

Etapa 1: Verificação

Jonas Joacir Radtke

2 de agosto de 2012

Lista de Símbolos

c_p	calor específico à pressão constante [$J/kg \cdot K$]
L	comprimento da tubeira [m]
p	pressão estática [Pa]
r_c	raio de curvatura da garganta [m]
r_t	raio na garganta [m]
R	constante do gás ou da mistura de gases [$J/kg \cdot K$]
T	temperatura [K]

Letras Gregas

γ	razão entre calores específicos [adimensional]
ε	razão de área da tubeira [adimensional]
κ	coeficiente de condutividade térmica [$W/m \cdot K$]
μ	coeficiente de viscosidade [$Pa \cdot s$]

Subscritos

0	propriedade de estagnação
c	propriedade da região convergente da tubeira
d	propriedade da região divergente da tubeira

1 Escoamento Monoespécie com Propriedades Constantes

Tabela 1: Parâmetros utilizados no processo de verificação do código Mach2D.

Raio na garganta (r_t) [m]	0,05
Raio de curvatura na garganta (r_c) [m]	0,05
Comprimento da região convergente (L_c) [m]	0,15
Comprimento da região divergente (L_d) [m]	0,50
Razão de área (ε)	13,28030839
Inclinação da parede da seção convergente [$^\circ$]	30
Inclinação da parede da seção divergente [$^\circ$]	15
Temperatura de estagnação (T_0) [K]	833,33
Pressão de estagnação (p_0) [Pa]	20×10^5
Razão entre calores específicos (γ)	1,2696655
Constante do gás (R) [J/kg · K]	4,6152544
Calor específico a pressão constante (c_p) [J/kg · K]	$2,1729989 \times 10^3$
Condutividade térmica (κ) [W/m · K]	$7,4524728 \times 10^{-2}$
Viscosidade dinâmica (μ) [Pa · s]	$3,0970944 \times 10^{-5}$

1.1 Caso 1a: Invíscido UDS com malha uniforme

Analisando as ordens aparente apresentadas nas tabelas 2 e 3 observa-se uma leve tendência de convergência para o valor unitário ($p_L = 1$).

Tabela 2: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$1.56868625E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$1.34793548E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$1.17570007E + 00$	0.35804	$-6.11456602E - 01$	$1.83436981E + 00$
64	16	0.01015625	$1.08347888E + 00$	0.90121	$-1.06290455E - 01$	$3.18871366E - 01$
128	32	0.00507813	$1.03828406E + 00$	1.02894	$-4.34346159E - 02$	$1.30303848E - 01$
256	64	0.00253906	$1.01498820E + 00$	0.95608	$-2.47818635E - 02$	$7.43455905E - 02$
512	128	0.00126953	$1.00280653E + 00$	0.93536	$-1.33516835E - 02$	$4.00550504E - 02$
1024	256	0.00063477	$9.96576507E - 01$	0.96740	$-6.52140897E - 03$	$1.95642269E - 02$

Tabela 3: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$8.58432890E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$8.90190278E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$9.24197066E - 01$	---	---	---
64	16	0.01015625	$9.48339254E - 01$	0.49427	$5.90845236E - 02$	$1.77253571E - 01$
128	32	0.00507813	$9.63641634E - 01$	0.65780	$2.64895822E - 02$	$7.94687467E - 02$
256	64	0.00253906	$9.72343579E - 01$	0.81435	$1.14725545E - 02$	$3.44176636E - 02$
512	128	0.00126953	$9.76985384E - 01$	0.90665	$5.30680286E - 03$	$1.59204086E - 02$
1024	256	0.00063477	$9.79385961E - 01$	0.95131	$2.57125362E - 03$	$7.71376087E - 03$

1.2 Caso 1b: Invíscido CDS com malha uniforme

As ordens apresentadas nas tabelas 4 e 5 não apresentam convergência para o valor de $p_L = 2$. Tal comportamento pode ser devido ao fato das soluções numéricas nas malhas utilizadas não estarem na região convergente.

Tabela 4: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$1.23044252E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$1.09168668E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$1.02198062E + 00$	0.99319	$-7.03685939E - 02$	$2.11105782E - 01$
64	16	0.01015625	$9.91976270E - 01$	1.21611	$-2.26756119E - 02$	$6.80268358E - 02$
128	32	0.00507813	$9.90404553E - 01$	4.25476	$-8.68823408E - 05$	$2.60647022E - 04$
256	64	0.00253906	$9.90309302E - 01$	4.04446	$-6.14495327E - 06$	$1.84348598E - 05$
512	128	0.00126953	$9.90273208E - 01$	1.39999	$-2.20219893E - 05$	$6.60659678E - 05$
1024	256	0.00063477	$9.90292520E - 01$	---	---	---

Tabela 5: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$9.88830536E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$9.82091593E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$9.82185516E - 01$	---	---	---
64	16	0.01015625	$9.82436319E - 01$	---	---	---
128	32	0.00507813	$9.81970514E - 01$	---	---	---
256	64	0.00253906	$9.81847336E - 01$	1.91898	$-4.42838674E - 05$	$1.32851602E - 04$
512	128	0.00126953	$9.81892494E - 01$	---	---	---
1024	256	0.00063477	$9.81922380E - 01$	0.59554	$5.84802248E - 05$	$1.75440675E - 04$

1.3 Caso 5a: Invíscido UDS com malha não-uniforme em x

Os resultados para as ordens aparente obtidos para malhas não-uniformes foram melhores do que para malhas uniformes, como pode ser observado nas tabelas 6 e 7, principalmente quando é analisada a solução numérica para o coeficiente de descarga.

