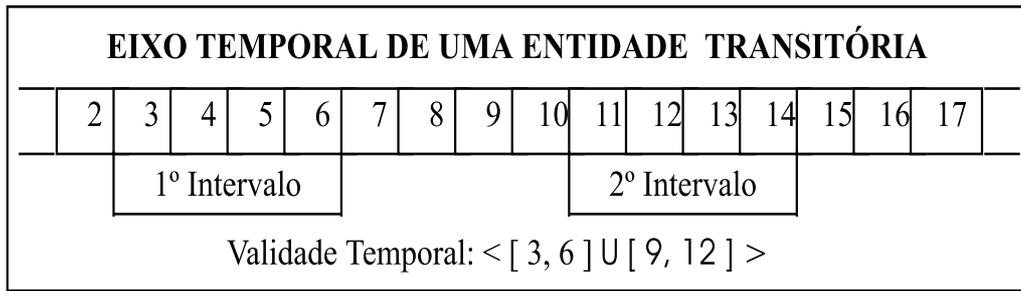


Figura 4 - Visualização da Validade temporal de uma Entidade Transitória

As figuras 5 e 6, descrevem a comparação entre um modelo ER convencional e o modelo de dados TEMPER.

Figura 5 - Modelo ER Convencional

Como se pode observar, através das figuras, é realizada a classificação de todas as entidades transitórias ou perenes e, ainda, os relacionamentos são especificados como temporais ou intemporais, assim como os atributos. A mudança mais notável foi em relação à cardinalidade do relacionamento Lotação. No modelo ER convencional não é possível especificar a restrição que considera que um funcionário não pode estar lotado em mais de um departamento no mesmo período de tempo, por isso, a cardinalidade (1, N), que aparece na ligação departamento e lotação, define que um funcionário deve estar lotado, no mínimo, em um departamento, podendo estar referenciado a mais de um também. Entretanto, no modelo TempER, o problema da restrição anterior é solucionado, pois a cardinalidade (1, 1) agora possui o seguinte significado: um funcionário participa do conjunto-relacionamento Lotação, no mínimo uma vez e no máximo uma vez, a cada momento de tempo.

Figura 6 - Modelo TEMPER

Conseqüentemente, os atributos que referenciam pontos de tempo (dataAdmissão, dataDemissão, dataCriação e dataFechamento) que aparecem no diagrama ER convencional, deixam de existir no modelo TempER, pois são substituídos por rótulos temporais implícitos.

TF-ORM - TEMPORAL FUNCTIONALITY IN OBJECTS WITH ROLES MODEL

O modelo TF-ORM, proposto por EDELWEIS (1994), é um modelo de dados orientado a objetos. Ele permite a modelagem dos aspectos estáticos e dinâmicos da aplicação, pois valoriza todos os estados do objeto, associando informações temporais às propriedades que podem mudar de valor ao longo do tempo. Também, é um modelo bitemporal, isto é, que suporta tanto o tempo de validade, quanto o tempo de transação (HÜBLER, 1999). Estes tempos são utilizados no modelo como rótulos associados às propriedades que variam com o tempo. O tempo de transação é implicitamente definido pelo SGBD, enquanto que o tempo de validade deve ser fornecido pelo usuário, representando o instante de início em que a informação é válida. Caso outra informação seja definida, o outro valor deixa de ser válido, passando então a nova informação a ser válida (MOTA, 1999).

O TF-ORM utiliza o conceito de papéis (roles) com o objetivo de fazer a representação, separadamente, dos aspectos dinâmicos de um objeto, em relação a seus aspectos estáticos, ou seja, representar isoladamente diferentes comportamentos dos objetos de uma classe, facilitando, com isso, o processo de análise da aplicação e de representação da evolução dos objetos através do tempo (EDELWEISS, 1994; HÜBLER, 1999 e MOTA, 1999).

Segundo EDELWEISS (1994) e MOTA (1999), os aspectos temporais considerados pelo modelo TF-ORM são os seguintes: (i) ordenamento linear; (ii) variação temporal discreta; (iii) ponto no tempo: o instante atual (now) é considerado como um ponto especial no tempo; (iv) intervalo temporal: caracterizado através de um par de pontos no tempo, os quais delimitam o intervalo; e, (v) granularidade temporal: minuto (definido como chronon).

Existem dois tipos distintos de propriedades identificadas no TF-ORM: as propriedades estáticas, cujo valor nunca é alterado, permanecendo o mesmo durante toda a existência do objeto e as propriedades dinâmicas, que podem apresentar diversos valores durante a existência de um objeto. As propriedades estáticas não apresentam rótulos temporais, sendo que no instante de criação da instância estas propriedades são definidas com o valor inicial null. Já, as propriedades dinâmicas, podem assumir diversos valores (EDELWEISS, 1994 e MOTA, 1999).

