

# Auditoria de código e planejamento de otimização em ambiente HPC para modelos de Previsão Numérica de Tempo

Isabel de Freitas Barboza<sup>1,2</sup>, Eduardo Lucio Mendes Garcia<sup>2</sup>, Roberto Pinto Souto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Educação Tecnológica do Estado do Rio de Janeiro (CPTI/FAETERJ)

<sup>2</sup>Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC)

{ifreitas, bidu, rpsouto}@lncc.br, ibarboza@faeterj-petropolis.edu.br



# Agenda

1

**Resumo  
Introdução e  
Contexto**

2

**Metodologia e  
Ferramentas**

3

**Resultados  
Parciais e  
Discussão**

4

**Conclusão**

# Introdução

Fazer previsões de tempo mais detalhadas intensifica o uso de recursos de HPC. Entretanto, esse uso também traz desafios, como a necessidade de otimização dos códigos e análise de desempenho para garantir o uso eficiente dos recursos computacionais.

- O projeto explora a estratégia de paralelização para otimizar o desempenho computacional do modelo MPAS que tem caráter preparatório para o modelo meteorológico MONAN.
- O LNCC está participando no desenvolvimento computacional do MONAN, auxiliando na avaliação de desempenho dos códigos

# Introdução - O que é o MONAN?

## **Model for Ocean-laNd-Atmosphere predictioN**

Modelo para Previsão dos Oceanos, Superfícies Terrestres e Atmosfera

- Modelo brasileiro em desenvolvimento pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

### **Objetivo:**

- Melhorar a precisão nas previsões meteorológicas e climáticas, principalmente para o Brasil e a América do Sul.

### **Foco:**

- Simular a interação entre os oceanos, a superfície terrestre e a atmosfera, permitindo previsões mais detalhadas e antecipadas de eventos climáticos extremos, como chuvas intensas e ondas de calor.

O MONAN tem sua versão inicial (1.0.0) baseada no núcleo dinâmico do modelo atmosférico MPAS 8.0.1. Parte da física usada pelo MONAN é obtida do modelo MPAS e outra parte é desenvolvida pela comunidade técnico-científica.



# Introdução - O que é o MPAS?



## Model for Prediction Across Scales

Modelo Para Previsão Em Escalas

- Modelo atmosférico desenvolvido pelo National Center for Atmospheric Research (NCAR) e pelo Los Alamos National Laboratory (LANL).
- Ele é projetado para fornecer previsões de tempo e clima em uma ampla gama de escalas espaciais, desde local até global.
- Projeto colaborativo para o desenvolvimento de componentes de simulação da atmosfera, dos oceanos e de outros sistemas terrestres para uso em estudos climáticos, climáticos regionais e meteorológicos.



# Introdução - Características dos modelos

As características do MONAN são semelhantes às do MPAS. Ambos os modelos compartilham fundamentos e metodologias voltados para simulações atmosféricas de alta resolução e escalas variadas.

## Componente atmosférico

Utiliza uma malha de Voronoi que tem como método de discretização de domínio o método de volumes finitos. Isso representa que ela pode ser ajustada para ter resolução maior ou menor em diferentes regiões