Tabela 6: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$1.39674910E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$1.19521576E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$1.08417103E + 00$	0.85988	$-1.36270539E - 01$	$4.08811618E - 01$
64	16	0.01015625	$1.03658719E + 00$	1.22260	$-3.56790154E - 02$	$1.07037046E - 01$
128	32	0.00507813	$1.01384952E + 00$	1.06539	$-2.08080849E - 02$	$6.24242546E - 02$
256	64	0.00253906	$1.00216961E + 00$	0.96106	$-1.23370668E - 02$	$3.70112005E - 02$
512	128	0.00126953	$9.96260675E - 01$	0.98306	$-6.05020047E - 03$	$1.81506014E - 02$
1024	256	0.00063477	$9.93294211E - 01$	0.99415	$-2.99065355E - 03$	$8.97196065E - 03$

1.4 Caso 5b: Invíscido CDS com malha não-uniforme em x

Os resultados para as ordens aparente quando utilizamos CDS e malha não-uniforme também são melhores do que os obtidos com malha uniforme, conforme apresentado nas tabelas 8 e 9. Porém, tais resultados ainda ficam bastante longe do valor de $p_L = 2$.

Tabela 7: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$8.81080340E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$9.11350759E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$9.40350131E - 01$	0.06189	$6.61630705E - 01$	$1.98489212E + 00$
64	16	0.01015625	$9.59395174E - 01$	0.60661	$3.64377756E - 02$	$1.09313327E - 01$
128	32	0.00507813	$9.70284932E - 01$	0.80644	$1.45411050E - 02$	$4.36233150E - 02$
256	64	0.00253906	$9.76007249E - 01$	0.92830	$6.33677479E - 03$	$1.90103244E - 02$
512	128	0.00126953	$9.78908634E - 01$	0.97986	$2.98413020E - 03$	$8.95239061E - 03$
1024	256	0.00063477	$9.80379141E - 01$	0.98043	$1.51123505E - 03$	$4.53370515E - 03$

Tabela 8: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$1.18380728E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$1.03391824E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$9.89906051E - 01$	1.76792	$-1.82955322E - 02$	$5.48865967E - 02$
64	16	0.01015625	$9.88588248E - 01$	5.06170	$-4.06752372E - 05$	$1.22025712E - 04$
128	32	0.00507813	$9.89762212E - 01$	---	---	---
256	64	0.00253906	$9.90099452E - 01$	1.79954	$1.35924046E - 04$	$4.07772137E - 04$
512	128	0.00126953	$9.90235222E - 01$	1.31261	$9.14947346E - 05$	$2.74484204E - 04$
1024	256	0.00063477	$9.90286826E - 01$	1.39561	$3.16396652E - 05$	$9.49189955E - 05$

Tabela 9: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$9.88446308E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$9.84223017E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$9.83250663E - 01$	2.11881	$-2.90830400E - 04$	$8.72491200E - 04$
64	16	0.01015625	$9.82277338E - 01$	---	---	---
128	32	0.00507813	$9.81924060E - 01$	1.46212	$-2.01284516E - 04$	$6.03853549E - 04$
256	64	0.00253906	$9.81905834E - 01$	4.27673	$-9.91461928E - 07$	$2.97438579E - 06$
512	128	0.00126953	$9.81922755E - 01$	---	---	---
1024	256	0.00063477	$9.81927011E - 01$	1.99105	$1.43065228E - 06$	$4.29195684E - 06$

2 Escoamento Monoespécie com Propriedades Variáveis

2.1 Caso 2a: Invíscido UDS com malha uniforme

Tabela 10: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$1.57327299E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$1.35145937E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$1.17866797E + 00$	0.36032	$-6.09047653E - 01$	$1.82714296E + 00$
64	16	0.01015625	$1.08604641E + 00$	0.89961	$-1.07007212E - 01$	$3.21021636E - 01$
128	32	0.00507813	$1.04054329E + 00$	1.02538	$-4.39431958E - 02$	$1.31829587E - 01$
256	64	0.00253906	$1.01703408E + 00$	0.95274	$-2.51288905E - 02$	$7.53866716E - 02$
512	128	0.00126953	$1.00472221E + 00$	0.93318	$-1.35373400E - 02$	$4.06120199E - 02$
1024	256	0.00063477	$9.98420764E - 01$	0.96629	$-6.60656981E - 03$	$1.98197094E - 02$

Tabela 11: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$8.48249440E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$8.78820739E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$9.11322946E - 01$	---	---	---
64	16	0.01015625	$9.34565440E - 01$	0.48377	$5.83402055E - 02$	$1.75020616E - 01$
128	32	0.00507813	$9.49412906E - 01$	0.64655	$2.62592615E - 02$	$7.87777846E - 02$
256	64	0.00253906	$9.57920498E - 01$	0.80339	$1.14164913E - 02$	$3.42494739E - 02$
512	128	0.00126953	$9.62503425E - 01$	0.89248	$5.35159570E - 03$	$1.60547871E - 02$
1024	256	0.00063477	$9.64900861E - 01$	0.93478	$2.62993684E - 03$	$7.88981051E - 03$