LINGUAGEM DE RECUPERAÇÃO DE INFORMAÇÕES

A linguagem de recuperação de informações (linguagem de consulta) do modelo TF-ORM baseia-se na linguagem SQL, apresentando uma certa influência da Temporal Query Language - TQuel (EDELWEISS, 1994 e MOTA, 1999).

Na linguagem de consulta TF-ORM, as cláusulas WHERE e WHEN são especificadas de forma independente. A cláusula WHERE é utilizada para especificar buscas em banco de dados instantâneos (snapshot), referindo-se ao estado atual ou a um estado passado do banco de dados. Já a cláusula WHEN realiza a busca de todas as informações da história considerada (atual ou passada), incluindo dados passados e futuros, além dos atuais (EDELWEISS, 1994). Ainda foi acrescentada uma outra cláusula de instante temporal denominada de ON, que expressa qual história da base de dados deve ser recuperada (MOTA, 1999).

A figura 7 apresenta as duas estruturas que caracterizam a linguagem de consulta do modelo TF-ORM.

Figura 7 - Estrutura de consulta com a cláusula ON

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MODELOS TEMPORAIS

Baseado no estudo dos modelos de dados temporais, constou-se que existem características comuns entre os mesmos, no que diz respeito ao tratamento dos aspectos temporais. Também, observou-se que todos os modelos são extensões de modelos já existentes, e apenas, é acrescentada uma dimensão que caracteriza o tempo, sendo a principal característica comum entre os modelos.

O TRM é composto pela união de dois conjuntos de relações, que são: as estáticas e as temporais. Possui a definição de esquema relacional temporal, com dois atributos obrigatórios, que são: tempo_de_início (Ts) e o tempo_de_fim (Te), correspondentes aos limites do intervalo temporal. O tempo de validade é representado por relações temporais, sendo que cada relação possui duas chaves candidatas (TIK, Ts) e (TIK, Te). Por meio dos atributos Ts e Te podem ser definidos instantes presentes, passados e futuros. O tempo atribuído pelo usuário e o tempo de transação podem ser acrescidos na definição das propriedades temporais. O aspecto temporal é obtido pela forma normal temporal, na qual, sempre, pode-se realizar o desmembramento de uma relação não normalizada temporalmente em duas ou mais relações normalizadas.

O TempER é um modelo de dados do tipo Entidade-Relacionamento, que permite referenciar os objetos (entidades, relacionamentos ou valores de atributos) à dimensão temporal. Existem as entidades transitórias (temporalizadas), em que a validade temporal é o subconjunto de pontos do eixo temporal; e as entidades perenes (não-temporalizadas), nas quais, a existência ocorre durante todo o eixo temporal, ou seja, a validade temporal é constante. Tanto as entidades transitórias como as entidades perenes apresentam duas perspectivas: temporal e intemporal. Em nível de modelagem, considera-se apenas um eixo temporal, o qual representa o tempo de validade, não sendo necessário especificar o tempo de transação, pois este se trata de um aspecto inerente à implementação física.

O TF-ORM, permite a modelagem de objetos estáticos e dinâmicos, valorizando todos os estados do objeto. É um modelo bitemporal, pois suporta tanto o tempo de validade como o tempo de transação. Utiliza o conceito de papéis para realizar a representação, separadamente, dos aspectos dinâmicos e estáticos. Agrega dois tipos de propriedades: estáticas e dinâmicas. As propriedades dinâmicas são aquelas que variam com o passar do tempo, caracterizando o modelo temporal. Apresenta o conceito de intervalos, nos quais podem ser especificados os seus limites.

Afigura 8 sintetiza os principais aspectos e conceitos temporais, equivalentes entre os modelos de dados estudados.

Figura 8 - Análise comparativa entre modelos

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A súbita eminência da "era digital", nos últimos tempos, levou o setor empresarial a uma rápida corrida pela atualização tecnológica. Conseqüentemente, para se adquirir um diferencial no mercado e uma vantagem competitiva, as empresas passaram a investir nos sistemas de informação, o que fez o rendimento setorial progredir, agilizando a execução das atividades e tarefas. Deste modo, os sistemas de informação tornaram a vida empresarial mais simples, pela facilidade com que manipulam e armazenam as informações. Porém, naquela época, os sistemas de informação não possuíam o aspecto da temporalidade, ou seja, não armazenavam a história das informações, apenas estocavam os dados presentes.

