

**Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**

---

# Ajuste do intervalo de tempo para integração do modelo OLAM com grade de resolução variável

Mariano Pereira Silva<sup>1</sup>

Laboratório Nacional de Computação Científica, Petrópolis, RJ

Pedro Leite da Silva Dias<sup>2</sup>

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, USP, São Paulo, SP

Carla Osthoff<sup>3</sup>

Laboratório Nacional de Computação Científica, Petrópolis, RJ

Roberto Pinto Souto<sup>4</sup>

Laboratório Nacional de Computação Científica, Petrópolis, RJ

**Resumo** Modelos de circulação atmosférica meteorológicos têm grande uso, mas demandam grande poder computacional. O modelo OLAM - Ocean Land Atmospheric Model - apresenta um núcleo dinâmico moderno, baseado na discretização em volumes finitos, com escalabilidade alta. OLAM é um modelo global que possibilita a implementação de grades com refinamento até poucos metros de resolução em função das aproximações usadas e das opções de tratamento da turbulência. Modelos numéricos para previsão de tempo e clima fazem sucessivas previsões de curtíssimo prazo encadeadas. O intervalo entre as previsões sucessivas é chamado de  $\Delta T$ . Este trabalho tem como objetivo analisar o OLAM em diferentes grades e obter uma curva de  $\Delta T$  para facilitar o trabalho de se estabelecer o  $\Delta T$  máximo. O  $\Delta T$  tem um custo computacional considerável no OLAM principalmente porque não muda para as grades aninhadas. O estudo foi realizado em um ambiente de cluster com 60 cores Xeon utilizando o padrão MPI.

**Palavras-chave.**  $\Delta T$ , Modelos Numericos, Circulação Atmosférica

## 1 Introdução

Os modelos meteorológicos e agrometeorológicos têm grande uso comercial, social e científico. Eles demandam grande poder computacional e são uma excelente base para pesquisa básica em sistemas complexos e no desenvolvimento de técnicas de solução numérica com alta escalabilidade no paralelismo. A pesquisa científica em meteorologia é fortemente baseada no uso de modelos para simulações devido as dificuldades, e em geral impossibilidade prática, de realizar experimentos que envolvam aplicar alterações na atmosfera de forma controlada. Um dos modelos meteorológicos mais modernos é o

---

<sup>1</sup>mariano@mariano.pro.br

<sup>2</sup>pldsdias@gmail.com

<sup>3</sup>osthoff@lncc.br

<sup>4</sup>rpsouto@lncc.br

OLAM (Ocean Land Atmospheric Model) [6] [7], baseado no BRAMS - Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System [1]. O modelo OLAM apresenta um núcleo dinâmico moderno, baseado na discretização em volumes finitos, com escalabilidade alta, e os processos físicos são fundamentados no modelo RAMS e com grande parte das novas funcionalidades da versão BRAMS. OLAM é um modelo global que possibilita a implementação de grades com refinamento até poucos metros de resolução em função das aproximações usadas e das opções de tratamento da turbulência. Foi originalmente desenvolvido na Universidade Duke, EUA e hoje conta com a participação de uma grande comunidade internacional. O modelo usa um esquema de grade variável que permite usar alta resolução em uma determinada área, definida pelo usuário. A malha variável permite que o modelo global possa ser usado para a simulação de processos de microfísica de precipitação (estudo dos processos de formação das gotículas de nuvens, gotas de chuva, cristais de gelo, granizo, etc) [8] [5]. As demandas computacionais se tornam altas para torná-lo um modelo operacional [2] [3] [4], já que é um modelo que pode ser usado para simulações climáticas de longo prazo ou *nowcasting*.

Em meteorologia existe um limite prático de tempo para previsão, algo em torno de 15 minutos para cada dia de simulação. Por razões óbvias uma previsão de tempo deve estar disponível com adequada antecedência do evento e antes de haver um novo conjunto significativo de observações meteorológicas para gerar uma nova condição de inicialização do modelo. O desafio é obter uma alta resolução com equações que representam de forma detalhada os fenômenos que influenciam a atmosfera dentro deste limite de tempo. O uso de máquinas de grande porte na sua máxima capacidade se torna imperativo para a melhoria das previsões.

