Aletéia Patrícia Favacho de Araújo

**Paralelização Autônoma de Metaheurísticas
em Ambientes de Grid**

Tese de Doutorado

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Informática
do Departamento de Informática da PUC-Rio como requisito
parcial para obtenção do título de Doutor em Informática

Orientador : Prof. Celso da Cruz Carneiro Ribeiro
Co-Orientador : Prof. Eugene Francis Vinod Rebello
Co-Orientadora: Profa. Maria Cristina Silva Boeres

Rio de Janeiro
Abril de 2008

Aletéia Patrícia Favacho de Araújo

**Paralelização Autônoma de Metaheurísticas
em Ambientes de Grid**

Tese 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 título de Doutor em Informática. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Celso da Cruz Carneiro Ribeiro

Orientador

Departamento de Ciência da Computação - UFF

Prof. Sérgio Lifschitz

Presidente

Departamento de Informática - PUC-Rio

Prof. Renato Fontoura de Gusmão Cerqueira

Departamento de Informática - PUC-Rio

Prof. Edson Norberto Cáceres

Departamento de Computação e Estatística - UFMS

Prof. Mario Antônio Ribeiro Dantas

Departamento de Informática e Estatística - UFSC

Prof. Simone de Lima Martins

Departamento de Ciência da Computação - UFF

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico — PUC-Rio

Rio de Janeiro, 07 de Abril de 2008

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

Aletéia Patrícia Favacho de Araújo

Graduou-se em Ciências da Computação na Universidade Federal do Pará (Belém, Brasil). Desenvolveu pesquisa na área de Sistemas Distribuídos como projeto final do Curso de Ciências da Computação. Obteve o título de Mestre em Ciências da Computação na Universidade de São Paulo (São Carlos, Brasil). Desenvolveu um sistema de balanceamento de carga dinâmico para máquinas paralelas virtuais durante o mestrado.

Ficha Catalográfica

Araújo, Aletéia Patrícia Favacho de

Paralelização Autônoma de Metaheurísticas em Ambientes de Grid / Aletéia Patrícia Favacho de Araújo; orientador: Celso da Cruz Carneiro Ribeiro; co-orientadores: Eugene Francis Vinod Rebello, Maria Cristina Silva Boeres. — Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Informática, 2008.

v., 177 f: il. ; 29,7 cm

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

Inclui referências bibliográficas.

1. Informática – Tese. 2. Metaheurísticas Paralelas. 3. Computação em Grid. 4. Estratégia de Paralelização. 5. metaEasyGrid. 6. mTTP. 7. AGMD. I. Ribeiro, Celso da Cruz Carneiro. II. Rebello, Eugene Francis Vinod. III. Boeres, Maria Cristina Silva. IV. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. V. Título.

CDD: 004

Dedicatória

Ao meu marido, Paulo Franklin
À minha mãezuzuca, Aimê Favacho
Aos meus irmãos, Ádamo e Arethuza.
Por serem, além do meu porto seguro...
As razões da minha energia, persistência e luta!

Agradecimentos

“Se não consegues entender que o céu
deve estar dentro de ti,
é inútil buscá-lo acima das nuvens
e ao lado das estrelas.
Por mais que tenhas errado e erres,
para ti haverá sempre esperança,
enquanto te envergonhares de teus erros.”

Charles Chaplin

Agradeço a Deus pela benção de mais uma luta vencida, pela vida, pela sabedoria e por ajudar-me a retirar todas as pedras existentes no caminho!

Marido, chegamos ao fim, sei que não foi fácil me aguentar com todo o stress dos últimos meses, mas você fez isso com total sabedoria. Agradeço a Deus a cada momento que passo com você, agradeço a Deus por amar cada momento que passamos juntos, a cada momento que parece ser eterno por estar ao seu lado, agradeço a Deus por ter colocado você no meu caminho, e ter você ao meu lado agora todos os dias...Por tudo isso, agradeço a você, meu amor, que esteve comigo quando mais eu precisei, quando eu achei que seria impossível e você mostrou-me que o impossível não existe...Te amo e espero eternamente te fazer tão feliz quanto eu sou!