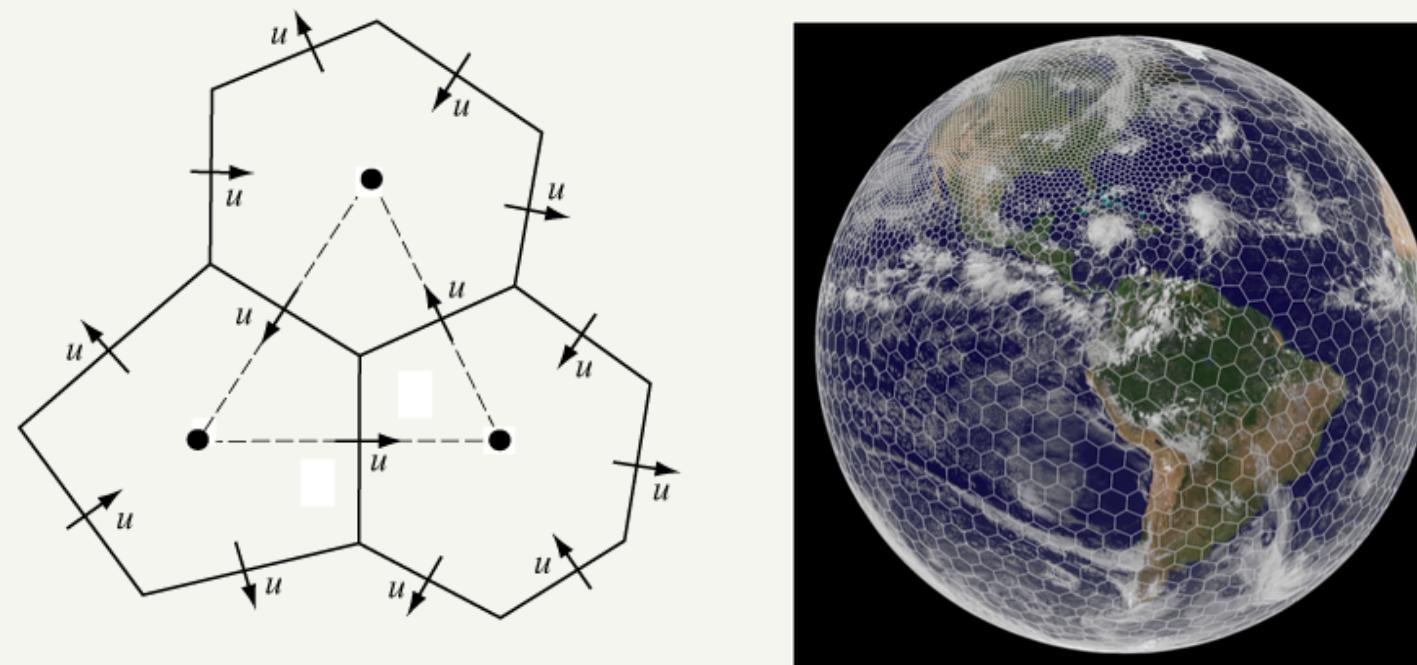


Figura 1 - Malha de Voronoi , B Resolução  
no globo  
(Fonte : <https://mpas-dev.github.io/>) ,

# Metodologia e Ferramentas

## Execuções experimentais:

Simulações com o MPAS no supercomputador Santos Dumont (LNCC),  
Nós da Partição Sequana X1000 usando somente CPU  
Diferentes resoluções de malha (120 km e 60 km).

Tempos de simulação: 4h e 2h.

Variação de 1 a 32 núcleos de processamento.



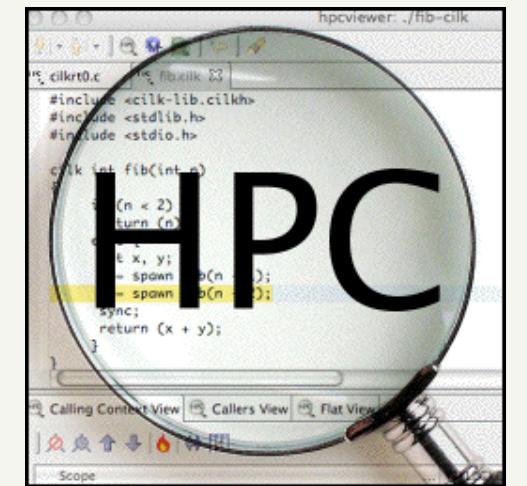
## Foram usadas ferramentas de HPC para análise detalhada do desempenho:

Scalasca – mede ineficiências e custos de execução.

HPCToolkit – analisa tempo gasto em cada função.

CubeGUI e HPCviewer – visualização dos resultados.

POP-COE metrics – quantificação do impacto da paralelização.



# Resultados Parciais e Discussão

## Execuções experimentais:

Os gráficos abaixo apresentam a comparação entre os tempos medidos (a), o ganho de desempenho (speed-up) (b), e a eficiência paralela (c), que vem a ser a razão entre os speed-ups obtido e ideal.

