

# RELATÓRIO – ATIVIDADE #4C

**Autor:** Eduardo Germer

**Objetivos:**

- Simulações em bocal de perfil parabólico
- Análise dos resultados com programa Richardson3p2

**Data:** 29.Dez.2012

---

Para a realização desta atividade foi definida uma tubeira parabólica cujas características são:

- Razão de áreas (RA): 4
- Raio da garganta ( $R_g$ ) :  $4 \cdot 10^{-2}$  m
- Comprimento da tubeira (L) :  $5 \cdot 10^{-1}$  m
- Raio de entrada = raio de saída
- Entrada da tubeira em  $x=0$
- Saída da tubeira em  $x=L$
- Posição da garganta em  $x=L/2$

Para análise da ordem aparente obtida com CDS foi selecionado o caso 4 que tem como pressão e temperatura de estagnação:

- Caso 4:  $p_0 = 5d6$      $T_0 = 1d3$

As simulações foram feitas com a malha inicial de  $4 \times 4$  sendo posteriormente refinada com razão de refino constante e igual a 2, em ambas as direções, desta forma as malhas seguintes foram  $8 \times 8$ ,  $16 \times 16$  e assim por diante.

A geração da malha foi feita de forma uniforme na direção “x” e uniforme (por seção) na direção “r”. A Fig.1 mostra um exemplo de malha, no caso a de  $32 \times 32$ .

A função de interpolação considerada para todas as simulações foi a CDS, o solver o MSI, e a condição inicial é a solução analítica 1D.

