

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Instituto de Matemática e Estatística
Departamento de Ciência da Computação
MAC0499 – Trabalho de Formatura Supervisionado

PARALELIZAÇÃO DE UM MODELO INTEGRADO DOS SISTEMAS TÉRMICO E RESPIRATÓRIO DO CORPO HUMANO

Alunos: Fernando Fernandes Chaves
Leandro de Moraes
Orientador: Prof. Dr. Marco Dimas Gubitoso

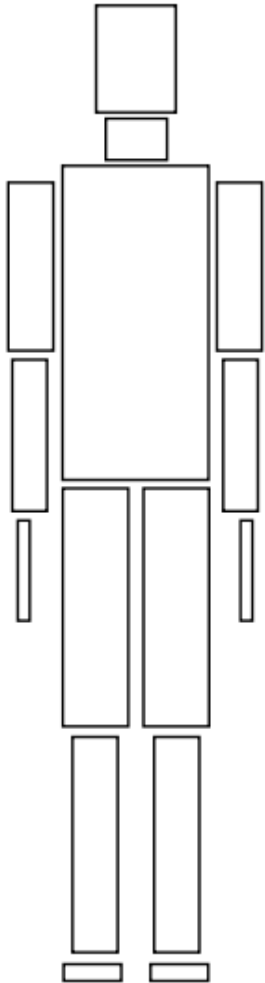
Novembro de 2009

Modelos de sistemas biológicos

- Vantagens
 - Custo;
 - Utilizada em experimentos onde existe risco de saúde para um indivíduo.
- Modelo integrado dos sistemas térmico e respiratório – Albuquerque-Neto (2009)
 - Aplicações:
 - ambientes hipobáricos;
 - ambientes hiperbáricos;
 - incêndio;
 - doenças;
 - hipotermia.

Descrição do Modelo

Descrição do Modelo



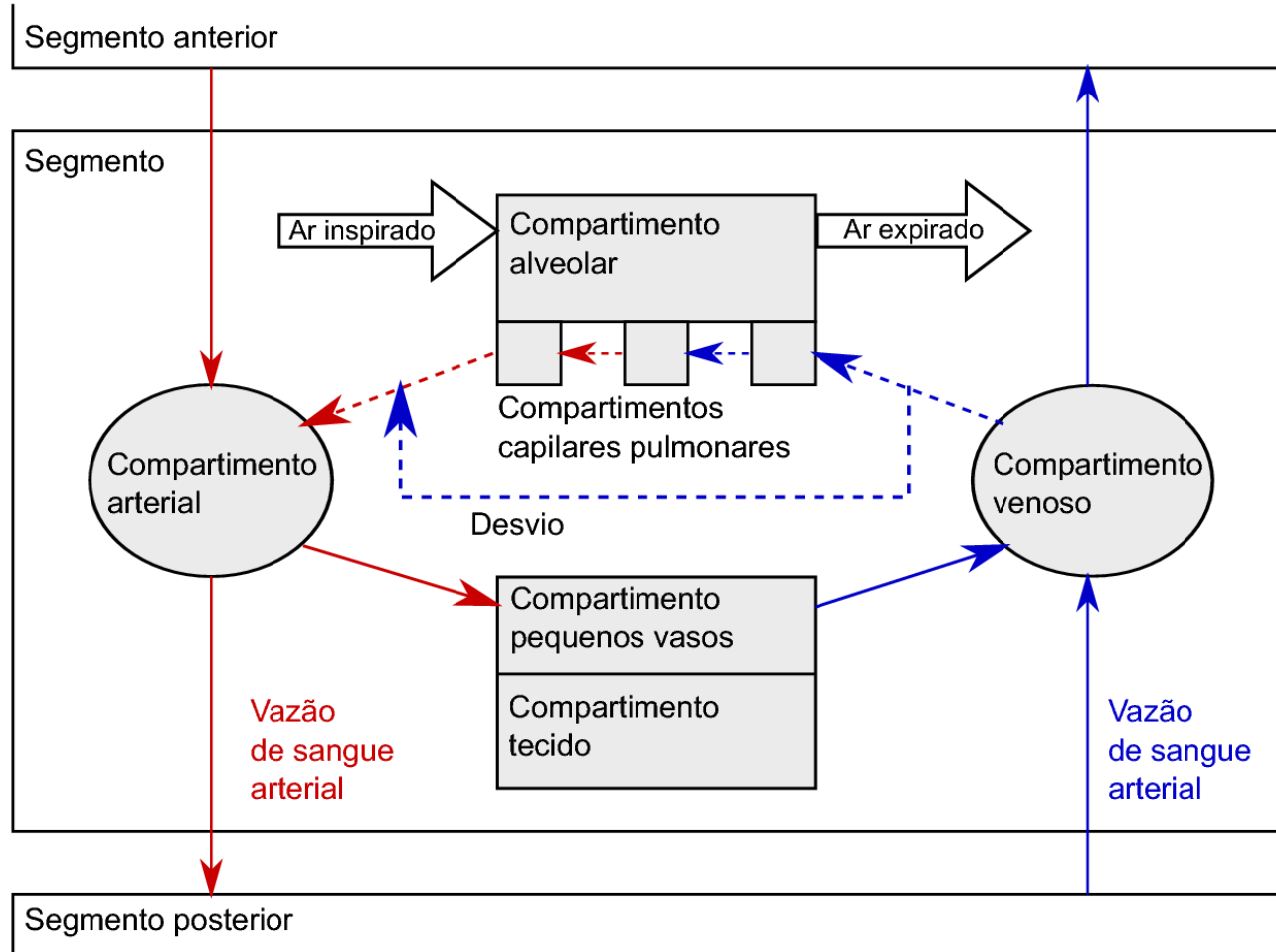
•15 segmentos:

- cabeça;
- pescoço;
- tronco;
- braços;
- antebraços;
- mãos;
- coxas;
- pernas;
- pés.

