

**Paulo da Silva Silveira**

**Projeto e Implementação de  
Interfaces Coletivas em um  
Middleware orientado a  
Componentes de Software**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

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

Rio de Janeiro  
Abril de 2011

**Paulo da Silva Silveira**

**Projeto e Implementação de Interfaces  
Coletivas em um Middleware orientado a  
Componentes de Software**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática do Centro Técnico Científico da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Informática.

Orientador: Prof. Renato Fontoura de Gusmão Cerqueira

Rio de Janeiro  
Abril de 2011



**Paulo da Silva Silveira**

**Projeto e Implementação de Interfaces  
Coletivas em um Middleware orientado a  
Componentes de Software**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática do Centro Técnico Científico da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Informática. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Renato Fontoura de Gusmão Cerqueira**

Orientador

Departamento de Informática — PUC-Rio

**Prof. Noemi Rodriguez**

Departamento de Informática — PUC-Rio

**Prof. Alessandro Fabricio Garcia**

Departamento de Informática — PUC-Rio

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico — PUC-Rio

Rio de Janeiro, 07 de Abril de 2011

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

### **Paulo da Silva Silveira**

Graduou-se no curso de Bacharelado em Ciência da Computação pela UESC. Atua como consultor e analista de sistemas no grupo de Modelagem Geológica do laboratório Tecnologia em Computação Gráfica (TecGraf) da PUC-Rio desde 2009, onde trabalha no desenvolvimento de soluções de integração de sistemas e computação de alto desempenho.

#### Ficha Catalográfica

Silveira, Paulo da Silva

Projeto e implementação de interfaces coletivas em um middleware orientado a componentes de software / Paulo da Silva Silveira; orientador: Renato Fontoura de Gusmão Cerqueira. — Rio de Janeiro : PUC–Rio, Departamento de Informática, 2011.

v., 93 f: il. ; 29,7 cm

1. Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática.

Inclui referências bibliográficas.

1. Informática – Dissertação. 2. Componentes de software. 3. Programação paralela. 4. Interfaces coletivas. I. Cerqueira, Renato Fontoura de Gusmão. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

CDD: 004

## Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por me permitir alcançar mais esta etapa da minha vida. Apesar de todos os problemas e adversidades que surgiram, Ele sempre me permitiu levantar a cada manhã com objetivos e esperanças renovados, transformando cada dificuldade em mais um degrau para que eu pudesse ir além, pois: “(...) *sem Ele nada do que foi feito se fez.*” (João 1:3b).

Em segundo lugar gostaria de agradecer a minha querida família, que, apesar de muitas limitações, não mediu esforços para me proporcionar um ambiente perfeito para o meu crescimento pessoal e profissional, fazendo uso de todos os seus recursos para que eu pudesse chegar até aqui. Gostaria de ressaltar a minha imensa gratidão ao meu pai Antônio S. Silveira, que sempre fez tudo ao seu alcance para permitir o meu sucesso nos desafios dessa vida e, cujos princípios e ensinamentos estarão sempre guardados. Sou imensamente grato também a minha mãe Maria Neuza da S. Silveira, por todo amor, proteção, cuidado e carinho que tem me proporcionado sem medidas até hoje. Agradeço aos meus irmãos Marcos e Sandra, pelo inestimável companheirismo durante todos os anos de minha vida.

Gostaria também de agradecer aos amigos, colegas e professores que constituíram o ambiente de estudo e pesquisa que me foi proporcionado durante meus saudosos anos de graduação na Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). Em especial, gostaria de agradecer a professora Marta Bertoldi por me iniciar nos princípios da pesquisa acadêmica orientando meu primeiro trabalho de iniciação científica. Gostaria também de deixar minha gratidão ao meu amigo e professor Dr. Gesil Sampaio Amarante Segundo, com o qual tive o prazer de realizar dois projetos de iniciação científica e também o trabalho de conclusão de curso, e me incentivou muito a investir na carreira acadêmica. Meus agradecimentos também a professora Dra. Martha Ximena Torres Delgado, que, como excelente professora e coorientadora, me apresentou a área de pesquisa na qual atuo hoje. Não posso deixar de mencionar colegas que foram mais que amigos durante a graduação como o Marcos Vieira, Rodrigo Tripodi e o Cristianno Martins.