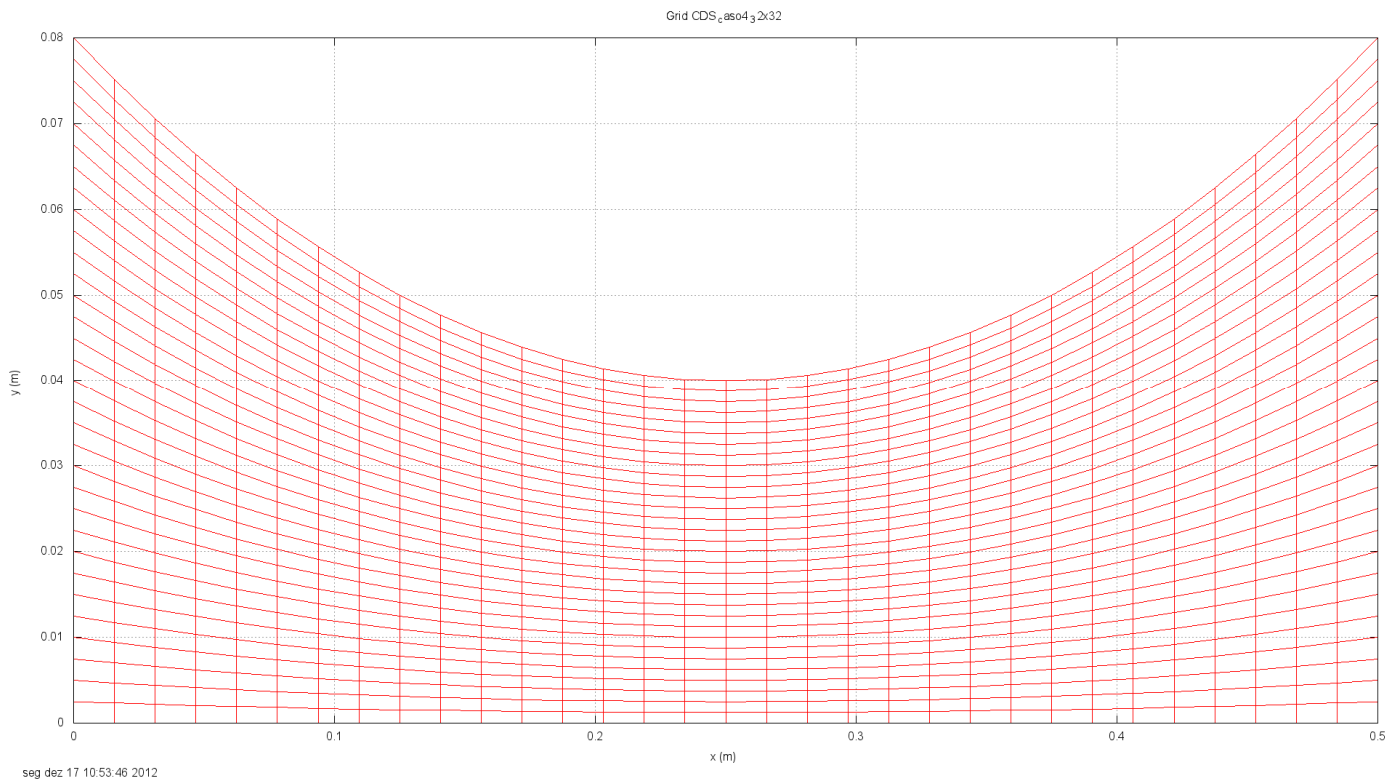


Figura 1 – Tubeira parabólica – malha 32 x 32

### **Hardware e Software das simulações:**

Computador (H1): HP Pavilion dv5-1260, 4GB RAM, 64bit, AMD Turion X-2 Dual Core RM-74, 2.2 GHz

Sistema operacional: Windows 7

Compilador: Intel Visual Fortran 11.1.065 [Intel 64].

Programa: Mach2D-5p8 (versão GB DM 2012 10 11)

Dados constantes nas simulações: kg=4; a1=1d-6; coord=1; Rg=2.869E+02; gamma=1.4d0; pr=101325.d0; g0=9.80665d0; modvis=0; modtur=0; ccTw=0; reload=0; tolerance=-1d-10; wbkp=1000; wlf=1; sem\_a=1; sem\_g=1; w\_g=1; w\_cam=0; vertela=1; num=1; Eu=3. d0; Ev=-3.d0; Ep=-350.d0; Et=-350.d0.

Para avaliar a ordem aparente foram analisadas duas variáveis, o coeficiente de descarga (adimensional) e o empuxo dinâmico (adimensional). Ao longo do texto referiu-se algumas vezes ao empuxo dinâmico como variável 1 e o coeficiente de descarga como variável 2.

A expectativa é que a ordem aparente ( $p_U$ ) da incerteza tenda à ordem assintótica ( $p_L$ ) à medida que a malha é refinada ( $h \rightarrow 0$ ), para o caso do CDS-2 o valor esperado é  $p_L = 2$ .

A tabela 1 mostra os valores de ordem aparente para cada caso e cada malha, da variável empuxo dinâmico (adimensional) e coeficiente de descarga (adimensional). O solver utilizado neste caso foi o MSI.

Tabela 1 – Ordem aparente das variáveis 1 (empuxo dinâmico) e 2 (coeficiente de descarga) com CDS

Malha	h	Variável 1	Variável 2
4x4	1.25E-01		
8x8	6.25E-02		
16x16	3.13E-02	2.08941317539223E+00	1.87539803004303E+00
32x32	1.56E-02	2.57741664991006E+00	3.91161091553414E+00
64x64	7.81E-03	2.48633905545782E+00	
128x128	3.91E-03	2.52269924042764E+00	5.28639154363276E-01
256x256	1.95E-03	2.39172102823888E+00	1.38162695211846E+00
512x512	9.77E-04	2.12333259061805E+00	1.61099487219026E+00
1024x1024	4.88E-04	1.81397486823777E+00	1.69067094973583E+00

As Figs. 2 e 3 mostram os resultados da tabela 1 em representação gráfica.

