

**Sérgio da Costa Côrtes**

**Um modelo de transações  
para integração de SGBD a  
um ambiente de computação  
móvel**

**TESE DE DOUTORADO**

**DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA  
Programa de Pós-graduação em  
Informática**

Rio de Janeiro  
Julho de 2004



**Sérgio da Costa Côrtes**

**Um modelo de transações para integração  
de SGBD a um ambiente de computação  
móvel**

**Tese de Doutorado**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática da PUC-Rio como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de Doutor em Informática

Orientador: Prof. Sérgio Lifschitz

Rio de Janeiro  
Julho de 2004



**Sérgio da Costa Côrtes**

**Um modelo de transações para integração  
de SGBD a um ambiente de computação  
móvel**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática do Centro Técnico Científico da PUC-Rio como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de Doutor em Informática. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Sérgio Lifschitz**

Orientador

Departamento de Informática — PUC-Rio

**Prof. Ana Carolina Brandão Salgado**

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

**Prof. Ângelo Roncalli Alencar Brayner**

Universidade de Fortaleza (Unifor)

**Prof. Angelo Ernani Maia Ciarlini**

Universidade do Rio de Janeiro (Unirio)

**Prof. Carlos José Pereira de Lucena**

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro  
(PUC-Rio)

**Prof. José Eugênio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico —  
PUC-Rio

Rio de Janeiro, 15 de Julho de 2004

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Sérgio da Costa Côrtes**

Graduado em Estatística pela Escola Nacional de Ciências Estatísticas - ENCE/IBGE, Pós graduado em Análise de Sistemas pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Mestre em Informática pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), na área de concentração em Banco de Dados. Professor do quadro complementar do Departamento de Informática da PUC-Rio.

#### Ficha Catalográfica

Côrtes, Sérgio

Um modelo de transações para integração de SGBD a um ambiente de computação móvel/ Sérgio da Costa Côrtes; orientador: Sérgio Lifschitz. — Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Informática, 2004.

211 f: il. ; 30 cm

Tese (doutorado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática.

Inclui referências bibliográficas.

1. Informática - Teses. 2. Banco de Dados. 3. Ambiente de Computação Móvel 4. Agentes. 5. Frameworks. I. Lifschitz, Sérgio. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

CDD: 004

## Agradecimentos

A DEUS pela graça da Vida e por me tornar uma pessoa voltada para seus ideais.

À Elvira Maria Antunes Uchôa por seu incentivo, apoio, ensinamentos e ajuda. Sem ela, certamente, eu não conseguiria chegar ao fim desta tese.

Ao professor Sérgio Lifschitz por sua orientação e pela confiança depositada em mim durante este trabalho.

À minha Mãe Haydê por ser o meu exemplo de vida.

À minha irmã Wilma que sempre que possível me ajuda no desempenho de minha função de pai.

Aos meus filhos, Samuel e Anna Carolina, por serem meus grandes motivadores de crescimento pessoal.

Aos meus amigos Alexandre, Claudia, Victor e D. Conceição, pela acolhida em suas famílias e pelos constantes carinho e estímulo.

A todos os amigos da PUC-Rio, professores, companheiros do grupo de Banco de Dados, alunos e funcionários por sua ajuda e incentivo durante meus estudos.

À PUC-Rio pela oportunidade de fazer este doutorado com isenção de suas taxas escolares.

Ao IBGE por tornar possível este doutorado, me proporcionando todas as condições necessárias de tempo e financeira.

