

# Efeito do dt sobre o coeficiente de arrasto em cones.

Guilherme Bertoldo

13 de Outubro de 2012

## Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Malha e parâmetros numéricos</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Escoamento sobre um cone (coord=1), código Mach2D-5.8.2.1-SVN-r72 (Branch: transient)</b>	<b>3</b>
3.1	Resultados para dt fixo . . . . .	3
3.2	Resultados para dt variável . . . . .	4
3.3	Conclusões . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Escoamento sobre um cone (coord=1), código Mach2D-5.8.2.1-SVN-r108 (Branch: transient)</b>	<b>4</b>
4.1	Resultados para dt fixo . . . . .	4
4.2	Resultados para dt variável . . . . .	4
4.3	Conclusões . . . . .	5
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>5</b>

## 1 Introdução

Ao se desenvolver o código Mach2D-5.8.2.1-SVN-r104 (Branch: cone\_wedge) a partir do código Mach2D-5.8.2.1-SVN-r72 (Branch: transient), observou-se que o efeito-dt desapareceu para os valores mais altos de dt testados. A causa disto pode ter sido a mudança do domínio de cálculo e das condições de contorno ou por outras mudanças realizadas no algoritmo. Estas outras modificações são

1. Alteração da subrotina `get_velocity_correction_at_faces_with_pl`:  
Substituiu-se

$$\begin{aligned} Uce(np) &= ue(np) * ye(np) - ve(np) * xe(np) + de(np) * ( pl(np) - pl(npe) ) \\ Vcn(np) &= vn(np) * xk(np) - un(np) * yk(np) + dn(np) * ( pl(np) - pl(npn) ) \end{aligned}$$

por

$$\begin{aligned} Uce(np) &= Uce(np) + de(np) * ( pl(np) - pl(npe) ) \\ Vcn(np) &= Vcn(np) + dn(np) * ( pl(np) - pl(npn) ) \end{aligned}$$

2. Alteração da subrotina `get_boundary_simplec_coefficients`:  
Substituiu-se

$$de(np) = de(npn)$$

por

$$de(np) = ye(np) * due(np) + xe(np) * dve(np)$$

3. Alteração do programa principal:  
Após a determinação de  $p'$  no ciclo mais externo, substituiu-se

```

! Extrapolation of p to fictitious corners
call get_extrapolation_to_corners(nx, ny, p)

por

! Extrapolation of p to fictitious
call get_p_extrapolation_to_fictitious(nx, ny, PF, p)
! Density at nodes with the state equation
call get_density_at_nodes( nx, ny, Rg, p, T, ro) ! ro is output

```

Descobriu-se, então, que a causa do efeito-dt estava ligada ao terceiro item listado acima. Ou seja, o problema estava ligado à atualização da pressão nos volumes fictícios.

Detalhes sobre o código podem ser vistos em

*Documentação do código Mach-2D.*  
*Escoamento bidimensional externo sobre a parte frontal de um corpo de simetria plana ou axial.*  
*Euler*  
*Versão: 5.8.2.1*  
*(Revisão - 002; Branch: transient)*  
*Outubro de 2012*

## 2 Malha e parâmetros numéricos

A malha utilizada nas simulações é apresentada na Fig. 1.