Por este motivo, os sistemas de informação temporais passaram a ser especialmente estudados, bem como os bancos de dados e modelos temporais. Assim, este artigo procurou expor os principais conceitos ligados a temporalidade, como: instantes, intervalos, granularidades, tempo de validade, tempo de transação, entre outros, de maneira objetiva, tornando a compreensão dos outros assuntos mais clara. Também foram estudados os quatro tipos de bancos de dados temporais, que são: (i) banco de dados instantâneos, que armazena somente o estado presente das informações; (ii) banco de dados de tempo de transação, que trata tanto do estado presente, como do estado passado; (iii) banco de dados de tempo de validade, que manipula todos os estados (presente, passado e futuro); e o (iv) banco de dados bitemporal, que é a junção dos dois últimos.

Para todos os modelos estendidos, a única modificação ocorrida foi a incorporação da capacidade de representação dos aspectos temporais.

Conforme AMO (1995), várias evoluções foram realizadas dentro da área de sistemas de informação temporais nestes últimos anos, como: (i) a

semântica do domínio temporal, incluindo dimensionalidade e granularidade, foi bem tratada; (ii) uma grande quantidade de modelos de dados temporais foi proposta, tanto relacional quanto orientada a objetos. Os modelos relacionais estendidos passaram, em sua maioria, a ter uma semântica bem formalizada; (iii) muitas linguagens de consultas foram projetadas baseadas nos mais diferentes modelos de dados, sendo que boa parte destas linguagens possui bases formais sólidas; (iv) várias estruturas de índices temporais foram propostas, abrangendo as duas dimensões mais comuns do tempo, os tempos válidos e os tempos transacionais; (v) uma significativa quantidade de protótipos de SGBDs temporais foram desenvolvidos; (vi) vários SGBDs comerciais orientados a objeto, já existentes no mercado, incluem algum suporte temporal.

Apesar de tudo o que já foi realizado, muitos pontos ainda precisam ser trabalhados (AMO, 1995): (i) ao contrário do que acontece com as linguagens de consultas temporais relacionais, a especificação das linguagens orientadas a objeto é bem informal. Os modelos de dados ou linguagens de consulta temporal orientados a objetos não possuem uma semântica formal; (ii) estudos sobre design do nível físico e conceitual dos esquemas temporais ainda estão no início; e, (iii) também não existe nenhum SGBD relacional temporal no mercado, apesar da necessidade óbvia.

Como se pode notar, o estudo dos sistemas de informação temporais é bem formalizado e implementado teoricamente, mas a principal característica, que é atender o mercado consumidor, ainda não está disponível, causando uma deficiência no estudo prático dos sistemas de informação temporais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMO, Sandra A. de. 1995. Introdução aos bancos de dados temporais. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO. Recife. **Anais....** p.97.

EDELWEISS, Nina. 1994. **Modelagem de aspectos temporais de sistemas de informação**. Recife: IX Escola de Computação - UFPE.

HÜBLER, Patrícia Nogueira. 1998. **Implementação de um banco de dados temporal utilizando um SGBD convencional**. Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

KORTH, Henry F.; SILBERSCHATZ, Abraham. 1995. **Sistemas de bancos de dados**. 2º ed. São Paulo: Makron Books.

MOTA, Joice Seleme. 1999. **Modelos de dados temporais - um estudo comparativo** -. Porto Alegre. Trabalho Individual II (Mestrado em Ciência da Computação) - Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade federal do Rio Grande do Sul.

SANTOS, Gilene Fernandes. 2000. **Realização de consultas visuais a banco de dados temporais**. Campina Grande. Dissertação (Mestrado em Informática, Área de concentração em Ciência da Computação) - Curso de Pós-Graduação em Informática do Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba.

SCHIEL, Ulrich. 1996. **Aspectos temporais em sistemas de informação**. Paraíba. 2º ed. Relatório Técnico - Departamento de Sistemas e Computação, Universidade Federal da Paraíba.

SIMONETTO, Eugênio de Oliveira. 1998. **Uma proposta para incorporação de aspectos temporais, no projeto lógico de bancos de dados, em SGBDs relacionais**. Porto Alegre. Dissertação (mestrado em Informática, Área de Sistemas de Computação) - Programa de Mestrado em Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

INSTITUTO DE INFORMÁTICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. 1999. **Implementação de um sistema gerenciador de banco de dados temporal para o modelo TF-ORM**. Disponibilidade em: < <http://www.inf.ufrgs.br/pos/SemanaAcademica/Semana99/Hubler/hubler.html> >, acesso em 01/06/2001.

COMPANHIA DE INFORMÁTICA DO PARANÁ. 1998. **Uma proposta de modelagem de dados temporal**. Disponibilidade em: < <http://www.pr.gov.br/celepar/celepar/batebyte/edicoes/1998/bb/5/dados.htm> >, acesso em 10/08/2001.