

Efeito do Δt sobre o coeficiente de arrasto em cones e cunhas.

Guilherme Bertoldo

12 de Outubro de 2012

Conteúdo

1	Introdução	1
2	Escoamento sobre um cone	2
2.1	Parâmetros numéricos	2
2.2	Resultados para a malha ortogonal	2
2.3	Resultados para a malha não ortogonal	3
2.4	Conclusões	3
3	Escoamento sobre uma cunha	3
3.1	Parâmetros numéricos	3
3.2	Resultados para a malha ortogonal	3
3.3	Resultados para a malha não ortogonal	3
3.4	Conclusões	4

1 Introdução

O código Mach2D-5.8.2.1-SVN-r104 (Branch: cone_wedge) foi desenvolvido a partir do código Mach2D-5.8.2.1-SVN-r72 (Branch: transient) com o intuito de resolver especificamente o escoamento sobre cones e cunhas utilizando malhas ortogonais e não ortogonais (Fig. 1). Esta versão especializada destina-se a investigar se a não ortogonalidade da malha tem influência sobre o "efeito- Δt ". Detalhes sobre o código podem ser vistos em

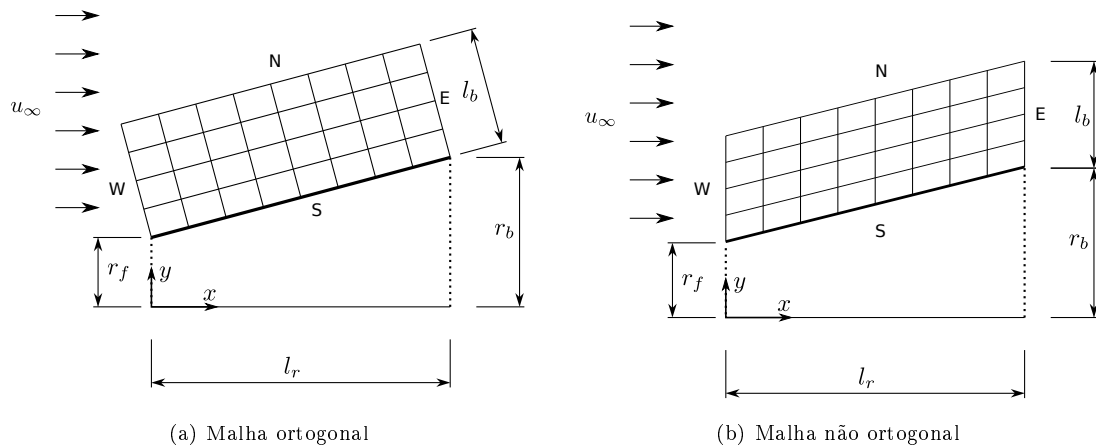


Figura 1: Tipos de malhas empregadas no código Mach2D-5.8.2.1-SVN-r104.

Documentação do código Mach-2D. Escoamento bidimensional externo sobre a parte frontal de cones e cunhas.

Euler

Versão: 5.8.2.1

(Revisão - 003, Branch: Cone_Wedge)

2 Escoamento sobre um cone

2.1 Parâmetros numéricos

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 do código Mach2D-5.8.2.1-SVN-r104