## Resumo

Côrtes, Sérgio; Lifschitz, Sérgio. **Um modelo de transações para integração de SGBD a um ambiente de computação móvel.**

Rio de Janeiro, 2004. 211p. Tese de Doutorado — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Dispositivos portáteis dotados de computador são cada vez mais utilizados em diversos domínios de aplicações. Juntamente com as redes de telecomunicações provêem a base tecnológica para a computação móvel. Neste ambiente, os Sistemas de Gerência de Bancos de Dados (SGBDs) podem fornecer todos os mecanismos para confiança, segurança, disponibilidade, integridade e acesso eficiente a dados persistentes. Estes SGBDs podem estar localizados na rede com fio (fixa), desempenhando seu papel convencional de servidor de banco de dados, ou podem prover dados para computadores móveis e tecnologias relacionadas. Vários modelos para transações em banco de dados para o ambiente de computação móvel têm sido propostos. No entanto, não satisfazem plenamente as características únicas deste tipo de ambiente, tais como desconexões freqüentes, fraca conectividade na rede sem fio e a movimentação dos clientes. Esta tese tem por objetivo propor um modelo de computação que permita a integração de um SGBD a um ambiente de computação móvel. É apresentado um novo modelo de transações de banco de dados em múltiplos níveis no sentido de garantir o atendimento dos requisitos da computação móvel e as propriedades ACID de transações, onde há participação efetiva do SGBD. O modelo é definido em lógica de primeira ordem seguindo o formalismo ACTA. A implementação desse modelo de transações é apresentada em uma arquitetura que faz uso das abordagens de frameworks orientados a objetos e agentes de software, de forma a tratar com maior eficiência as especificidades do ambiente de computação móvel. Finalmente, é feita uma comparação entre alguns dos modelos mais relevantes de transações para bancos de dados no ambiente de computação móvel e o modelo proposto nesta tese, ressaltando o tratamento dado às propriedades ACID das transações de banco de dados.

## Palavras-chave

Transações, ACID, Banco de Dados, ACTA, Computação Móvel, Frameworks, Agentes de Software.

## Abstract

Côrtes, Sérgio; Lifschitz, Sérgio. **A Transaction Model for DBMS integration to a Mobile Computation Environment.**

Rio de Janeiro, 2004. 211p. PhD. Thesis — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Portable computerized devices have become widely used in many different application domains and are, together with telecommunication networks, the underlying technology for mobile computing. In this environment Database Management Systems (DBMS) may provide reliability, security and availability, besides data integrity and efficiency persistent data access. These DBMS might be located either in conventional (fixed) networks, with the conventional data server role, or might serve global and local data for mobile computers and related technology. There are many transaction models for mobile database management. However, the particular characteristics of this mobile environment, such as frequent disconnections, weak and intermittent connectivity of wireless networks and clients movement, are not always well addressed. The goal of this thesis is to propose a computational model that enables the integration of a DBMS to a mobile environment. Indeed, we present a new multi-level database transactional model in order to handle mobile requirements and ACID transaction properties, where a DBMS is present. Our model is defined using the ACTA formalism based in first-order logic. The implementation of proposed transaction model becomes feasible through the use of object-oriented frameworks and software agents, with gave support to deal with the particularities of the mobile computing environment. Finally, we give a comparison between the most relevant transaction models for the mobile computing environment and our proposed model, emphasizing the treatment given to the ACID transactions properties.

## Keywords

Transactions, ACID, Databases, ACTA, Mobile Computation, Frameworks, Software Agents.