Gostaria de registrar aqui também a minha gratidão a minha primeira banda de música na minha igreja em Ilhéus, a Manancial, pois foi onde passei alguns dos momentos de maior crescimento da minha vida. Agradecer também a Priscila Xavier, uma pessoa incrível que me ajudou muito durante o momento mais difícil da minha vida que foi a perda do meu pai e também me deu todo o suporte na decisão de mudar de estado para fazer o mestrado após isso.

Agradeço também aos novos e grandes amigos que fiz durante esse período, como o Amadeu Barbosa, o Paulo França, o Sérgio, o Júnior, por todos os momentos de descontração durante esse período sejam no Wii, PS3 ou no beach volei e com os quais tenho aprendido muito. A minha colega de mestrado e amiga Andrea Carvalho que me ajudou muito no início da minha jornada aqui no Rio. Aos meus inestimáveis amigos Breno, Sara, Berg, Cleiton pelos muitos e grandes momentos de companheirismo e descontração vividos neste período no Rio de Janeiro. A Debora Alde, uma grande amiga que muito me ajudou na parte final do mestrado.

Gostaria de agradecer também ao meu professor e orientador Dr. Renato Cerqueira por acreditar no meu trabalho e aceitar o desafio de orientar minha pesquisa. Gostaria de agradecer-lo pelas valiosas e sempre cruciais instruções para o desenvolvimento do trabalho e pela paciência como orientador. E, finalizando, gostaria de agradecer ao Dr. Marcio Santi, pela oportunidade e experiência de trabalhar em uma equipe de desenvolvimento no TecGraf e pelo grande apoio no período final do mestrado.

Por fim, deixo os meus agradecimentos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, ao TecGraf e a PUC-Rio pelo ambiente excepcional de pesquisa proporcionado e pela infraestrutura tecnológica disponibilizada para a realização desse trabalho.

A todos os envolvidos direta e indiretamente para a realização desse trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

## Resumo

Silveira, Paulo da Silva; Cerqueira, Renato Fontoura de Gusmão. **Projeto e Implementação de Interfaces Coletivas em um Middleware orientado a Componentes de Software**. Rio de Janeiro, 2011. 93p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Tradicionalmente, o processo de desenvolvimento de sistemas paralelos enfatiza o desempenho em detrimento de melhores abstrações de programação, o que acarreta problemas como excessiva complexidade de código e redução da manutenibilidade do software. Novas técnicas têm se mostrado interessantes na construção de software paralelo, tais como as tecnologias de componentes de software. Este trabalho realizou um estudo do mecanismo de comunicação paralela entre componentes conhecido como Interfaces Coletivas. Como parte desse estudo, foi realizada uma implementação desse mecanismo no middleware de componentes SCS, onde foram projetados e implementados dois conectores para sincronização e comunicação paralela. Essa implementação viabilizou uma análise dos requisitos para a integração das Interfaces Coletivas em um middleware orientado a componentes e possibilitou a identificação dos desafios de implementar esse mecanismo em uma linguagem como C++, amplamente usada em aplicações científicas.

## Palavras-chave

Componentes de software; Programação paralela; Interfaces coletivas.

## Abstract

Silveira, Paulo da Silva; Cerqueira, Renato Fontoura de Gusmão (Advisor). **Design and Implementation of Collective Interfaces in a Component-oriented Middleware**. Rio de Janeiro, 2011. 93p. MSc Dissertation — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Traditionally, the development process of parallel systems emphasizes performance at the expense of better programming abstractions, which causes problems such as excessive code complexity and reduced software maintainability. New techniques have shown expressive results in building parallel software, such as software components technologies. This work conducted a study of the mechanism of parallel communication between components known as Collective Interfaces. As part of this study, we performed an implementation of this mechanism in the SCS middleware, where two connectors were designed and implemented for parallel synchronization and communication. This implementation allowed us to analyze the requirements for the integration of Collective Interfaces in a component oriented middleware and to identify the challenges of implementing this mechanism in a language as C++, widely used in scientific applications.

## Keywords

Component systems; Parallel programming; Collective interfaces.



# Sumário

1	Introdução	<b>13</b>
1.1	Objetivos e Contribuições	16
1.2	Estrutura do Documento	16
2	Estudo sobre Ferramentas de Paralelização	<b>18</b>
2.1	Ambientes de Paralelização Estudados	18
2.1.1	MPI	19
2.1.2	Sistema de Runtime ANTHILL	21
2.1.3	Charm++	24
2.1.4	CCA	27
2.1.5	GCM/Fractal	29
2.2	Estudo Comparativo	32
2.2.1	Dimensões de Paralelismo	33
2.2.2	Abstração de Programação	34
2.2.3	Plataformas de Execução	34
2.2.4	Suporte a Comunicação Coletiva	35
2.3	Considerações Finais	35
3	Conceitos Básicos	<b>37</b>
3.1	Middleware de Componentes SCS	37
3.1.1	Modelo de Componentes	37
3.1.2	Infraestrutura de Execução	39
3.1.3	Suporte a Programação Paralela	40
3.2	Interfaces Coletivas	40
3.2.1	Interface <i>Multicast</i>	42
3.2.2	Interface <i>Gathercast</i>	43
3.2.3	Padrões de programação paralela suportados	44
3.2.4	Implementação de Referência	45
4	Middleware SCS-Collective	<b>47</b>
4.1	Arquitetura	47
4.1.1	Conectores Coletivos	50
4.2	Políticas de Redistribuição de Dados Suportadas	55
4.3	Geração de Código	57
4.4	API	58
4.5	Considerações Finais	59
5	Exemplos de Uso dos Conectores Coletivos	<b>62</b>
5.1	Conector MulticastReceptacle	62
5.1.1	Demo PI.Dartboard	62
5.2	Conector GatherFacet	68
5.2.1	Demo FindMAXValue	68
6	Avaliação	<b>75</b>

6.1	Avaliação de desempenho	75
6.1.1	Sobrecarga da implementação	75
6.1.2	Speedups obtidos	78
6.2	Avaliação qualitativa	80
6.2.1	Desafios de uma implementação C++ das ICs	80
6.2.2	Requisitos para a integração de ICs em middlewares de Componentes	80
7	Conclusões	<b>85</b>
8	Referências Bibliográficas	<b>88</b>

## Lista de figuras

2.1	Estrutura de filtros de uma aplicação ANTHILL	22
2.2	Interface GCM <i>Multicast</i> : Comunicação 1xN	30
2.3	Interface GCM <i>Gathercast</i> : Comunicação Mx1	31
2.4	Bindig de M interfaces <i>Gathercast</i> com N <i>Multicast</i> (fonte [1])	31
3.1	Modelo de componentes SCS (fonte [2])	38
3.2	Infraestrutura de Execução do SCS (fonte [2])	40
3.3	Arquitetura de <i>sub-interfaces</i> das ICs.	41
3.4	Estratégias de redistribuição com a interface <i>Multicast</i>	42
3.5	Exemplos de estratégias de redistribuição com <i>Gathercast</i>	43
4.1	Modelo de componentes do SCS-COLLECTIVE	48
4.2	Padrão <i>Strategy</i> na instanciação do conector <i>MulticastReceptacle</i>	50
4.3	Interações para um componente com <i>MulticastReceptacle</i>	51
4.4	Interações para um componente com conector <i>GatherFacet</i>	53
5.1	Arquitetura de paralelização <i>Master-Worker</i>	64
5.2	Arquitetura de componentes do demo FindMAXValues	69
6.1	Sobrecarga imposta pelas implementações de <i>broadcast</i> e <i>reduce</i>	76
6.2	Sobrecarga imposta pela implementação das políticas <i>scatter</i> e <i>gather</i>	77
6.3	Sobrecarga imposta pelas implementações de <i>gather</i> e <i>broadcast</i>	78
6.4	<i>Speedup</i> da aplicação PI.Dartborad	79

## Lista de tabelas

2.1	Suporte às três dimensões de paralelismo	33
2.2	Paradigmas de Programação suportados por cada ferramenta	34
2.3	Plataformas de hardware suportadas	35
2.4	Comunicação coletiva nos ambientes	35
4.1	Adequação do SCS-Collective aos critérios elicitados no Cap. 2	61

*Great things are done by a series of small  
things brought together.*

**Van Gogh**