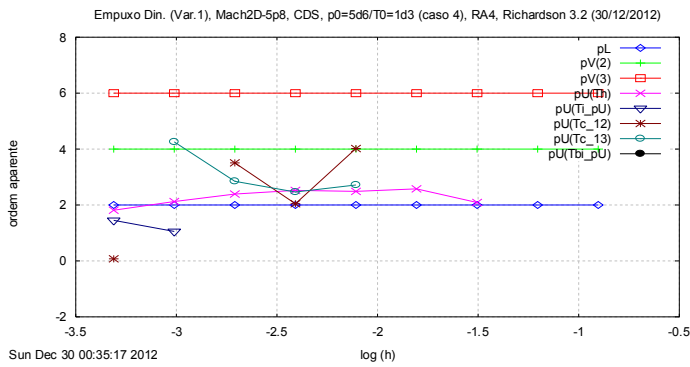


Figura 2 – Ordem aparente: caso 4 / variável 1 / CDS

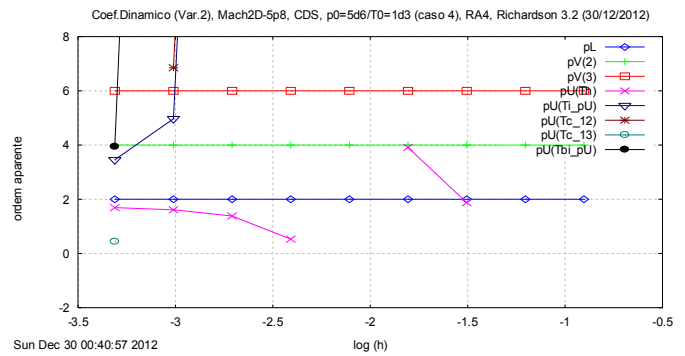


Figura 3 – Ordem aparente: caso 4 / variável 21 / CDS

## Conclusões:

Apesar da variável 2 apresentar ordem aparente de  $1,69 \pm 0,001$  na malha mais fina, ainda longe da ordem assintótica ( $P_L=2$ ), a ordem aparente parece convergir à ordem assintótica como o refino da malha. No entanto, seriam necessários dados de malhas mais finas para confirmar esta tendência.

Para a variável 1 ocorre o mesmo. Pode-se verificar que a ordem aparente do erro tende à ordem assintótica por um intervalo super convergente até a malha 512x512, porém na malha 1024x1024 há uma inversão e a ordem aparente torna-se menor que a ordem assintótica, e não se pode afirmar o que ocorrerá na malha 2048x2048.

Os valores dos parâmetros para solução como o “dt” não foram otimizados, ou seja, não houve preocupação em obter os melhores valores para cada simulação, e o critério de parada das simulações foi a estabilização do termo  $dFd^*$ . Sendo a estabilização definida por um contador de “zeros” para o valor de  $dFd^*$ , e no momento de surgimento do décimo quinto zero o programa é finalizado.

Pôde-se verificar que o valor máximo possível para “dt” vai reduzindo à medida que a malha é refinada, tendo variado de  $5d^{-5}$  (malha mais grossa) até  $1d^{-6}$  (malha mais fina).

No anexo I encontram-se os demais dados das simulações e no anexo II alguns outros gráficos resultantes do Richardson 3p2.

