

# **PSkel-MPPA: Uma Adaptação do Framework PSkel para o Processador Manycore MPPA-256**

Emmanuel Podestá Junior

Orientação: Márcio B. Castro (UFSC)

Departamento de Informática e Estatística (INE)  
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)  
[emmanuel.podesta@grad.ufsc.br](mailto:emmanuel.podesta@grad.ufsc.br)

21 Junho 2017

## Introdução

### Contexto

Esqueletos Paralelos

Padrão Estêncil

Framework PSkel

MPPA-256

## Proposta

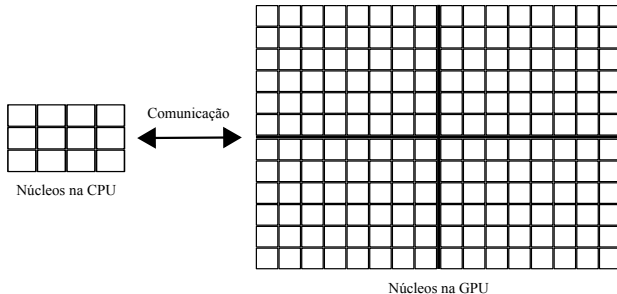
## Resultados

## Conclusões e Trabalhos Futuros

## Referências

## Extra

- Aplicações complexas podem sobrecarregar a CPU
- Arquiteturas auxiliares
  - Ex.: Aceleradores
- **Computação de Alto Desempenho**
  - CPU e aceleradores (GPUs, manycores)
  - Maiores ganhos em desempenho



## Introdução

### Contexto

Esqueletos Paralelos

Padrão Estêncil

Framework PSkel

MPPA-256

## Proposta

## Resultados

## Conclusões e

## Trabalhos

## Futuros

## Referências

## Extra

## Dificuldades

- Programação Híbrida
- Comunicação entre CPUs e aceleradores
- Particionamento inteligente de tarefas

## Introdução

Contexto

Esqueletos Paralelos

Padrão Estêncil

Framework PSkel

MPPA-256

## Proposta

## Resultados

## Conclusões e Trabalhos Futuros

## Referências

## Extra

### **Existem vários padrões paralelos [McCool, 2010]**

- Map, reduce, scan, **estêncil**, entre outros.
- Esqueletos abstraem os padrões paralelos
- Complexidade reduzida

### ***Frameworks* baseados no padrão estêncil:**

- SkelCL [Steuwer et al., 2011]
- SkePU [Enmyren and Kessler, 2010]
- PSkel [Pereira et al., 2015]

# Padrão Estêncil

## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

## Proposta

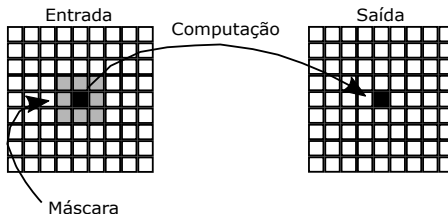
## Resultados

## Conclusões e Trabalhos Futuros

## Referências

## Extra

- Cada célula da matriz é computada em função dos valores de seus vizinhos
- Computação Iterativa



## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

## Proposta

## Resultados

## Conclusões e Trabalhos Futuros

## Referências

## Extra

## Objetivo

- Oferecer suporte para execução paralela de aplicações do padrão estêncil em ambientes heterogêneos (CPU e GPU) [Pereira et al., 2015]

## Funcionamento

- O usuário descreve o *kernel* principal da computação estêncil
- O framework se encarrega de distribuir a computação na CPU e GPU
- Transferências de dados e particionamento de tarefas de maneira transparente

# Framework PSkel

## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

## Proposta

## Resultados

## Conclusões e Trabalhos Futuros

## Referências

## Extra

```
__parallel__ void
stencilKernel(Array2D<float> A, Array2D<float> B,
Mask2D<int> mask, struct Arguments args,
int x, int y){
    B(x,y) = args.alpha * (A(x,y+1) + A(x,y-1) +
        A(x+1,y) + A(x-1,y));
}

void main(){
    /* ... */
    Array2D<float> input(A,M,N);
    Array2D<float> output(B,M,N);
    int neighbors = {{0,1}, {-1,0}, {1,0}, {-1,0}};
    Mask2D<int> mask(4, neighbors);
    struct Arguments args(alpha, beta);
    /* ... */
    Stencil2D<Array2D<float>, Mask2D<int>, Arguments>
    jacobi(A,B,args);
    jacobi.runIterative(device::GPU, timesteps, 1.0);
    /* ... */
}
```