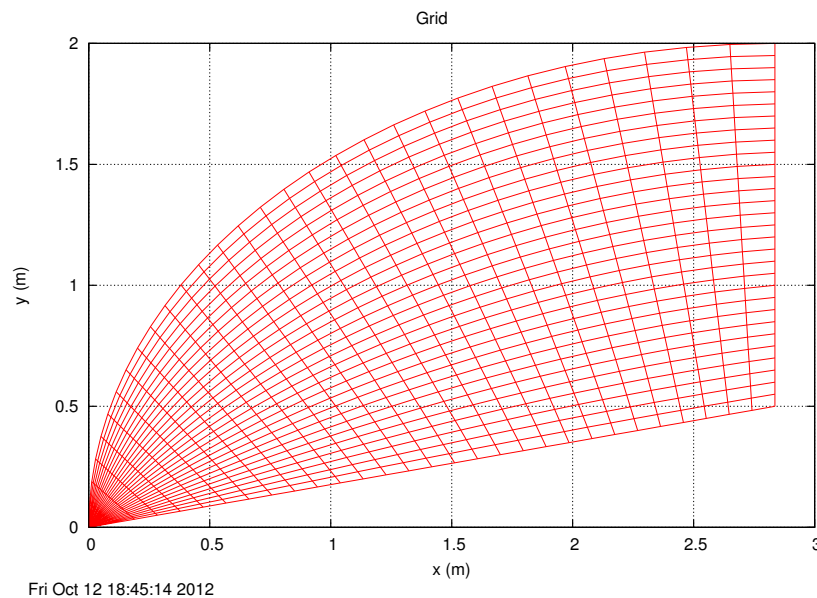


Figura 1: Malha empregada nas simulações.

Os parâmetros numéricos de entrada do código são dados na Tab. 1. Na terceira coluna desta tabela são indicados os parâmetros comuns a todas as simulações.

Tabela 1: Parâmetros numéricos de entrada

Simulation identification (up to 100 characters)	sim_id	
Number of real volumes in the csi direction	nx2	30
Number of real volumes in the eta direction	ny2	30
length of the elliptical x semi-axis (m)	la	2.8356409098089E+00
length of the elliptical y semi-axis (m)	lb	2.0000000000000E+00
length of the body (m)	lr	2.8356409098089E+00
base radius/semi-height of the body (m)	rb	5.0000000000000E-01
Kind of grid (1=uniform, 2=geometric progression, 3=power law)	kg	1
Kind of centroid mean (1=simple mean, 2=weighted mean)	kcm	1
Kind of coord. system ( 1=cylindrical, 0 = cartesian)	coord	
width of the volume closer to the wall (m)	a1	1.0000000000000E-03
Exponent of the power law for the north boundary	akn	2.0000000000000E+00
Exponent of the power law for the south boundary	aks	1.0000000000000E+00
Maximum number of iterations for time cycle	itmax	500000
"Maximum number of iterations for the correction cycle"	itimax	1
Maximum number of iterations for mass cycle	imax	1
Number of iterations up to which dt = dt1	it1	
Number of iterations from which dt = dt2	it2	
Initial time step (s)	dt1	
Final time step (s)	dt2	
Maximum number of iterations for solving the linear systems for u, v and T	nitm_u	5
Maximum number of iterations for solving the linear system for p	nitm_p	5
Number of iterations to calculate the mean of the residuals	nit_res	1
Tolerance in the MSI for solving the linear systems for u, v and T	tol_u	1.0000000000000E-02
Tolerance in the MSI for solving the linear system for p	tol_p	1.0000000000000E-02
Tolerance for the sum of residuals	tol_res	1.0000000000000E-20
Frequency of printing in the listing file	wlf	1
1 = do not open result files, 0 = open	sem_a	1
0 = visualize the plot, 1 = do not visualize	sem_g	1
Frequency of writing data for graphics	w_g	1
1 = write the fields, 0 = do not	w_cam	0
Number of iterations up to which beta = beta1	itb1	300
Number of iterations from which beta = beta2	itb2	1000
Initial beta (UDS/CDS mixing constant (0=UDS, 1=CDS))	beta1	0.0000000000000E+00
Final beta (UDS/CDS mixing constant (0=UDS, 1=CDS))	beta2	0.0000000000000E+00
GF = gamma = Cp / Cv (for the free stream)	GF	1.4000000000000E+00
Perfect gas constant (J/kg.K)	Rg	2.8700000000000E+02
Free stream pressure (Pa)	PF	1.0000000000000E+05
Free stream temperature (K)	TF	3.0000000000000E+02
Free stream Mach number	MF	4.0000000000000E+00

### 3 Escoamento sobre um cone (coord=1), código Mach2D-5.8.2.1-SVN-r72 (Branch: transient)

#### 3.1 Resultados para dt fixo

Um conjunto de simulações (S0096) foi realizado utilizando os parâmetros da Tab. 1 e diversos valores de dt, mantidos fixos ao longo das iterações. Os resultados são mostrados na Tab. 2, onde res indica a soma dos resíduos dos sistemas lineares na última iteração, Cdfi o coeficiente de arrasto de pressão frontal e (SXX-S09)/S09 indica a diferença relativa entre as soluções, tomando por base a solução S09.