Modelos numéricos para previsão de tempo e clima fazem a previsão para o momento desejado a partir de uma condição inicial da atmosfera, onde é feita uma previsão para um curto período de tempo e esta previsão é utilizada como nova condição inicial para uma nova previsão. Este procedimento se repete até se atingir o período desejado. Quanto menor a distância entre os pontos da grade menor o intervalo entre as previsões sucessivas, que é chamado de passo de tempo ou  $\Delta T$ . Passos de tempo muito grandes geram instabilidade numérica [9]. A determinação do  $\Delta T$  adequado é necessária para todas elas. No caso do OLAM o manual [8] informa o seguinte: "Não é fácil fornecer uma fórmula abrangente para estimar um valor ideal para o  $\Delta T$ , o usuário deve geralmente tentar alguns valores ao começar uma nova simulação para encontrar um valor adequado". Este trabalho tem como objetivo analisar o OLAM em diferentes grades e obter uma curva de  $\Delta T$  para facilitar o trabalho de se estabelecer o  $\Delta T$  máximo em que o modelo permanece estável.

## 2 Metodologia

Utilizamos a versão 4.9 do OLAM builder 522, que está paralelizada com MPI. Foi feita uma alteração para todas as mensagens das diversas cópias paralelas (chamadas *ranks* no MPI), serem direcionadas para `/dev/null`, para evitar o envio de mensagens de tela para arquivos por todos os *ranks*, mantendo apenas as mensagens do *rank* 0. Iniciando com uma

grade hexagonal com 200km, uma série de 14 sub-grades formando círculos concêntricos foram implementadas tendo como centro 21 graus de latitude sul e 51 graus de longitude oeste. Cada nível de sub-grade tem metade do espaçamento do anterior. Esta é uma típica condição para estudo de potencial eólico que necessita resolver os detalhes dos efeitos topográficos na escala da instalação dos geradores.

Foram feitas diversas rodadas na máquina altix-se.lncc.br usando 60 cores. Os nós usados tem as seguintes características: Processador Intel(R) Xeon(R) CPU X5650 2.67GHz (6 cores) com dois processadores por nó, 96 GB de memória, rodando Linux versão 2.6.18-194.el5 Centos 4.1.2-48 x86 64. Estas rodadas tiveram como objetivo estabelecer os valores máximos de  $\Delta T$  através de aproximações sucessivas para as diversas resoluções e gerar uma equação para facilitar o trabalho de ajuste do  $\Delta T$  em uma dada resolução para o OLAM.

O modelo foi compilado usando o Intel Fortran versão 14.0.2 com as flags de otimização: `-xHost -O3 -fno-alias -ip`. Esta versão do modelo utiliza hdf5 versão 1.8.14 com O/I paralelo. A implementação MPI (Message Passing Interface) MVAPICH2 versão 1.4.1.

### 3 Resultados e Discussão

Inicialmente, foi feito um estudo comparativo do tempo de previsão com diferente  $\Delta T$  para estimar o peso relativo no processamento. Na Figura 1 aparece o gráfico com o tempo gasto na previsão para uma hora numa resolução de 200km com diferentes  $\Delta T$ s usando um core. Este tempo não inclui a inicialização, que não depende do  $\Delta T$ , foi cerca 58 segundos para todas as rodadas, com 60 cores cai para 23 segundos, em geral com muitos cores e para rodadas de vários dias este tempo se torna pouco significativo. Podemos observar pelo gráfico que entre o menor  $\Delta T$  usado (57 segundos) e o maior (290 segundos) houve um *speedup* de 2,69. Os tempos de rodada incluem a gravação de uma saída de resultado do modelo. No caso de se usar um intervalo maior que uma hora o *speedup* será maior.

Para determinar o maior  $\Delta T$  possível, foram feitas aproximações sucessivas. O valor exato pode variar de acordo com o compilador, processador ou versão da bibliotecas utilizadas. Mas o objetivo é obter um valor de referência para simplificar o trabalho do pesquisador em ajustar o  $\Delta T$ . Na resoluções maiores o teste, por questões práticas, foi de uma hora e nas resoluções menores foi de 24 horas. Os resultados obtidos podem ser vistos nas Tabelas 1 e 2.