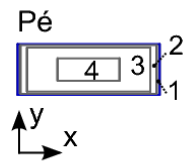
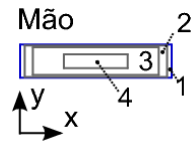
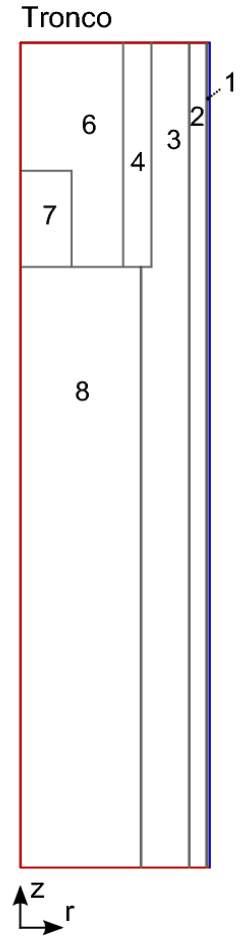
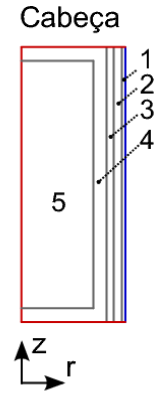
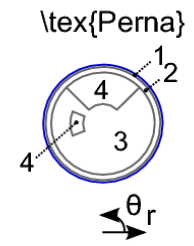
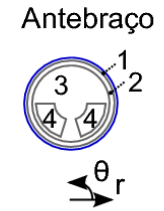
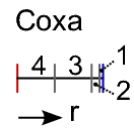
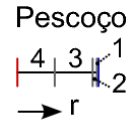
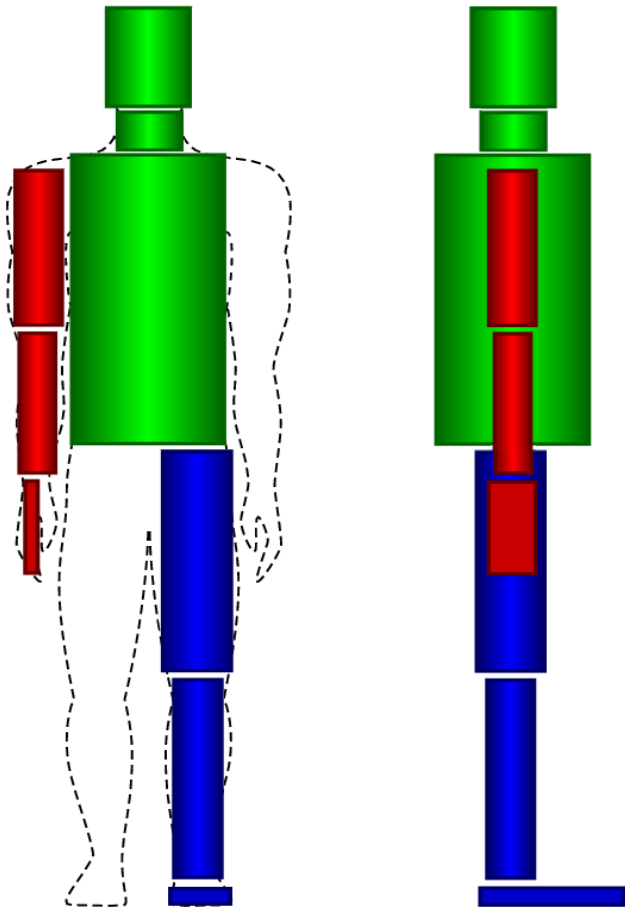
•Tecidos e órgãos:

- pele;
- gordura;
- músculo;
- osso;
- cérebro;
- pulmão;
- coração;
- vísceras.

Circulação de sangue em um segmento



Geometria do corpo humano



1. Pele
2. Gordura
3. Músculo
4. Osso
5. Cérebro
6. Pulmão
7. Coração
8. Viscera

- Limite das camadas
- Fronteira adiabática
- Contato com o ambiente

Estrutura da Simulação

```
para (tempo ← 0; tempo < tempoDaSimulação; tempo ← tempo + passoTempo)
    para (iteração ← 0; iteração < numMaxIterações; ++iteração)
        AjustaVazao();
        AjustaTemperatura();
        AjustaConcentracao();

        para (todos os segmentos)
            segmentos[i].passoCalculoTemperatura();
            segmentos[i].passoCalculoPressao();

        se (atingiu precisão em todos os segmentos)
            break;
```

Primeiro Passo

```
para (todos os segmentos)
    segmento.passoCalculoTemperatura();
.
.
.
para (todos os segmentos)
    segmento.passoCalculoPressao();
```

Responsáveis por **90%**
do tempo gasto pela
simulação.