# Framework PSkel

## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

## Proposta

## Resultados

## Conclusões e Trabalhos Futuros

## Referências

## Extra

```
__parallel__ void
stencilKernel(Array2D<float> A, Array2D<float> B,
Mask2D<int> mask, struct Arguments args,
int x, int y){
    B(x,y) = args.alpha * (A(x,y+1) + A(x,y-1) +
        A(x+1,y) + A(x-1,y));
}

void main(){
    /* ... */
    Array2D<float> input(A,M,N);
    Array2D<float> output(B,M,N);
    int neighbors = {{0,1}, {-1,0}, {1,0}, {-1,0}};
    Mask2D<int> mask(4, neighbors);
    struct Arguments args(alpha, beta);
    /* ... */
    Stencil2D<Array2D<float>, Mask2D<int>, Arguments>
    jacobi(A,B,args);
    jacobi.runIterative(device::GPU, timesteps, 1.0);
    /* ... */
}
```



# Framework PSkel

## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

## Proposta

## Resultados

## Conclusões e Trabalhos Futuros

## Referências

## Extra

```
--parallel__ void
stencilKernel(Array2D<float> A, Array2D<float> B,
Mask2D<int> mask, struct Arguments args,
int x, int y){
    B(x,y) = args.alpha * (A(x,y+1) + A(x,y-1) +
        A(x+1,y) + A(x-1,y));
}

void main(){
    /* ... */
    Array2D<float> input(A,M,N);
    Array2D<float> output(B,M,N);
    int neighbors = {{0,1}, {-1,0}, {1,0}, {-1,0}};
    Mask2D<int> mask(4, neighbors);
    struct Arguments args(alpha, beta);
    /* ... */
    Stencil2D<Array2D<float>, Mask2D<int>, Arguments>
    jacobi(A,B,args);
    jacobi.runIterative(device::GPU, timesteps, 1.0);
    /* ... */
}
```

# Framework PSkel

## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

## Proposta

## Resultados

## Conclusões e Trabalhos Futuros

## Referências

## Extra

```
--parallel__ void
stencilKernel(Array2D<float> A, Array2D<float> B,
Mask2D<int> mask, struct Arguments args,
int x, int y){
    B(x,y) = args.alpha * (A(x,y+1) + A(x,y-1) +
        A(x+1,y) + A(x-1,y));
}

void main(){
    /* ... */
    Array2D<float> input(A,M,N);
    Array2D<float> output(B,M,N);
    int neighbors = {{0,1}, {-1,0}, {1,0}, {-1,0}};
    Mask2D<int> mask(4, neighbors);
    struct Arguments args(alpha, beta);
    /* ... */
    Stencil2D<Array2D<float>, Mask2D<int>, Arguments>
    jacobi(A,B,args);
    jacobi.runIterative(device::GPU, timesteps, 1.0);
    /* ... */
}
```

# Framework PSkel

## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
**Framework PSkel**  
MPPA-256

## Proposta

## Resultados

## Conclusões e Trabalhos Futuros

## Referências

## Extra

```
--parallel__ void
stencilKernel(Array2D<float> A, Array2D<float> B,
Mask2D<int> mask, struct Arguments args,
int x, int y){
    B(x,y) = args.alpha * (A(x,y+1) + A(x,y-1) +
        A(x+1,y) + A(x-1,y));
}

void main(){
    /* ... */
    Array2D<float> input(A,M,N);
    Array2D<float> output(B,M,N);
    int neighbors = {{0,1}, {-1,0}, {1,0}, {-1,0}};
    Mask2D<int> mask(4, neighbors);
    struct Arguments args(alpha, beta);
    /* ... */
    Stencil2D<Array2D<float>, Mask2D<int>, Arguments>
    jacobi(A,B,args);
    jacobi.runIterative(device::GPU, timesteps, 1.0);
    /* ... */
}
```