Tabela 2: Resultados principais do conjunto de simulações S0096.

Simulation	nx	ny	it	tcpu	dt1	dt2	RAM	Cdfi	res	(SXX-S09)/S09
S01	30	30	500001		1.0E+00	1.0E+00				
S02	30	30	500001		5.0E-01	5.0E-01				
S03	30	30	500001		1.0E-01	1.0E-01				
S04	30	30	500001	951.427	5.0E-02	5.0E-02	15.4	7.860633124050929E-02	4.35E-13	-2.E-06
S05	30	30	500001	981.973	1.0E-02	1.0E-02	15.4	7.860631408004669E-02	1.55E-13	-3.E-06
S06	30	30	500001	1019.14	5.0E-03	5.0E-03	15.4	7.860642673344628E-02	8.79E-14	-1.E-06
S07	30	30	500001	1040.925	1.0E-03	1.0E-03	15.4	7.860652513411981E-02	3.04E-14	8.E-10
S08	30	30	500001	1007.291	5.0E-04	5.0E-04	15.4	7.860652506885878E-02	6.53E-15	9.E-13
S09	30	30	500001	990.766	1.0E-04	1.0E-04	15.4	7.860652506878746E-02	1.49E-15	0.E+00
S10	30	30	500001	976.845	5.0E-05	5.0E-05	15.4	7.860652506878744E-02	1.36E-15	0.E+00
S11	30	30	500001	947.971	1.0E-05	1.0E-05	15.4	7.860652506878729E-02	1.55E-16	0.E+00
S12	30	30	500001	931.586	5.0E-06	5.0E-06	15.4	7.860652506878528E-02	1.07E-15	-3.E-14
S13	30	30	500001	926.054	1.0E-06	1.0E-06	15.4	7.860652506876588E-02	6.68E-17	-3.E-13
S14	30	30	500001	803.506	5.0E-07	5.0E-07	15.4	7.860652506874284E-02	4.85E-17	-6.E-13
S15	30	30	500001	576.38	1.0E-07	1.0E-07	15.4	7.860652506851176E-02	4.88E-17	-4.E-12

### 3.2 Resultados para dt variável

As simulações da seção anterior foram repetidas (S0101) utilizando dt variável de acordo com

$$dt = \begin{cases} dt_1, & \text{se } it < it_1 \\ \frac{dt_2 - dt_1}{it_2 - it_1} (it - it_1) + dt_1, & \text{se } it_1 \leq it \leq it_2 \\ dt_2, & \text{se } it_2 < it \end{cases} \quad (1)$$

Os resultados são dados na Tab. 3. O objetivo de utilizar dt variável é obter uma solução de boa qualidade com dt1 e em seguida observar se esta solução é deteriorada ao se alterar dt para dt2.

Tabela 3: Resultados principais do conjunto de simulações S0101.

Simulation	nx	ny	it	it1	it2	tcpu	dt1	dt2	RAM	Cdf	res	(SXX-S09)/S09
S01	30	30	500001	10000	50000		1.0E-04	1.0E+00				
S02	30	30	500001	10000	50000		1.0E-04	5.0E-01				
S03	30	30	500001	10000	50000	608.798	1.0E-04	1.0E-01	15.4	7.860652506878744E-02	5.07E-13	0.E+00
S04	30	30	500001	10000	50000	615.126	1.0E-04	5.0E-02	15.4	7.860652506878747E-02	3.70E-13	0.E+00
S05	30	30	500001	10000	50000	628.735	1.0E-04	1.0E-02	15.4	7.860652506878754E-02	1.50E-13	0.E+00
S06	30	30	500001	10000	50000	636.828	1.0E-04	5.0E-03	15.4	7.860652506878728E-02	1.20E-13	0.E+00
S07	30	30	500001	10000	50000	640.368	1.0E-04	1.0E-03	15.4	7.860652506878747E-02	1.88E-14	0.E+00
S08	30	30	500001	10000	50000	639.292	1.0E-04	5.0E-04	15.4	7.860652506878747E-02	7.57E-15	0.E+00
S09	30	30	500001	10000	50000	627.667	1.0E-04	1.0E-04	15.4	7.860652506878746E-02	1.49E-15	0.E+00
S10	30	30	500001	10000	50000	612.338	1.0E-04	5.0E-05	15.4	7.860652506878744E-02	1.28E-15	0.E+00
S11	30	30	500001	10000	50000	599.081	1.0E-04	1.0E-05	15.4	7.860652506878729E-02	1.39E-16	0.E+00
S12	30	30	500001	10000	50000	584.641	1.0E-04	5.0E-06	15.4	7.860652506878743E-02	1.83E-15	0.E+00
S13	30	30	500001	10000	50000	579.24	1.0E-04	1.0E-06	15.4	7.860652506878700E-02	7.26E-17	-6.E-15
S14	30	30	500001	10000	50000	580.712	1.0E-04	5.0E-07	15.4	7.860652506878645E-02	5.91E-17	-1.E-14
S15	30	30	500001	10000	50000	573.028	1.0E-04	1.0E-07	15.4	7.860652506878690E-02	5.08E-17	-7.E-15

### 3.3 Conclusões

- No caso em dt é mantido fixo ao longo das iterações, observa-se que Cdf é sensível a dt tanto ao se aumentar dt quanto ao se diminuir (de uma simulação para outra). No intervalo de dt [1E-7; 0.05], Cdf variou no sexto algarismo.
- Por outro lado, no caso em que dt é variável ao longo das iterações, observa-se que esta sensibilidade desaparece. No intervalo de dt2 [1E-7; 0.01], Cdf variou no décimo quarto algarismo apenas. Isto mostra que ao se variar dt não houve deterioração na solução e que, portanto, a solução final depende da solução inicial.

## 4 Escoamento sobre um cone (coord=1), código Mach2D-5.8.2.1-SVN-r108 (Branch: transient)

### 4.1 Resultados para dt fixo

Um conjunto de simulações (S0099) foi realizado utilizando os parâmetros da Tab. 1 e diversos valores de dt no código Mach2D-5.8.2.1-SVN-r108 (Branch: transient), que contém as três modificações descritas na introdução. Os resultados são mostrados na Tab. 4.

Tabela 4: Resultados principais do conjunto de simulações S0099.

Simulation	nx	ny	it	tcpu	dt1	dt2	RAM	Cdf	res	(SXX-S09)/S09
S01	30	30	500001		1.0E+00	1.0E+00				
S02	30	30	500001		5.0E-01	5.0E-01				
S03	30	30	500001		1.0E-01	1.0E-01				
S04	30	30	500001	604.598	5.0E-02	5.0E-02	15.4	7.860652506878707E-02	4.42E-13	-5.E-15
S05	30	30	500001	628.375	1.0E-02	1.0E-02	15.4	7.860652506878746E-02	1.80E-13	0.E+00
S06	30	30	500001	645.6	5.0E-03	5.0E-03	15.4	7.860652506878747E-02	1.27E-13	0.E+00
S07	30	30	500001	644.432	1.0E-03	1.0E-03	15.4	7.860652506878747E-02	2.44E-14	0.E+00
S08	30	30	500001	644.384	5.0E-04	5.0E-04	15.4	7.860652506878747E-02	5.48E-15	0.E+00
S09	30	30	500001	629.259	1.0E-04	1.0E-04	15.4	7.860652506878744E-02	1.48E-15	0.E+00
S10	30	30	500001	614.63	5.0E-05	5.0E-05	15.4	7.860652506878747E-02	1.34E-15	0.E+00
S11	30	30	500001	601.098	1.0E-05	1.0E-05	15.4	7.860652506878722E-02	1.59E-16	0.E+00
S12	30	30	500001	585.777	5.0E-06	5.0E-06	15.4	7.860652506878550E-02	1.16E-15	-2.E-14
S13	30	30	500001	581.832	1.0E-06	1.0E-06	15.4	7.860652506876445E-02	7.16E-17	-3.E-13
S14	30	30	500001	574.8	5.0E-07	5.0E-07	15.4	7.860652506873919E-02	6.54E-17	-6.E-13
S15	30	30	500001	514.232	1.0E-07	1.0E-07	15.4	7.860652506851340E-02	5.79E-17	-3.E-12