## Conteúdo

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 1   | Introdução  | 13  |
| 1.1 | Um Cenário Móvel e a Contextualização de Seus Problemas na Abordagem deste Trabalho | 14  |
| 1.2 | Motivação para este Trabalho  | 17  |
| 1.3 | Objetivos da Tese   | 20  |
| 1.4 | Organização da Tese   | 21  |
| 1.5 | Resumo do Capítulo  | 22  |
| 2   | Conceitos e Fundamentos   | 24  |
| 2.1 | O Ambiente dos Sistemas de Bancos de Dados  | 24  |
| 2.2 | Concorrência e Transações em Banco de Dados   | 25  |
| 2.3 | Frameworks  | 30  |
| 2.4 | Agentes de Software   | 33  |
| 2.5 | O Ambiente da Computação Móvel  | 34  |
| 3   | Trabalhos Correlatos  | 51  |
| 3.1 | Transações no Ambiente de Computação Móvel  | 51  |
| 3.2 | Trabalhos Correlatos  | 52  |
| 3.3 | A Motivação para um Novo Modelo de Transações                                       | 69  |
| 3.4 | Resumo do Capítulo  | 71  |
| 4   | O Modelo de Transações Proposto   | 73  |
| 4.1 | Framework ACTA  | 73  |
| 4.2 | O Modelo da Transação Móvel Proposto  | 75  |
| 4.3 | Formalização do Modelo de Transações Proposto                                       | 87  |
| 4.4 | Critério de Corretude do Modelo Proposto  | 104 |
| 4.5 | Vantagens do Modelo Proposto  | 105 |
| 4.6 | Resumo do Capítulo  | 106 |
| 5   | Uma Arquitetura para Implementação do Modelo de Transações Proposto                 | 107 |
| 5.1 | O Ambiente para Integração e Implementação do Modelo de Transações Proposto         | 107 |
| 5.2 | A Arquitetura Proposta  | 108 |
| 5.3 | O Framework Proposto  | 114 |
| 5.4 | Garantia das Propriedades do Modelo Proposto pelo Framework                         | 148 |
| 5.5 | Resumo do Capítulo  | 155 |
| 6   | Comparação entre Modelos de Execução de Transação em Ambiente de Computação Móvel   | 157 |
| 6.1 | Resumo das Características do Modelo Proposto                                       | 157 |
| 6.2 | Modelos de Execução   | 160 |
| 6.3 | Tratamento das Propriedades ACID  | 164 |
| 6.4 | Resumo do Capítulo  | 175 |



|     |  |            |
|-----|--|------------|
| 7   | Conclusões, Principais Contribuições e Trabalhos Futuros   | <b>176</b> |
| 7.1 | Síntese do Trabalho  | 176        |
| 7.2 | Principais Contribuições da Tese   | 177        |
| 7.3 | Limites Técnicos   | 179        |
| 7.4 | Trabalhos Futuros  | 180        |
|     | Referências Bibliográficas   | <b>182</b> |
| A   | Algumas Questões Importantes Quanto ao Funcionamento do Ambiente de Computação Móvel               | <b>190</b> |
| A.1 | Estados de Operação de um Equipamento (Host) Móvel   | 190        |
| A.2 | Estados de Operações Desconectadas de um Host Móvel  | 191        |
| A.3 | Desconexão e os SGBDs  | 195        |
| A.4 | Fracas Conectividade   | 197        |
| A.5 | Mobilidade   | 198        |
| A.6 | Recuperação de Falhas  | 199        |
| B   | Revisão Conceitual para Formalização do Modelo de Transações Proposto                              | <b>203</b> |
| B.1 | Formalização de Algumas Definições de Uso Geral  | 203        |
| B.2 | Tipos de Dependências entre as Transações  | 205        |
| C   | Diagrama do Modelo Lógico de Dados Relacional do Exemplo de Vendas e Interfaces da Aplicação Móvel | <b>209</b> |
| C.1 | Diagrama Lógico Relacional do Exemplo de Vendas  | 209        |
| C.2 | Interfaces da Aplicação Móvel  | 211        |