Mãe, quero te agradecer por mais essa NOSSA vitória, você que esteve ao meu lado nas horas que chorei e nas horas que sorri, nas horas que me lamentei e nas horas que fui feliz por estar perto de você. Agradecer pelo sorriso diário que tenho de você, sem mágoas nem rancores. Agradecer de peito aberto por me amares com todos os meus defeitos...Agradecer por me ensinar a não fazer do amanhã o sinônimo de nunca, nem do ontem o sinônimo de nunca mais...Quero agradecer porque você fez, faz e fará sempre parte da minha história e de todas as minhas vitórias! Obrigada pela vida! Obrigada por existir na minha vida! Te Amo!

Aos meus amados e queridos irmãos, vocês são os meus verdadeiros amigos, pois me ajudam a crescer quando exaltam minhas qualidades, fazendo com que eu me orgulhe delas. Quando extraem o melhor de mim, omitindo os defeitos que até eu gostaria de esconder. Quando me estendem a mão, mostrando o caminho que devo seguir. Quero agradecer pelos meus dias de mal humor, que vocês me acalmaram com palavras de apoio e carinho, fazendo-me acreditar que eu era capaz. Quero agradecer por saber que poderei contar sempre com vocês...Agradeço a Deus a benção de tê-los como meus irmãos amigos! Agradeço a vocês por estarem presente em mais uma vitória conquistada com a nossa união. Amo vocês!

Ao meu cunhado, Rodrigo Pedro, depois de algum tempo aprendi que verdadeiras amizades continuam a crescer mesmo a longas distâncias, e o que importa não é o que você tem na vida, mas quem você tem na vida. Obrigada por fazer parte da minha vida. Obrigada por ter compartilhado comigo os muitos momentos felizes que vivemos, mas também por dividir os momentos tristes. Obrigada por ensinar-me que na vida “o momento é agora”. Te adoro!

Ao futuro, representado pela renovação da vida por meio dos meus sobrinhos Arthur Bruno, Anna Clara e Alice.

Ao meu pai, por me ensinar a ser uma pessoa íntegra e batalhar pelos meus ideais de vida.

Aos meus familiares, em especial à minha vó Anna, a Dindinha e à tia de todas as horas, tia Any, pelo apoio e carinho.

À minha sogra Enae, às minhas novas tias e primas, em especial: tia Zoé, tia Garida, tia Zélia e Eugênia, pelas orações e apoio, fundamentais na reta final desta batalha.

Acima de tudo, na vida, temos necessidade de alguém que nos obrigue a realizar aquilo de que somos capazes...Agradeço ao meu orientador Celso Ribeiro por ter desempenhado tão bem esse papel na minha vida. Obrigada por todas as lições, com você foi possível vencer essa batalha!

Aos meus co-orientadores, Vinod Rebello e Cristina Boeres, eu dedico a frase de Isaac Newton: “Se eu vi mais longe, foi por estar de pé sobre ombros de gigantes”. Obrigada por toda a paciência, obrigada pela dedicação e por terem me acolhido na UFF como uma verdadeira aluna, e não como uma *co-aluna*.

Aos amigos da UFF, cada pessoa que passa na nossa vida, passa sozinha, porque cada pessoa é única e nenhuma substitui a outra. Cada pessoa que passa pela nossa vida passa sozinha, mas não nos deixa só, porque deixa um pouco de si e leva um pouquinho de nós. Essa é a mais bela responsabilidade da vida e a prova de que as pessoas não se encontram por acaso...Agradeço em especial aos amigos: Aline, Alexandre, Idalmis, Renathinha, Estênio, Luciana, Zé Luiz, Luciene, Diego e Maria.

Ao super amigo Jacques, pelas palavras de apoio, pela paciência, por ajudar-me de maneira incondicional a provar todos os dias que algo só é impossível até que alguém duvide e acabe provando o contrário. Amigo, meu muito obrigada por tudo, sem você essa vitória seria impossível, que Deus te abençoe sempre!

Ao amigo especial Cristiano, cada um tem de mim exatamente o que cativou, e cada um é responsável pelo que cativou. Obrigada por mostrar-me que devemos abraçar a vida e viver com paixão. Perder com classe e vencer com ousadia, pois a vida é muito para ser insignificante!

As pessoas entram em nossa vida por acaso, mas não é por acaso que elas permanecem. À minha amiga Andrezza, alguém que sabe de tudo ao meu respeito e gosta de mim assim mesmo. Amiga, obrigada por rezar e torcer por mim sempre!