# Framework PSkel

## Introdução

Contexto

Esqueletos Paralelos

Padrão Estêncil

Framework PSkel

MPPA-256

## Proposta

## Resultados

## Conclusões e Trabalhos Futuros

## Referências

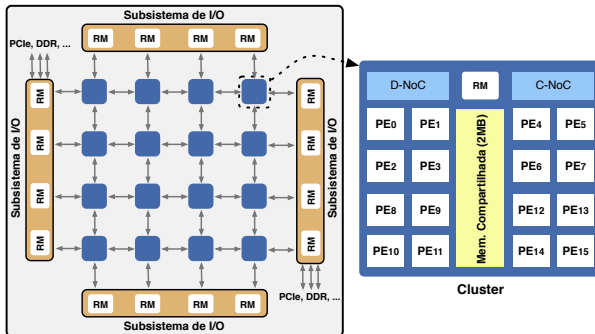
## Extra

```
--parallel__ void
stencilKernel(Array2D<float> A, Array2D<float> B,
Mask2D<int> mask, struct Arguments args,
int x, int y){
    B(x,y) = args.alpha * (A(x,y+1) + A(x,y-1) +
        A(x+1,y) + A(x-1,y));
}

void main(){
    /* ... */
    Array2D<float> input(A,M,N);
    Array2D<float> output(B,M,N);
    int neighbors = {{0,1}, {-1,0}, {1,0}, {-1,0}};
    Mask2D<int> mask(4, neighbors);
    struct Arguments args(alpha, beta);
    /* ... */
    Stencil2D<Array2D<float>, Mask2D<int>, Arguments>
    jacobi(A,B,args);
    jacobi.runIterative(device::GPU, timesteps, 1.0);
    /* ... */
}
```

## Características

- Manycore de baixo consumo de energia
- 256 núcleos organizados em 16 clusters
- 4 subsistemas de E/S
- Comunicação feita por NoC *torus* 2D



### Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

### Proposta

### Resultados

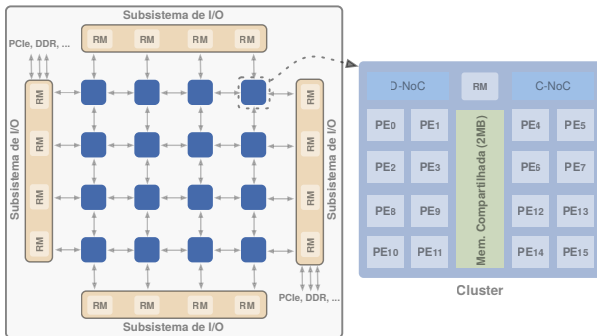
### Conclusões e Trabalhos Futuros

### Referências

### Extra

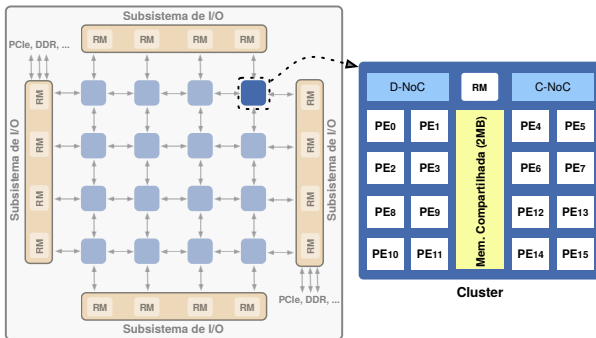
## Características

- Manycore de baixo consumo de energia
- 256 núcleos organizados em 16 clusters
- 4 subsistemas de E/S
- Comunicação feita por NoC *torus* 2D



## Características

- Manycore de baixo consumo de energia
- 256 núcleos organizados em 16 clusters
- 4 subsistemas de E/S
- Comunicação feita por NoC *torus* 2D



### Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

### Proposta

### Resultados

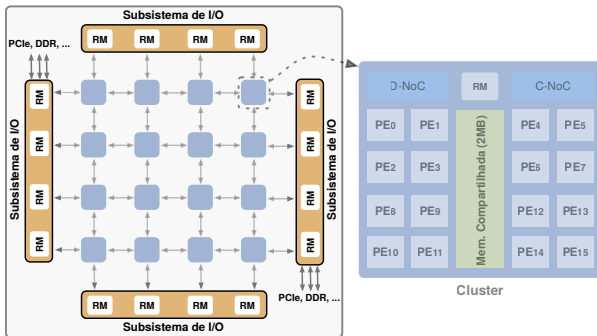
### Conclusões e Trabalhos Futuros

### Referências

### Extra

## Características

- Manycore de baixo consumo de energia
- 256 núcleos organizados em 16 clusters
- 4 subsistemas de E/S
- Comunicação feita por NoC *torus* 2D



### Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

### Proposta

### Resultados

### Conclusões e Trabalhos Futuros

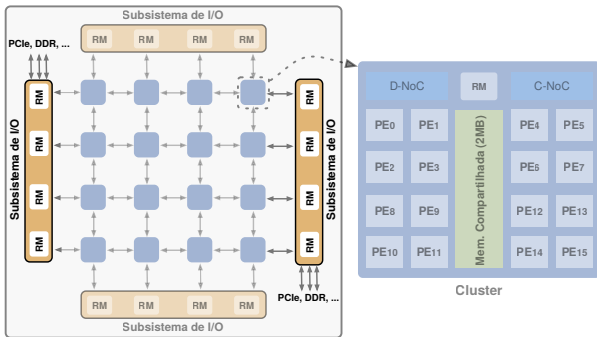
### Referências

### Extra



## Características

- Manycore de baixo consumo de energia
- 256 núcleos organizados em 16 clusters
- 4 subsistemas de E/S
- Comunicação feita por NoC *torus* 2D



### Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

### Proposta

### Resultados

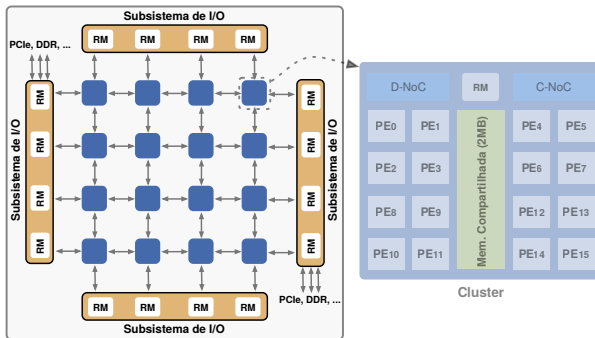
### Conclusões e Trabalhos Futuros

### Referências

### Extra

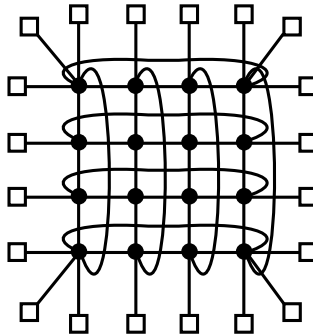
## Características

- Manycore de baixo consumo de energia
- 256 núcleos organizados em 16 clusters
- 4 subsistemas de E/S
- Comunicação feita por NoC *torus* 2D



## Características

- Manycore de baixo consumo de energia
- 256 núcleos organizados em 16 clusters
- 4 subsistemas de E/S
- Comunicação feita por NoC *torus* 2D



### Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

### Proposta

### Resultados

### Conclusões e Trabalhos Futuros

### Referências

### Extra

## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

## Proposta

## Resultados

Conclusões e  
Trabalhos  
Futuros

## Referências

## Extra

## Dificuldades encontradas no desenvolvimento de aplicações para o MPPA-256

- **Comunicação via NoC:** toda a comunicação é feita através de uma API proprietária de baixo nível similar a *POSIX Interprocess Communication (IPC)*
- **Memória limitada nos *clusters*:** cada *cluster* possui somente uma memória local de 2MB
- **Baixo nível de abstração:** toda a comunicação é gerenciada pelo desenvolvedor de maneira explícita

## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

## Proposta

## Resultados

## Conclusões e

## Trabalhos Futuros

## Referências

## Extra

## Adaptar o *Framework* PSkel para o processador MPPA-256

- Simplificar o desenvolvimento para MPPA-256
- Desenvolvedor poderá aproveitar os benefícios do processador
- Aplicações desenvolvidas poderão ser portadas sem alteração

## Introdução

Contexto

Esqueletos Paralelos

Padrão Estêncil

Framework PSkel

MPPA-256

## Proposta

## Resultados

## Conclusões e

## Trabalhos

## Futuros

## Referências

## Extra

### ■ Modelo mestre/trabalhador

### ■ Mestre (subsistema de I/O)

- Subdivide a matriz de entrada em *tiles* e os envia sob demanda aos trabalhadores (*clusters*)
- Envio feito de acordo com o modelo *Round-Robin*
- Particionamento flexível dos dados entre os *clusters* (*tiles* de dimensão arbitrária)
- Computações redundantes devido à técnica de *tiling* trapezoidal
- Redução no número de comunicações

# Tiling Trapezoidal

## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

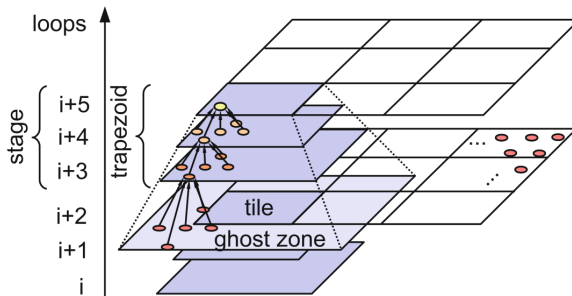
## Proposta

## Resultados

## Conclusões e Trabalhos Futuros

## Referências

## Extra



## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

## Proposta

## Resultados

## Conclusões e Trabalhos Futuros

## Referências

## Extra

### Trabalhador (*cluster*)

- Recebe um *tile* aumentado, realiza a computação do *kernel* estêncil sobre o *tile* e envia a resposta ao mestre
- Computação realizada por meio de diretivas OpenMP
- Repete a computação para cada *tile* atribuído pelo mestre
- Possibilidade de realizar várias iterações sobre o mesmo *tile*
- Melhoria do desempenho



## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

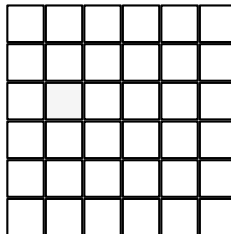
## Proposta

## Resultados

## Conclusões e Trabalhos Futuros

## Referências

## Extra



Matriz de entrada bidimensional  
Processo Mestre no Subsistema E/S

## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

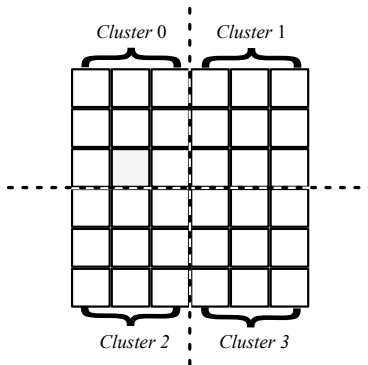
## Proposta

## Resultados

## Conclusões e Trabalhos Futuros

## Referências

## Extra



Matriz de entrada bidimensional  
Processo Mestre no Subsistema E/S

## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

## Proposta

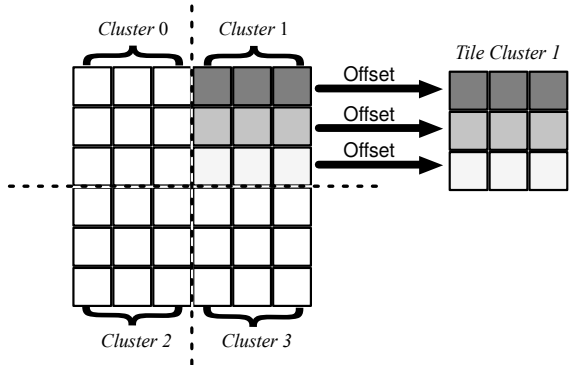
## Resultados

## Conclusões e Trabalhos Futuros

## Referências

## Extra

### Comunicação Mestre-Trabalhador



Matriz de entrada bidimensional  
Processo Mestre no Subsistema E/S



## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

## Proposta

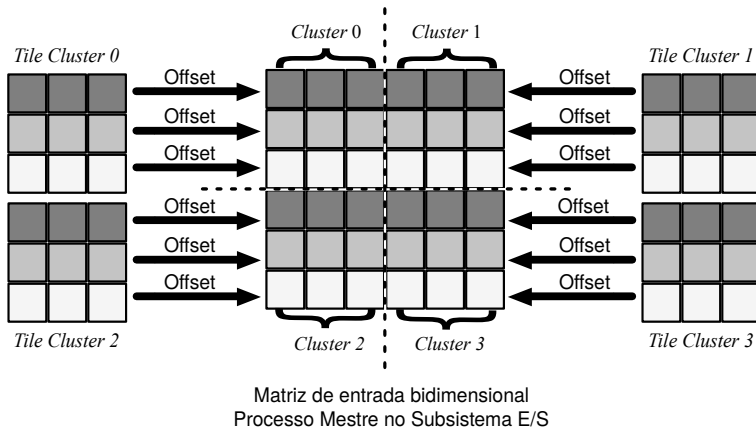
## Resultados

## Conclusões e Trabalhos Futuros

## Referências

## Extra

### Comunicação Trabalhador-Mestre



## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

## Proposta

## Resultados

Conclusões e  
Trabalhos  
Futuros

Referências

Extra

### ■ **Processador *manycore* MPPA-256**

- Calculado a média do tempo e energia gastos sobre 5 execuções
- Baixa variabilidade entre execuções

### ■ **Processador *multicore* Intel Xeon E5-2640 v4**

- Calculado a média do tempo e energia gastos sobre 30 execuções
- Desvio padrão menor que 1%
- Todos os experimentos utilizaram 30 iterações

## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

## Proposta

## Resultados

Conclusões e  
Trabalhos  
Futuros

Referências

Extra

## ■ Aplicações

- **Fur:** simulação de padrões de pigmento em pelos de animais [Podestá Jr. et al., 2016]
- **GoL:** autômato celular que implementa o Jogo da Vida de Conway [Pereira et al., 2015]
- **Jacobi:** método iterativo de Jacobi para a resolução de equações matriciais [Pereira et al., 2015]

## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

## Proposta

## Resultados

Conclusões e  
Trabalhos  
Futuros

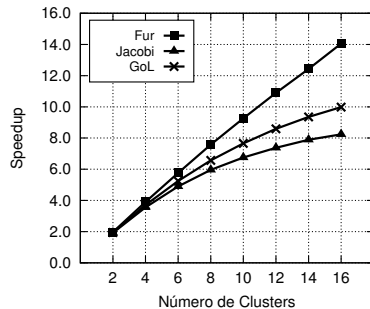
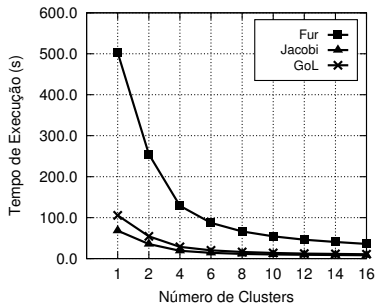
Referências