2.2 Caso 2b: Invíscido CDS com malha uniforme

Tabela 12: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$1.23005854E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$1.09224267E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$1.02320865E + 00$	0.99736	$-6.92871373E - 02$	$2.07861412E - 01$
64	16	0.01015625	$9.93565454E - 01$	1.21961	$-2.23076958E - 02$	$6.69230874E - 02$
128	32	0.00507813	$9.92135633E - 01$	4.37379	$-7.24616164E - 05$	$2.17384849E - 04$
256	64	0.00253906	$9.92068361E - 01$	4.40967	$-3.32143322E - 06$	$9.96429965E - 06$
512	128	0.00126953	$9.92040501E - 01$	1.27186	$-1.96923992E - 05$	$5.90771977E - 05$
1024	256	0.00063477	$9.92062145E - 01$	---	---	---

Tabela 13: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$9.75018790E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$9.68274750E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$9.67857605E - 01$	4.01499	$-2.75032379E - 05$	$8.25097137E - 05$
64	16	0.01015625	$9.67871169E - 01$	---	---	---
128	32	0.00507813	$9.67439044E - 01$	---	---	---
256	64	0.00253906	$9.67366092E - 01$	2.56643	$-1.48174128E - 05$	$4.44522384E - 05$
512	128	0.00126953	$9.67421216E - 01$	---	---	---
1024	256	0.00063477	$9.67446735E - 01$	1.11108	$2.19980110E - 05$	$6.59940330E - 05$

2.3 Caso 6a: Invíscido UDS com malha não-uniforme em x

Tabela 14: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$1.40079975E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$1.19829554E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$1.08677637E + 00$	0.86066	$-1.36687573E - 01$	$4.10062718E - 01$
64	16	0.01015625	$1.03886510E + 00$	1.21885	$-3.60881153E - 02$	$1.08264346E - 01$
128	32	0.00507813	$1.01590544E + 00$	1.06126	$-2.11267303E - 02$	$6.33801909E - 02$
256	64	0.00253906	$1.00409096E + 00$	0.95854	$-1.25239908E - 02$	$3.75719725E - 02$
512	128	0.00126953	$9.98107805E - 01$	0.98158	$-6.13892897E - 03$	$1.84167869E - 02$
1024	256	0.00063477	$9.95103238E - 01$	0.99375	$-3.03077482E - 03$	$9.09232446E - 03$

Tabela 15: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$8.69664830E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$8.98811016E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$9.26755220E - 01$	0.06076	$6.49659166E - 01$	$1.94897750E + 00$
64	16	0.01015625	$9.45235853E - 01$	0.59653	$3.60893118E - 02$	$1.08267935E - 01$
128	32	0.00507813	$9.55875655E - 01$	0.79654	$1.44379335E - 02$	$4.33138005E - 02$
256	64	0.00253906	$9.61506926E - 01$	0.91794	$6.33143831E - 03$	$1.89943149E - 02$
512	128	0.00126953	$9.64399841E - 01$	0.96094	$3.05620011E - 03$	$9.16860033E - 03$
1024	256	0.00063477	$9.65886948E - 01$	0.96002	$1.57310458E - 03$	$4.71931374E - 03$

2.4 Caso 6b: Invíscido CDS com malha não-uniforme em x

Tabela 16: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$1.18444697E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$1.03509265E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$9.91462055E - 01$	1.77533	$-1.80056973E - 02$	$5.40170920E - 02$
64	16	0.01015625	$9.90308327E - 01$	5.24097	$-3.13367840E - 05$	$9.40103521E - 05$
128	32	0.00507813	$9.91517519E - 01$	---	---	---
256	64	0.00253906	$9.91865339E - 01$	1.79763	$1.40449328E - 04$	$4.21347985E - 04$
512	128	0.00126953	$9.92004358E - 01$	1.32306	$9.25575611E - 05$	$2.77672683E - 04$
1024	256	0.00063477	$9.92056946E - 01$	1.40248	$3.19962236E - 05$	$9.59886707E - 05$

Tabela 17: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$9.74354233E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$9.69996591E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$9.68707937E - 01$	1.75768	$-5.41099558E - 04$	$1.62329868E - 03$
64	16	0.01015625	$9.67738026E - 01$	0.40994	$-2.95137457E - 03$	$8.85412370E - 03$
128	32	0.00507813	$9.67436761E - 01$	1.68682	$-1.35738382E - 04$	$4.07215147E - 04$
256	64	0.00253906	$9.67432783E - 01$	6.24303	$-5.32162255E - 08$	$1.59648676E - 07$
512	128	0.00126953	$9.67447751E - 01$	---	---	---
1024	256	0.00063477	$9.67449623E - 01$	2.99951	$2.67479287E - 07$	$8.02437861E - 07$

2.5 Caso 9a: Viscoso UDS com malha uniforme

Tabela 18: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$1.57327273E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$1.35145887E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$1.17866720E + 00$	0.36032	$-6.09049910E - 01$	$1.82714973E + 00$
64	16	0.01015625	$1.08604526E + 00$	0.89961	$-1.07008263E - 01$	$3.21024788E - 01$
128	32	0.00507813	$1.04054125E + 00$	1.02536	$-4.39453655E - 02$	$1.31836097E - 01$
256	64	0.00253906	$1.01703009E + 00$	0.95265	$-2.51342826E - 02$	$7.54028477E - 02$
512	128	0.00126953	$1.00471422E + 00$	0.93283	$-1.35486317E - 02$	$4.06458950E - 02$
1024	256	0.00063477	$9.98404732E - 01$	0.96492	$-6.62787700E - 03$	$1.98836310E - 02$