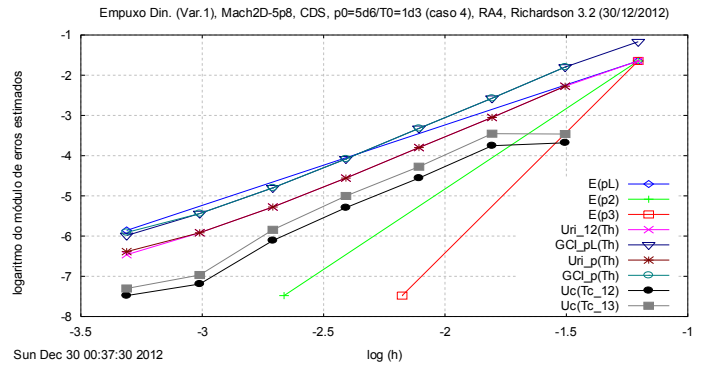
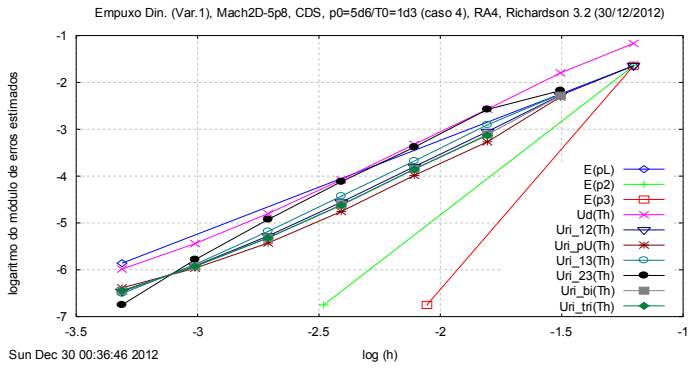
**ANEXO I**

<b>Simulação</b>	<b>Malha</b>	<b>p0</b>	<b>T0</b>	<b>beta1</b>	<b>beta2</b>	<b>itb1</b>	<b>itb2</b>	<b>it1</b>	<b>it2</b>	<b>dt1</b>	<b>dt2</b>
EG_4_142	4x4	5d6	1d3	0	1	1000	3000	3	10	5.35d-6	3.5d-6
EG_4_143	8x8	5d6	1d3	0	1	1000	3000	3	10	5.35d-6	3.5d-6
EG_4_144	16x16	5d6	1d3	0	1	1000	3000	3	10	5.35d-6	3.5d-6
EG_4_145	32x32	5d6	1d3	0	1	1000	3000	3	10	5.35d-6	3.5d-6
EG_4_146	64x64	5d6	1d3	0	1	1000	3000	3	10	5.35d-6	3.5d-6
EG_4_147	128x128	5d6	1d3	1	1	1000	3000	100	100	3d-5	1d-5
EG_4_148	256x256	5d6	1d3	1	1	1000	3000	40	40	2d-5	8d-6
EG_4_149	512x512	5d6	1d3	0	1	1000	1000	40	40	7d-6	5d-6
EG_4_150	1024x1024	5d6	1d3	0	1	1000	1000	40	40	1d-6	1d-6

<b>Simulação</b>	<b>Cd</b>	<b>Fd*</b>	<b>it</b>	<b>t CPU</b>	<b>Memória</b>	<b>Solver</b>	<b>itmax</b>	<b>imax</b>	<b>nitm_u</b>	<b>nitm_p</b>
EG_4_142	1.03273496723321E+00	1.06306507266348E+00	34455	5.14E+01	1.3	MSI	200000	6	2	4
EG_4_143	1.00709094107559E+00	9.95123685793689E-01	9735	1.55E+01	1.3	MSI	200000	6	2	4
EG_4_144	1.00010161744450E+00	9.79159073770963E-01	9337	2.10E+00	1.3	MSI	200000	6	2	4
EG_4_145	9.99637184591310E-01	9.76484351796628E-01	8628	4.52E+01	2.6	MSI	200000	6	2	4
EG_4_146	9.99759061355641E-01	9.76007024785991E+00	7513	1.86E+02	5.67	MSI	200000	6	2	4
EG_4_147	9.99843547340960E-01	9.75923961736903E-01	1975	2.12E+02	18.6	MSI	200000	6	2	4
EG_4_148	9.99875971858148E-01	9.75908133661940E-01	7420	3.32E+03	70	MSI	200000	6	2	4
EG_4_149	9.99886586754028E-01	9.75904500863538E-01	7668	1.98E+04	270	MSI	200000	6	2	2
EG_4_150	9.99889875066426E-01	9.75903467672926E-01	29440	3.73E+05	1,050	MSI	200000	6	2	2

## ANEXO II

### Variável 1 - CDS:



### Variável 2 - CDS:

