



CT2M 

Center for Mechanical
and Materials Technologies

Dynamics of Mechanical Systems

DD3IMP (FINITE ELEMENT SOLVER) THE CHALLENGE OF COMPUTATIONAL PERFORMANCE IMPROVEMENT THROUGH **HPC**

J.L. ALVES

CT2M, UNIVERSIDADE DO MINHO
CEMUC, UNIVERSIDADE DE COIMBRA

1. PROGRAMA **IMPLÍCITO?**
2. TÉCNICAS DE **HPC?**
3. HISTÓRIA DO DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA **DD3IMP**
 1. EM 2003 DISSEMOS QUE...
 2. E EM 2011...
4. O QUE FOI FEITO (DO PASSADO AO PRESENTE)
5. RESULTADOS
6. DESAFIOS (FUTURO)
7. O PMESIMULA (PARA ONDE QUEREMOS IR)

1. PROGRAMA IMPLÍCITO

DD3IMP: DEEP-DRAWING 3D IMPLICIT FE SOLVER

Solver de Elementos Finitos

Formulação Elasto-Plástica

Grandes deformações e rotações

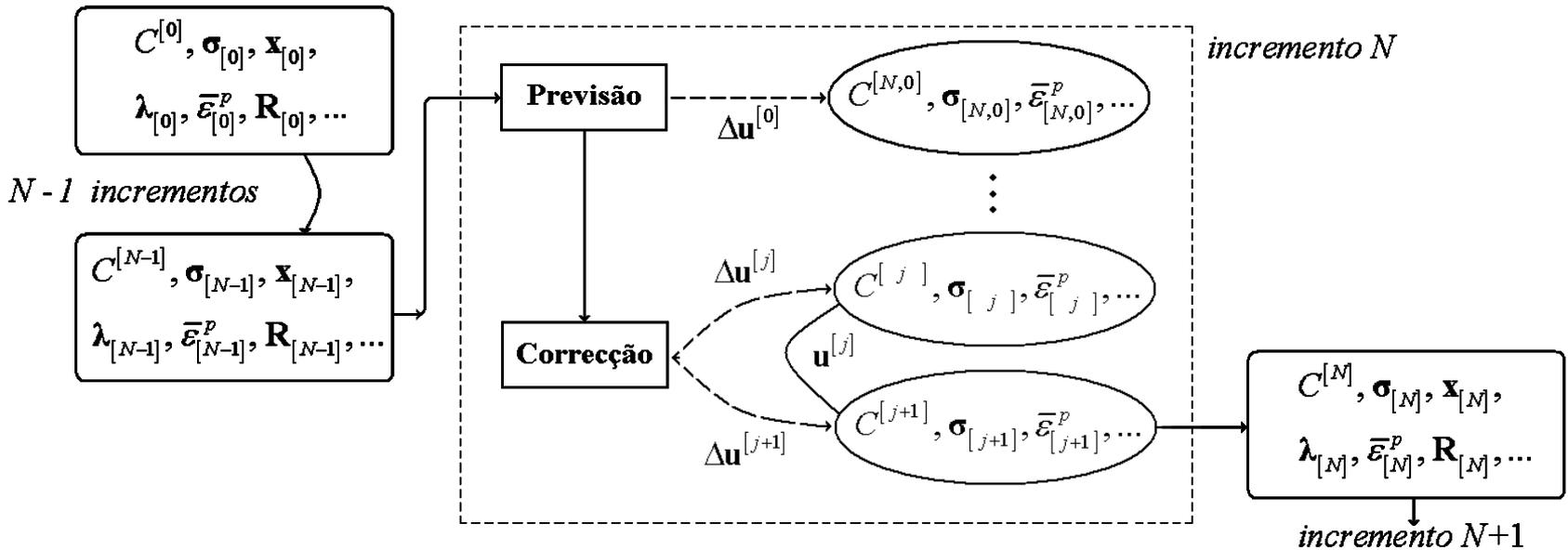
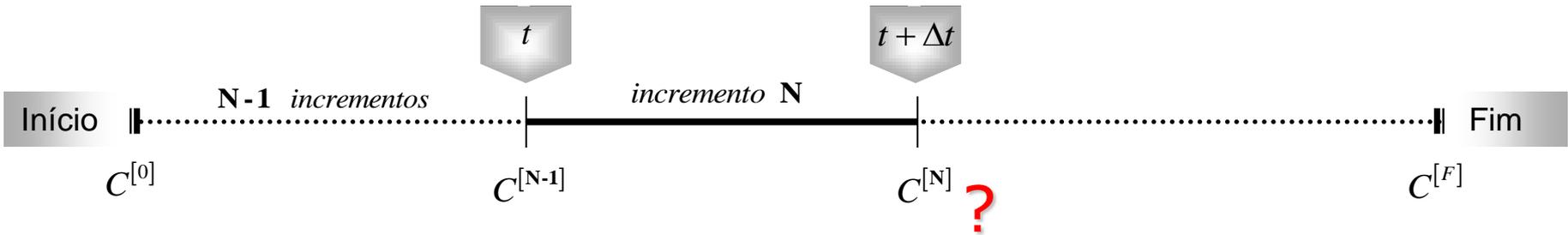
Enorme biblioteca de Modelos Constitutivos