Tabela 19: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$8.48249867E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$8.78822149E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$9.11326930E - 01$	---	---	---
64	16	0.01015625	$9.34575261E - 01$	0.48352	$5.83900793E - 02$	$1.75170238E - 01$
128	32	0.00507813	$9.49435073E - 01$	0.64571	$2.63233598E - 02$	$7.89700793E - 02$
256	64	0.00253906	$9.57967888E - 01$	0.80032	$1.15076619E - 02$	$3.45229857E - 02$
512	128	0.00126953	$9.62602702E - 01$	0.88051	$5.51090275E - 03$	$1.65327082E - 02$
1024	256	0.00063477	$9.65116843E - 01$	0.88245	$2.98061121E - 03$	$8.94183362E - 03$

2.6 Caso 9b: Viscoso CDS com malha uniforme

Tabela 20: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$1.23005780E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$1.09224218E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$1.02320810E + 00$	0.99736	$-6.92875628E - 02$	$2.07862688E - 01$
64	16	0.01015625	$9.93564668E - 01$	1.21960	$-2.23081641E - 02$	$6.69244924E - 02$
128	32	0.00507813	$9.92133759E - 01$	4.37271	$-7.25742462E - 05$	$2.17722739E - 04$
256	64	0.00253906	$9.92064291E - 01$	4.36445	$-3.54459877E - 06$	$1.06337963E - 05$
512	128	0.00126953	$9.92032203E - 01$	1.11431	$-2.75454898E - 05$	$8.26364693E - 05$
1024	256	0.00063477	$9.92045524E - 01$	---	---	---

Tabela 21: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$9.75019501E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$9.68276688E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$9.67862591E - 01$	4.02531	$-2.70949902E - 05$	$8.12849706E - 05$
64	16	0.01015625	$9.67882474E - 01$	---	---	---
128	32	0.00507813	$9.67462806E - 01$	---	---	---
256	64	0.00253906	$9.67414974E - 01$	3.13318	$-6.15316531E - 06$	$1.84594959E - 05$
512	128	0.00126953	$9.67521934E - 01$	---	---	---
1024	256	0.00063477	$9.67665973E - 01$	---	---	---

2.7 Caso 12a: Viscoso UDS com malha uniforme e refrigeração

Tabela 22: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$1.57327269E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$1.35145875E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$1.17866705E + 00$	0.36032	$-6.09049484E - 01$	$1.82714845E + 00$
64	16	0.01015625	$1.08604513E + 00$	0.89961	$-1.07008152E - 01$	$3.21024455E - 01$
128	32	0.00507813	$1.04054114E + 00$	1.02536	$-4.39453396E - 02$	$1.31836019E - 01$
256	64	0.00253906	$1.01702999E + 00$	0.95265	$-2.51342731E - 02$	$7.54028193E - 02$
512	128	0.00126953	$1.00471412E + 00$	0.93283	$-1.35486258E - 02$	$4.06458774E - 02$
1024	256	0.00063477	$9.98404639E - 01$	0.96492	$-6.62787446E - 03$	$1.98836234E - 02$

Tabela 23: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$8.48249894E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$8.78822208E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$9.11327005E - 01$	---	---	---
64	16	0.01015625	$9.34575312E - 01$	0.48353	$5.83897153E - 02$	$1.75169146E - 01$
128	32	0.00507813	$9.49435102E - 01$	0.64571	$2.63232877E - 02$	$7.89698632E - 02$
256	64	0.00253906	$9.57967906E - 01$	0.80032	$1.15076485E - 02$	$3.45229455E - 02$
512	128	0.00126953	$9.62602714E - 01$	0.88051	$5.51089605E - 03$	$1.65326882E - 02$
1024	256	0.00063477	$9.65116855E - 01$	0.88244	$2.98062160E - 03$	$8.94186479E - 03$

2.8 Caso 12b: Viscoso CDS com malha uniforme e refrigeração

Tabela 24: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$1.23005781E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$1.09224214E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$1.02320804E + 00$	0.99736	$-6.92875654E - 02$	$2.07862696E - 01$
64	16	0.01015625	$9.93564593E - 01$	1.21960	$-2.23081818E - 02$	$6.69245455E - 02$
128	32	0.00507813	$9.92133671E - 01$	4.37270	$-7.25754923E - 05$	$2.17726477E - 04$
256	64	0.00253906	$9.92064202E - 01$	4.36442	$-3.54475701E - 06$	$1.06342710E - 05$
512	128	0.00126953	$9.92032113E - 01$	1.11432	$-2.75456077E - 05$	$8.26368232E - 05$
1024	256	0.00063477	$9.92045434E - 01$	---	---	---

Tabela 25: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$9.75019497E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$9.68276690E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$9.67862594E - 01$	4.02531	$-2.70948186E - 05$	$8.12844557E - 05$
64	16	0.01015625	$9.67882478E - 01$	---	---	---
128	32	0.00507813	$9.67462811E - 01$	---	---	---
256	64	0.00253906	$9.67414978E - 01$	3.13317	$-6.15324325E - 06$	$1.84597298E - 05$
512	128	0.00126953	$9.67521938E - 01$	---	---	---
1024	256	0.00063477	$9.67665980E - 01$	---	---	---