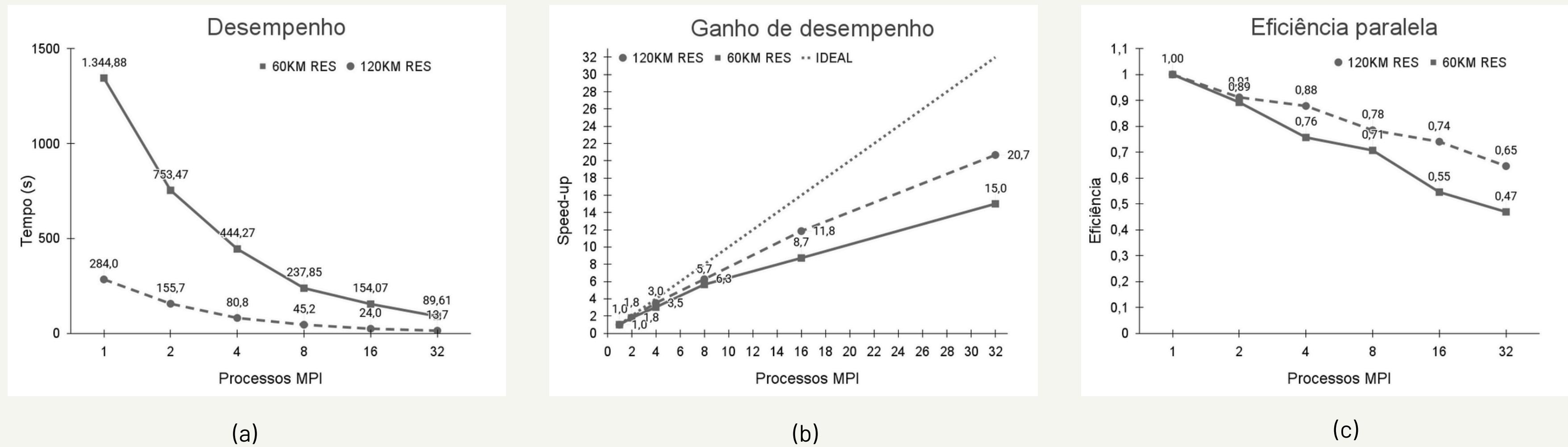


Figura 2 - Resultados do MPAS no supercomputador Santos Dumont (120 km e 60 km): (a) Tempo medidos, (b) Ganho de desempenho, (c) Eficiência paralela.

