

# Otimização do Código Mach2D: Relatório 2a

Jonas Joacir Radtke

21 de setembro de 2012

Tabela 1: Configuração dos computadores utilizados nas simulações numéricas.

Hardware	Processador	Intel(R) Core(TM) i5-2310
	Frequência [GHz]	2,90
	Arquitetura [bits]	64
	Memória RAM [GB]	8,0
Software	Sistema operacional	Linux
	Descrição	Ubuntu 12.04 LTS
	Kernel	3.2.0-23-generic
	Compilador	GFortran
	Versão	4.6.3

Tabela 2: Parâmetros utilizados no arquivo de entrada de dados do Mach2D.

Descrição	Variável	Valor
Kind of grid (1=uniform; 2=Geometric Progression, 3=power law)	<i>kg</i>	1
Coordinate system (1=cylindrical; else cartesian)	<i>coord</i>	1
Perfect gas constant [ $J/(kg \cdot K)$ ]	<i>Rg</i>	2.8690000E+02
Specific heat ratio (Cpo/Cvo in the chamber)	<i>gamma</i>	1.4000000E+00
Stagnation pressure in the chamber [ $Pa$ ]	<i>po</i>	1.7250680E+06
Stagnation temperature in the chamber [ $K$ ]	<i>T0</i>	8.3333000E+02
Atmospheric pressure at the sea level [ $Pa$ ]	<i>pr</i>	1.0132500E+05
Gravitational acceleration at the sea level [ $m/s^2$ ]	<i>go</i>	9.8066500E+00
Viscosity model (0=Euler; 1=Navier-Stokes)	<i>modvis</i>	0
Turbulence model option (0=laminar; 1=Baldwin-Lomax)	<i>modtur</i>	0
Boundary condition (0=adiabatic; 1=prescribed temperature)	<i>ccTw</i>	0
Maximum number of iterations of the time evolution	<i>itmax</i>	50000
Parada com base no valor do resíduo	<i>tolerance</i>	1.0000000E-06
Maximum number of iterations for the pressure correction	<i>imax</i>	5
Maximum number of iterations for the TDMA method for u, v and T	<i>nitm<sub>u</sub></i>	2
Maximum number of iterations for the TDMA method for p	<i>nitm<sub>p</sub></i>	2
Upload backup data and continue computation (0=no; 1=yes)	<i>reload</i>	0
Frequency of saving backup data	<i>wbkp</i>	50000
Frequency of printing in the listing file	<i>wlf</i>	1
Open result files (1=no; 0=yes)	<i>sem_a</i>	1
Visualize the plot (0=yes; 1=no)	<i>sem_g</i>	1
Frequency of writing data for graphics	<i>w_g</i>	1
Write the fields (1=yes; 0=no)	<i>w_cam</i>	1

# 1 Influência do Parâmetro de Otimização -O3 Sobre o Tempo de CPU

**Objetivo:** Avaliar a influência da utilização do parâmetro de otimização -O3 sobre o tempo de CPU. Tal parâmetro é informado na compilação do programa utilizando o compilador GFortran.

**Conclusões:** Na Tab. 3 as simulações realizadas com o parâmetro de otimização -O3 possuem nomes finalizados com o3. Nesta tabela observa-se que as simulações realizadas com o parâmetro de otimização possuem tempo de CPU significativamente menor do que o mesmo problema resolvido sem o parâmetro de otimização na compilação. Tal diferença chega a 45% para a malha de 448x160, 33% para malha de 896x320 e de 26% para a malha de 1792x640. Nas malhas mais grossas o tempo de CPU com o uso do parâmetro de otimização é basicamente a metade do tempo sem o uso de tal parâmetro.

Tabela 3: Comparação do tempo de CPU para simulações com diferentes tamanhos de malha com e sem o uso do parâmetro de otimização -O3 (A notação o3 no nome da simulação indica a utilização do parâmetro de otimização -O3 na compilação).