Simulation identification (up to 100 characters)		sim_id	
Number of real volumes in the csi direction	nx-2		30
Number of real volumes in the eta direction	ny-2		30
Width of the domain of calculation (m)	lb	2.000000000000000E+00	
length of the body (m)	lr	2.835640909808900E+00	
frontal radius/semi-height of the body (m)	rf	0.000000000000000E+00	
base radius/semi-height of the body (m)	rb	5.000000000000000E-01	
kind of boundary (1=orthogonal grid, 2=non-orthogonal)	kb		
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		1
width of the volume closer to the wall (m)	a1	1.000000000000000E-03	
Exponent of the power law for the south boundary	aks	1.000000000000000E+00	
Maximum number of interactions for time cycle	itmax		500000
"Maximum number of iterations for the correction cycle"	itimax		1
Maximum number of interactions for mass cycle	imax		1
Number of interactions up to which dt = dt1	it1		100
Number of interactions from which dt = dt2	it2		300
Initial time step (s)	dt1		
Final time step (s)	dt2		
Maximum number of interactions for solving the linear systems for u, v and T	nitm_u		5
Maximum number of interactions for solving the linear system for p	nitm_p		5
Number of interactions 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	1.000000000000000E-02	
Tolerance in the MSI for solving the linear system for p	tol_p	1.000000000000000E-02	
Tolerance for the sum of residuals	tol_res	1.000000000000000E-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 interactions up to which beta = beta1	itb1		300
Number of interactions from which beta = beta2	itb2		1000
Initial beta (UDS/CDS mixing constant (0=UDS, 1=CDS))	beta1	0.000000000000000E+00	
Final beta (UDS/CDS mixing constant (0=UDS, 1=CDS))	beta2	0.000000000000000E+00	
GF = gamma = Cp / Cv (for the free stream)	GF	1.400000000000000E+00	
Perfect gas constant (J/kg.K)	Rg	2.870000000000000E+02	
Free stream pressure (Pa)	PF	1.000000000000000E+05	
Free stream temperature (K)	TF	3.000000000000000E+02	
Free stream Mach number	MF	4.000000000000000E+00	

2.2 Resultados para a malha ortogonal

Um conjunto de simulações (S0091) foi realizado utilizando os parâmetros da Tab. 1 e diversos valores de dt para a malha ortogonal (kb=1). 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 S0091.

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	978.873	1.0E-01	1.0E-01	15.4	7.813236211793416E-02	5.33E-13		2.E-14
S04	30	30	500001	996.194	5.0E-02	5.0E-02	15.4	7.813236211793291E-02	7.24E-13		6.E-15
S05	30	30	500001	1004.655	1.0E-02	1.0E-02	15.4	7.813236211793245E-02	3.96E-13		0.E+00
S06	30	30	500001	1005.299	5.0E-03	5.0E-03	15.4	7.813236211793245E-02	4.26E-13		0.E+00
S07	30	30	500001	1006.327	1.0E-03	1.0E-03	15.4	7.813236211793241E-02	5.34E-14		0.E+00
S08	30	30	500001	1011.367	5.0E-04	5.0E-04	15.4	7.813236211793245E-02	9.81E-15		0.E+00
S09	30	30	500001	993.322	1.0E-04	1.0E-04	15.4	7.813236211793247E-02	2.05E-15		0.E+00
S10	30	30	500001	973.721	5.0E-05	5.0E-05	15.4	7.813236211793244E-02	6.57E-16		0.E+00
S11	30	30	500001	957.192	1.0E-05	1.0E-05	15.4	7.813236211793047E-02	1.64E-16		-3.E-14
S12	30	30	500001	937.687	5.0E-06	5.0E-06	15.4	7.813236211792718E-02	1.05E-15		-7.E-14
S13	30	30	500001	933.866	1.0E-06	1.0E-06	15.4	7.813236211790493E-02	7.01E-17		-4.E-13
S14	30	30	500001	667.282	5.0E-07	5.0E-07	15.4	7.813236211786442E-02	6.78E-17		-9.E-13
S15	30	30	500001	569.76	1.0E-07	1.0E-07	15.4	7.813236211765229E-02	3.15E-17		-4.E-12

2.3 Resultados para a malha não ortogonal

As simulações da seção anterior foram repetidas (S0092) para a malha não ortogonal (kb=2). Os resultados são dados na Tab. 3.

Tabela 3: Resultados principais do conjunto de simulações S0092.