# Resultados Parciais e Discussão

## Ferramentas Scalasca e HPCToolkit e métricas do POP-COE

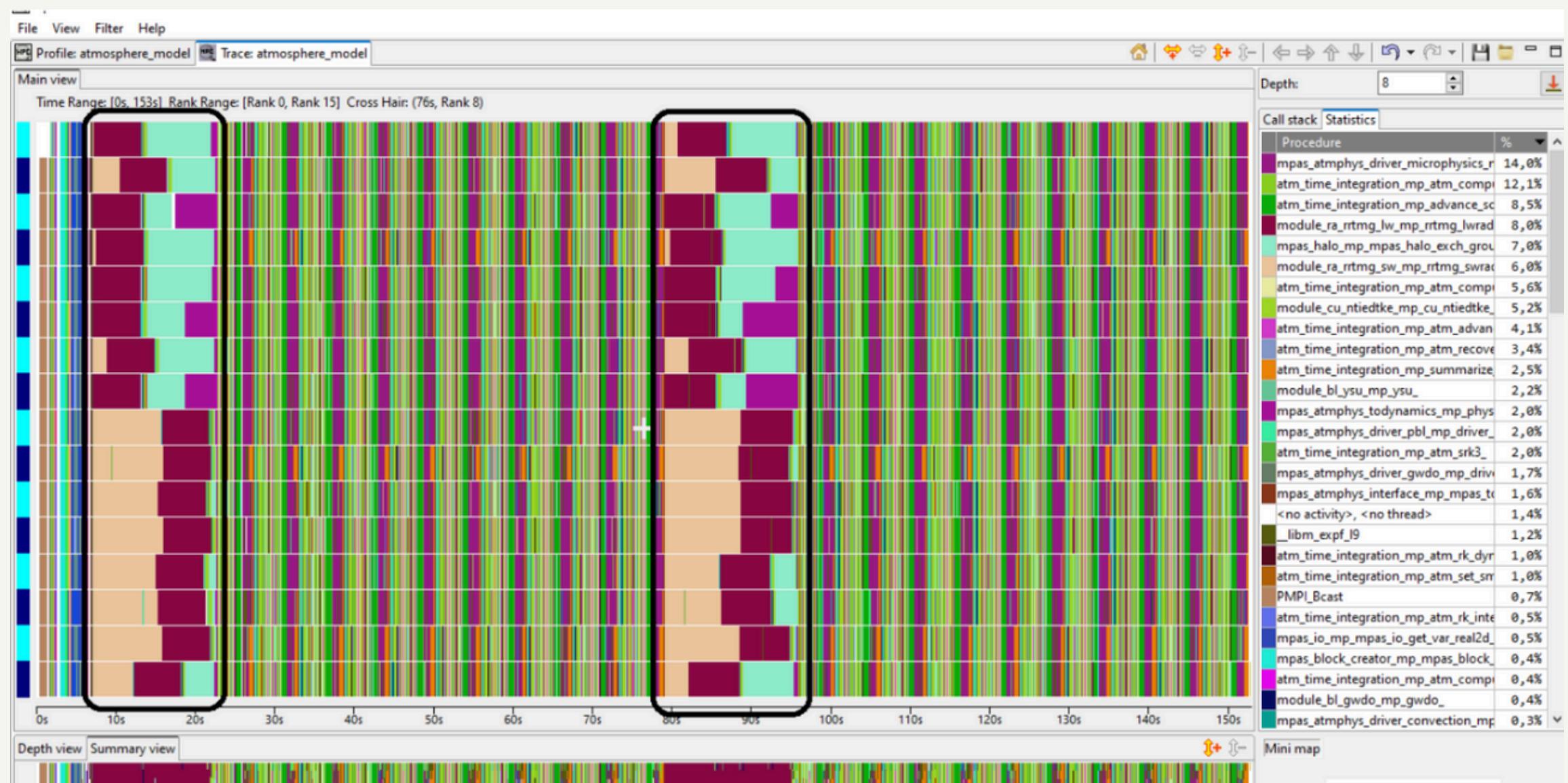


Figura 3 - HPCViewer: rodada MPAS 60km com 16 processos MPI

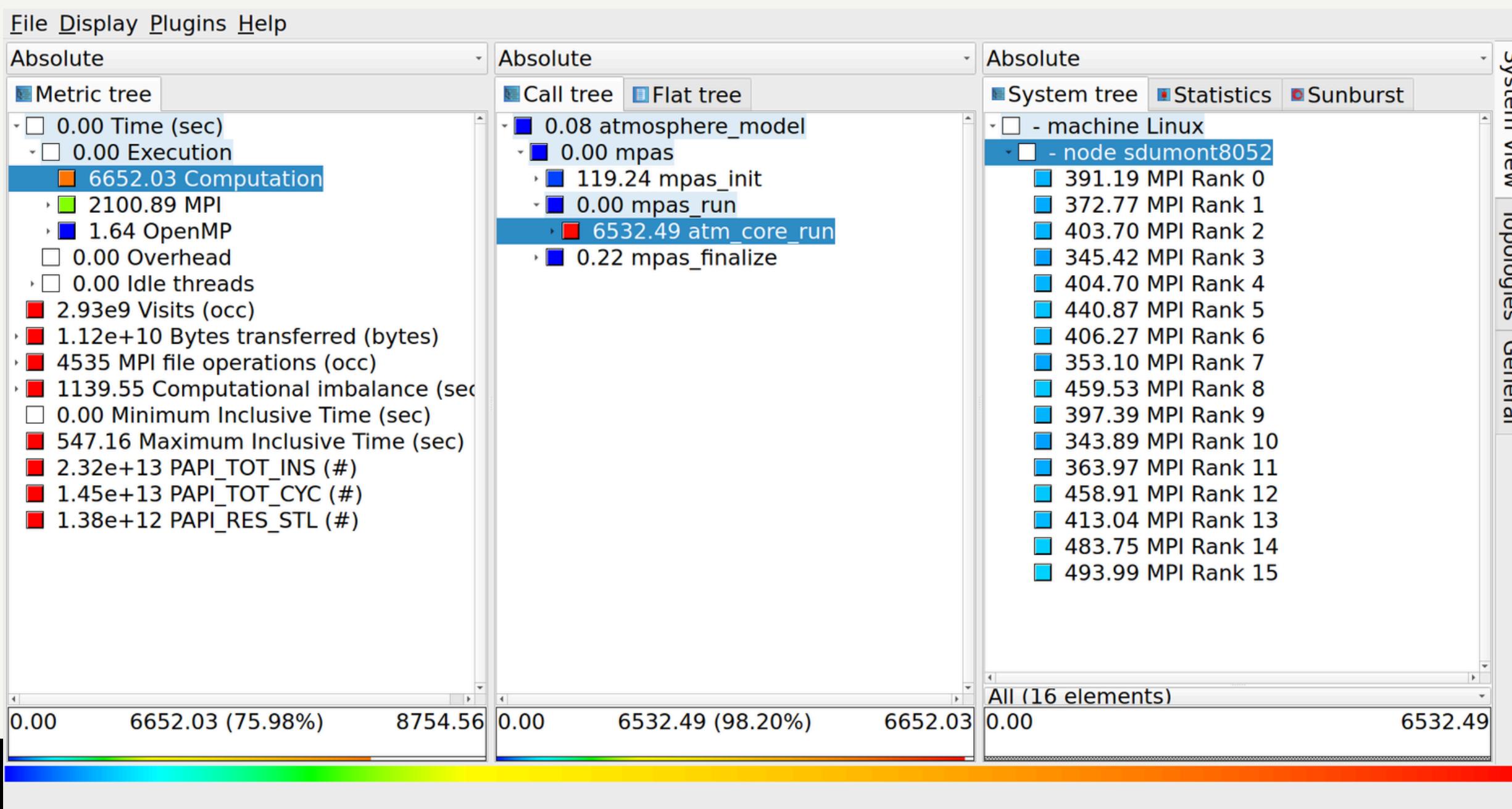
- O HPCviewer mostra a linha do tempo da execução do MPAS com HPCToolkit.
- Cada faixa horizontal representa um processo e cada bloco colorido corresponde ao tempo gasto em uma função específica.

