

# **ALESPLIT – Algoritmos eficientes para sistemas de produção, localização e transportes**

**Processo CNPq # 300837/89-5**

Ref.: Bolsa de Produtividade  
em Pesquisa

**Luiz Antonio Nogueira Lorena**

*lorena@lac.inpe.br*

<http://www.lac.inpe.br/~lorena>

## **1º RELATÓRIO**

*Período: 01/03/2001 a 28/02/2002*

### **1. Resumo do ALESPLIT**

O objetivo principal do *ALESPLIT* está sendo o de continuar a pesquisa e desenvolvimento de algoritmos eficientes para problemas de Otimização Combinatória que ocorrem em Sistemas de Produção e em Localização de facilidades e Roteamento de veículos. Outros objetivos estão na continuação da formação de recursos humanos e de pesquisa e desenvolvimento, e na colaboração com outros colegas pesquisadores em projetos temáticos de equipe. A participação e/ou coordenação em dois projetos temáticos nas áreas correlatas ao projeto, proporcionam uma ampla e adequada visão da pesquisa e desenvolvimento em áreas relacionadas ao projeto.

Nos sistemas de produção e em ambientes urbanos ocorrem diversos problemas de natureza combinatória, que devem ser resolvidos de maneira ótima por decisores. Entre estes se destacam os problemas de clustering e scheduling:

*Problemas de clustering:*

Aparecem geralmente na classificação de dados para determinados propósitos, tais como sua armazenagem e recuperação de modo eficiente. Qualquer algoritmo de clustering

tenta determinar grupos que ocorrem nos dados por alguma característica determinante. São usadas medidas de distâncias e/ou similaridades.

### *Problemas de scheduling:*

Ocorrem quando se procura a melhor ordem numa sequência de tarefas em máquinas (ou processadores) para aumentar a eficiência de processos. Recursos podem ser requeridos para a execução das tarefas, bem como prioridades na execução e disponibilidade das máquinas (entre outras condições).

As propostas para o ALESPLOT foram centralizadas na continuação das pesquisas e orientação e na participação e/ou coordenação de projetos temáticos de equipe.

### **1.1. Pesquisa e orientação**

As pesquisas no ALESPLOT estarão dirigidas para a busca de novos algoritmos eficientes para os problemas de otimização combinatória que aparecem em sistemas de Produção, em Localização de Facilidades e Roteamento de veículos (transportes).

Os novos algoritmos continuarão a ser desenvolvidos em duas frentes:

Uso combinado das relaxações Lagrangeana e surrogate (relaxação Lagrangeana/surrogate), e  
Em meta-heurísticas (busca tabu e Algoritmo Genético Construtivo).

#### *Relaxação Lagrangeana/surrogate:*

Esta pesquisa produziu várias publicações internacionais, com a participação de alunos como co-autores, bem como outros pesquisadores de instituições brasileiras e do exterior. Seus resultados demonstram a eficiência do uso combinado das relaxações Lagrangeana e surrogate na solução de problemas de otimização combinatória.

A continuação das pesquisas deve focar o relacionamento entre a relaxação Lagrangeana/surrogate e o processo tradicional de geração de colunas em Programação Linear para problemas de grande porte. É bem conhecida a equivalência entre os processos de decomposição de Dantzig-Wolfe, geração de colunas e a relaxação Lagrangeana. Pode ser mostrado que a relaxação Lagrangeana/surrogate produz um limite inferior de qualidade para ser usado em etapas intermediárias do processo de geração de colunas (minimização). Isto pode ser útil como critério de parada do processo de geração de colunas, e é especialmente importante quando o subproblema a ser resolvido é um problema difícil. A própria relaxação Lagrangeana/surrogate pode fornecer colunas de qualidade para o programa mestre, acelerando sua solução.

Uma nova aluna de doutorado está iniciando pesquisa no assunto, e a colaboração de co-autores continuará a ser enfatizada.

### *Meta-heurísticas:*

As meta-heurísticas, ou heurísticas modernas, têm se destacado nos últimos anos como métodos eficientes para solução de problemas de otimização combinatória. Dentre elas, podemos citar a busca tabu e algoritmos evolutivos.

O Algoritmo Genético Construtivo (AGC) foi proposto para tratar eficientemente o problema da avaliação de esquemas em Algoritmos Genéticos, e têm sido desenvolvido e pesquisado no INPE por meus alunos e colaboradores de outras instituições. Pretende-se como continuação da pesquisa estudar o uso do AGC combinado com o processo de geração de colunas e dedicar maior tempo na análise de parâmetros do método.

Um aluno de doutorado está iniciando pesquisa generalizando a AGC para problemas com variáveis reais. Pretende-se testar sua aplicação no treinamento de redes neurais e na identificação da estrutura molecular tridimensional de proteínas.