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	997.95	1.0E-01	1.0E-01	15.4	7.828771473762673E-02	4.51E-13	2.E-14
S04	30	30	500001	1001.283	5.0E-02	5.0E-02	15.4	7.828771473762540E-02	7.08E-13	7.E-15
S05	30	30	500001	1012.239	1.0E-02	1.0E-02	15.4	7.828771473762483E-02	5.77E-13	0.E+00
S06	30	30	500001	1011.143	5.0E-03	5.0E-03	15.4	7.828771473762482E-02	3.06E-13	0.E+00
S07	30	30	500001	1007.227	1.0E-03	1.0E-03	15.4	7.828771473762482E-02	5.30E-14	0.E+00
S08	30	30	500001	1006.819	5.0E-04	5.0E-04	15.4	7.828771473762482E-02	1.98E-14	0.E+00
S09	30	30	500001	987.83	1.0E-04	1.0E-04	15.4	7.828771473762487E-02	2.14E-15	0.E+00
S10	30	30	500001	969.017	5.0E-05	5.0E-05	15.4	7.828771473762480E-02	9.19E-16	0.E+00
S11	30	30	500001	950.231	1.0E-05	1.0E-05	15.4	7.828771473762337E-02	1.77E-16	-2.E-14
S12	30	30	500001	930.722	5.0E-06	5.0E-06	15.4	7.828771473762031E-02	9.39E-16	-6.E-14
S13	30	30	500001	810.127	1.0E-06	1.0E-06	15.4	7.828771473759974E-02	7.41E-17	-3.E-13
S14	30	30	500001	747.095	5.0E-07	5.0E-07	15.4	7.828771473756900E-02	6.30E-17	-7.E-13
S15	30	30	500001	721.829	1.0E-07	1.0E-07	15.4	7.828771473734096E-02	5.30E-17	-4.E-12

2.4 Conclusões

- Existe um valor superior para dt a partir do qual a solução não converge.
- Ao se variar dt no intervalo [1E-5, 0.1] a influência sobre Cdfi foi da ordem de 1E-14, independentemente de a malha ser ortogonal ou não ortogonal.
- Ao se variar dt no intervalo [1E-7, 0.1] a influência sobre Cdfi foi menor que 1E-12, independentemente de a malha ser ortogonal ou não ortogonal.
- A ortogonalidade da malha não influencia significativamente o efeito de dt, entretanto, altera significativamente o resultado. A diferença relativa de Cdfi da malha ortogonal para a não ortogonal foi de 0.2%.
- A solução obtida por Sims[2] com base na equação de Taylor-Maccoll é Cdfi=7.939344E-2, que difere em 1.6% (relativamente) da solução obtida aqui com a malha ortogonal.

3 Escoamento sobre uma cunha

3.1 Parâmetros numéricos

Os parâmetros numéricos de entrada do código são os mesmos da Tab. 1, exceto por coord=0.

3.2 Resultados para a malha ortogonal

Um conjunto de simulações (S0093) foi realizado utilizando os parâmetros da Tab. 1 e diversos valores de dt para a malha ortogonal (kb=1). Os resultados são mostrados na Tab. 4.

Tabela 4: Resultados principais do conjunto de simulações S0093.

Simulation	nx	ny	it	tcpu	dt1	dt2	RAM	Cdfi	res	(SXX-S09)/S09
S05	30	30	500001	1007.075	1.0E-02	1.0E-02	15.4	1.290465865273112E-01	6.14E-13	0.E+00
S06	30	30	500001	1006.343	5.0E-03	5.0E-03	15.4	1.290465865273112E-01	5.45E-13	0.E+00
S07	30	30	500001	1009.607	1.0E-03	1.0E-03	15.4	1.290465865273112E-01	4.37E-14	0.E+00
S08	30	30	500001	1014.671	5.0E-04	5.0E-04	15.4	1.290465865273112E-01	1.48E-14	0.E+00
S09	30	30	500001	991.898	1.0E-04	1.0E-04	15.4	1.290465865273112E-01	1.69E-15	0.E+00
S10	30	30	500001	979.601	5.0E-05	5.0E-05	15.4	1.290465865273112E-01	4.66E-16	0.E+00
S11	30	30	500001	959.66	1.0E-05	1.0E-05	15.4	1.290465865273093E-01	1.72E-16	-1.E-14
S12	30	30	500001	951.571	5.0E-06	5.0E-06	15.4	1.290465865273060E-01	1.49E-16	-4.E-14
S13	30	30	500001	931.622	1.0E-06	1.0E-06	15.4	1.290465865272794E-01	6.00E-17	-2.E-13
S14	30	30	500001	918.993	5.0E-07	5.0E-07	15.4	1.290465865272470E-01	5.27E-17	-5.E-13
S15	30	30	500001	742.586	1.0E-07	1.0E-07	15.4	1.290465865269681E-01	5.74E-17	-3.E-12

3.3 Resultados para a malha não ortogonal

As simulações da seção anterior foram repetidas (S0094) para a malha não ortogonal (kb=2). Os resultados são dados na Tab. 5.

Tabela 5: Resultados principais do conjunto de simulações S0094.

Simulation	nx	ny	it	tepu	dt1	dt2	RAM	Cdfi	res	(SXX-S09)/S09
S05	30	30	500001	1005.015	1.0E-02	1.0E-02	15.4	1.291077668122520E-01	6.30E-13	0.E+00
S06	30	30	500001	1004.999	5.0E-03	5.0E-03	15.4	1.291077668122520E-01	7.34E-13	0.E+00
S07	30	30	500001	1006.471	1.0E-03	1.0E-03	15.4	1.291077668122520E-01	5.69E-14	0.E+00
S08	30	30	500001	1006.567	5.0E-04	5.0E-04	15.4	1.291077668122520E-01	1.09E-14	0.E+00
S09	30	30	500001	990.742	1.0E-04	1.0E-04	15.4	1.291077668122520E-01	1.72E-15	0.E+00
S10	30	30	500001	975.345	5.0E-05	5.0E-05	15.4	1.291077668122520E-01	6.34E-16	0.E+00
S11	30	30	500001	955.724	1.0E-05	1.0E-05	15.4	1.291077668122501E-01	1.62E-16	-1.E-14
S12	30	30	500001	941.627	5.0E-06	5.0E-06	15.4	1.291077668122465E-01	8.19E-16	-4.E-14
S13	30	30	500001	932.058	1.0E-06	1.0E-06	15.4	1.291077668122234E-01	6.61E-17	-2.E-13
S14	30	30	500001	830.844	5.0E-07	5.0E-07	15.4	1.291077668121874E-01	5.12E-17	-5.E-13
S15	30	30	500001	770.416	1.0E-07	1.0E-07	15.4	1.291077668119499E-01	4.91E-17	-2.E-12

3.4 Conclusões

- Existe um valor superior para dt a partir do qual a solução não converge. Comparado com o do cone, o dt máximo da cunha é menor.
- Ao se variar dt no intervalo [1E-5, 0.01] a influência sobre Cdfi foi da ordem de 1E-14, independentemente de a malha ser ortogonal ou não ortogonal.
- Ao se variar dt no intervalo [1E-7, 0.01] a influência sobre Cdfi foi menor que 1E-12, independentemente de a malha ser ortogonal ou não ortogonal.
- A ortogonalidade da malha não influencia significativamente o efeito de dt, entretanto, altera significativamente o resultado. A diferença relativa de Cdfi da malha ortogonal para a não ortogonal foi de 0.05%.
- A solução obtida pelo método do choque-expansão[1], Cdfi=0.13446813580494, difere em 4% (relativamente) da solução obtida aqui com a malha ortogonal.

Referências

- [1] J D Anderson, Jr. *Modern compressible flow: with historical perspective*. McGraw-Hill, New York, 3 edition, 2003.
- [2] J L Sims. Tables for supersonic flow around right circular cones at zero angle of attack. Technical Report SP-3004, NASA, USA, 1964.