### 4.2 Resultados para dt variável

As simulações da seção anterior foram repetidas (S0100) utilizando dt variável. Os resultados são dados na Tab. 5.

Tabela 5: Resultados principais do conjunto de simulações S0100.

Simulation	nx	ny	it	it1	it2	tcpu	dt1	dt2	RAM	Cdf	res	(SXX-S09)/S09
S01	30	30	500001	10000	50000		1.0E-04	1.0E+00				
S02	30	30	500001	10000	50000		1.0E-04	5.0E-01				
S03	30	30	500001	10000	50000	612.694	1.0E-04	1.0E-01	15.4	7.860652506878746E-02	2.50E-13	0.E+00
S04	30	30	500001	10000	50000	619.051	1.0E-04	5.0E-02	15.4	7.860652506878746E-02	1.74E-13	0.E+00
S05	30	30	500001	10000	50000	631.955	1.0E-04	1.0E-02	15.4	7.860652506878747E-02	1.94E-13	0.E+00
S06	30	30	500001	10000	50000	638.388	1.0E-04	5.0E-03	15.4	7.860652506878747E-02	1.45E-13	0.E+00
S07	30	30	500001	10000	50000	643.564	1.0E-04	1.0E-03	15.4	7.860652506878746E-02	3.15E-14	0.E+00
S08	30	30	500001	10000	50000	642.388	1.0E-04	5.0E-04	15.4	7.860652506878747E-02	5.60E-15	0.E+00
S09	30	30	500001	10000	50000	629.015	1.0E-04	1.0E-04	15.4	7.860652506878744E-02	1.48E-15	0.E+00
S10	30	30	500001	10000	50000	614.522	1.0E-04	5.0E-05	15.4	7.860652506878743E-02	1.27E-15	0.E+00
S11	30	30	500001	10000	50000	607.414	1.0E-04	1.0E-05	15.4	7.860652506878724E-02	1.52E-16	0.E+00
S12	30	30	500001	10000	50000	588.833	1.0E-04	5.0E-06	15.4	7.860652506878711E-02	1.57E-15	-4.E-15
S13	30	30	500001	10000	50000	577.7	1.0E-04	1.0E-06	15.4	7.860652506878733E-02	6.81E-17	0.E+00
S14	30	30	500001	10000	50000	573.752	1.0E-04	5.0E-07	15.4	7.860652506878744E-02	5.41E-17	0.E+00
S15	30	30	500001	10000	50000	574.708	1.0E-04	1.0E-07	15.4	7.860652506878667E-02	5.20E-17	-1.E-14

### 4.3 Conclusões

- Com as modificações descritas na Introdução, observa-se que Cdfi não depende mais de dt para valores mais elevados de dt, porém continua dependendo para valores pequenos de dt. Isto pode ser decorrente dos erros de arredondamento.
- Ao se utilizar dt variável no ciclo iterativo não se observa degradação da solução.

## 5 Conclusão

Descobriu-se que o problema do efeito-dt em aerodinâmica estava relacionado à não atualização da pressão nos volumes fictícios após cada iteração do ciclo externo.