Simulation	$n_x$	$n_y$	RAM	$\beta$	$\Delta t$	$imax$	$nitm_u$	$nitm_p$	$it$	$t_{cpu}$	$C_d$	$Fd^*$
Back1a0056	58	22	0.000	0.0	1.0E-05	5	2	2	187	4.150000E-01	1.0470353210E+00	9.7706786993E-01
Back1a0056o3	58	22	0.000	0.0	1.0E-05	5	2	2	187	2.360000E-01	1.0470353210E+00	9.7706786993E-01
Back1a0112	114	42	7.899	0.0	5.0E-06	5	2	2	471	4.114000E+00	1.0169523187E+00	9.7209710276E-01
Back1a0112o3	114	42	7.899	0.0	5.0E-06	5	2	2	471	2.009000E+00	1.0169523187E+00	9.7209710276E-01
Back1a0224	226	82	15.798	0.0	2.0E-06	5	2	2	1335	5.170500E+01	1.0008414958E+00	9.7025076007E-01
Back1a0224o3	226	82	15.798	0.0	2.0E-06	5	2	2	1335	2.563800E+01	1.0008414958E+00	9.7025076007E-01
Back1a0448	450	162	63.192	0.0	2.0E-06	5	2	2	1601	3.476650E+02	9.9147113999E-01	9.6866696560E-01
Back1a0448o3	450	162	63.192	0.0	2.0E-06	5	2	2	1601	2.392760E+02	9.9147113999E-01	9.6866696560E-01
Back1a0896	898	322	244.869	0.0	1.0E-06	5	2	2	3217	3.478781E+03	9.8646849822E-01	9.6779077703E-01
Back1a0896o3	898	322	244.869	0.0	1.0E-06	5	2	2	3217	2.598684E+03	9.8646849822E-01	9.6779077703E-01
Back1a1792	1794	642	987.375	0.0	5.0E-07	5	2	2	7838	3.712445E+04	9.8391784746E-01	9.6736122299E-01
Back1a1792o3	1794	642	987.375	0.0	5.0E-07	5	2	2	7838	2.929012E+04	9.8391784746E-01	9.6736122299E-01

# 2 Influência do Tipo de Malha Sobre o Tempo de CPU

**Objetivo:** Avaliar a influência do tipo de malha (uniforme e não-uniforme em  $x$ ) sobre o tempo de CPU e sobre a acurácia da solução numérica. A não-uniformidade na direção axial é obtida calculando o comprimento dos volumes de forma proporcional ao raio local da tubeira, gerando

desta forma uma concentração de volumes na garganta.

**Conclusões:** Observa-se na Tab. 4 que o tempo de CPU para malhas não-uniformes em  $x$  aumenta no máximo 5% em relação ao código original (malha  $896 \times 320$ ). Tal incremento está associado ao tempo adicional necessário para geração da malha e ao aumento no número de iterações. Em contrapartida, as soluções numéricas para a variáveis  $C_d$  são mais precisas quando utilizamos malhas não-uniformes, obtendo-se resultados melhores para esta variável com um nível de malha mais grosso. Pela Tab. 5 observa-se que para o esquema CDS não há vantagens em utilizar-se malha não-uniforme em  $x$ , pois pelos resultados obtidos para ambas as variáveis  $C_d$  e  $Fd^*$ , a solução com malha uniforme é mais precisa.

Tabela 4: Comparação do tempo de CPU para simulações com diferentes tamanhos de malha e esquema UDS, considerando malhas uniformes e não-uniformes na direção axial  $x$  (As notação o3, Uni e Nux no nome da simulação indicam que as simulações foram realizadas nos códigos original, modificado com malha uniforme e modificado com malha não-uniforme, respectivamente).