Primeiro Passo

```
para (todos os segmentos)  
    segmento.passoCalculoTemperatura();
```

- 
- -
 -

```
para (todos os segmentos)  
    segmento.passoCalculoPressao();
```

Primeiro Passo

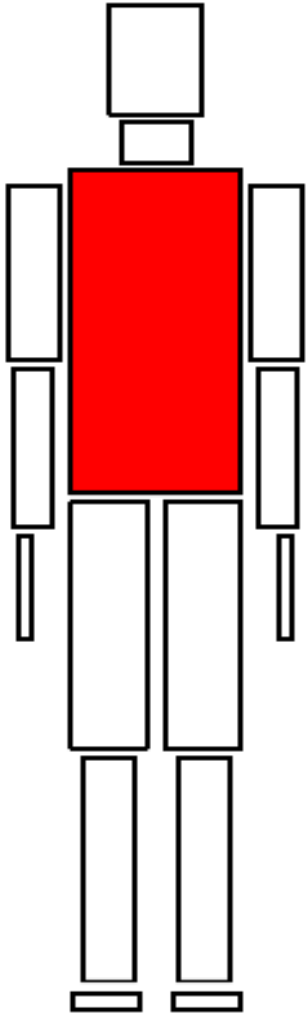
```
Thread_Segmento
{
    segmento.passoCalculoTemperatura();

    AjustaInformacoesDeIntegracaoDosCalculos();

    segmento.passoCalculoPressao();
}
```

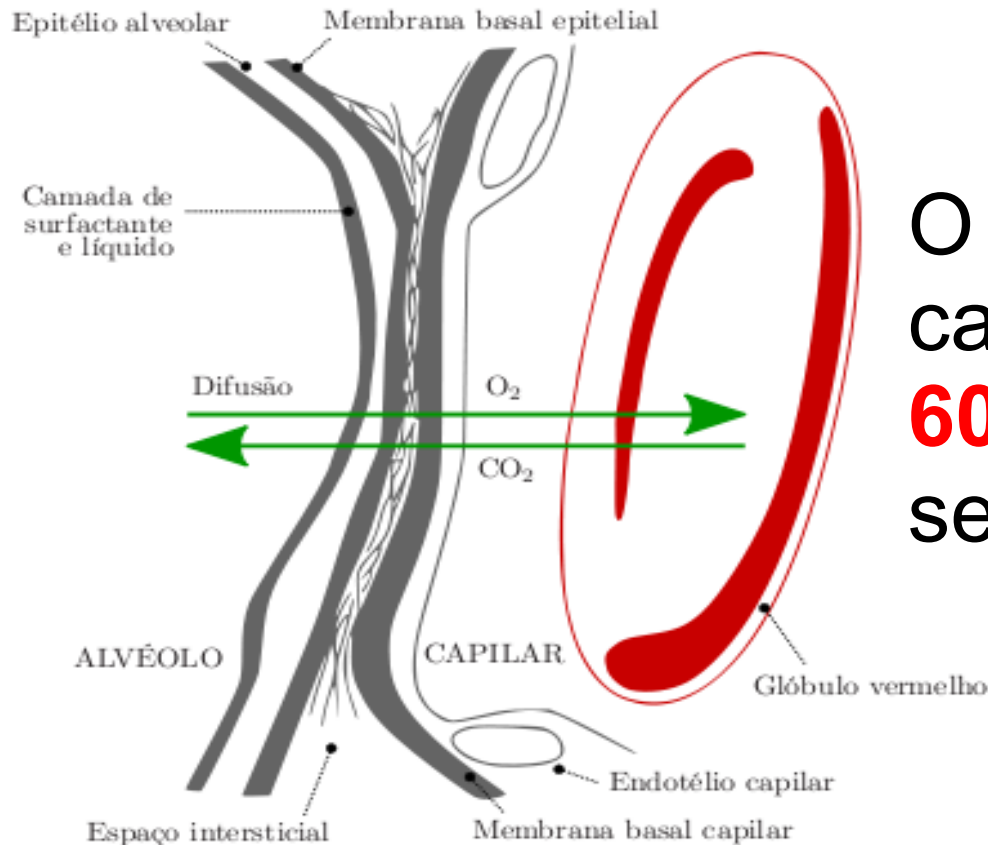
Tronco

Tronco



O segmento do tronco consome **20%** do tempo da simulação.

Pulmão – Troca de gases



O cálculo das pressões nos capilares é responsável por **60%** do tempo gasto pelo segmento do tronco.

Problema: Regime Permanente

Os cálculos das condições iniciais de pressão nos capilares pulmonares são dependentes.

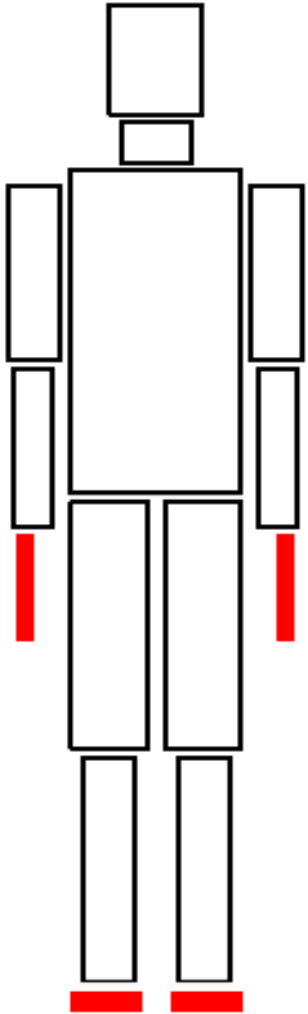
Solução: Sequencial + Paralelo

O cálculo das pressões nos capilares pulmonares é:

- * Sequencial, em regime permanente
- * Paralelo, em regime transitório

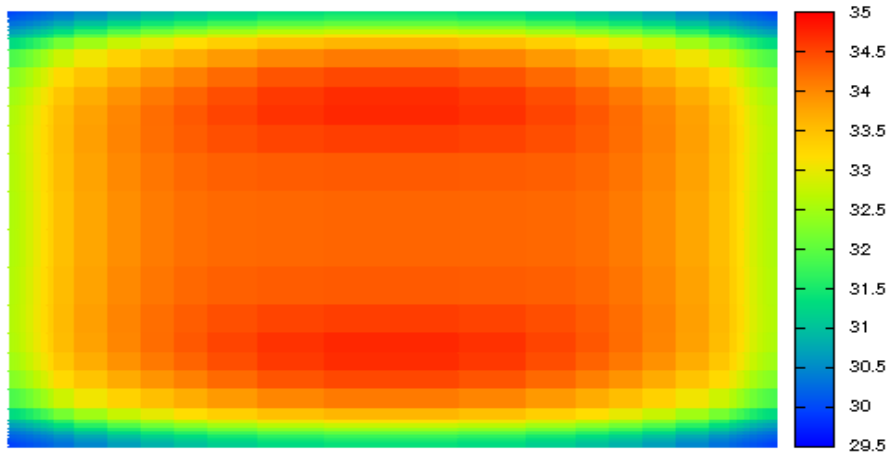
Cálculo de Temperatura nas Extremidades

Cálculo de Temperatura nas Extremidades

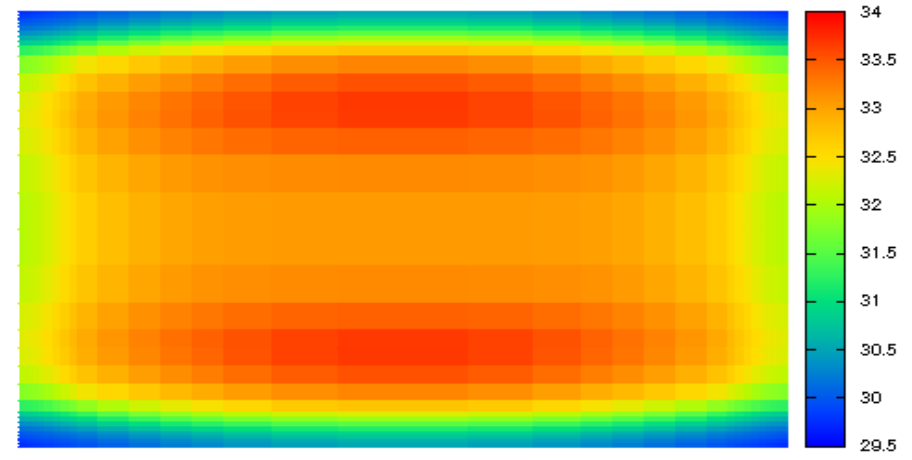


O cálculo da temperatura nas extremidades, pés e mãos, ocupam **32%** do tempo da simulação.

Distribuição de Calor no Pé e Mão

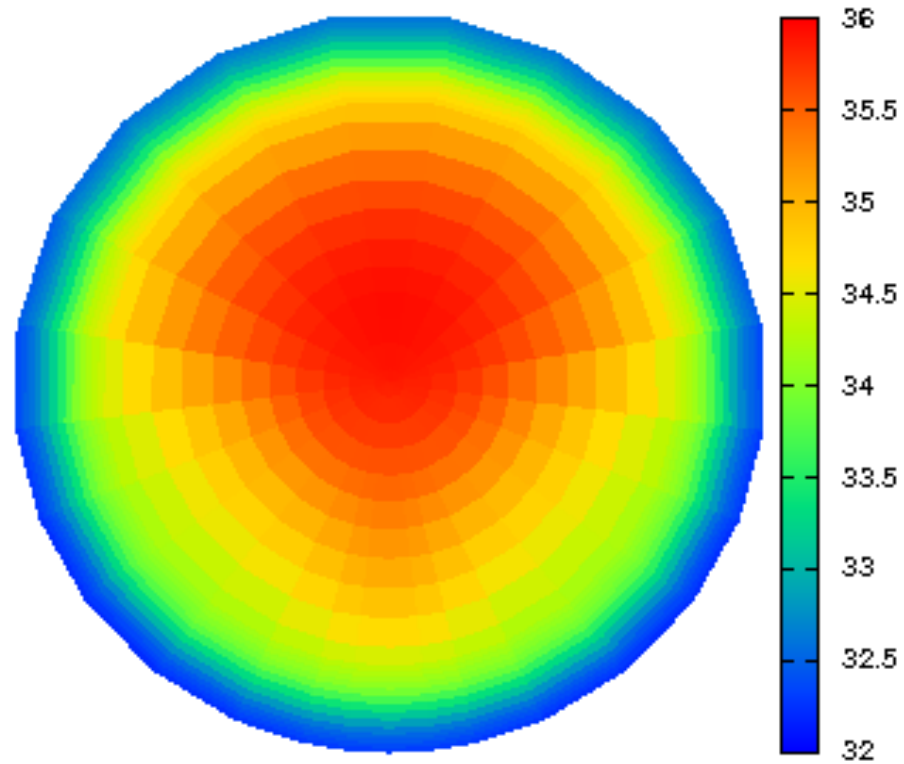


Seção do Pé



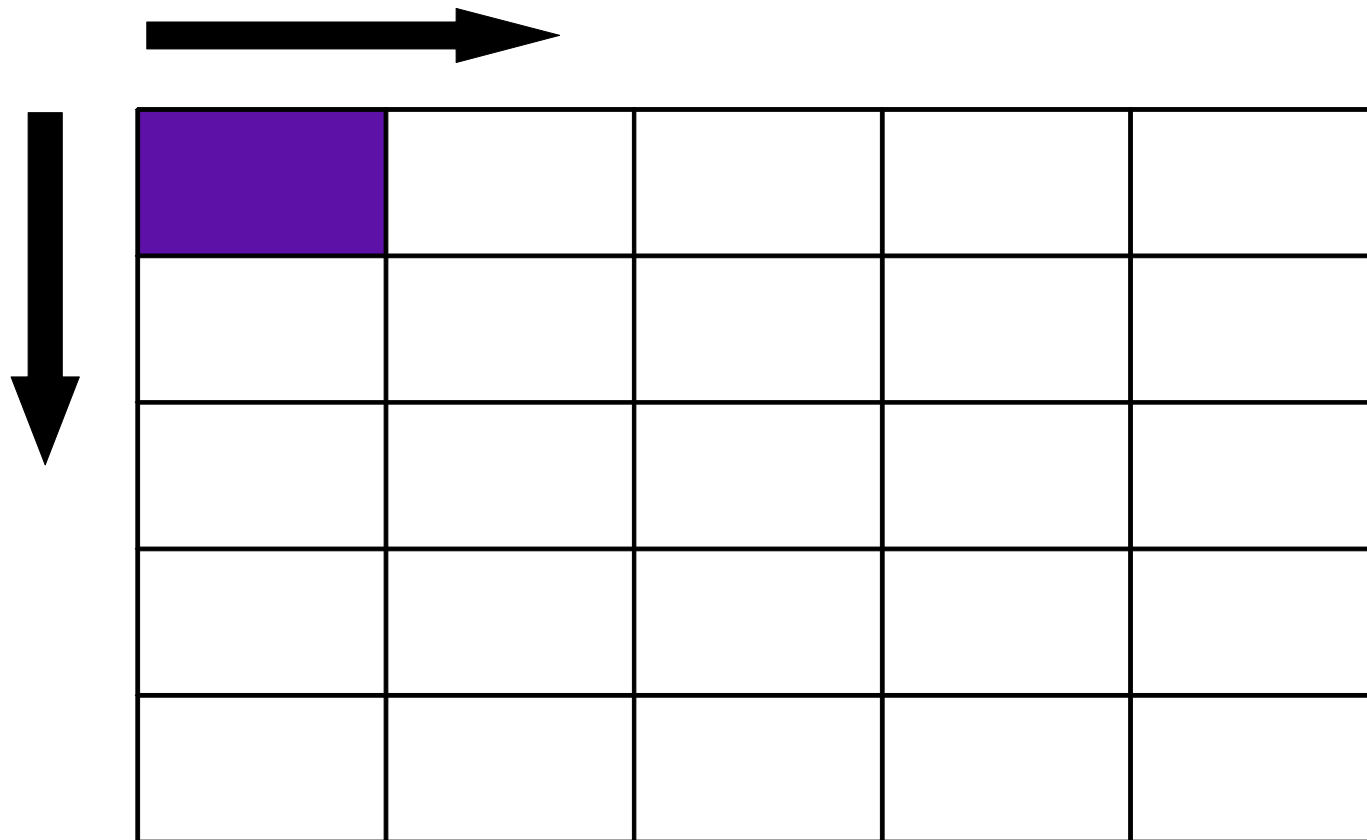
Seção do Mão

Comparando



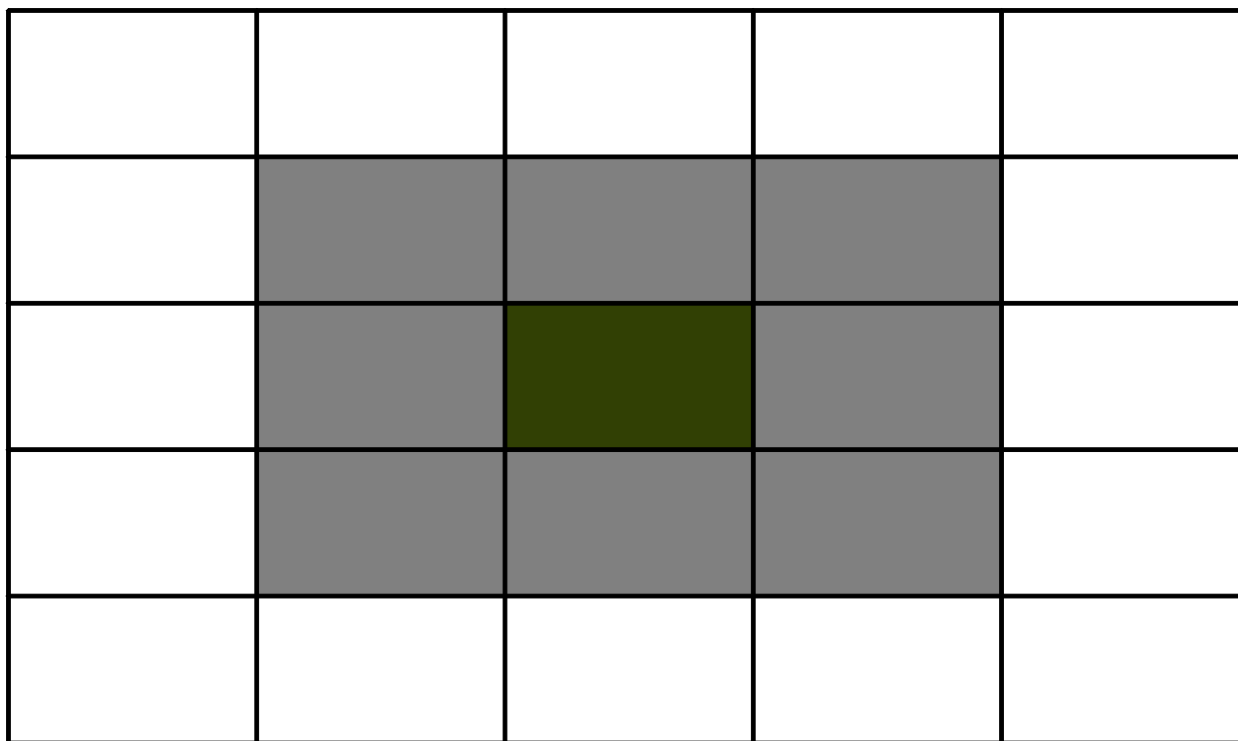
Seção do Antebraço

Sequência do cálculo



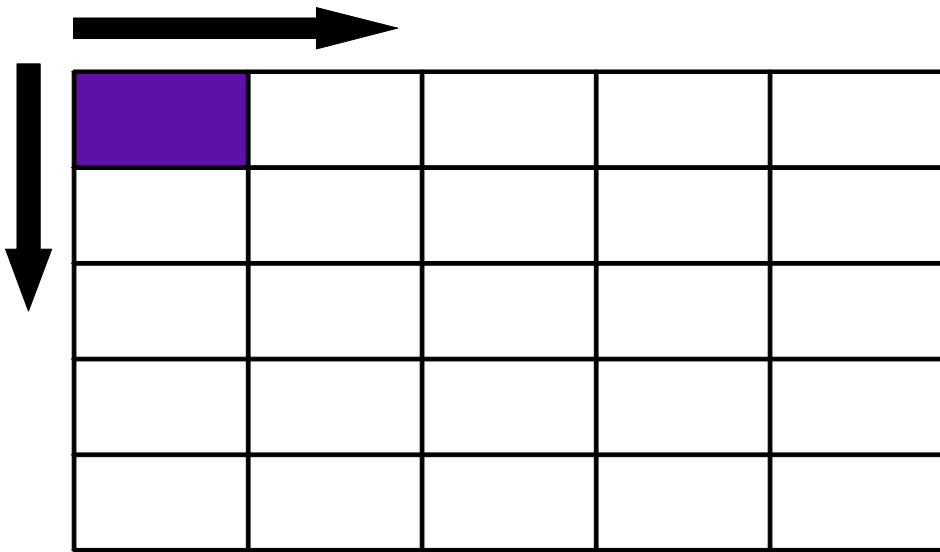
Representação da malha de células de uma seção do Pé e Mão

