

José Maria da Silva Monteiro Filho

**Uma Abordagem Não-Intrusiva para a
Manutenção Automática do Projeto Físico de
Bancos de Dados**

Tese de Doutorado

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Informática da PUC-Rio

Orientador : Prof. Sérgio Lifschitz
Co-Orientador: Prof. Ângelo Roncalli Alencar Brayner

Rio de Janeiro
Outubro de 2008

José Maria da Silva Monteiro Filho

**Uma Abordagem Não-Intrusiva para a
Manutenção Automática do Projeto Físico de
Bancos de Dados**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Doutorado em Informática do Departamento de Informática do Centro Técnico Científico da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção Do título de Doutor em Doutorado em Informática. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Sérgio Lifschitz

Orientador

Departamento de Informática — PUC-Rio

Prof. Ângelo Roncalli Alencar Brayner

Co-Orientador

Universidade de Fortaleza – Unifor

Prof. Caetano Traina Junior

USP - São Carlos

Prof. Javam de Castro Machado

UFC

Prof. Antônio Luz Furtado

Departamento de Informática — PUC-Rio

Prof. Rubens Nascimento Melo

Departamento de Informática — PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico — PUC-Rio

Rio de Janeiro, 09 de Outubro de 2008

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

José Maria da Silva Monteiro Filho

Possui graduação em Bacharelado em Ciência da Computação pela Universidade Federal do Ceará (1998) e mestrado em Ciência da Computação pela Universidade Federal do Ceará (2001). Atualmente é professor assistente da Universidade Federal do Ceará. Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Banco de Dados, atuando principalmente nos seguintes temas: Bancos de Dados Auto-gerenciados e Autônomos, Bancos de Dados Móveis, Autorização e Segurança, Processamento de Transações e Processamento de Consultas.

Ficha Catalográfica

Filho, José Maria da Silva Monteiro

Uma Abordagem Não-Intrusiva para a Manutenção Automática do Projeto Físico de Bancos de Dados / José Maria da Silva Monteiro Filho; orientadores: Sérgio Lifschitz, Ângelo Roncalli Alencar Brayner. — 2008.

201 f: il. ; 30 cm

Tese (Doutorado em Informática) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Inclui bibliografia

1. Informática – Tese. 2. Bancos de Dados Auto-gerenciados. 3. Bancos de Dados Autônomos. 4. Agentes de *Software*. 5. Sintonia Automática. 6. Manutenção Automática de Índices. 7. Manutenção Automática do Projeto Físico. I. Lifschitz, Sérgio. II. Brayner, Ângelo Roncalli Alencar. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. IV. Título.

CDD: 004

Agradecimentos

A Deus, que me possibilitou chegar onde jamais imaginei. “Até aqui nos ajudou o Senhor” (I Samuel 7).

À minha esposa, Laurilena, que soube suportar, com paciência, as longas ausências e emprestar, com generosidade, suas forças, quando o desânimo e o cansaço me visitavam. Aos meus pais, irmãos e família. Ao meu pai, José Maria Monteiro, que me ensinou as lições mais importantes da vida: honestidade, justiça, honra, ética, fraternidade e companheirismo. A minha mãe, Maria Laura, que, com seu exemplo de vida, me ensinou o sentido da palavra Amor. Ao Mateus Celedônio, que me ensinou que não adianta trabalhar duro sem se divertir.

Aos meus orientadores, Professores Sérgio Lifschitz e Ângelo Brayner, pelo apoio, amizade, e incentivo para a realização deste trabalho.

Ao Professor Markus Endler, pelo incentivo à pesquisa, pela colaboração nos artigos e por tudo o que aprendi com ele.

Ao CNPq e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

À Universidade Federal do Ceará, pelo apoio e cobrança institucional para a conclusão deste trabalho. Aos meus colegas do campus de Quixadá, professores: Ciro Nogueira, Davi Romero, Esdras Soares, Flávio Sousa, Alberto Sampaio, Francisco Aragão, Atslands Rocha, Lídio Campos e Tânia Pinheiro.

Aos meus primeiros mestres, que despertaram em mim o amor pela pesquisa científica: Maria Virgínia, Vânia Vidal, Mauro Oliveira, Javam Machado, Ângelo Brayner, Cidcley Teixeira e Bernadette Lóscio.

Aos meus colegas da PUC-Rio, que me fizeram adorar esse lugar: Manuel, Maíra, Morelli, Marcos Salles, Anolan, Janaina, Cristian, Claudionor, Daniel Xavier, Paulo, Thiago Noronha, Thomas, Denise Filippo, Luiz Braz, Vinicius Almendra, Sérgio Medeiros, Luciana, Ana Carolina e Isabel.

“Eu sou de uma terra que o povo padece, mas não esmorece e procura vencer. Eu sou brasileiro, filho do Nordeste, sou cabra da peste, sou do Ceará.”

Resumo

Filho, José Maria da Silva Monteiro; Lifschitz, Sérgio; Brayner, Ângelo Roncalli Alencar. **Uma Abordagem Não-Intrusiva para a Manutenção Automática do Projeto Físico de Bancos de Dados**. Rio de Janeiro, 2008. 201p. Tese de Doutorado — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O projeto físico de bancos de dados cumpre um papel primordial para assegurar um desempenho adequado. Atualmente, existe uma grande quantidade de trabalhos e ferramentas na área de seleção automática do projeto físico. Tais ferramentas, contudo, adotam uma abordagem *offline* na solução do problema e transferem para o DBA, dentre outras tarefas, a decisão de executar ou não as recomendações sugeridas. Todavia, em ambientes dinâmicos, com consultas *ad-hoc*, torna-se bastante complexo identificar configurações de projeto físico que sejam adequadas. Recentemente, algumas iniciativas apresentaram descrições de protótipos que implementam funcionalidades de sintonia automática. Estes trabalhos, porém, adotam uma abordagem intrusiva e funcionam apenas com um SGBD específico. Neste trabalho, propõe-se uma abordagem não-intrusiva para a manutenção automática e *on-the-fly* do projeto físico de bancos de dados. A abordagem proposta é completamente desacoplada do código do SGBD, pode ser utilizada com qualquer SGBD e executada sem intervenção humana. A estratégia adotada baseia-se em heurísticas que executam continuamente e, sempre que necessário, modificam o projeto físico corrente, reagindo a alterações na carga de trabalho. Para comprovar a viabilidade das idéias apresentadas, a abordagem proposta foi instanciada para solucionar dois importantes problemas relacionados ao projeto físico: a manutenção automática de índices e de *clusters* alternativos de dados.

Palavras-chave

Bancos de Dados Auto-gerenciados. Bancos de Dados Autônomos. Agentes de *Software*. Sintonia Automática. Manutenção Automática de Índices. Manutenção Automática do Projeto Físico.

Abstract

Filho, José Maria da Silva Monteiro; Lifschitz, Sérgio; Brayner, Ângelo Roncalli Alencar. **A Non-Intrusive Approach for Automated Physical Design Tuning**. Rio de Janeiro, 2008. 201p. PhD Thesis — Department of Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The physical design of a database plays a critical role in performance. There has been considerable work on automated physical design tuning for database systems. Existing solutions require offline invocations of the tuning tool and depend on DBAs identifying representative workloads manually. However, in dynamic environments involving various ad-hoc queries it is difficult to identify potentially useful physical design in advance. Recently, a few initiatives present brief descriptions of prototypes that address some aspects of online physical tuning. Nevertheless, these references work in an intrusive manner and work only with a specific DBMS. In this work, we propose a non intrusive approach to automated and on-the-fly physical design problems, in order to speed up processing of subsequent queries. Specifically, we design algorithms that are always-on and continuously modify the current physical design, reacting to changes in the query workload. To prove the viability of the presented ideas, the proposed approach was instantiated to solve two major problems related to the database physical design: indexing and alternative data clusters automatic maintenance.

Keywords

Self-Management Databases. Autonomic Databases. Software Agents. Self-Tuning. Index Self-Tuning. Automated Physical Design Tuning.

Sumário

1	Introdução	12
1.1	Motivação	12
1.2	Objetivo e Escopo	18
1.3	As Principais Contribuições	20
1.4	Organização da Tese	21
1.5	Resumo do Capítulo	22
2	Conceitos Básicos	23
2.1	Projeto Físico de Bancos de Dados	23
2.2	Indexação de Dados	25
2.3	Duplicação de Estruturas Físicas	29
2.4	Visões Materializadas	30
2.5	Particionamento de Tabelas	32
2.6	Sintonia de Banco de Dados	33
2.7	Sintonia Automática de Banco de Dados	34
2.8	Sintonia Automática do Projeto Físico	35
2.9	Benchmark	42
2.10	Resumo do Capítulo	45
3	Trabalhos Relacionados	46
3.1	Classificação das Pesquisas em Auto-Sintonia de Bancos de Dados	46
3.2	Auto-Sintonia Global de SGBDs	48
3.3	Auto-Sintonia Local de SGBDs	50
4	Uma Abordagem Não-Intrusiva para a Manutenção Automática do Projeto Físico	80
4.1	Visão Geral	80
4.2	Fase de Observação: Monitoramento da Carga de Trabalho e Atualização do Benefício das Estruturas de Acesso	81
4.3	Fase de Predição: Seleção <i>On-Line</i> de Estruturas de Acesso	89
4.4	Fase de Reação: Criação, Remoção e Reorganização das Estruturas de Acesso	93
4.5	Qualidade das Configurações Obtidas	94
4.6	Discussão	100
4.7	Resumo do Capítulo	102
5	Estudo de Caso: Instanciações da Abordagem de Sintonia Automática	104
5.1	Estudo de Caso 1: Manutenção Automática e Não-Intrusiva das Estruturas de Índices	104
5.2	Estudo de Caso 2: Manutenção Automática e Não-Intrusiva de <i>Clusters</i> Alternativos de Dados	122
5.3	Resumo do Capítulo	127

6	Uma Arquitetura Não-Intrusiva para a Manutenção Automática do Projeto Físico de Bancos de Dados	129
6.1	Resumo do Capítulo	137
7	Resultados Experimentais	139
7.1	Trabalhos Relacionados com Avaliação TPC-H	140
7.2	Análise da Seletividade das Consultas	140
7.3	Resultados Experimentais com o PostgreSQL	142
7.4	Resumo do Capítulo	147
8	Conclusões e Trabalhos Futuros	148
8.1	Análise das Principais Contribuições	149
8.2	Oportunidades para Trabalhos Futuros	153
	Referências Bibliográficas	156
A	O Modelo de Custos Utilizado	165
A.1	Estimativas de Custo	166
B	Heurística Integrada para Seleção e Acompanhamento de Índices	172
C	Possíveis Melhorias na Heurística Integrada para Seleção e Acompanhamento de Índices	176
D	Benchmark TPC-C	181
D.1	O Ambiente OLTP	183
D.2	Cargas de Trabalho TPC-C	184
E	Benchmark TPC-H	188
E.1	O Ambiente OLAP	192
E.2	Cargas de Trabalho TPC-H	192
F	Arquitetura Implementada	201

Lista de figuras

2.1	Exemplo de uma Árvore B+.	25
2.2	Exemplo de Carga de Trabalho.	26
2.3	Consulta que Realiza Cinco Varreduras Sobre a Tabela Venda.	27
2.4	Índice Não Fragmentado	28
2.5	Índice Fragmentado	28
2.6	Comando SQL para Criação de Tabela com Particionamento Horizontal.	33
3.1	Classificação das Pesquisas em Auto-Sintonia	48
3.2	Arquitetura da Ferramenta QUIET	63
3.3	Arquitetura da Ferramenta COLT	67
3.4	Arquitetura da Ferramenta <i>AutoAdmin Online</i>	76
4.1	Cláusula SQL Exemplo 1.	84
4.2	Plano de Execução da Cláusula SQL Exemplo 1.	85
4.3	Plano de Execução da Cláusula SQL Exemplo 1 Considerando a Existência do Índice Secundário i_1 .	86
4.4	Plano de Execução da Cláusula SQL Exemplo 1 Considerando a Existência do Índice Primário i_2 .	87
4.5	Cláusula SQL Exemplo 2.	87
4.6	Plano de Execução da Cláusula SQL Exemplo 2.	88
4.7	Plano de Execução da Cláusula SQL Exemplo 2 Considerando a Existência do Índice i_3 .	89
4.8	Algoritmo Guloso para Seleção de uma Configuração de Estruturas de Acesso.	91
4.9	Algoritmo Baseado em Programação Dinâmica para Seleção de uma Configuração de Estruturas de Acesso.	93
4.10	Algoritmo para Atualização da Configuração de Estruturas de Acesso.	94
5.1	Heurística Integrada: Avaliação de Consultas (Parte 1).	107
5.2	Heurística Integrada: Avaliação de Consultas (Parte 2).	108
5.3	Heurística Integrada: Avaliação de Atualizações.	109
5.4	Heurística Integrada: Avaliação de Atualizações.	113
5.5	Algoritmo Guloso para Seleção de Índices.	114
5.6	Algoritmo Guloso para Seleção de Índices: Considerando a Pré-Criação de Índices Envolvidos em Chaves Primárias e Estrangeiras.	116
5.7	Algoritmo para Atualização da Configuração de Índices.	118
5.8	Algoritmo Guloso para Seleção de <i>Clusters</i> Alternativos de Dados.	126
5.9	Algoritmo para Atualização da Configuração de <i>Clusters</i> Alternativos de Dados.	127
6.1	Arquitetura Não-Intrusiva para Manutenção Automática de Índices.	130
7.1	Principais consultas e os índices sugeridos para o <i>benchmark</i> TPC-H.	142
7.2	Resultados dos Testes Realizados.	143

B.1	Heurística Integrada para a Seleção e Acompanhamento de Índices: Parte 1.	173
B.2	Heurística Integrada para a Seleção e Acompanhamento de Índices: Parte 2.	174
B.3	Heurística Integrada para a Seleção e Acompanhamento de Índices: Parte 3.	175
C.1	Plano de execução produzido para a Consulta 1, na ausência de índices.	176
C.2	Plano de execução produzido para a Consulta 1, na presença do índice criado.	177
C.3	Plano de execução produzido para a Consulta 2, na ausência de índices.	177
C.4	Plano de execução produzido para a Consulta 1, na presença do índice criado.	177
C.5	Plano de execução produzido para a Consulta 3, na presença do índice criado, no PostgreSQL 8.3.	178
C.6	Plano de execução produzido para a Consulta 3, na presença do índice criado, no PostgreSQL 8.3.	178
C.7	Plano de execução produzido para a Consulta 4, na presença do índice criado.	179
C.8	Plano de execução produzido para a Consulta 5, na presença do índice criado.	179
C.9	Plano de execução produzido para a Consulta 6, na presença do índice criado.	180
D.1	Relação entre armazéns, distritos e clientes.	182
D.2	Diagrama ER do Banco de Dados TPC-C.	182
D.3	Transação <i>New Order</i> .	184
D.4	Transação <i>Payment</i> .	185
D.5	Transação <i>Order Status</i> .	186
D.6	Transação <i>Delivery</i> .	187
D.7	Transação <i>Stock-Level</i> .	187
E.1	Modelo Dimensional do TPC-H.	189
E.2	Modelo Relacional do TPC-H.	190
F.1	Arquitetura do Protótipo Implementado.	201

Lista de tabelas

3.1	Análise Comparativa das Abordagens para Manutenção Automática de Índices.	78
5.1	Análise Comparativa entre os Trabalhos Relacionados e a Abordagem Proposta.	122
7.1	Relacionamento entre os índices sugeridos pelo <i>benchmark</i> TPC-H e as operações de busca seqüencial (<i>Seq Scan</i>).	144
7.2	Índices sugeridos pela ferramenta DTA do SQL Server 2005.	145
7.3	Índices sugeridos pelo <i>SQL Adjust Advisor</i> do Oracle 10g.	146
E.1	Testes que Compõem o <i>benchmark</i> TPC-H.	191
E.2	Quantidade de Fluxos Utilizados no Teste <i>Throughput</i> .	191