Na Figura 2, podemos ver como o tempo de processamento escala com o acréscimo de sub-grades. Devemos lembrar que as sub-grades ocupam apenas uma parte da sub-grade anterior. Foi observado que os sub-modelos não aumentam o tempo de processamento na mesma taxa. Especificamente, na radiação há um aumento de custo computacional mais acelerado. Nota-se que, para altas resoluções, o modelo só seria operacional rodando em um *cluster* maior do que o usado, já que os tempos de processamento começam a ser superiores ao tempo de previsão.

Foram ajustadas sete equações diferentes para os dados (abaixo): (1) reta; (2) reta com intercepto igual a 0; (3) parábola; (4) parábola com intercepto igual a 0; (5) logarítmica; (6) exponencial; (7) potência. Na Tabela 3 podemos ver que a equação (4) é a que melhor

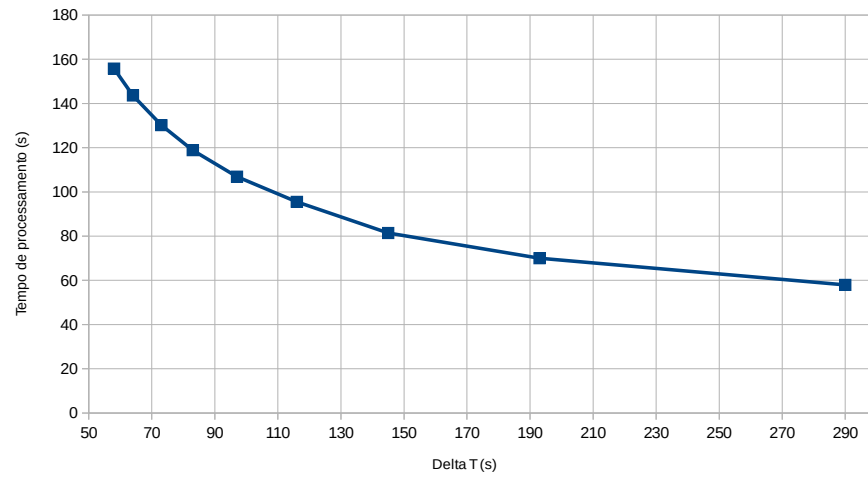


Figura 1: Comparação do tempo de previsão para uma hora numa resolução de 200km, com diferentes  $\Delta T$  e um core.

Tabela 1:  $\Delta T$  máximos para rodadas de 24 horas.

Grade nr.	Resolução	$\Delta T$ (segundos)
1	200 km	290
2	100 km	269
3	50 km	174
4	25 km	83
5	12,5 km	43
6	6,25 km	21

Tabela 2:  $\Delta T$  máximos para rodadas de 1 hora.

Grade nr.	Resolução	$\Delta T$ (segundos)
7	3,13 km	10
8	1,56 km	4,8
9	781,25 m	2,3
10	390,63 m	1,1
11	195,31 m	0,56
12	97,66 m	0,26
13	48,83 m	0,13
14	24,41 m	0,06

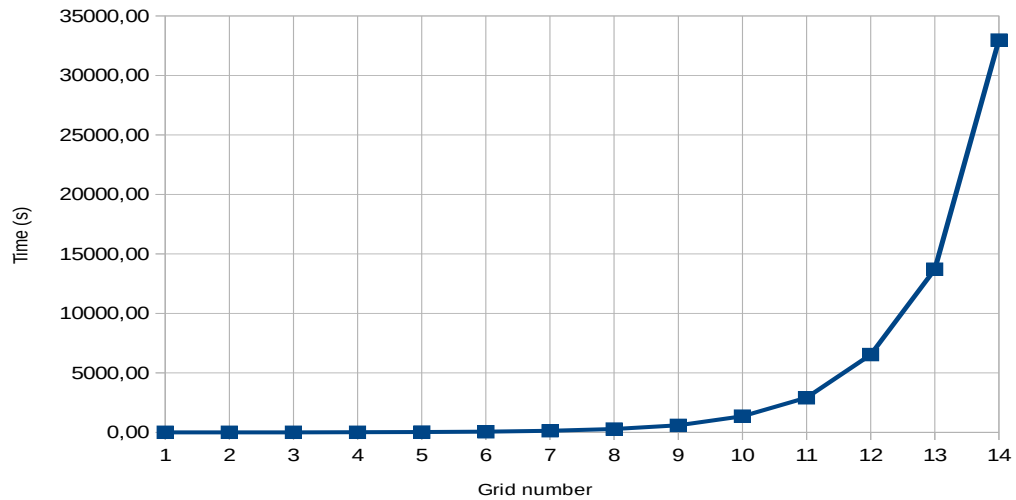


Figura 2: Tempo de previsão em relação as sub-grades para uma hora, numa resolução de 200km, com um diferente  $\Delta T$  para cada sub-grade.

se ajusta. A equação (7) tem um bom  $R^2$  mas um alto erro padrão. Embora na equação (4) o erro padrão seja ligeiramente superior ao da equação (3), este aumento foi nas grades de menor resolução, onde é menos problemático enquanto os valores para as altas resoluções se tornaram muito mais próximos. Podemos conferir visualmente o ajuste pela Figura 3. Podemos notar que há um problema com as resoluções mais baixas, existe uma parte da curva em que claramente os valores serão superestimados. No geral a equação (4) superestima os valores.

$$f(x) = 1,6869770084x + 16,0328844713 \tag{1}$$

$$f(x) = 1,8072163031x \tag{2}$$

$$f(x) = -0,0126401152x^2 + 3,9851313305x - 1,471840117 \tag{3}$$

$$f(x) = -0,0124791769x^2 + 3,9465037737x \tag{4}$$

$$f(x) = 28,9754359846 \ln(x) + 41,2558014622 \tag{5}$$

$$f(x) = 2,400838162e^{0,0335161869x} \tag{6}$$

$$f(x) = 2,8439885259 + x^{0,9940678647} \tag{7}$$

Foi escrito um programa utilitário que fornece dois possíveis valores de  $\Delta T$  para início dos testes com uma dada resolução: um valor interpolado a partir da tabela criada e o valor da equação (4) com um fator de redução para evitar valores sobre estimados. Como é melhor que a fórmula forneça valores que não gerem instabilidade numérica, portanto subestime o intervalo de tempo de integração, foi feito um correção nos valores calculados pela equação (4). Baseado na relação (valor medido)/(valor estimado) os fatores de redução foram de 0,9 para resoluções acima de 12500m; 0,8 de 12500m até 6250m, 0,7

Tabela 3:  $R^2$  e Erro Padrão das equações ajustadas.

Equação	$R^2$	Erro Padrão	Valores Negativo?
(1) linear	0,862	39,822	Não
(2) linear intercepto=0	0,888	39,822	Não
(3) polinomial	0,998	3,429	Sim
(4) polinomial intercepto=0	0,999	3,440	Não
(5) logarítmica	0,663	62,264	Sim
(6) exponencial	0,433	81,329	Não
(7) potência	0,994	39,572	Não

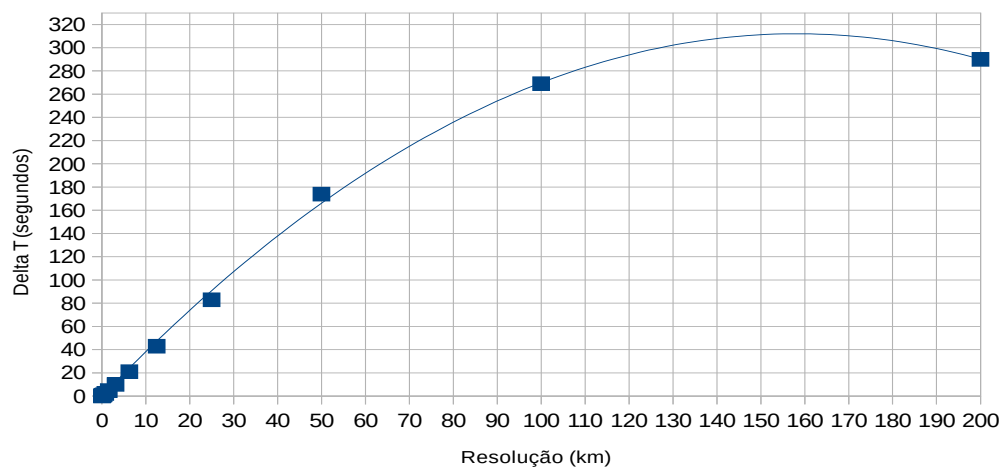


Figura 3:  $\Delta T$  pela resolução com a uma curva da equação (4) ajustada.

de 6250m até 200m e 0,6 para resoluções abaixo de 200m. Os valores da tabela a serem interpolados ficam armazenados num arquivo podendo o usuário acrescentar ou modificar valores.

## 4 Conclusões

O passo de tempo  $\Delta T$  tem um peso considerável no OLAM, principalmente porque não muda para as grades aninhadas já que diferente do BRAMS em que as sub-grades são realmente distintas aqui elas são só conceitualmente aninhadas. O OLAM tem, simplesmente, uma malha espacialmente variável que é integrada com o  $\Delta T$  mínimo requerido pela resolução mais alta. Como trabalhos futuros pretendemos implementar esta característica no modelo através de uma mapa de  $\Delta T$ , com valores fornecidos pelo usuário ou calculados pelo utilitário criado.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil, do CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e da IBM através do projeto concedido ao Prof. Pedro Leite da Silva Dias.

## Referências

- [1] S. R. Freitas, K. M. Longo, M. F. A. Silva Dias, R. Chatfield, P. L. Silva Dias, P. Artaxo, M. O., M. O. Andreae, G. Grell, L. F. Rodrigues, A. L. Fazenda, J. Panetta. The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS). Part 1: Model description and evaluation, *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 9, p. 2843-2861, 2009.
- [2] C. Osthoff, C. Schepke, J. Panetta, L. Pilla, N. Maillard, P. Grunman, P. L. S. Dias, R. Walko, R. Kassick, F. Boito. Atmospheric models hybrid OpenMP MPI implementation multicore cluster evaluation. *International Journal of Information Technology, Communications and Convergence.* , v.2, p.212 - 232, 2012.
- [3] C. Osthoff, R. S. Pinto, F. Vilasboas, P. Grunman, P. L. S. Dias, F. Boito, R. Kassick, L. Pilla, P. Navaux, C. Schepke, V. Maillard, J. Panetta, P. P. Lopes. Improving atmospheric model performance on a multi-core cluster system In: *Atmospheric Models.1* ed. Intech Rijeka, 2012, v.1, p. 1-24.
- [4] R. S. Pinto, C. Osthoff, F. Vilasboas, P. L. S. Dias. Hybrid Cluster Programming Models Evaluation for Atmospheric Simulation Model Application *5th LNCC Meeting on Computational Modeling* , Petrópolis, 2012.
- [5] R. R. da Silva, P. L. S. Dias, D. S. Moreira, e E. B. de Souza. (2009). Modelo OLAM (ocean-land-atmosphere-model): descrição, aplicações, e perspectivas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 24(2), 144-157.
- [6] R. L. Walko and R. Avissar. R. The Ocean Land Atmosphere Model (OLAM). Part I: Shallow-Water Tests. *Monthly Weather Review*, 136:4033-4044, 2008.
- [7] R. L. Walko and R. Avissar. The Ocean Land Atmosphere model (OLAM). part ii: Formulation and tests of the nonhydrostatic dynamic core. *Monthly Weather Review*, 136(11):4045-4062, 2008.
- [8] R. L. Walko. OLAM *Ocean-Land-Atmospheric Model Version 4.1: Model Input Parameters*, August 2013.
- [9] T. T. Warner. *Numerical weather and climate prediction Cambridge*. University Press, Cambridge, 2011.