### **1.2. Os projetos temáticos e de auxílio à pesquisa**

- Participação no projeto de Auxílio à pesquisa - Proc. CNPq 461324/00-8

Localização-Alocação e Roteamento em Redes com Sistemas de Informações Geográficas  
Sigla: LARSIG

Coordenador: Edson L. F. Senne

- O seguinte projeto temático FAPESP está sendo desenvolvido sob minha coordenação:

Sistemas de Apoio à Decisão usando Redes e Sistemas de Informações Geográficas  
Sigla: ARSIG-2  
<http://www.lac.inpe.br/~lorena/ArsigIndex.html>

- Participação em um novo projeto temático FAPESP:

TEORIA E PRÁTICA DOS PROBLEMAS DE CORTE E  
EMPACOTAMENTO

Foi iniciado em agosto de 2001, com minha participação e com a coordenação do professor Marcos Nereu Arenales, da USP / São Carlos.

## **2. Principais resultados**

A apresentação dos resultados alcançados no projeto está dividida nos seguintes itens:

- Atividades de pesquisa;
- Atividades de orientação;
- Trabalhos científicos no período.

### **2.1. Atividades de Pesquisa**

#### ***Problemas de Localização-Alocação e Problemas Relacionados***

- A relaxação lagrangeana/surrogate foi aplicada com sucesso aos seguintes problemas de localização de facilidades: p-medianas, p-medianas capacitado, p-medianas com restrição de distância máxima, localização de máxima cobertura e a um problema de localização com competição. Os resultados de trabalhos anteriores sobre p-medianas foram sensivelmente melhorados, com a introdução de um algoritmo de localização-alocação alternada, usado para viabilizar soluções duais no processo de otimização por subgradientes.
- Foi desenvolvida uma nova abordagem para a solução de problemas de localização com o uso da relaxação lagrangeana/surrogate no processo de geração de colunas, visando estabilizar e acelerar o método tradicional de geração de colunas. Esta abordagem foi aplicada ao problema de p-medianas e ao problema de p-medianas capacitado.
- A utilização do algoritmo de localização-alocação alternada como heurística de mutação no processo evolutivo foi aplicada a um algoritmo genético construtivo (AGC) desenvolvido anteriormente com resultados muito bons. Este algoritmo foi aplicado a problemas de p-medianas, problemas de p-medianas capacitado, e problemas de máxima cobertura.
- O problema de localização capacitado foi considerado como aplicação na localização de silos em cooperativas agrícolas, numa tentativa de identificar e propor soluções para problemas de redes no ambiente agrícola. O algoritmo genético construtivo com a utilização do algoritmo de localização-alocação foi aplicado ao problema com resultados muito bons.
- Foi estudada, anteriormente, a aplicação do algoritmo genético construtivo ao problema da formação de células de manufatura em ambientes de produção, onde máquinas que processam tarefas são agrupadas em células com o objetivo de tornar a produção mais eficiente. Trata-se também de um problema clássico com grande aplicação prática. Na formulação do AGC foi utilizada a relação com o problema de p-medianas, como uma medida de distância apropriada.

## ***Problemas de Roteamento de Veículos e Problemas Relacionados***

- Iniciou-se o estudo visando a aplicação da relaxação lagrangeana/surrogate aliada a métodos de otimização por subgradientes e ao processo de geração de colunas para o problema de roteamento de veículos com janelas de tempo. Problemas relacionados, como o de programação de horários para tripulações (crews) estão sendo pesquisados.
- Um problema clássico, relacionado ao roteamento de veículos, usado na fase de clustering é o problema generalizado de atribuição (PGA). A aplicação da relaxação lagrangeana/surrogate ao PGA resultou em resultados excelentes com grande economia de tempo computacional, principalmente para a decomposição lagrangeana. Iniciou-se a implementação de relaxação lagrangeana/surrogate no processo de geração de colunas, visando estabilizar a solução do modelo de particionamento. Está sendo pesquisado como resolver o problema de forma exata usando o método branch-and-price combinado com a relaxação lagrangeana/surrogate.
- Vem sendo estudado o problema de rotulação de pontos, importante para a confecção automática de mapas usando Sistemas de Informações Geográficas. Estuda-se a aplicação do algoritmo genético construtivo para a solução deste problema que, basicamente, objetiva escrever rótulos em pontos de um mapa (como nomes de cidades, por exemplo) de forma clara e evitando conflitos entre rótulos (que não podem se sobrepor). O problema vem sendo modelado e resolvido como um problema em grafos (encontrar um conjunto independente máximo). Também será proposta uma alternativa para a rotulação em tela visando aplicações para a Internet ou para consulta automática em veículos.
- O problema da coloração de grafos é um problema clássico de grande importância e que apresenta várias aplicações relacionadas às áreas do projeto (pois pode ser visto como um problema de clustering). Outro problema de clustering é o da programação de horários (timetabling). Abordagens de solução para tais problemas vêm sendo desenvolvidas com a aplicação do algoritmo genético construtivo.