Simulation	$n_x$	$n_y$	RAM	$\beta$	$\Delta t$	$it$	$t_{cpu}$	$C_d$	$Fd^*$
Back1a0056o3	58	22	0.000	0.0	1.0E-05	187	2.360000E-01	1.0470353210E+00	9.7706786993E-01
Back1aUni0056	58	22	15.686	0.0	1.0E-05	187	1.960000E-01	1.0515999254E+00	9.7977956196E-01
Back1aNux0056	58	22	15.685	0.0	1.0E-05	206	2.130000E-01	1.0168423983E+00	9.6452170676E-01
Back1a0112o3	114	42	7.899	0.0	5.0E-06	471	2.009000E+00	1.0169523187E+00	9.7209710276E-01
Back1aUni0112	114	42	18.678	0.0	5.0E-06	470	1.945000E+00	1.0186218684E+00	9.7273348757E-01
Back1aNux0112	114	42	18.677	0.0	5.0E-06	473	1.957000E+00	1.0000760703E+00	9.6518905271E-01
Back1a0224o3	226	82	15.798	0.0	2.0E-06	1335	2.563800E+01	1.0008414958E+00	9.7025076007E-01
Back1aUni0224	226	82	30.561	0.0	2.0E-06	1334	2.618500E+01	1.0018281691E+00	9.7066598807E-01
Back1aNux0224	226	82	30.560	0.0	2.0E-06	1339	2.572000E+01	9.9140348434E-01	9.6629877982E-01
Back1a0448o3	450	162	63.192	0.0	2.0E-06	1601	2.392760E+02	9.9147113999E-01	9.6866696560E-01
Back1aUni0448	450	162	76.932	0.0	2.0E-06	1600	2.389900E+02	9.9195385480E-01	9.6885123577E-01
Back1aNux0448	450	162	76.931	0.0	2.0E-06	1610	2.400840E+02	9.8645946508E-01	9.6656619205E-01
Back1a0896o3	898	322	244.869	0.0	1.0E-06	3217	2.598684E+03	9.8646849822E-01	9.6779077703E-01
Back1aUni0896	898	322	262.607	0.0	1.0E-06	3218	2.593744E+03	9.8672400008E-01	9.6789355154E-01
Back1aNux0896	898	322	262.606	0.0	1.0E-06	3384	2.731135E+03	9.8393548840E-01	9.6675873943E-01
Back1a1792o3	1794	642	987.375	0.0	5.0E-07	7838	2.929012E+04	9.8391784746E-01	9.6736122299E-01
Back1aUni1792	1794	642	1002.244	0.0	5.0E-07	7840	2.931104E+04	9.8405343747E-01	9.6741929447E-01
Back1aNux1792	1794	642	1002.243	0.0	5.0E-07	8131	3.042463E+04	9.8265261123E-01	9.6685735402E-01

Tabela 5: Comparação do tempo de CPU para simulações com diferentes tamanhos de malha e esquema CDS, considerando malhas uniformes e não-uniformes na direção axial  $x$  (As notação Uni e Nux no nome da simulação indicam que as simulações foram realizadas com malha uniforme e com malha não-uniforme, respectivamente).

Simulation	$n_x$	$n_y$	RAM	$\beta_1$	$\beta_2$	$itb1$	$itb2$	$\Delta t$	$it$	$t_{cpu}$	$C_d$	$Fd^*$
Back1bUni0056	58	22	15.686	1.0	1.0	1000	1000	1.0E-05	991	0:00:01	9.8017959425E-01	9.6512440660E-01
Back1bNux0056	58	22	15.685	1.0	1.0	1000	1000	1.0E-05	924	0:00:01	9.7832607241E-01	9.6359519713E-01
Back1bUni0112	114	42	18.678	1.0	1.0	1000	1000	5.0E-06	1574	0:00:06	9.8114076494E-01	9.6640843160E-01
Back1bNux0112	114	42	18.677	1.0	1.0	1000	1000	5.0E-06	1635	0:00:06	9.8046258753E-01	9.6591804332E-01
Back1bUni0224	226	82	30.561	1.0	1.0	1000	1000	1.0E-06	5398	0:01:45	9.8122188122E-01	9.6673973166E-01
Back1bNux0224	226	82	30.560	1.0	1.0	1000	1000	1.0E-06	4721	0:01:31	9.8099518792E-01	9.6654813919E-01
Back1bUni0448	450	162	76.932	0.0	1.0	200	1200	2.0E-06	1682	0:04:10	9.8127265039E-01	9.6684034448E-01
Back1bNux0448	450	162	76.931	0.0	1.0	200	1200	2.0E-06	1689	0:04:12	9.8122075747E-01	9.6679984609E-01

### 3 Influência do Chute Inicial Sobre o Tempo de CPU

**Objetivo:** Avaliar a influência do chute inicial sobre o tempo de CPU considerando como chutes iniciais a solução do problema unidimensional e a solução numérica obtida para uma malha de um nível mais grosso.

**Conclusões:** Para o esquema UDS, Tab. 6, o tempo de CPU de ambos os chutes iniciais foram muito próximos, porém observa-se que a norma do erro na primeira iteração (norm1) é quase duas ordens de grandeza menor quando utilizado o chute inicial baseado na solução de uma malha um nível mais grossa. Tal característica reduz o tempo que o programa leva para atingir o nível de erro de máquina. Os experimentos realizados com o esquema CDS não obtiveram êxito pois a razão entre as normas oscilou e não reduziu o suficiente para atingir o critério de parada em menos de 5000 iterações.