Modelação de ferramentas e contacto com atrito

Esquema de integração temporal totalmente **IMPLÍCITO**

IMPLÍCITO? Quais os desafios? HPC?

1. PROGRAMA IMPLÍCITO



2. TÉCNICAS DE HPC

O QUE PODEREMOS FAZER/IMPLEMENTAR ?

1º, identificar os “gargalos” mais relevantes

2º, melhorar os algoritmos sequenciais

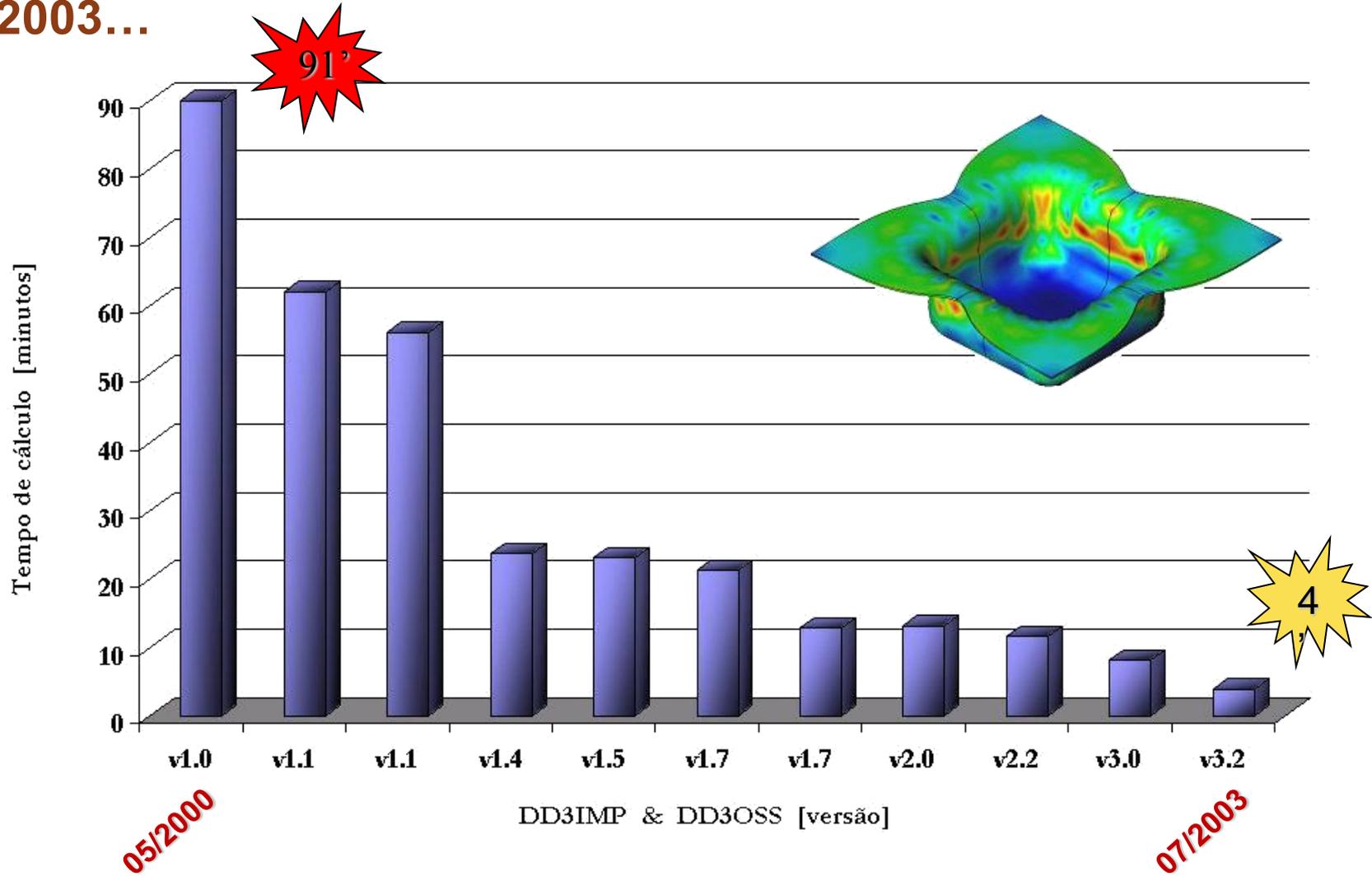
3º, adoptar bibliotecas externas optimizadas (se disponíveis)