## ***Resumo das aplicações***

- Em resumo, as seguintes aplicações foram examinadas no projeto:

### Localização

- Problema de p-medianas,
- Problema de p-medianas considerando distâncias de rede,
- Problema de p-medianas capacitado,
- Problema de p-medianas com restrição de distância máxima,
- Problema de localização de máxima cobertura,
- Problema de localização com competição.

### Roteamento

- Roteamento de veículos com janelas de tempo,
- Programação de horários para tripulações (*crews*),
- Problema Generalizado de Atribuição,
- Problema simétrico do Caixeiro Viajante.

### Problemas relacionados

- Problema de rotulação de pontos,
- Coloração de grafos,
- Programação de horários (*timetabling*),
- Problema da formação de células de manufatura,

### ***Integrações de algoritmos a SIGs***

- No projeto temático ARSIG-2 foram realizadas as seguintes integrações com a colaboração do bolsista PCI-CNPq, Marcos Antonio Pereira.

### Integrações ao ArcView

- Problema das p-medianas,
- Problema das p-medianas considerando distâncias de rede,
- Problema de p-medianas capacitado,
- Problema de p-medianas com restrição de distância máxima,
- Problema de localização de máxima cobertura e
- Problema de localização com competição.

### Integrações ao SPRING

- Problema das p-medianas,
- Problema das p-medianas considerando distâncias de rede, e
- Problema de p-medianas capacitado.

## ***2.2. Atividades de Orientação***

### Em Andamento:

#### Doutorado –

Reinaldo G. I. Arakaki

Tese: Heurísticas de localização-alocação para problemas de localização de facilidades

Data prevista de defesa: 25/03/2002

Missae Yamamoto

Tese: Novas heurísticas para problemas de rotulação de pontos (título provisório)

Data prevista de defesa: Março/2003

Silvely N.A. Salomão

Tese: A relação Lagrangeana/surrogate e o processo de geração de colunas (título provisório)

Data prevista de defesa: Março/2003

Alexandre César Muniz Oliveira

Tese: Treinamento Computacional heurístico (título provisório)

Data prevista de defesa: Junho/2003.

### **2.3. Trabalhos Científicos no Período**

#### Trabalhos publicados:

**Ribeiro Filho, G.; Lorena, L.A.N.**

*A Constructive Evolutionary Approach to School Timetabling.*

In: Applications of Evolutionary Computing, Boers, E.J.W., Gottlieb, J., Lanzi, P.L., Smith, R.E., Cagnoni, S., Hart, E., Raidl, G.R., Tijink, H., (eds.), Springer Lecture Notes in Computer Science, 2037 : 130-139, 2001

**Lorena, L.A.N.; Senne, E.L.F.; Paiva, J.A.C.; Pereira M.A.**

*Integração de modelos de localização a sistemas de informações geográficas.*

Gestão e Produção, 8 (2) : 188-195, agosto de 2001.

**Lorena, L. A. N. and Furtado, J. C.**

*Constructive genetic algorithm for clustering problems.*

Evolutionary Computation 9 (3): 309-328, 2001

**Lorena, L. A. N.**

*Análise de redes*

In: Câmara, G.; Monteiro, A.M.; Fuks, S.; Camargo, E.; Felgueiras, C.

Análise Espacial de Dados Geográficos. São José dos Campos, INPE, 2001 (2a. edição, revista e ampliada).

**Yamamoto, M. ; Camara, G. and Lorena, L. A. N.**

*Tabu search heuristic for point-feature cartographic label placement.*

GeoInformatica - An International Journal on Advances of Computer Science for Geographic Information Systems 6 (1): 77-90, 2002

**Lorena, L.A.N.; Narciso, M.G.**

*Using logical surrogate information in Lagrangean relaxation: an application to symmetric traveling salesman problems.*

European Journal of Operational Research 138(3) pp. 473-483, 2002

**Oliveira A.C.M.; Lorena, L.A.N.**

*A Constructive Genetic Algorithm for the Linear Gate Assignment Problem*  
*Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO-2001)*, p.  
756, Morgan Kaufmann, 7-11 July 2001.

