

# **UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS DE OTIMIZAÇÃO METAHEURÍSTICOS PARA CORREÇÃO DE PRECIPITAÇÃO SIMULADA PELO MODELO REGIONAL BRAMS**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Homailson Lopes Passos (Unisal-Lorena, Bolsista PIBIC/CNPq)  
E-mail: [homailson.lopes@cptec.inpe.br](mailto:homailson.lopes@cptec.inpe.br)

Ariane Frassoni dos Santos de Mattos (DOP/CPTEC/INPE, Orientadora)  
E-mail: [ariane.frassoni@cptec.inpe.br](mailto:ariane.frassoni@cptec.inpe.br)

## **COLABORADORES**

Dr. Saulo R. Freitas (DMD/CPTEC/INPE)

Julho de 2011

# SUMÁRIO

Pág.

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2. DADOS E METODOLOGIA</b>	<b>2</b>
2.1 Dados	2
2.2 Metodologia	2
2.2.1 Algoritmo <i>Firefly</i>	3
2.2.2 Experimentos	4
<b>3. RESULTADOS PRELIMINARES</b>	<b>5</b>
<b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>5</b>
<b>5. REFERÊNCIAS</b>	<b>6</b>

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo o estudo do método de otimização *Firefly* para a correção das previsões de precipitação sobre a América do Sul, simuladas pelo modelo *Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System* (BRAMS). Devido à dificuldade que o modelo possui em representar as nuvens numa escala resolvida de movimento, optou-se pela aplicação do método de otimização. A análise consistiu na comparação dos dados simulados pelo modelo e dados estimados por satélite. A comparação foi realizada com base em dados de dezembro de 2004, obtidos do projeto *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), com a finalidade de aumentar a precisão das previsões, incorporando ao modelo características do novo método.

## RESUMO DO PRIMEIRO RELATÓRIO

O projeto foi iniciado sobre os cuidados de Rafael Rodrigues Ferreira, aluno da Faculdade de Tecnologia da cidade de Cruzeiro (Fatec-Cruzeiro). Os primeiros estudos foram feitos sobre ferramentas utilizadas durante o projeto: linguagem de programação FORTRAN e o software *Grid Analysis and Display System* (GrADS). Relatórios foram entregues e apresentações realizadas sobre os temas precipitação e suas formas e o método de otimização *Firefly*. Finalmente, um resumo foi enviado para o X Encontro dos Alunos de Pós-Graduação em Meteorologia do INPE (X EPGMET), com a apresentação de um trabalho em pôster no qual foi exposto o objetivo do projeto. Todos os passos descritos acima foram realizados no período de janeiro a fevereiro de 2011. Posteriormente, está contida neste documento a descrição da continuidade do trabalho.

# 1. INTRODUÇÃO

A ocorrência ou não de precipitação é indispensável para a sobrevivência e desenvolvimento da sociedade. Da mesma forma, é imprescindível saber onde e quando ela ocorrerá e a sua intensidade. Para estes fins, a Meteorologia dispõe de modelos numéricos capazes de representar a precipitação nas suas diversas formas. A componente do modelo atmosférico que trata da precipitação em modelos cuja resolução é da ordem de 0 km ou mais é denominada parametrização de *cumulus*.

Embora existam modelos que tratem a parametrização de *cumulus*, as nuvens convectivas, que são responsáveis por transportar grande parte de massa, calor e umidade verticalmente, geralmente não são bem representadas numericamente devido ao limitado conhecimento sobre a física associada às nuvens e sua interação com o ambiente de grande escala. Nesse caso, os modelos de mesoescla, e até mesmo os de escalas menores, não conseguem representar estas nuvens, havendo, assim, a necessidade de que elas sejam parametrizadas. No caso da convecção, o problema consiste em relacionar a convecção e os transportes de calor, umidade e *momentum* através das nuvens *cumulus*, que não podem ser explicitamente resolvidas por modelos de grande ou mesoescala, às variáveis efetivamente previstas por estes (Cotton e Anthes, 1989).

Neste trabalho, a utilização do método de otimização metaheurístico *Firefly* pretende sensibilizar a parametrização de *cumulus* no modelo BRAMS. Ao estimar efeitos físicos, o modelo em conjunto com o esquema de parametrização GD (Grell e Dévény, 2002), responsáveis pela representação de *cumulus*, possuem deficiência, com a necessidade de correção de erros sistemáticos. Utilizando-se da metodologia de resolução de problemas inversos, o Algoritmo *Firefly* irá ponderar cada fechamento obtido pelo esquema de parametrização. Um conjunto de pesos representado por uma matriz será obtido e, de acordo com sua eficiência na correção da previsão, poderá ser aplicado ao modelo. Por fim, o objetivo do projeto é determinar uma solução numérica para a correção da previsão de precipitação ocorrente sobre a América do Sul, com a utilização do método de otimização *Firefly*.