Tabela 6: Comparação do tempo de CPU com esquema UDS para dois diferentes chutes iniciais: solução analítica do problema unidimensional e solução numérica obtida para uma malha um nível mais grossa, identificados respectivamente pelas notações o3 e ig no nome da simulação.

Simulation	$n_x$	$n_y$	RAM	$\beta$	$\Delta t$	$it$	$t_{cpu}$	$norm1$	$C_d$	$Fd^*$
Back1a0056o3	58	22	15.660	0.0	1.0E-05	187	0:00:00	8.4305216012E+03	1.0470353210E+00	9.7706786993E-01
Back1a0112o3	114	42	18.664	0.0	5.0E-06	471	0:00:01	1.4543311771E+04	1.0169523187E+00	9.7209710276E-01
Back1a0112ig	114	42	18.679	0.0	5.0E-06	566	0:00:02	4.2439298842E+02	1.0226248369E+00	9.7734864187E-01
Back1a0224o3	226	82	30.543	0.0	2.0E-06	1335	0:00:25	1.5268022962E+04	1.0008414958E+00	9.7025076007E-01
Back1a0224ig	226	82	30.562	0.0	2.0E-06	1489	0:00:28	3.5848806797E+02	1.0028195772E+00	9.7212377907E-01
Back1a0448o3	450	162	76.918	0.0	2.0E-06	1601	0:03:59	3.3931223090E+04	9.9147113999E-01	9.6866696560E-01
Back1a0448ig	450	162	76.937	0.0	2.0E-06	1672	0:04:10	7.4418522908E+02	9.9212381449E-01	9.6931241423E-01
Back1a0896o3	898	322	262.594	0.0	1.0E-06	3217	0:42:59	3.7562166288E+04	9.8646849822E-01	9.6779077703E-01
Back1a0896ig	898	322	262.608	0.0	1.0E-06	3191	0:42:36	8.2025893016E+02	9.8665120854E-01	9.6798197432E-01
Back1a1792o3	1794	642	1002.223	0.0	5.0E-07	7838	8:08:33	3.9772627249E+04	9.8391784746E-01	9.6736122299E-01
Back1a1792ig	1794	642	1002.233	0.0	5.0E-07	7880	8:12:57	8.8501047246E+02	9.8395375486E-01	9.6740751315E-01

Tabela 7: Comparação do tempo de CPU com esquema CDS para dois diferentes chutes iniciais: solução analítica do problema unidimensional e solução numérica obtida para uma malha um nível mais grossa, identificados respectivamente pelas notações o3 e ig no nome da simulação.

Simulation	$n_x$	$n_y$	RAM	$\beta_1$	$\beta_2$	$itb1$	$itb2$	$\Delta t$	$it$	$t_{cpu}$	$C_d$	$Fd^*$
Back1b0056o3	58	22	15.660	1.0	1.0	1000	1000	1.0E-05	883	0:00:00	9.7990913943E-01	9.6485938071E-01
Back1b0112o3	114	42	18.664	1.0	1.0	1000	1000	5.0E-06	1442	0:00:06	9.8080254704E-01	9.6609038390E-01
Back1b0112ig	114	42	18.679	1.0	1.0	1000	1000	5.0E-06	—	—	—	—
Back1b0224o3	226	82	30.543	1.0	1.0	1000	1000	2.0E-06	2271	0:00:44	9.8106736890E-01	9.6659650877E-01
Back1b0224ig	226	82	30.562	1.0	1.0	1000	1000	2.0E-06	—	—	—	—
Back1b0448o3	450	162	76.918	0.0	1.0	200	1200	2.0E-06	1683	0:04:10	9.8124229489E-01	9.6681225629E-01
Back1b0448ig	450	162	76.937	0.0	1.0	200	1200	2.0E-06	—	—	—	—
Back1b0896o3	898	322	262.594	0.0	1.0	2000	7000	1.0E-06	7557	1:42:02	9.8130395162E-01	9.6689082339E-01
Back1b0896ig	898	322	262.612	0.0	1.0	2000	7000	1.0E-06	—	—	—	—