Observa-se que determinados blocos apresentam durações distintas entre os processos, indicando desequilíbrios de carga e diferenças no tempo de CPU entre eles.
- Esses desbalanceamentos contribuem para a redução da eficiência paralela.
- Decorrem principalmente do ciclo diurno: como a simulação é global, diferentes regiões do planeta estão sujeitas a condições de dia ou noite

# Resultados Parciais e Discussão

## Análise do MPAS com Scalasca no CubeGUI em 3 Partes principais

**Metric tree**, mostra o tempo integrado das rotinas da aplicação (Computation), das rotinas relativa às bibliotecas MPI e OpenMP;



**Call tree**, detalha a hierarquia de chamadas de rotina;

**System Tree**, mostra o mapeamento dos processos MPI nos nós de execução.

Observa-se que parte significativa do tempo total é dedicada à comunicação (MPI) e sincronização entre processos, o que:

confirma a presença de gargalos e desbalanceamento na carga computacional.

As diferenças entre os tempos de execução dos ranks MPI com variação de aproximadamente 370s a 500s podem indicar que alguns processos esperam outros finalizarem suas tarefas, reduzindo eficiência paralela.

Figura 4-CubeGUI: rodada MPAS 120km com 16 processos MPI

# Resultados Parciais e Discussão

## Métricas de desempenho do Performance Optimisation and Productivity Centre of Excellence in HPC (POP-COE)

A Figura 5 apresenta a avaliação do experimento anterior segundo as métricas POP-COE.

O modelo obteve **Eficiência Paralela** de 0,76, considerada boa, refletindo desempenho razoável em múltiplos processos.

A **Eficiência de Balanceamento de Carga** (0,83) indica distribuição adequada do trabalho, enquanto a **Eficiência de Comunicação** (0,91) mostra boa capacidade de troca de dados entre processos, apesar de sobrecargas pontuais.

O valor de **Resource Stall Cycles** (0,16) sugere que o processador permaneceu ocioso por curtos períodos, o que reforça o impacto moderado das esperas MPI.