## 2. DADOS E METODOLOGIA

O modelo BRAMS é responsável por simular circulações atmosféricas em uma área geográfica limitada, com suas raízes fixas no modelo RAMS (*Regional Atmospheric Modeling System*). É um modelo numérico altamente versátil desenvolvido por vários grupos durante muitos anos, incluindo cientistas da Universidade do Estado do Colorado (FREITAS et al., 2007, FAZENDA et al., 2007). A funcionalidade dele neste projeto é altíssima, pois ele é o objeto da melhoria. Seus dados simulados são aplicados no trabalho com objetivo de otimizá-los empregando o método *Firefly*.

Satélites são ferramentas modernas utilizadas em diversas funções: transmissão de sinais de rádio, TV, experiências em microgravidade, pesquisa de recursos naturais, estudo de mudanças climáticas etc. Para fins comparativos, utiliza-se neste trabalho dados do satélite TRMM. Em função de ser o satélite mais bem equipado em termos de instrumentos para estimativa de precipitação, o satélite TRMM fornece estimativas mais precisas do que as técnicas indiretas, baseadas em imagens de outros satélites (Barrera, 2005). Estes dados serão comparados com os simulados pelo modelo pós-processamento do algoritmo *Firefly*.

### 2.1 DADOS

Foram utilizadas simulações numéricas obtidas utilizando o modelo BRAMS para o período de dezembro de 2004. Todavia, os primeiros testes foram feitos somente com os dados referentes ao período de fevereiro de 2004. A variável estudada foi a precipitação, com a resolução do modelo na escala de 25 km. No período de validação do experimento, dados provenientes do satélite TRMM foram aplicados para comparação com os simulados pelo modelo.

### 2.2 METODOLOGIA

Inicialmente, foram feitos estudos sobre as ferramentas de trabalho aplicadas no decorrer do projeto, a saber: sistema operacional LINUX, o aplicativo visualizador de dados em ponto de grade *Grid Analysis and Display System* (GrADS), linguagem de programação FORTRAN, aplicação do algoritmo *Firefly* (Yang, 2008), conteúdo teórico referente à precipitação e suas formas (AHRENS, 2009), estatística e probabilidade aplicadas à Meteorologia (Wilks, 1995). Finalmente, foi aplicado o algoritmo *Firefly* com dados simulados descritos na Seção supracitada.

## 2.2.1 ALGORITMO *FIREFLY*

O Algoritmo *Firefly* é bioinspirado no comportamento dos vaga-lumes. A principal característica da espécie é a bioluminescência, que é responsável pela comunicação e para afastar possíveis predadores ou até mesmo atrair presas. Como por exemplo, as fêmeas da subespécie *Photuris*, que atraem os machos das outras espécies e os atacam para se alimentar.

Matematicamente, o algoritmo criado por Xin-She Yang, da Universidade de Cambridge em 2008. Este algoritmo vem sendo utilizado por pesquisadores brasileiros para resolver problemas inversos em computação e meteorologia (LUZ et al., 2009, SANTOS et al., 2010a, 2010b). Ele é descrito por equações que modelam a atratividade, luminosidade e a movimentação em relação a estas. Não obstante, relacionada à movimentação está a distância. Abaixo seguem as equações das características ditas acima:

$$I = \frac{I_0}{1 + \gamma r^2} \quad (1.0)$$

$I$  é a intensidade Luminosa vista por um vaga-lume qualquer, onde  $r$  é a distância deste vaga-lume à fonte de luz  $I_0$ , no caso, outro vaga-lume, e  $\gamma$  é o coeficiente de absorção de luz no meio, ou seja, qualquer fator que interfira na visualização entre os vaga-lumes.

$$\beta = \frac{\beta_0}{1 + \gamma r^2} \quad (2.0)$$

A Equação 2.0 é a atratividade sofrida por um vaga-lume qualquer, onde  $\beta_0$  é a atratividade em  $r=0$ .

$$r_{ij} = \|x_i - x_j\| = \sqrt{\sum (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad (3.0)$$

$r$  é a distância cartesiana entre dois vaga-lumes quaisquer  $i$  e  $j$  em  $x_i$  e  $x_j$ , respectivamente, e  $x_{i,k}$  é o  $k$ -ésimo componente da coordenada espacial de  $x_i$  do  $i$ -ésimo vaga-lume.