2.9 Caso 15a: Viscoso UDS com malha não-uniforme PG

Tabela 26: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$1.38725972E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$1.19149185E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$1.08436752E + 00$	0.86986	$-1.29458055E - 01$	$3.88374165E - 01$
64	16	0.01015625	$1.03821121E + 00$	1.21469	$-3.49430005E - 02$	$1.04829001E - 01$
128	32	0.00507813	$1.01565709E + 00$	1.03314	$-2.15525882E - 02$	$6.46577647E - 02$
256	64	0.00253906	$1.00392507E + 00$	0.94294	$-1.27184365E - 02$	$3.81553096E - 02$
512	128	0.00126953	$9.97992482E - 01$	0.98372	$-6.06880489E - 03$	$1.82064147E - 02$

Tabela 27: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$8.45005845E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$8.94542814E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$9.25252633E - 01$	0.68981	$5.00921772E - 02$	$1.50276531E - 01$
64	16	0.01015625	$9.44809829E - 01$	0.65100	$3.42954234E - 02$	$1.02886270E - 01$
128	32	0.00507813	$9.55826433E - 01$	0.82802	$1.42104390E - 02$	$4.26313170E - 02$
256	64	0.00253906	$9.61643252E - 01$	0.92138	$6.50707456E - 03$	$1.95212237E - 02$
512	128	0.00126953	$9.64909618E - 01$	0.83254	$4.18323740E - 03$	$1.25497122E - 02$

2.10 Caso 15b: Viscoso CDS com malha não-uniforme PG

Tabela 28: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
16	4	0.04062500	$1.03779832E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$9.93730610E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
64	16	0.01015625	$9.91630332E - 01$	4.39107	$-1.05109373E - 04$	$3.15328120E - 04$
128	32	0.00507813	$9.92023678E - 01$	---	---	---
256	64	0.00253906	$9.92034641E - 01$	5.16513	$3.14289903E - 07$	$9.42869710E - 07$
512	128	0.00126953	$9.92776253E - 01$	---	---	---

Tabela 29: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
16	4	0.04062500	$9.68207022E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$9.68431447E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
64	16	0.01015625	$9.67695358E - 01$	---	---	---
128	32	0.00507813	$9.67472537E - 01$	1.72400	$-9.67309029E - 05$	$2.90192709E - 04$
256	64	0.00253906	$9.67589759E - 01$	---	---	---
512	128	0.00126953	$9.68181484E - 01$	---	---	---

2.11 Caso 18a: Viscoso UDS com malha não-uniforme PF

Tabela 30: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$1.41126262E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$1.18651960E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$1.08521904E + 00$	1.14963	$-8.31302519E - 02$	$2.49390756E - 01$
64	16	0.01015625	$1.03944732E + 00$	1.14611	$-3.77290621E - 02$	$1.13187186E - 01$
128	32	0.00507813	$1.01639152E + 00$	0.98933	$-2.34007564E - 02$	$7.02022691E - 02$
256	64	0.00253906	$1.00428229E + 00$	0.92902	$-1.33953737E - 02$	$4.01861211E - 02$
512	128	0.00126953	$9.98154854E - 01$	0.98275	$-6.27662391E - 03$	$1.88298717E - 02$

Tabela 31: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$8.75903218E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$8.95306586E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$9.25888254E - 01$	---	---	---
64	16	0.01015625	$9.45188433E - 01$	0.66405	$3.30184126E - 02$	$9.90552379E - 02$
128	32	0.00507813	$9.55983652E - 01$	0.83822	$1.37022127E - 02$	$4.11066381E - 02$
256	64	0.00253906	$9.61706970E - 01$	0.91547	$6.45839950E - 03$	$1.93751985E - 02$
512	128	0.00126953	$9.64877504E - 01$	0.85213	$3.93777579E - 03$	$1.18133274E - 02$

2.12 Caso 18b: Viscoso CDS com malha não-uniforme PF

Tabela 32: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$1.19248354E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$1.03512382E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$9.93378011E - 01$	1.91436	$-1.50735546E - 02$	$4.52206638E - 02$
64	16	0.01015625	$9.91930846E - 01$	4.85033	$-5.19691357E - 05$	$1.55907407E - 04$
128	32	0.00507813	$9.92114772E - 01$	---	---	---
256	64	0.00253906	$9.92058588E - 01$	---	---	---
512	128	0.00126953	$9.92046134E - 01$	2.17350	$-3.54709514E - 06$	$1.06412854E - 05$

Tabela 33: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$9.81453109E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$9.68068951E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$9.68788192E - 01$	---	---	---
64	16	0.01015625	$9.67886168E - 01$	---	---	---
128	32	0.00507813	$9.67563357E - 01$	1.48248	$-1.79910981E - 04$	$5.39732944E - 04$
256	64	0.00253906	$9.67629057E - 01$	---	---	---
512	128	0.00126953	$9.67970686E - 01$	---	---	---

3 Escoamento Congelado

Tabela 34: Parâmetros utilizados no processo de verificação do código Mach2D.

Raio na garganta (r_t) [m]	0,05
Raio de curvatura na garganta (r_c) [m]	0,05
Comprimento da região convergente (L_c) [m]	0,15
Comprimento da região divergente (L_d) [m]	0,50
Razão de área (ε)	13,28030839
Inclinação da parede da seção convergente [$^\circ$]	30
Inclinação da parede da seção divergente [$^\circ$]	15
Temperatura de estagnação (T_0) [K]	3420
Pressão de estagnação (p_0) [Pa]	20×10^5
Razão entre calores específicos (γ)	1,1956
Constante do gás (R) [J/kg · K]	526,97

Os resultados obtidos para o escoamento congelado são qualitativamente similares aos obtidos para o escoamento monoespécie com propriedades constantes. Dentre as diferenças observadas pode-se destacar que na tabela 40 a ordem aparente apresenta tendência ao valor unitário até a malha 512×128 porém supera este valor para malha 1024×256 .