4º, paralelizar o algoritmo principal (memória partilhada)

5º, decompor o domínio (candidatos?)

3. HISTÓRIA DO DD3IMP

EM 2003...



3. HISTÓRIA DO DD3IMP

EM 2011...

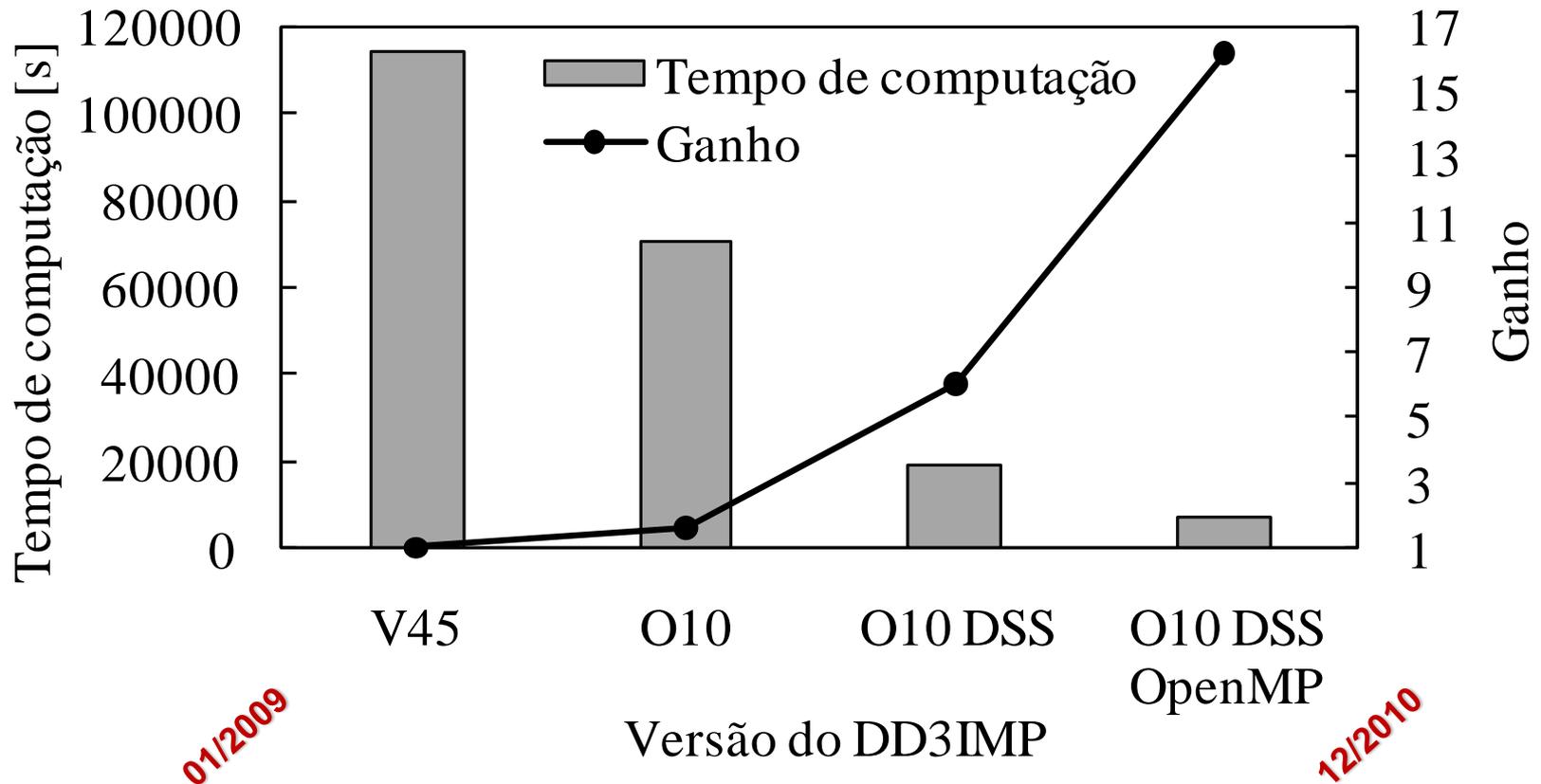


Figura 6. Tempo de computação com várias versões do DD3MP para a discretização de $65 \times 65 \times 3$ elementos.

4. O QUE FOI FEITO

Resumo:

Alocação dinâmica de todos as variáveis

Identificação e Optimização dos **caminhos críticos**

Implementação de um novo **solver direto**

DSS – Direct Sparse Solver (Intel MKL)

Implementação de directivas **OpenMP** (sempre que possível)

4. O QUE FOI FEITO

Implementação de directivas **OpenMP**

Designação adoptada para identificar as regiões paralelizadas através de directivas OpenMP.			
Designação		Tarefa associada	Número de chamadas em cada incremento
1)	série	nenhuma	nenhuma
2)	rmin	Estratégia de r_{\min}	1
3)	predic	Fase de <i>Previsão</i> : cálculo das matrizes elementares e vectores de segundo membro; montagem	1
4)	contact	Tratamento do contacto	1+1+ n° de iterações de equilíbrio
5)	correc	Fase de <i>Correcção</i> : cálculo das matrizes elementares e vectores de segundo membro; montagem	n° de iterações de equilíbrio
6)	Todas	Últimas quatro (rmin+prev+contact+correc)	4+2*n° de iterações de equilíbrio

4. O QUE FOI FEITO

Implementação de directivas **OpenMP**

Código Original	Código Modificado
<pre> DO IE=1, NEDEF NEL=NNODE (IE) CALL DMLOCA (IE, NEL, XL, DUL, MC, NI, NPINT, ITYPE, iMAT) CALL DMELCO (iMAT, ITYPE, IE, NI, NPINT, NEL, XL, DUL, XNEDEF (1, IE) , IEMES, IPMES, INDEX) END DO </pre>	<pre> \$OMP PARALLEL \$OMP& PRIVATE (NEL, MC, NI, NPINT, ITYPE, iMAT) \$OMP& PRIVATE (XL, DUL) \$OMP DO DO IE=1, NEDEF NEL=NNODE (IE) CALL DMLOCA (IE, NEL, XL, DUL, MC, NI, NPINT, ITYPE, iMAT) CALL DMELCO (iMAT, ITYPE, IE, NI, NPINT, NEL, XL, DUL, XNEDEF (1, IE) , IEMES, IPMES, INDEX) END DO \$OMP END DO \$OMP END PARALLEL </pre>
(a)	(b)

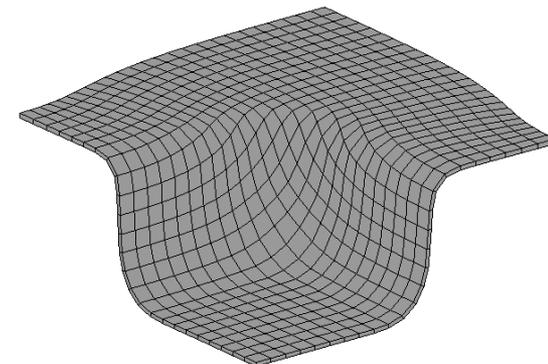
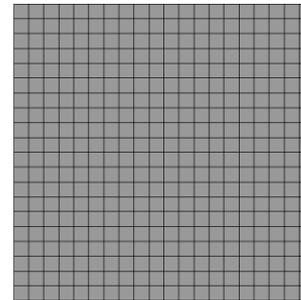
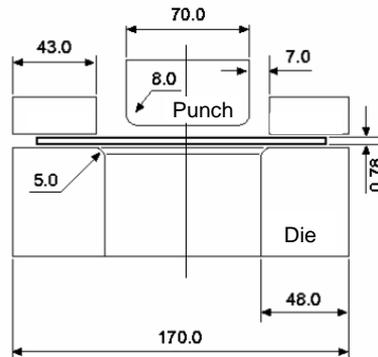
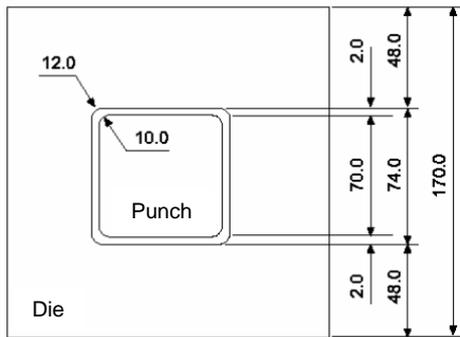
Figura 1. Exemplo de aplicação de directivas *OpenMP* ao código do DD3IMP

(a) código original; (b) código modificado com directivas *OpenMP*.

5. RESULTADOS

Benchmark: estampagem de uma taça quadrada

	Discretização no plano da chapa ($N \times N$)							
	33×33	45×45	55×55	65×65	75×75	85×85	95×95	110×110
$L=2$	10404	19044	28224	39204	51984	66564	82944	110889
$L=3$	13872	25392	37632	52272	69312	88752	110592	-



Benchmark: estampagem de uma taça quadrada

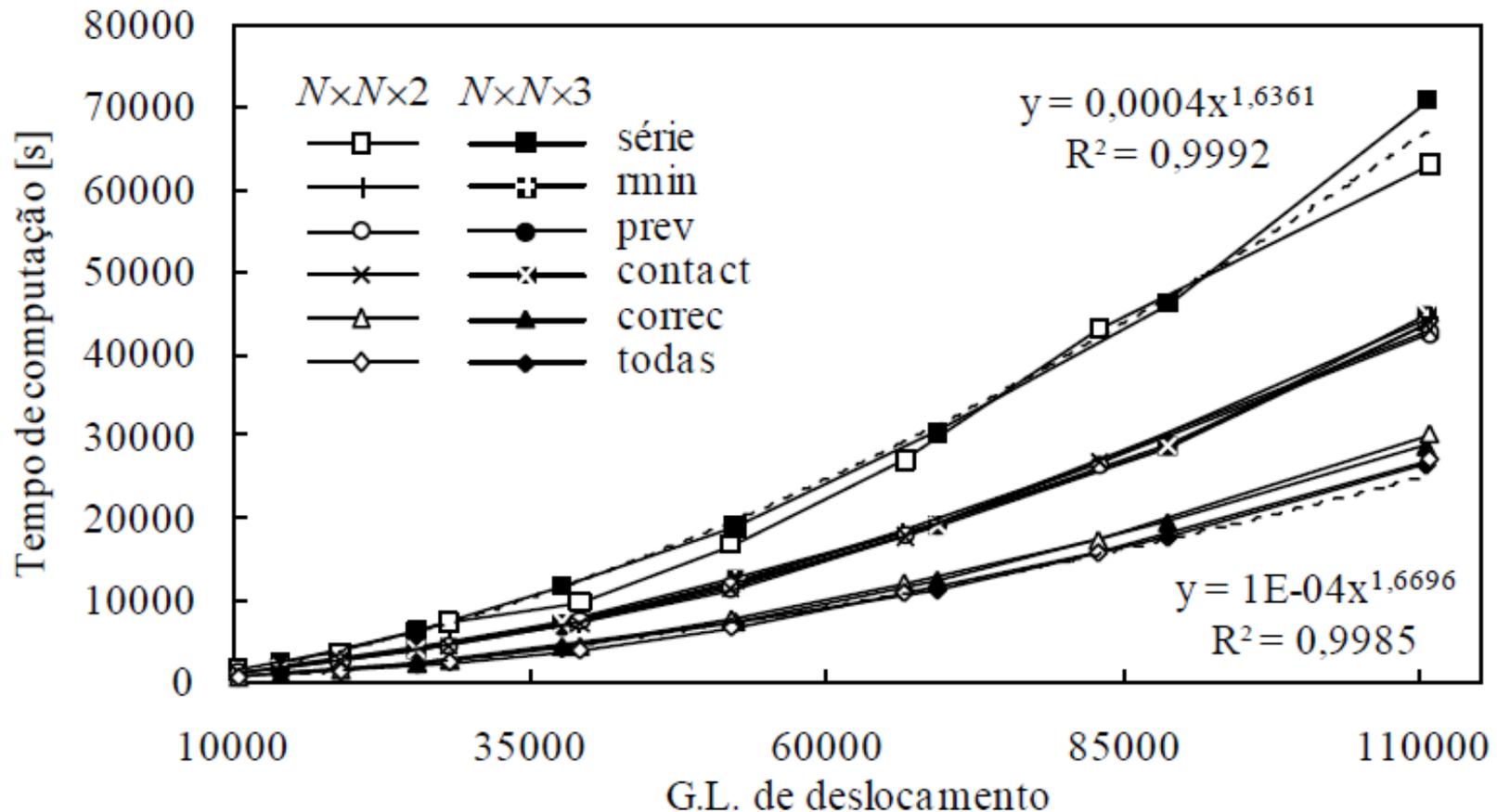
- As simulações foram realizadas em dois computadores:
 - Intel® Core™ i7–950 (3.07 GHz) CPU
 - Windows7 Professional (64-bits platform) OS
- Todas as versões do DD3IMP foram compiladas com a opção (/fast).
- Performance avaliada com base na taxa de aceleração (*speedup*):

$$S_p = T_1/T_p$$

- Cada simulação é repetida 3 vezes nas mesmas condições, de modo a determinar o valor médio dos tempos de computação bem como a dispersão.