$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha \left( \text{rand} - \frac{1}{2} \right) \quad (4.0)$$

Em que  $x$  é o movimento de um vaga-lume  $i$  atraído por outro vaga-lume  $j$  mais atrativo (brilhante), onde o segundo termo é devido a atração enquanto o terceiro termo é aleatório com  $\alpha$  sendo o parâmetro de aleatoriedade, **rand** é um valor aleatório de [0,1].

Dadas as equações de (1) a (4), o algoritmo foi resumido em termos pelo seguinte pseudocódigo:

## Algoritmo *Firefly*

---

### **início**

*Função objetivo*  $f(x)$ ,  $x = (x_1, \dots, x_d)^T$

*Geração inicial da população de vaga-lumes*  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ )

*Intensidade da Luz*  $I_i$  até  $x_i$  é determinada por

*Define o coeficiente de absorção de luz*  $\gamma$

**enquanto** ( $t < \text{GeraçãoMáx}$ )

**para**  $i = 1 : n$  *para todos*  $n$  *vaga-lumes*

**para**  $j = 1 : d$  *loop sobre todas as dimensões*

**se** ( $I_j > I_i$ ), *move o vaga-lume*  $i$  *até o vaga-lume*  $j$ ; **fim se**

*A atratividade varia de acordo com a distância*  $r$  *por*  $\exp[-\gamma r]$

*Avaliar novas soluções e ordenar de acordo com a intensidade de luz*

**fim para**  $j$

**fim para**  $i$

*Seleciona os vaga-lumes e encontra o melhor resultado*

**fim enquanto**

*Resultados pós-processamento e visualização*

### **fim**

---

Figura (1): pseudocódigo. FONTE: Adaptado de Yang (2008).

Dada uma função  $f(x)$ , o melhor resultado é determinado com relação ao vaga-lume mais luminoso, de acordo com a seqüência descrita na Figura (1). A função é escolhida com a necessidade do que há de ser otimizado. No caso da parametrização é selecionada a funcional  $J(P)$ , que é a diferença quadrática mínima entre o simulado e o observado. Portanto, o melhor resultado será o menor valor estimado pela funcional, que corresponderá ao vaga-lume de maior intensidade luminosa. Este vaga-lume é o conjunto de pesos representado pela matriz  $W=(w_1, w_2, w_3, w_4, w_5)$ , onde cada  $w_i$  é um peso para os fechamentos do esquema de parametrização GD.

$$J(P) = \min \left\{ \left[ \sum_{i=1}^5 P_M^{w_i} - P_O \right]^2 + \eta \Lambda \right\} \quad (5.0)$$

Onde  $PM$  é o simulado e  $PO$  o observado, com  $\eta$  e  $\Lambda$  sendo, respectivamente, um determinado pela equação de Frobenius e outro como 0.1, tendo este sido obtido por experimentação (Yang, 2008).

## 2.2.2 EXPERIMENTOS

O algoritmo *Firefly* foi aplicado nos dados do dia 02 de fevereiro de 2004, simulados pelo BRAMS. Estes foram comparados àqueles simulados pelo modelo sem a utilização do algoritmo, e ulteriormente foram extraídas conclusões preliminares.

### 3. RESULTADOS PRELIMINARES

Duas imagens geradas no GrADS são expostas a seguir, a primeira com dados simulados pelo modelo BRAMS e a segunda com os mesmos pós-processados pelo algoritmo *Firefly*. Pode-se ver, em relação à Figura (2.a) que em (2.b) o campo recuperado com a utilização do método de otimização apresentou falhas na plotagem. A ocorrência de superestimativa da precipitação na maior parte da imagem é clara, possivelmente devido à algum erro no código do programa.

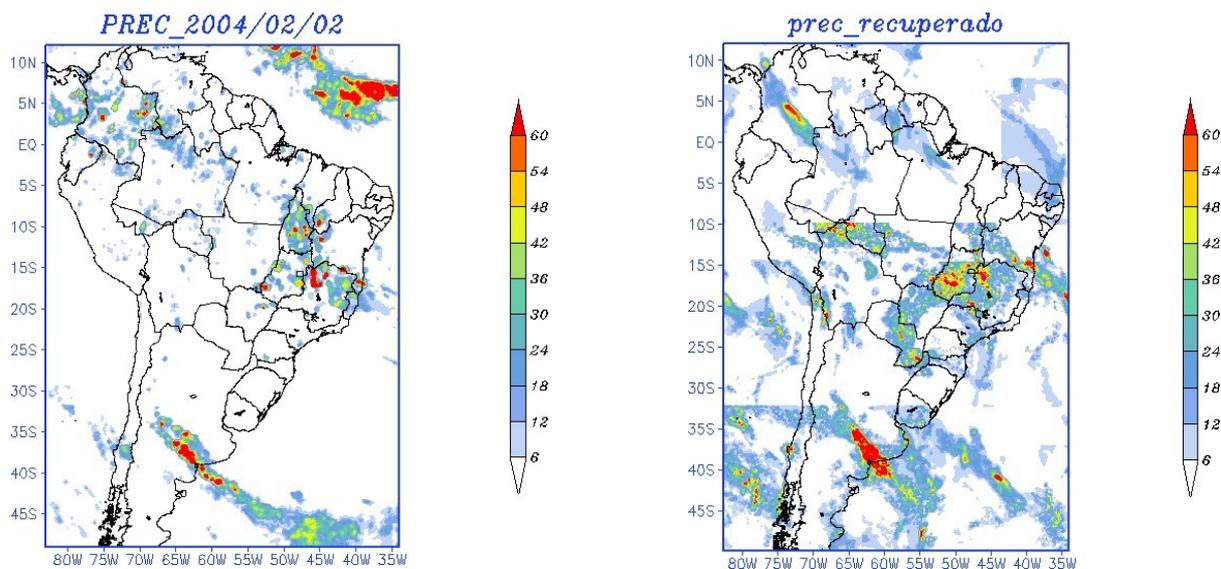


Figura 2: a) Campo de precipitação simulado pelo modelo BRAMS; b) Campo de precipitação simulado pelo modelo com a utilização do algoritmo *Firefly*.

### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gama de conhecimento apreendida em cada etapa do trabalho é de certa forma notável, pois o período de tempo para a aprendizagem foi pequeno. Entretanto, mesmo tendo sido realizados e descritos os experimentos, a complexidade do projeto demanda uma carga maior de trabalho, para que sejam atingidos os resultados desejados.

Em relação ao desempenho do algoritmo, seria de certa forma incoerência e demasiada prepotência exprimir mínimas conclusões sobre o método, visto que o código do programa apresentou dificuldade na representação gráfica dos dados. Será necessário empenho para a solução deste erro, portanto, a próxima etapa será detectar e corrigir a possível falha, podendo então ser dada continuidade ao trabalho.

## 5. REFERÊNCIAS

C. D. AHRENS Meteorology Today: an introduction to Weather, Climate, and the Environment, Ninth Edition, printed by Brooks/Cole, Cengage Learning, 2009;

Cotton, W.R. e R.A. Anthes, 1989: Storm and Cloud Dynamics, Academic Press, 883 p.

D. S. Wilks Statistical Methods in the Atmospheric Sciences, second edition, printed by ELSEVIER, 2006;

FAZENDA, Á. L. et al, First Time User's Guide (BRAMS Version 4.0), 2007;

FREITAS, S. R.; LONGO, K.; DIAS, M. S.; DIAS, P. S.; CHATFIELD, R.; PRINS, E.; ARTAXO, P.; GRELL, G.; RECUERO, F. Monitoring the transport of biomass burning emissions in south america. Environmental Fluid Mechanics, v. 5, p. 135-167, 2005;

GRELL, G. A., DÉVÉNYI, D. A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. Geophys. Res. Lett., v. 29, no. 14, 2002. KAIN, J. S., AND J. M. FRITSCH, The role of the convective trigger function" in numerical ;

LUZ, E. F. P.; BECCENERI, J. C.; DE CAMPOS VELHO, H. F. Conceitualização do algoritmo vaga-lume e sua aplicação na estimativa de condição inicial de calor. In: IX Workshop do Curso de Computação Aplicada do INPE, 2009.

SANTOS, A. F.; [FREITAS, S. R.](#); LUZ, E. F. P.; DE CAMPOS VELHO, H. F.; GAN, M. A. Optimization Firefly Method for Weighted Ensemble of Convective Parameterizations. Part II: Sensitivity Experiment Using TRMM Satellite Data. In: 2010 Meeting of The Americas, 2010, Foz do Iguaçu. 2010 Meeting of The Americas, 2010a

SANTOS, A. F.; [FREITAS, S. R.](#); LUZ, E. F. P.; DE CAMPOS VELHO, H. F.; GAN, M. A. Optimization Firefly Method for Weighted Ensemble of Convective Parameterizations. Part I: Results with a Synthetic Precipitation Field. In: 2010 Meeting of The Americas, 2010, Foz do Iguaçu. 2010 Meeting of The Americas, 2010b.

YANG, X. Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms, Cambridge, 2008.