Na prosperidade, os nossos amigos conhecem-nos. Na adversidade, nós conhecemos os nossos amigos...Às amigas Clotilde, Maristela e Káthia que mesmo distantes fisicamente estavam torcendo por essa vitória!

Ao colega Sebastian, pelo apoio na primeira versão da metaheurística paralela e nos artigos publicados. A Andréa, pela ajuda no esclarecimento do segundo problema escolhido para estudo de caso desta tese e pelos desenhos das árvores. Ao Alexandre, pela ajuda fundamental na compilação do primeiro arquivo em latex desta tese. Ao amigo Thiago, por todas as revisões feitas no capítulo 2 desta tese e pelas palavras de incentivo.

Ao Cláudio Chauke, por acreditar na minha capacidade e batalhar pela minha saída para o doutorado.

Ao Moresi, por tornar a minha permanência no Rio de Janeiro possível durante esses quatro anos.

Ao prof. Mario Dantas, que por meio de sua carta de referência tornou o sonho de estudar na PUC-Rio uma realidade na minha vida.

Aos colegas da PUC, em especial: Hanna, Fernando Luz, Antônio e Sandra pelo apoio e companheirismo, essenciais para que pudéssemos vencer as adversidades do primeiro semestre.

Aos incansáveis funcionários que sempre se esforçaram para tornar a minha vida na PUC mais fácil, em especial: D. Carmen, Alex, Regina, Manu, Cosme, Déborah, Fátima, Ruth, Vagner, Anderson, José Carlos e Thomas.

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

Para finalizar, quero ratificar que vocês me ajudaram a dar sentido à frase de Albert Einstein: “a mente que se abre a uma nova idéia jamais voltará ao seu tamanho original.” Muito Obrigada!

Resumo

Araújo, Aletéia Patrícia Favacho de; Ribeiro, Celso da Cruz Carneiro; Rebello, Eugene Francis Vinod; Boeres, Maria Cristina Silva. **Paralelização Autônoma de Metaheurísticas em Ambientes de Grid**. Rio de Janeiro, 2008. 177p. Tese de Doutorado — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O desenvolvimento de metaheurísticas paralelas autônomas para serem executadas eficientemente em ambientes de *grid* é o objetivo desta tese. A aplicação paralela deve ser capaz de se auto-adaptar às mudanças que ocorrem dinamicamente no ambiente, sem que o usuário precise interferir diretamente no código da mesma. Para isso, a metaheurística autônoma deve ser vista como uma aplicação com dois níveis independentes: *middleware* e estratégia. O *middleware* é responsável por gerenciar todo o ambiente de execução, de acordo com as características da aplicação. A estratégia hierárquica distribuída permite a cooperação entre todos os processos envolvidos, sem degradar o desempenho da aplicação devido ao aumento da comunicação entre processos. Para validar esta proposta foram desenvolvidas duas implementações paralelas de metaheurísticas, uma para o problema do torneio com viagens espelhado e a outra para o problema da árvore geradora de custo mínimo com restrição de diâmetro. Para ambos os problemas, as implementações desenvolvidas foram testadas no ambiente grid Sinergia, formado por máquinas localizadas em três diferentes cidades do Estado do Rio de Janeiro. As paralelizações foram capazes de melhorar, para várias instâncias, os melhores resultados conhecidos na literatura.

Palavras-chave

Metaheurísticas Paralelas. Computação em Grid. Estratégia de Paralelização. metaEasyGrid. mTTP. AGMD.

Abstract

Araújo, Aletéia Patrícia Favacho de; Ribeiro, Celso da Cruz Carneiro; Rebello, Eugene Francis Vinod; Boeres, Maria Cristina Silva. **Autonomic Paralelization of Metaheuristics in Computational Grids**. Rio de Janeiro, 2008. 177p. PhD Thesis — Department of Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The development of autonomic parallel metaheuristics to be efficiently executed in computational grid is the challenge of this thesis. The parallel application must be able to self-adjust to the changes that occur dynamically in the environment, without the user needing to interfere directly in the code of the application. For this, the autonomic metaheuristic should be seen as an application on two independent levels: middleware and strategy. The middleware is responsible for managing the entire execution environment, according to the characteristics of the application. The distributed hierarchical strategy enables the cooperation between all processes involved, without degrading the performance of the application due to increased communication between processes. To validate this proposal, two parallel implementations of metaheuristics were developed, one for the mirrored traveling tournament problem and the other for the diameter constrained minimum spanning tree problem. For both problems, the developed implementations were tested in the grid Synergy environment, formed by machines located in three different cities in the state of Rio de Janeiro. The paralelizations improved, for several instances, the best known results in the literature.

Keywords

Parallel Metaheuristics. Computational Grid. Paralelization Strategy. metaEasyGrid. mTTP. AGDM.

Sumário

1	Introdução	18
1.1	Contexto	21
1.2	Contribuição	22
1.3	Organização	23
2	Metaheurísticas para Problemas de Otimização Combinatória	24
2.1	Considerações Iniciais	24
2.2	Metaheurísticas	25
2.3	O Problema do Torneio com Viagens Espelhado	28
2.4	O Problema da Árvore Geradora de Custo Mínimo com Restrição de Diâmetro	33
2.5	Considerações Finais	38
3	Metaheurísticas Paralelas	39
3.1	Considerações Iniciais	39
3.2	Ferramentas para Programação Paralela	40
3.3	Estratégias de Paralelização	47
3.4	Ambientes Computacionais Paralelos	50
3.5	Modelo de Programação Paralela	51
3.6	Considerações Finais	52
4	<i>Grids</i> Computacionais	54
4.1	Considerações Iniciais	54
4.2	Arquitetura <i>Grid</i>	55
4.3	<i>Middleware</i> SGA EasyGrid	62
4.4	Considerações Finais	71
5	Implementação de Diferentes Estratégias de Paralelização	73
5.1	Considerações Iniciais	73
5.2	Implementação Paralela Independente (PAR-I)	74
5.3	Implementação Paralela com Única Cooperação (PAR-O)	75
5.4	Implementação Paralela com uma Solução de Elite (PAR-1P)	75
5.5	Implementação Paralela com uma Lista de Soluções de Elite (PAR-MP)	77
5.6	Experimentos Computacionais	78
5.7	Considerações Finais	87
6	Metaheurísticas Paralelas com Execução Autônoma em <i>Grids</i>	89
6.1	Considerações Iniciais	89
6.2	Estratégia de Paralelização Hierárquica Distribuída	90
6.3	Políticas de Gerência da Estratégia	95
6.4	Sistema de Gerenciamento - metaEasyGrid	99
6.5	Integração da Estratégia de Paralelização com o SGA metaEasyGrid	106
6.6	Considerações Finais	117
7	Experimentos Computacionais	118

7.1	Considerações Iniciais	118
7.2	Experimentos Computacionais com AUDImTTP	120
7.3	Experimentos Computacionais com AUDI-AGMD	136
7.4	Considerações Finais	158
8	Conclusões e Trabalhos Futuros	160
	Referências Bibliográficas	162

Lista de figuras

2.1	Árvore geradora.	33
2.2	Árvore geradora mínima.	33
2.3	Árvore geradora de custo mínimo com restrição de diâmetro.	34
4.1	Níveis da plataforma <i>grid</i> .	56
4.2	Camadas da arquitetura de protocolos e serviços da plataforma <i>grid</i> [68].	56
4.3	Subdivisão em camadas do nível de <i>middleware</i> [150].	58
4.4	Classificação dos <i>middlewares</i> de serviço [116].	61
4.5	Hierarquia de gerenciadores baseada na organização da plataforma <i>grid</i> .	63
4.6	Estrutura em camadas do SGA EasyGrid [115].	64
4.7	Hierarquia de gerenciadores no <i>middleware</i> SGA EasyGrid.	67
5.1	Distribuição de probabilidade empírica do tempo para atingir uma solução com custo tão bom quanto o valor alvo, considerando-se o alvo 506433 para a instância <i>br24</i> . A versão PAR-MP foi executada 200 vezes em quatro, oito, 16 e 24 processadores.	83
5.2	Distribuição de probabilidade empírica do tempo para atingir uma solução com custo tão bom quanto o valor alvo, considerando-se o alvo 284000 para a instância <i>nl16</i> . As quatro versões paralelas PAR-I, PAR-O, PAR-1P, e PAR-MP foram executadas 200 vezes cada uma, em um ambiente formado por oito processadores.	87
6.1	Estratégia de paralelização hierárquica distribuída.	91
6.2	Exemplo de uma ação de preenchimento da lista de cooperação, com três listas de intensificação.	97
6.3	Exemplos de operações de renovação nas listas de intensificação.	98
6.4	Exemplo de uma aplicação com sete tarefas, gerenciada pelo SGA metaEasyGrid.	102
6.5	Integração da nova estratégia de paralelização com o SGA metaEasyGrid.	107
7.1	Configuração física do grid Sinergia.	119
7.2	Configuração usada nos experimentos realizados com um sub-grupo de máquinas do sítio S2.	122
7.3	Configuração usada nos experimentos realizados sob ambiente WAN formado pelos sítios S1 e S2 do grid Sinergia.	128
7.4	Distribuição de probabilidade empírica do tempo para atingir uma solução com custo menor ou igual ao valor alvo, considerando-se o alvo 274 para a instância <i>circ10</i> . As implementações PAR-MP e AUDImTTP foram executadas 100 vezes cada uma em ambientes LAN e WAN formados por dez máquinas pertencentes aos sítios S1 e S2.	129