Extra

## Teste de Escalabilidade

■ Matriz: 2048x2048

■ Tile: 128x128





## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

## Proposta

## Resultados

## Conclusões e

## Trabalhos

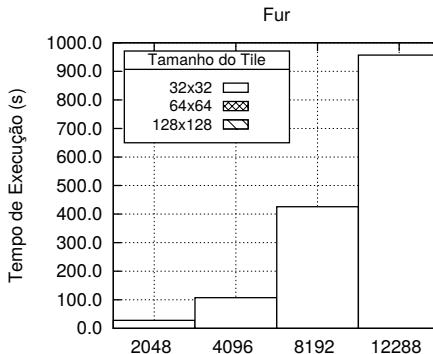
## Futuros

## Referências

## Extra

## Tamanho dos *tiles* vs. Desempenho

■ 16 *clusters* utilizados



## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

## Proposta

## Resultados

## Conclusões e

## Trabalhos

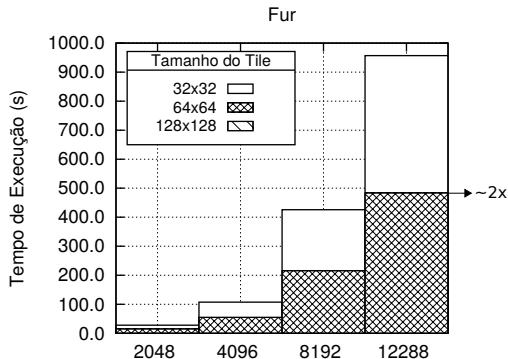
## Futuros

## Referências

## Extra

## Tamanho dos *tiles* vs. Desempenho

■ 16 *clusters* utilizados



## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

## Proposta

## Resultados

## Conclusões e

## Trabalhos

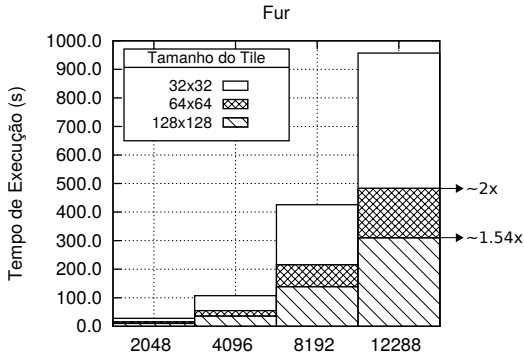
## Futuros

## Referências

## Extra

## Tamanho dos *tiles* vs. Desempenho

■ 16 *clusters* utilizados



## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

## Proposta

## Resultados

## Conclusões e

## Trabalhos

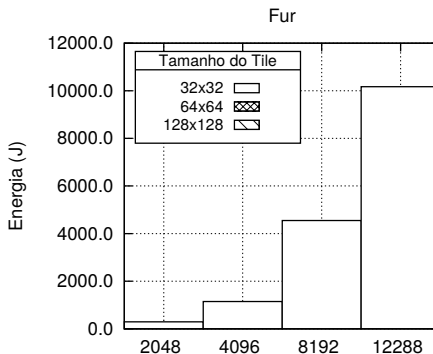
## Futuros

## Referências

## Extra

## Tamanho dos *tiles* vs. Energia

■ 16 *clusters* utilizados



## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

## Proposta

## Resultados

## Conclusões e

## Trabalhos

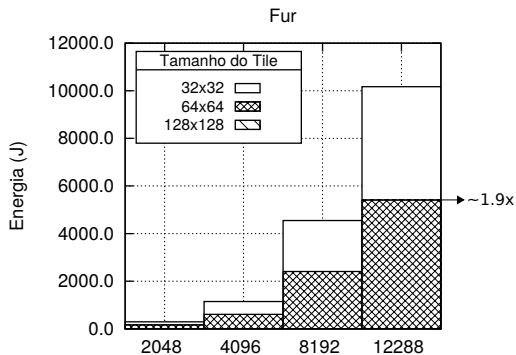
## Futuros

## Referências

## Extra

## Tamanho dos *tiles* vs. Energia

■ 16 *clusters* utilizados



## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

## Proposta

## Resultados

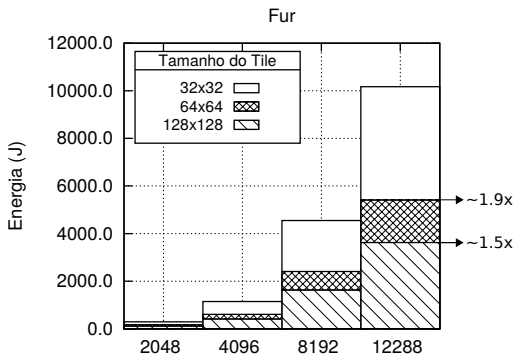
Conclusões e  
Trabalhos  
Futuros

## Referências

## Extra

## Tamanho dos *tiles* vs. Energia

■ 16 *clusters* utilizados



## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

## Proposta

## Resultados

Conclusões e  
Trabalhos  
Futuros

Referências

Extra

## MPPA vs. Intel Xeon

- Matriz: 12288x12288
- *Tile*: 128x128
- 16 *clusters* utilizados no MPPA
- 10 *threads* sem *hyperthreading* utilizadas no Intel Xeon