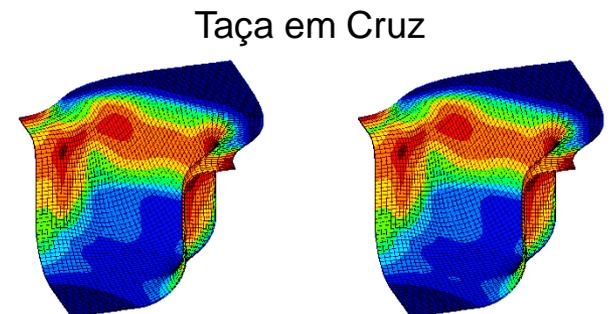
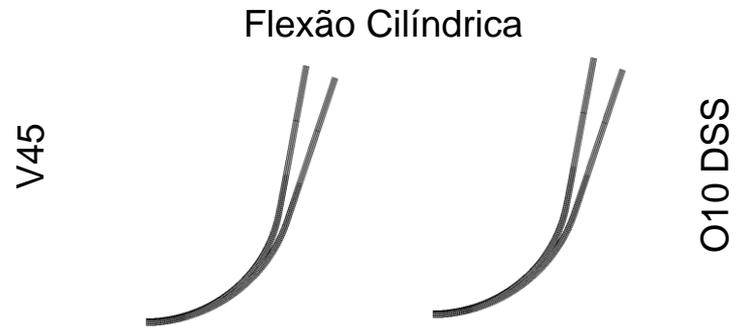
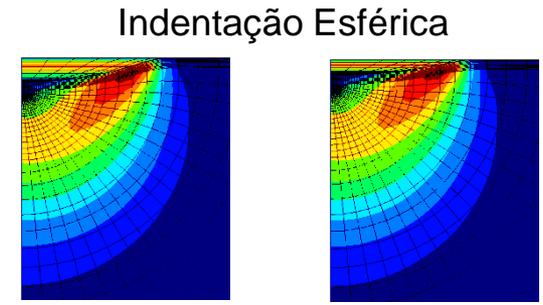
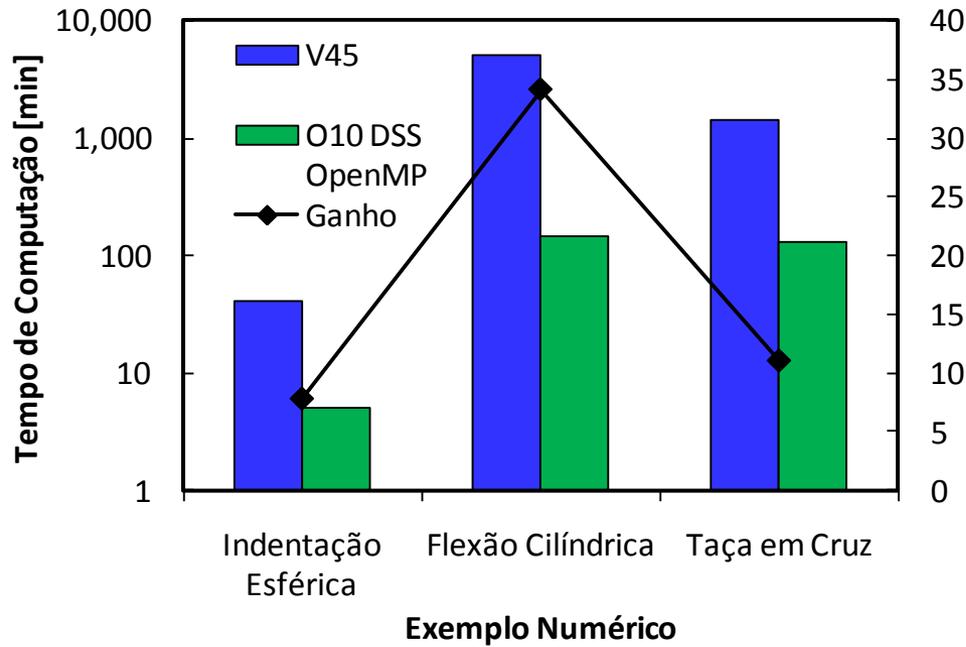
5. RESULTADOS

Benchmark: estampagem de uma taça quadrada



5. RESULTADOS

Outros benchmarks:



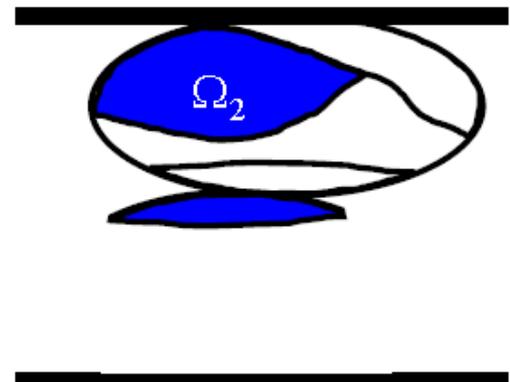
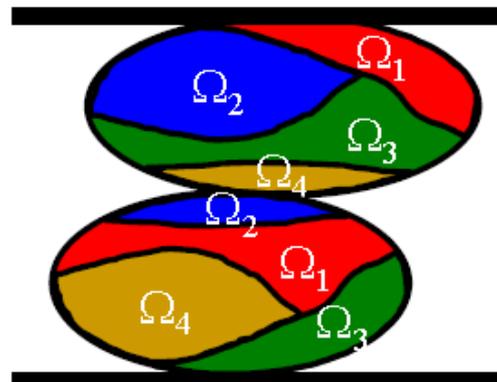
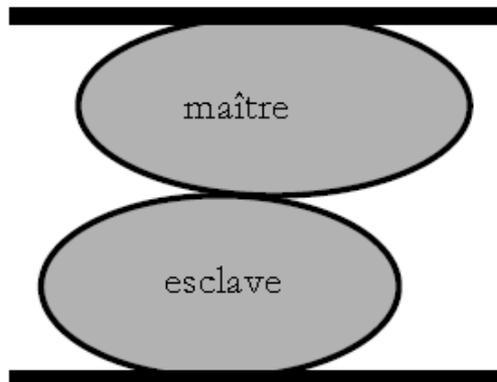
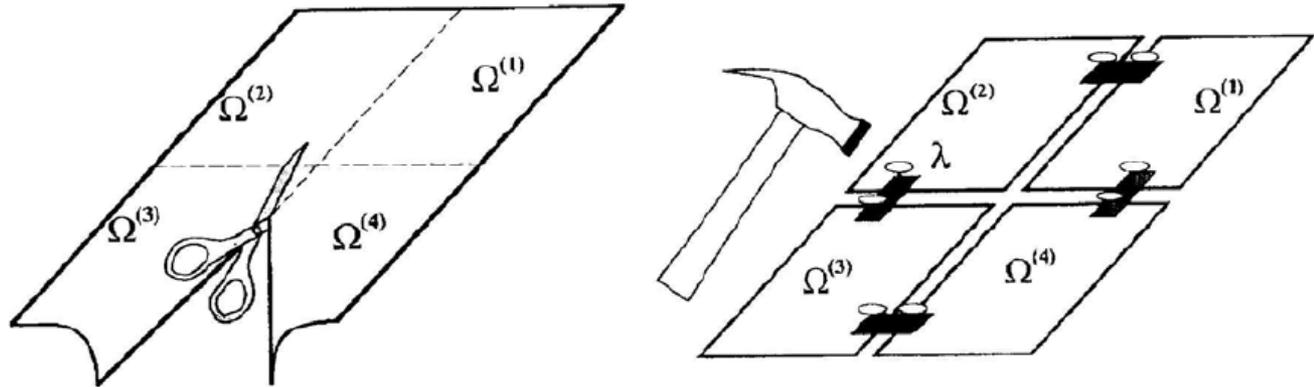
5. RESULTADOS

- Os resultados apresentados mostram que:
 - A adopção do método de resolução de sistemas de equações lineares, **Direct Sparse Solver**, permite resolver problemas de dimensões maiores, devido à gestão de memória mais eficiente.
 - A implementação de **directivas OpenMP** exige pouca, embora cuidadosa, programação e preserva a estrutura sequencial do código, o que permite a sua aplicação de forma faseada.
 - A implementação de directivas OpenMP conduzem a uma melhoria significativa na **eficiência computacional** do algoritmo global, inclusive em computadores pessoais.

6. DESAFIOS FUTUROS

1º, CPUs + GPUs

2º, DDM



PMESimula



CT2M  

Center for Mechanical
and Materials Technologies

Dynamics of Mechanical Systems

APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE **HPC** NA MELHORIA DA EFICIÊNCIA COMPUTACIONAL DE UM PROGRAMA **IMPLÍCITO**