3.1 Caso 3a: Invíscido UDS com malha uniforme

Tabela 35: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$1.67005566E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$1.43512897E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$1.24952376E + 00$	0.33997	$-6.98464353E - 01$	$2.09539306E + 00$
64	16	0.01015625	$1.14966614E + 00$	0.89429	$-1.16289484E - 01$	$3.48868453E - 01$
128	32	0.00507813	$1.10094613E + 00$	1.03536	$-4.64167066E - 02$	$1.39250120E - 01$
256	64	0.00253906	$1.07602055E + 00$	0.96689	$-2.61105044E - 02$	$7.83315132E - 02$
512	128	0.00126953	$1.06305722E + 00$	0.94319	$-1.40481726E - 02$	$4.21445178E - 02$
1024	256	0.00063477	$1.05645314E + 00$	0.97301	$-6.85835471E - 03$	$2.05750641E - 02$

Tabela 36: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$8.06204179E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$8.39115414E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$8.74353315E - 01$	---	---	---
64	16	0.01015625	$8.98918114E - 01$	0.52054	$5.65373922E - 02$	$1.69612177E - 01$
128	32	0.00507813	$9.14274802E - 01$	0.67773	$2.56108830E - 02$	$7.68326491E - 02$
256	64	0.00253906	$9.22917856E - 01$	0.82925	$1.11269668E - 02$	$3.33809003E - 02$
512	128	0.00126953	$9.27485212E - 01$	0.92018	$5.11832622E - 03$	$1.53549786E - 02$
1024	256	0.00063477	$9.29807814E - 01$	0.97562	$2.40314899E - 03$	$7.20944696E - 03$

3.2 Caso 3b: CDS com malha uniforme

Tabela 37: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$1.31733350E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$1.16563053E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$1.08713409E + 00$	0.95055	$-8.41686081E - 02$	$2.52505824E - 01$
64	16	0.01015625	$1.05279485E + 00$	1.19277	$-2.67042159E - 02$	$8.01126478E - 02$
128	32	0.00507813	$1.05015319E + 00$	3.70034	$-2.20155149E - 04$	$6.60465446E - 04$
256	64	0.00253906	$1.04989967E + 00$	3.38131	$-2.69118405E - 05$	$8.07355215E - 05$
512	128	0.00126953	$1.04980940E + 00$	1.48966	$-4.99244645E - 05$	$1.49773393E - 04$
1024	256	0.00063477	$1.04981536E + 00$	---	---	---

Tabela 38: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$9.35410975E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$9.29938772E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$9.31589721E - 01$	---	---	---
64	16	0.01015625	$9.32657373E - 01$	0.62885	$1.95420268E - 03$	$5.86260804E - 03$
128	32	0.00507813	$9.32356689E - 01$	---	---	---
256	64	0.00253906	$9.32156446E - 01$	0.58649	$-3.99218049E - 04$	$1.19765415E - 03$
512	128	0.00126953	$9.32238502E - 01$	---	---	---
1024	256	0.00063477	$9.32246096E - 01$	3.43372	$7.74425988E - 07$	$2.32327796E - 06$

3.3 Caso 7a: Invíscido UDS com malha não-uniforme em x

Tabela 39: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$1.48652242E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$1.27131697E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$1.15093755E + 00$	0.83813	$-1.52818836E - 01$	$4.58456507E - 01$
64	16	0.01015625	$1.09940048E + 00$	1.22391	$-3.85819234E - 02$	$1.15745770E - 01$
128	32	0.00507813	$1.07491666E + 00$	1.07378	$-2.21584183E - 02$	$6.64752549E - 02$
256	64	0.00253906	$1.06242996E + 00$	0.97144	$-1.29962445E - 02$	$3.89887334E - 02$
512	128	0.00126953	$1.05614002E + 00$	0.98927	$-6.38454105E - 03$	$1.91536231E - 02$
1024	256	0.00063477	$1.05299052E + 00$	0.99793	$-3.15857531E - 03$	$9.47572593E - 03$

Tabela 40: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$8.29754678E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$8.61256333E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$8.90838708E - 01$	0.09069	$4.55961198E - 01$	$1.36788359E + 00$
64	16	0.01015625	$9.09996837E - 01$	0.62678	$3.52096311E - 02$	$1.05628893E - 01$
128	32	0.00507813	$9.20828207E - 01$	0.82274	$1.40893468E - 02$	$4.22680404E - 02$
256	64	0.00253906	$9.26499013E - 01$	0.93359	$6.23149458E - 03$	$1.86944837E - 02$
512	128	0.00126953	$9.29347330E - 01$	0.99344	$2.87438181E - 03$	$8.62314542E - 03$
1024	256	0.00063477	$9.30754497E - 01$	1.01732	$1.37398755E - 03$	$4.12196265E - 03$

3.4 Caso 7b: Invíscido CDS com malha não-uniforme em x

Tabela 41: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$1.26156416E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$1.10036482E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$1.05086898E + 00$	1.70347	$-2.19316203E - 02$	$6.57948609E - 02$
64	16	0.01015625	$1.04829564E + 00$	4.26560	$-1.41127593E - 04$	$4.23382778E - 04$
128	32	0.00507813	$1.04934574E + 00$	---	---	---
256	64	0.00253906	$1.04963558E + 00$	1.85720	$1.10497456E - 04$	$3.31492367E - 04$
512	128	0.00126953	$1.04975839E + 00$	1.23875	$9.03094278E - 05$	$2.70928283E - 04$
1024	256	0.00063477	$1.04980648E + 00$	1.35296	$3.09329973E - 05$	$9.27989920E - 05$