Dependência entre células

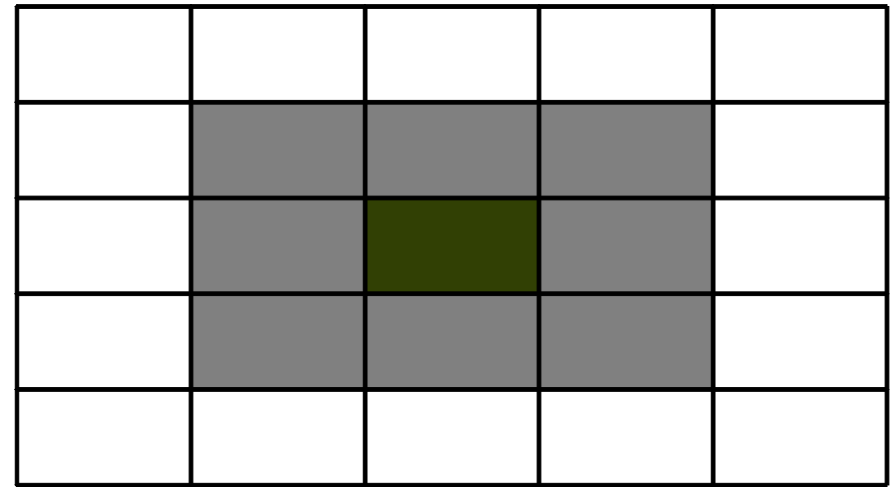


Representação da malha de células de uma seção do Pé e Mão

Problemas para paralelizar o cálculo

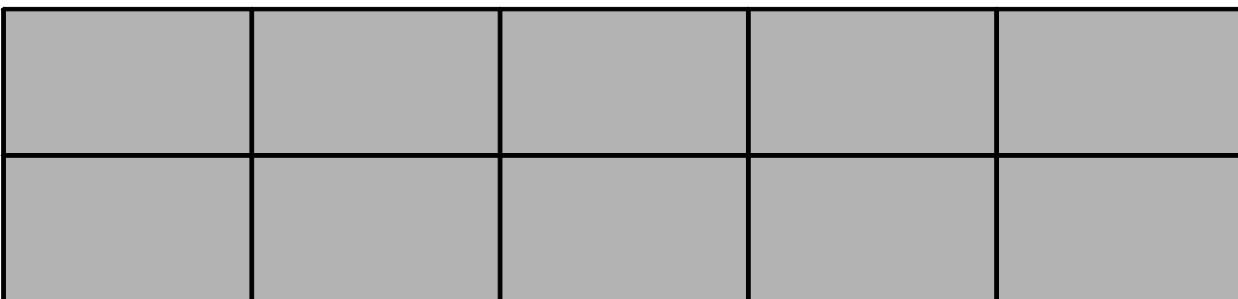
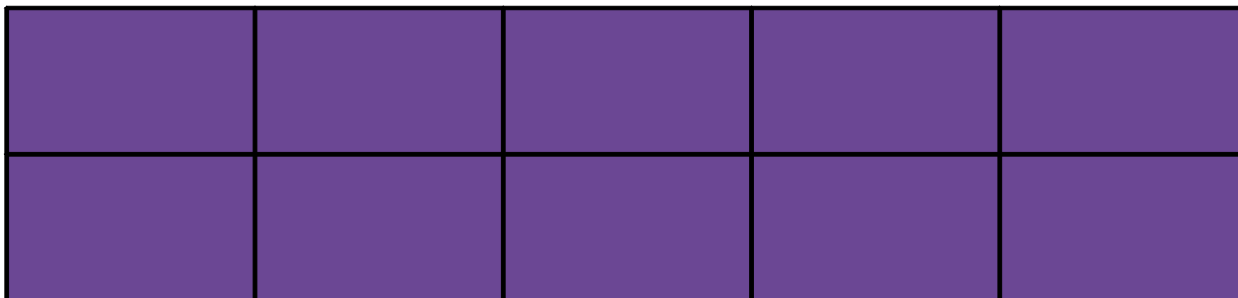