Trabalhos aceitos para publicação:

**Lorena, L.A.N.; Pereira M.A.**

*A Lagrangean/surrogate heuristic for the maximal covering location problem using Hillsman's edition.*

International Journal of Industrial Engineering - Special Issue on Facility Location and Layout

**Oliveira A.C.M.; Lorena, L.A.N.**

*A Constructive Genetic Algorithm for the Linear Gate Assignment Problem.*  
IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems

**Lorena, L.A.N.; Narciso, M.G.; Beasley J.E.**

*A constructive genetic algorithm for the generalized assignment problem.*  
Evolutionary Optimization

**Lorena, L.A.N.; Senne, E.L.F.**

*Local search heuristics for capacitated p-median problems*  
Networks and Spatial Economics

Trabalhos submetidos para publicação:

**Senne, E.L.F.; Lorena, L.A.N.**

*Stabilizing column generation using Lagrangean/surrogate relaxation: an application to p-median location problems.*

European Journal of Operational Research

**Lorena, L. A. N.; Pereira, M. A. e Salomão S. N. A.**

*A relaxação Lagrangeana/surrogate e o método de geração de colunas: novos limitantes e novas colunas*

Pesquisa Operacional

Trabalhos apresentados em congressos:

Resumos -



**Ribeiro Filho, G. and Lorena, L. A. N.**

*DNA Fragment Assembly using the Constructive Genetic Algorithm.*

INFORMS Annual Meeting 2001 Miami Beach - November 4, 2001 - November 7, 2001

**Senne, E.L.F.; Lorena, L.A.N.**

*Stabilizing Column Generation Using Lagrangean/Surrogate Relaxation: An Application to p-Median Location Problems.*

In: EURO 2001 – The European Operational Research Conference, Rotterdam, The Netherlands, July 2001. Abstracts, p. 116.

Trabalhos completos -

**Ribeiro Filho, G.; Lorena, L.A.N.**

*A Constructive Evolutionary Approach to School Timetabling*

EvoCOP2001 – First European Workshop on Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization, Lake Como (Milan), April 18-19, 2001

**Arakaki, R.G.I.; Lorena, L.A.N.**

*A Constructive Genetic Algorithm for the Maximal Covering Location Problem*

MIC 2001 – 4th Metaheuristics International Conference, Porto, Portugal, July 16-20, 2001.

**Narciso, M. G. ; Lorena, L.A.N.**

*Uma aplicação da relaxação lagrangeana/surrogate ao problema simétrico do caixeiro viajante usando um método de subgradientes melhorado*

XXIII SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - Campos do Jordão - nov/2001

**Pereira M. A. and Lorena, L. A. N.**

*A heurística lagrangeana/surrogate aplicada ao problema de localização de máxima cobertura*

XXIII SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - Campos do Jordão - nov/2001

**Oliveira A.C.M.; Lorena, L.A.N.**

*A Constructive Evolutionary Approach to Linear Gate Assignment Problems.*

ENIA 2001 – Encontro Nacional de Inteligência Artificial, Fortaleza, julho, 30 – agosto, 03, 2001.

**Lorena, L. A. N.; Pereira. M. A. e S. N. A. Salomão**

*A relaxação Lagrangeana/surrogate e o método de geração de colunas: novos limitantes e novas colunas*

V Oficina Nacional de Problemas de corte e empacotamento - 06 e 07 de dezembro de 2001 - INPE - S. J. Campos - SP

### 3. *Resumo dos principais resultados*

O projeto ALESPLIT – apresentou no primeiro ano um balanço muito positivo. Apresenta-se abaixo uma tabela com um resumo da produção obtida neste período do projeto.

| <i>ALESPLIT - Algoritmos eficientes para sistemas de produção, localização e transportes - 1º ano</i> | <i>Qtde.</i> |
|---|--------------|
| Publicações   |              |
| • em revistas e/ou capítulo de livros internacionais  | 5            |
| • em revistas nacionais   | 2            |
| • aceitos para publicação em revista internacional  | 4            |
| • submetidos para publicação  | 2            |
| Orientações   |              |
| • Teses de doutorado defendidas ou em andamento   | 4            |
| • Dissertações de mestrado defendidas ou em andamento   | -            |
| • Bolsistas PCI-CNPq  | 1            |
| Trabalhos apresentados em congressos  |              |
| • Resumos   | 2            |
| • Trabalhos completos   | 6            |
| • Trabalhos aceitos para apresentação em congressos   | 3            |
| Revisões AD-HOC   |              |
| • CNPq  | 10           |
| • FAPESP  | 8            |
| • CAPES   | -            |
| Coordenação/participação em projetos temáticos FAPESP   | 2            |
| Auxílio à pesquisa CNPq   | 1            |
| Total   | 50           |

Todas essas informações estão disponibilizadas via Internet em <http://www.lac.inpe.br/~lorena/projetos.html>, visando uma ampla divulgação dos resultados obtidos.