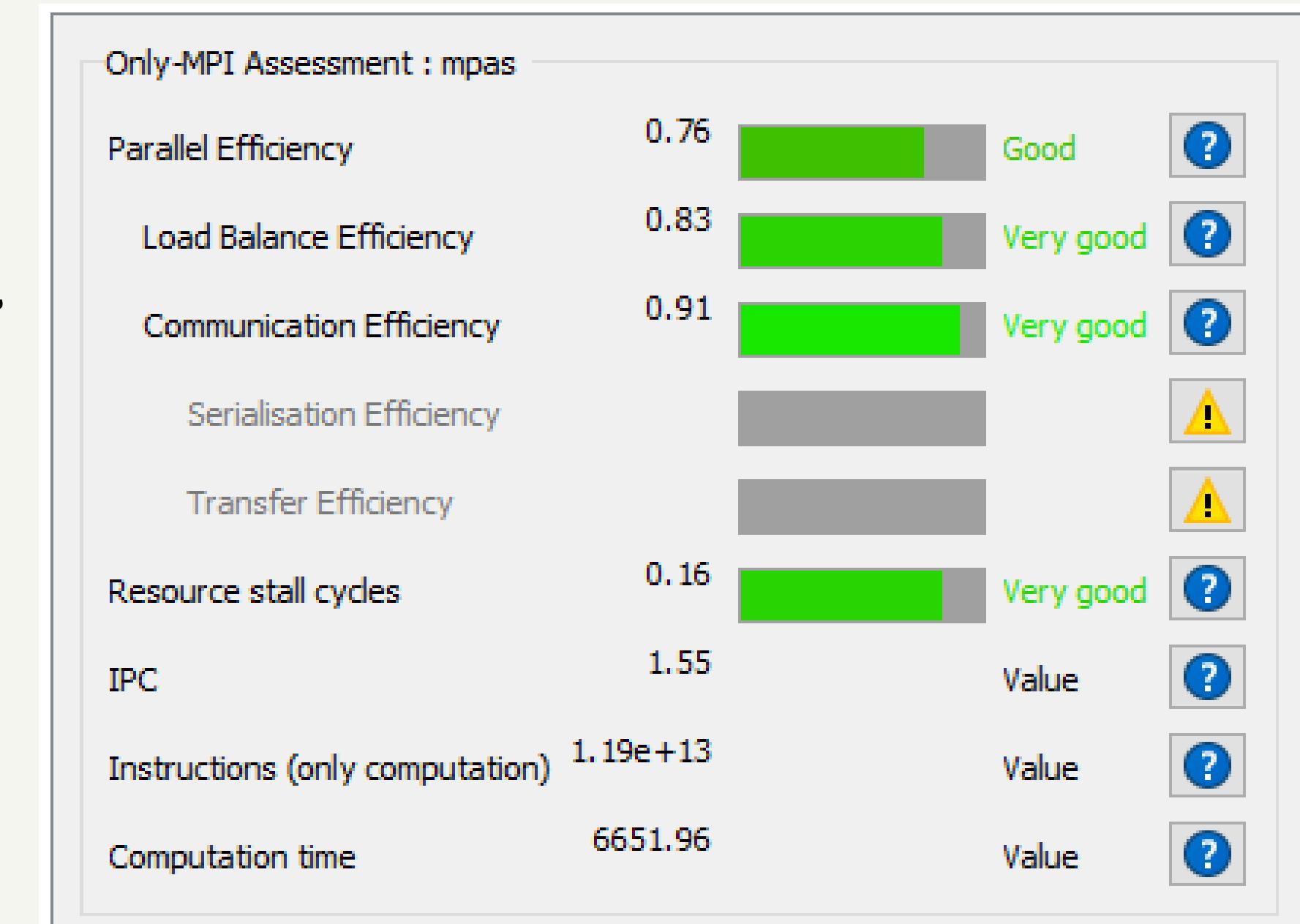


Figura 5 - CubeGui: métricas rodada MPAS 120km com 16 processos MPI

## Conclusão

- O aumento do número de processos nem sempre resulta em ganhos proporcionais.
- A sobrecarga de comunicação e a distribuição desigual das tarefas afetam a performance.
- As ferramentas permitiram localizar funções críticas e quantificar as perdas.

## Etapas Futuras

Próximos passos:

- aplicar as técnicas ao modelo MONAN.
- rodar com tempos de integração maior (24hs);
- rodar com refinamento em uma região

Este estudo fornece uma base para futuras otimizações no MONAN, visando previsões mais rápidas e precisas.

# Agradecimentos:



# Obrigada!