Inserção de Erro



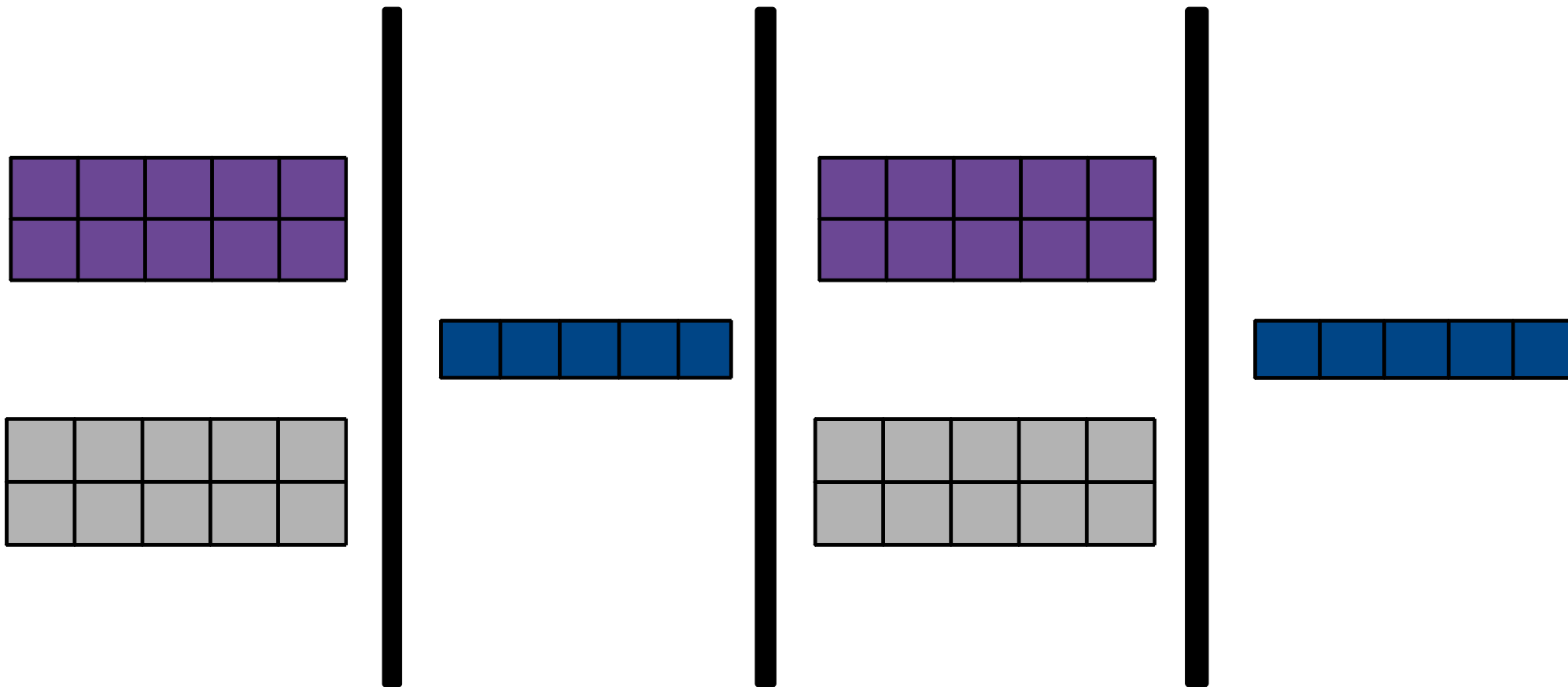
Gasto excessivo com Mutex

Solução



Solução

Barreiras



Varredura Horizontal

Varredura Vertical

Erro Inserido

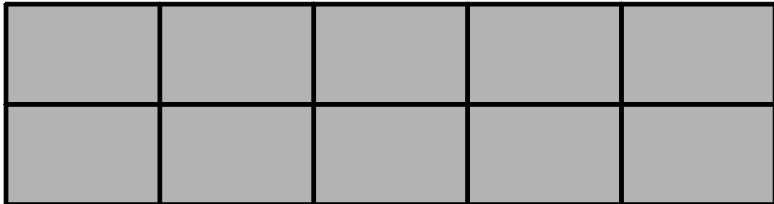


Livre de Erro



Afetado por Erro

Erro Médio: 0.5%



Erro Máximo: 3.5%

Comparação de Saídas Diferentes

- Variável aleatória X:

- $x_i = |\text{valor}_{i_{\text{seq}}} - \text{valor}_{i_{\text{medido}}}|$

- Extraídos:

- X_{\min}
 - X_{\max}
 - \bar{X}
 - σ

Otimizações com erro na saída

- Eliminação de chamadas aos cálculos de segmentos que já convergiram:
 - O resultado pode ser perturbado por um segmento que ainda não convergiu;
 - Verificou-se diminuição no erro ao se permitir que os cálculos sejam realizados algumas vezes.
- Aumento do número de passos por iteração:
 - Aumento significativo na velocidade de convergência;
 - Porém, alta propagação de erro.

Simulação reduzida

Pré-condições:

- * Condições iniciais iguais para segmentos espelhados
- * Ambiente homogêneo

Ganho:

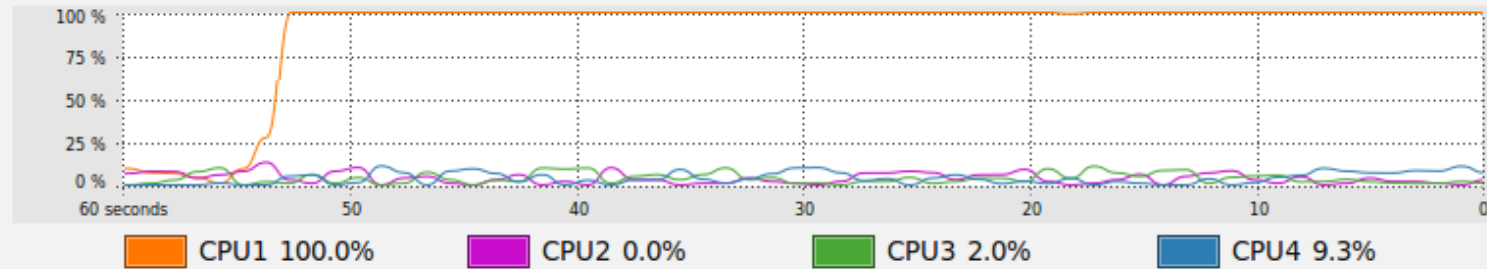
- * 70% mais rápido

Utilidade:

- * Agilidade no desenvolvimento e teste de novas implementações

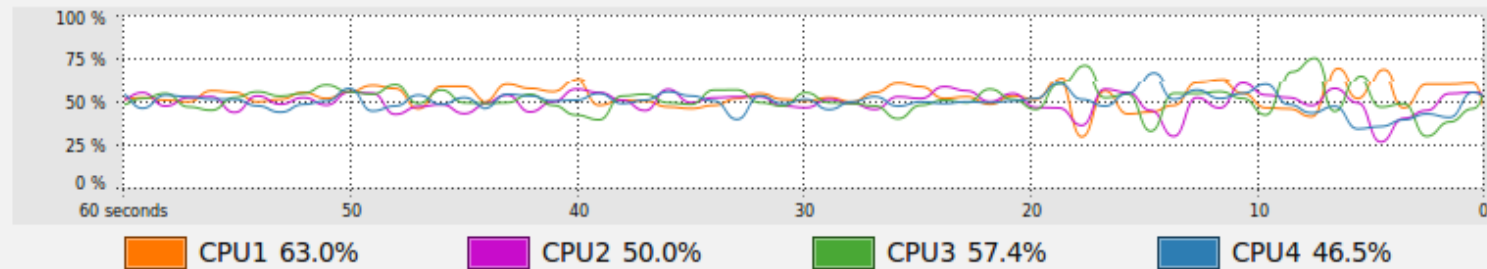
Distribuição do trabalho

CPU History



Seqüencial

CPU History



Paralelizado

Evolução do tempo de execução