## Lista de Figuras

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 1.1  | Um cenário para um ambiente de computação móvel  | 16  |
| 2.1  | Diagrama de Transição de Estados de uma transação  | 28  |
| 2.2  | Arquitetura de um sistema de computação móvel  | 36  |
| 2.3  | Classificação dos SGBDs  | 40  |
| 2.4  | Componentes do modelo cliente/servidor para SGBDs  | 44  |
| 2.5  | Ambiente de computação móvel em uma arquitetura cliente/servidor convencional              | 44  |
| 2.6  | Modelo em três camadas cliente/ <i>agente-servidor</i> /servidor                           | 46  |
| 2.7  | O modelo em três camadas cliente/ <i>agente-cliente</i> /servidor                          | 47  |
| 2.8  | O modelo em três camadas cliente/ <i>agente-agente</i> /servidor                           | 48  |
| 4.1  | Representação do modelo de transações proposto   | 79  |
| 4.2  | Diagrama de Transição de Estados de uma transação móvel (TM) no modelo proposto            | 85  |
| 5.1  | Caracterização do ambiente de computação móvel considerado                                 | 108 |
| 5.2  | Esquema geral da arquitetura proposta  | 110 |
| 5.3  | Detalhamento do esquema geral da arquitetura proposta                                      | 113 |
| 5.4  | Diagrama de Casos de Uso do framework proposto   | 116 |
| 5.5  | Esquema genérico de funcionamento de uma instância do framework                            | 118 |
| 5.6  | Diagrama de Organização do ambiente móvel do framework proposto                            | 120 |
| 5.7  | Diagrama de Organização do ambiente de rede fixa do framework proposto                     | 125 |
| 5.8  | Diagrama de Classes do framework proposto  | 131 |
| 5.9  | Diagrama de Papéis do framework proposto   | 133 |
| 5.10 | Diagrama de Seqüência Execução Transação Móvel   | 135 |
| 5.11 | Diagrama de Seqüência Execução Transação BD Eq. Rede Fixa - no equipamento móvel (partida) | 137 |
| 5.12 | Diagrama de Seqüência Execução Transação BD Eq Rede Fixa - no equipamento da rede fixa     | 139 |
| 5.13 | Diagrama de Seqüência Execução Transação BD Eq Rede Fixa - no equipamento móvel (retorno)  | 140 |
| 5.14 | Diagrama de Seqüência Execução Transação BD Eq Móvel                                       | 141 |
| 5.15 | Diagrama de Seqüência Execução Aplicação   | 142 |
| 5.16 | Diagrama de Seqüência Localização Cliente Móvel  | 143 |
| 5.17 | Diagrama de Seqüência Encerramento Transação Eq Móvel                                      | 145 |
| 5.18 | Diagrama Estrutural do ambiente móvel do framework proposto instanciado                    | 147 |
| 5.19 | Diagrama Estrutural do ambiente de rede fixa do framework proposto instanciado             | 148 |
| A.1  | Estados de operação de um host móvel   | 191 |

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| A.2 | Estados de operações desconectadas de um host móvel                       | 193 |
| C.1 | Modelo Lógico Relacional do Banco de Dados utilizado no estudo de caso    | 210 |
| C.2 | Interface 01 - início da aplicação  | 211 |
| C.3 | Interface 02 - identificação do vendedor                                  | 212 |
| C.4 | Interface 03 - início do pedido de compra                                 | 212 |
| C.5 | Interface 04 - identificação do cliente e da forma de pagamento da compra | 213 |
| C.6 | Interface 05 - seleção dos produtos para venda e suas quantidades         | 214 |
| C.7 | Interface 06 - seleção dos produtos vendidos e suas quantidades           | 214 |
| C.8 | Interface 07 - conclusão da venda ao cliente                              | 215 |

## Lista de Tabelas

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 2.1 | Características específicas da gerência de dados móveis                                   | 42  |
| 6.1 | Quadro comparativo dos modelos de execução de transações                                  | 163 |
| 6.2 | Quadro comparativo da propriedade de atomicidade  | 166 |
| 6.3 | Quadro comparativo da propriedade de consistência   | 169 |
| 6.4 | Quadro comparativo da propriedade de isolamento   | 172 |
| 6.5 | Quadro comparativo da propriedade de durabilidade   | 175 |
| A.1 | Principais problemas e questões relacionadas ao estado de desconexão de uma unidade móvel | 196 |
| A.2 | Conectividade e <i>checkpoint</i>   | 202 |

Aos meus pais, Wanderley e Haydê, por tudo o que eles me ensinaram e representam para mim.

**Sérgio Côrtes**