Tabela 42: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$9.37002389E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$9.33237258E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$9.33287008E - 01$	---	---	---
64	16	0.01015625	$9.32553957E - 01$	---	---	---
128	32	0.00507813	$9.32168107E - 01$	0.92587	$-4.28802834E - 04$	$1.28640850E - 03$
256	64	0.00253906	$9.32125958E - 01$	3.19447	$-5.16886833E - 06$	$1.55066050E - 05$
512	128	0.00126953	$9.32233999E - 01$	---	---	---
1024	256	0.00063477	$9.32228433E - 01$	---	---	---

3.5 Caso 10a: Viscoso UDS com malha uniforme

Tabela 43: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$1.67002450E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$1.43508823E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$1.24946658E + 00$	0.33990	$-6.98685094E - 01$	$2.09605528E + 00$
64	16	0.01015625	$1.14958245E + 00$	0.89404	$-1.16364938E - 01$	$3.49094815E - 01$
128	32	0.00507813	$1.10080927E + 00$	1.03417	$-4.65423374E - 02$	$1.39627012E - 01$
256	64	0.00253906	$1.07576980E + 00$	0.96188	$-2.64170655E - 02$	$7.92511966E - 02$
512	128	0.00126953	$1.06257734E + 00$	0.92449	$-1.46907208E - 02$	$4.40721623E - 02$
1024	256	0.00063477	$1.05555915E + 00$	0.91054	$-7.97744800E - 03$	$2.39323440E - 02$

Tabela 44: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$8.06166053E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$8.39029005E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$8.74150198E - 01$	---	---	---
64	16	0.01015625	$8.98468623E - 01$	0.53029	$5.47439068E - 02$	$1.64231720E - 01$
128	32	0.00507813	$9.13330068E - 01$	0.71048	$2.33544500E - 02$	$7.00633501E - 02$
256	64	0.00253906	$9.21033001E - 01$	0.94809	$8.28875776E - 03$	$2.48662733E - 02$
512	128	0.00126953	$9.24338637E - 01$	1.22048	$2.48498886E - 03$	$7.45496657E - 03$
1024	256	0.00063477	$9.26964862E - 01$	0.33194	$1.01515054E - 02$	$3.04545161E - 02$

3.6 Caso 10b: Viscoso CDS com malha uniforme

Tabela 45: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$1.31731385E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$1.16560859E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$1.08710072E + 00$	0.95036	$-8.42036004E - 02$	$2.52610801E - 01$
64	16	0.01015625	$1.05274042E + 00$	1.19209	$-2.67428291E - 02$	$8.02284873E - 02$
128	32	0.00507813	$1.05003749E + 00$	3.66815	$-2.30777027E - 04$	$6.92331081E - 04$
256	64	0.00253906	$1.04966290E + 00$	2.85112	$-6.02664580E - 05$	$1.80799374E - 04$
512	128	0.00126953	$1.04934083E + 00$	0.21794	$-1.97502422E - 03$	$5.92507267E - 03$
1024	256	0.00063477	$1.04893264E + 00$	---	---	---

Tabela 46: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$9.35353863E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$9.29815933E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$9.31332635E - 01$	---	---	---
64	16	0.01015625	$9.32136046E - 01$	0.91673	$9.04918093E - 04$	$2.71475428E - 03$
128	32	0.00507813	$9.31333945E - 01$	---	---	---
256	64	0.00253906	$9.30206838E - 01$	---	---	---
512	128	0.00126953	$9.29301124E - 01$	0.31550	$-3.70526083E - 03$	$1.11157825E - 02$
1024	256	0.00063477	$9.29737873E - 01$	---	---	---

3.7 Caso 13a: Viscoso UDS com malha uniforme e refrigeração

Tabela 47: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$1.67005107E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$1.43512815E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$1.24953135E + 00$	0.34002	$-6.98335472E - 01$	$2.09500642E + 00$
64	16	0.01015625	$1.14969251E + 00$	0.89450	$-1.16231676E - 01$	$3.48695027E - 01$
128	32	0.00507813	$1.10100843E + 00$	1.03615	$-4.63327480E - 02$	$1.38998244E - 01$
256	64	0.00253906	$1.07615274E + 00$	0.96987	$-2.59272737E - 02$	$7.77818210E - 02$
512	128	0.00126953	$1.06332590E + 00$	0.95441	$-1.36777643E - 02$	$4.10332929E - 02$
1024	256	0.00063477	$1.05697596E + 00$	1.01435	$-6.22547952E - 03$	$1.86764386E - 02$

Tabela 48: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$8.06193916E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$8.39090192E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$8.74292271E - 01$	---	---	---
64	16	0.01015625	$8.98782319E - 01$	0.52347	$5.59896141E - 02$	$1.67968842E - 01$
128	32	0.00507813	$9.13990620E - 01$	0.68734	$2.49190615E - 02$	$7.47571846E - 02$
256	64	0.00253906	$9.22342380E - 01$	0.86471	$1.01730426E - 02$	$3.05191278E - 02$
512	128	0.00126953	$9.26371266E - 01$	1.05170	$3.75489111E - 03$	$1.12646733E - 02$
1024	256	0.00063477	$9.27825778E - 01$	1.46985	$8.21795011E - 04$	$2.46538503E - 03$