## MPPA vs. Intel Xeon

### Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

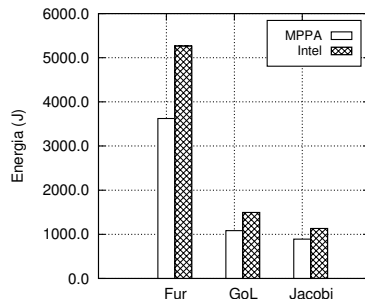
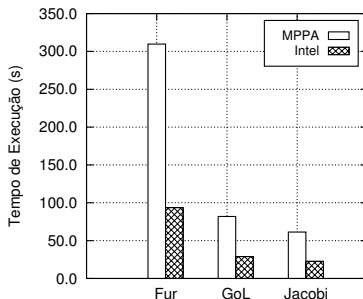
### Proposta

### Resultados

### Conclusões e Trabalhos Futuros

### Referências

### Extra



- Para as aplicações Fur, GoL e Jacobi:
  - O Intel Xeon é 3.30x, 2.83x e 2.69x, respectivamente, mais rápido
  - O MPPA consome 1.45x, 1.38x e 1.27x, respectivamente, menos energia



# Conclusões

## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

## Proposta

## Resultados

## Conclusões e Trabalhos Futuros


## Referências

## Extra

- A adaptação apresenta uma eficiência energética superior ao Intel Xeon
- A adaptação demonstrou um bom potencial
- A comunicação tem impacto sobre o tempo e energia obtidos
- Boa escalabilidade em relação à variação dos *clusters* e variação do tamanho dos *tiles*

## Trabalhos Futuros

- Realizar experimentos com estruturas tridimensionais
- Reduzir os sobrecustos de comunicação
- Comparar a adaptação com outros processadores embarcados



# **PSkel-MPPA: Uma Adaptação do Framework PSkel para o Processador Manycore MPPA-256**

**Emmanuel Podestá Junior**

Orientação: Márcio B. Castro (UFSC)

Departamento de Informática e Estatística (INE)  
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)  
`emmanuel.podesta@grad.ufsc.br`

**21 Junho 2017**

# Referências

## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

## Proposta

## Resultados

## Conclusões e Trabalhos Futuros

## Referências

## Extra



Enmyren, J. and Kessler, C. W. (2010).

SkePU: A Multi-backend Skeleton Programming Library for multi-GPU Systems.

In *International Workshop on High-level Parallel Programming and Applications (HLPP)*, pages 5–14, Baltimore, USA. ACM.



McCool, M. D. (2010).

Structured parallel programming with deterministic patterns.

In *Proceedings of the 2Nd USENIX Conference on Hot Topics in Parallelism, HotPar'10*, pages 5–5, Berkeley, CA, USA. USENIX Association.



Pereira, A. D., Ramos, L., and Góes, L. F. W. (2015).

PSkel: A Stencil Programming Framework for CPU-GPU Systems.

*CCPE*, 27(17):4938–4953.



Podestá Jr., E., Pereira, A. D., Penna, P. H., Rocha, R. C., Castro, M., and Góes, L. F. W. (2016).

PSkel-MPPA: Uma Adaptação do Framework PSkel para o Processador Manycore MPPA-256.

In *ERAD/RS*, pages 299–302, São Leopoldo, Brazil. SBC.



Steuwer, M., Kegel, P., and Gorlatch, S. (2011).

SkelCL: A Portable Skeleton Library for High-Level GPU Programming.

In *IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing Workshops (IPDPSW)*, pages 1176–1182, Shanghai, China. IEEE Computer Society.

## Introdução

Contexto  
Esqueletos Paralelos  
Padrão Estêncil  
Framework PSkel  
MPPA-256

## Proposta

## Resultados

## Conclusões e Trabalhos Futuros

## Referências

## Extra