7.5	Configuração usada nos experimentos realizados com 60 máquinas através dos sítios S1, S2 e S3 do grid Sinergia.	132
7.6	Distribuição de probabilidade empírica do tempo para atingir uma solução com custo menor ou igual ao valor alvo, considerando-se o alvo 274 para a instância <i>circ10</i> . As implementações PAR-MP, AUDImTTP com três, cinco, sete e nove listas de intensificação foram executadas 200 vezes cada uma em 60 máquinas do grid Sinergia.	134
7.7	Soluções encontra para a instância do Grupo 1 com 60 vértices e 150 arestas.	140
7.8	Estrutura por níveis das soluções encontradas para a instância do Grupo 1 com 60 vértices e 150 arestas.	141
7.9	Estrutura por níveis das soluções encontradas para a instância do Grupo 2 com 60 vértices, 600 arestas e diâmetro 9.	143
7.10	Soluções encontradas para a terceira instância do Grupo 3 com 250 vértices e 31.125 arestas.	146
7.11	Estrutura por níveis das soluções encontradas para a terceira instância do Grupo 3 com 250 vértices e 31.125 arestas.	147
7.12	Distribuição de probabilidade empírica do tempo para atingir uma solução com custo menor ou igual ao valor alvo, considerando-se o valor 8,211 para a quinta instância de 100 vértices do Grupo 3. A implementação AUDI-AGMD foi executada 100 vezes em ambiente <i>grid</i> com 15, 30 e 60 máquinas.	155
7.13	Distribuição de probabilidade empírica do tempo para atingir uma solução com custo menor ou igual ao valor alvo, considerando-se o alvo 968 para a instância de 60 vértices e 150 arestas do Grupo 1. A implementação AUDI-AGMD foi executada 100 vezes em 60 máquinas pertencentes ao grid Sinergia com três, cinco e sete listas de intensificação.	156
7.14	Distribuição de probabilidade empírica do tempo para atingir uma solução com custo menor ou igual ao valor alvo, considerando-se o alvo 738 para a instância de 60 vértices, 600 arestas e diâmetro 9 do Grupo 2. A implementação AUDI-AGMD foi executada 100 vezes em 60 máquinas pertencentes ao grid Sinergia com três, cinco e sete listas de intensificação.	157
7.15	Distribuição de probabilidade empírica do tempo para atingir uma solução com custo menor ou igual ao valor alvo, considerando-se o alvo 7,787 para a primeira instância de 100 vértices do Grupo 3. A implementação AUDI-AGMD foi executada 100 vezes em 60 máquinas pertencentes ao grid Sinergia com três, cinco e sete listas de intensificação.	157

Lista de tabelas

5.1	Soluções encontradas pelas implementações sequencial e paralelas.	80
5.2	Tempo médio de processamento em segundos para encontrar um alvo fácil em um processador com a versão sequencial, e em oito, 16 e 24 processadores com as versões PAR-I e PAR-O.	81
5.3	Tempo médio de processamento em segundos para encontrar um alvo fácil em um processador com a versão sequencial, e em oito, 16 e 24 processadores com as versões PAR-1P e PAR-MP.	82
5.4	Aceleração em oito, 16 e 24 processadores (versões paralelas PAR-I e PAR-O).	84
5.5	Aceleração em oito, 16 e 24 processadores (versões paralelas PAR-1P e PAR-MP).	84
5.6	Tempos médios em segundos sobre cinco execuções das implementações PAR-I, PAR-O, PAR-1P e PAR-MP em 24 processadores, para alcançar os alvos médios.	85
5.7	Melhores soluções obtidas pela versão PAR-MP.	85
5.8	Soluções encontradas pelas implementações PAR-I, PAR-O e PAR-1P quando executadas pelo dobro do tempo gasto por PAR-MP.	86
7.1	Recursos computacionais do grid Sinergia usados nos experimentos deste capítulo.	120
7.2	Qualidade das soluções encontradas pelas implementações sequencial, PAR-MP e AUDImTTP com as instâncias do mTTP do primeiro e segundo grupos.	121
7.3	Tempos médios em segundos das implementações PAR-MP e AUDImTTP com apenas uma lista de intensificação, executadas em dez máquinas em ambiente LAN com tamanho das listas de soluções de elite igual a oito.	124
7.4	Tempos médios em segundos sobre cinco execuções das implementações PAR-MP e AUDImTTP executadas em dez máquinas em ambiente LAN com tamanho da lista de soluções de elite igual a oito.	125
7.5	Tempos médios em segundos sobre cinco execuções da implementação AUDImTTP com uma e duas listas de intensificação em um ambiente LAN formado por 10 máquinas.	126
7.6	Tempos médios em segundos sobre cinco execuções das implementações PAR-MP e AUDImTTP executadas em ambientes LAN e WAN com dez processadores, com a implementação AUDImTTP executando com duas listas de intensificação.	127
7.7	Tempos médios em segundos sobre cinco execuções das implementações PAR-MP e AUDImTTP usando listas de soluções de elite com 24 e 8 posições, no caso de PAR-MP, e três listas de soluções de elite com oito posições cada, no caso de AUDImTTP.	130

7.8	Tempos médios em segundos sobre dez execuções das implementações PAR-MP e AUDImTTP em 60 máquinas do grid Sinergia, sendo a última implementação testada em três, cinco e sete listas de intensificação.	131
7.9	Percentual de melhoria da implementação AUDImTTP com três, cinco e sete listas de intensificação em relação à versão PAR-MP.	135
7.10	Custos das melhores soluções alcançadas pelo algoritmo GRILS-mTTP e pela implementação AUDImTTP para as instâncias do Grupo 3 do mTTP.	135
7.11	Qualidade das soluções alcançadas pela versão seqüencial e pelo algoritmo AUDI-AGMD com tempo de execução pré-determinado para as instâncias do Grupo 1.	139
7.12	Qualidade das soluções alcançadas pela versão seqüencial e pelo algoritmo AUDI-AGMD com tempo de execução pré-determinado para as instâncias do Grupo 2.	142
7.13	Qualidade das soluções alcançadas pela versão seqüencial e pelo algoritmo AUDI-AGMD com tempo de execução pré-determinado para as instâncias do Grupo 3.	145
7.14	Qualidade das soluções alcançadas com a execução do algoritmo paralelo AUDI-AGMD para duas instâncias do Grupo 2, com dez processadores.	148
7.15	Qualidade das soluções alcançadas com a execução do algoritmo paralelo AUDI-AGMD para as instâncias do Grupo 3, com dez processadores.	150
7.16	Qualidade das soluções alcançadas pelo algoritmo seqüencial após executar por dez vezes o tempo usado pela implementação AUDI-AGMD para as instâncias com tempo de execução inferior a 1.000 segundos no experimento da Seção 7.3.2, e pelo dobro do tempo usado pela implementação AUDI-AGMD para as demais instâncias.	152
7.17	Tempos médios em segundos sobre cinco execuções da implementação AUDI-AGMD para algumas instâncias do Grupo 3 em 15, 30 e 60 máquinas pertencentes aos três sítios do grid Sinergia.	153

Lista de Algoritmos

1	Pseudo-código de um GRASP padrão.	26
2	Pseudo-código de um ILS padrão.	27
3	Pseudo-código da heurística híbrida GRASP com ILS para o mTTP [147].	31
4	Pseudo-código da heurística híbrida GRASP com ILS para AGMD.	37
5	Pseudo-código do gerenciador da lista de cooperação (ou global) para o AUDImTTP.	109
6	Pseudo-código do gerenciador da lista de intensificação (ou local) do AUDImTTP.	111
7	Pseudo-código do provedor de solução do AUDImTT.	113
8	Pseudo-código do provedor de solução do AUDI-AGMD.	116

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charles Chaplin.