3.8 Caso 13b: Viscoso CDS com malha uniforme e refrigeração

Tabela 49: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$1.31732940E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$1.16563342E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$1.08714772E + 00$	0.95068	$-8.41412907E - 02$	$2.52423872E - 01$
64	16	0.01015625	$1.05282907E + 00$	1.19344	$-2.66662276E - 02$	$7.99986827E - 02$
128	32	0.00507813	$1.05022241E + 00$	3.71872	$-2.14262998E - 04$	$6.42788995E - 04$
256	64	0.00253906	$1.05003724E + 00$	3.81530	$-1.41595038E - 05$	$4.24785114E - 05$
512	128	0.00126953	$1.05008233E + 00$	---	---	---
1024	256	0.00063477	$1.05034117E + 00$	---	---	---

Tabela 50: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	9.35394992E - 01	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	9.29902391E - 01	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	9.31512687E - 01	---	---	---
64	16	0.01015625	9.32501139E - 01	0.70408	1.57119919E - 03	4.71359756E - 03
128	32	0.00507813	9.32050349E - 01	---	---	---
256	64	0.00253906	9.31560366E - 01	---	---	---
512	128	0.00126953	9.31112136E - 01	0.12849	-4.81183100E - 03	1.44354930E - 02
1024	256	0.00063477	9.30286848E - 01	---	---	---

3.9 Caso 16a: Viscoso UDS com malha não-uniforme PG

Tabela 51: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	1.47361362E + 00	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	1.26399651E + 00	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	1.14823585E + 00	0.85661	-1.42776840E - 01	4.28330520E - 01
64	16	0.01015625	1.09852754E + 00	1.21959	-3.74084587E - 02	1.12225376E - 01
128	32	0.00507813	1.07441424E + 00	1.04366	-2.27173581E - 02	6.81520742E - 02
256	64	0.00253906	1.06184700E + 00	0.94016	-1.36787669E - 02	4.10363006E - 02
512	128	0.00126953	1.05529216E + 00	0.93904	-7.14620428E - 03	2.14386128E - 02

Tabela 52: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	8.07804316E - 01	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	8.56985869E - 01	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	8.88712673E - 01	0.63242	5.76685562E - 02	1.73005669E - 01
64	16	0.01015625	9.07883891E - 01	0.72676	2.92726734E - 02	8.78180202E - 02
128	32	0.00507813	9.17608637E - 01	0.97921	1.00112194E - 02	3.00336582E - 02
256	64	0.00253906	9.23156772E - 01	0.80966	7.37004239E - 03	2.21101272E - 02
512	128	0.00126953	9.26334483E - 01	0.80401	4.25993273E - 03	1.27797982E - 02

3.10 Caso 13b: Viscoso CDS com malha não-uniforme PG

Tabela 53: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	NaN	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	1.10289764E + 00	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	1.05312741E + 00	---	---	---
64	16	0.01015625	1.04953568E + 00	3.79253	-2.79362917E - 04	8.38088751E - 04
128	32	0.00507813	1.04966197E + 00	---	---	---
256	64	0.00253906	1.04942477E + 00	---	---	---

Tabela 54: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	<i>NaN</i>	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$9.31580152E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$9.32338245E - 01$	---	---	---
64	16	0.01015625	$9.30813933E - 01$	---	---	---
128	32	0.00507813	$9.29412795E - 01$	0.12156	$-1.59381566E - 02$	$4.78144699E - 02$
256	64	0.00253906	$9.29455222E - 01$	---	---	---

3.11 Caso 19a: Viscoso UDS com malha não-uniforme PF

Tabela 55: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$1.49672941E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$1.25895586E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$1.14895460E + 00$	1.11207	$-9.47019019E - 02$	$2.84105706E - 01$
64	16	0.01015625	$1.09965686E + 00$	1.15793	$-4.00350094E - 02$	$1.20105028E - 01$
128	32	0.00507813	$1.07495773E + 00$	0.99706	$-2.48000674E - 02$	$7.44002023E - 02$
256	64	0.00253906	$1.06184077E + 00$	0.91303	$-1.48551360E - 02$	$4.45654081E - 02$
512	128	0.00126953	$1.05485174E + 00$	0.90827	$-7.97113563E - 03$	$2.39134069E - 02$

Tabela 56: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$8.35956368E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$8.58152959E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$8.89538246E - 01$	---	---	---
64	16	0.01015625	$9.08372220E - 01$	0.73675	$2.82614718E - 02$	$8.47844154E - 02$
128	32	0.00507813	$9.17948828E - 01$	0.97575	$9.90686078E - 03$	$2.97205823E - 02$
256	64	0.00253906	$9.23533534E - 01$	0.77803	$7.81305359E - 03$	$2.34391608E - 02$
512	128	0.00126953	$9.26895742E - 01$	0.73207	$5.08636254E - 03$	$1.52590876E - 02$

3.12 Caso 19b: Viscoso CDS com malha não-uniforme PF

Tabela 57: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$1.26963881E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$1.10054847E + 00$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$1.05269807E + 00$	1.82119	$-1.88853597E - 02$	$5.66560790E - 02$
64	16	0.01015625	$1.04971791E + 00$	4.00507	$-1.97934317E - 04$	$5.93802950E - 04$
128	32	0.00507813	$1.04953536E + 00$	4.02899	$-1.19124784E - 05$	$3.57374351E - 05$
256	64	0.00253906	$1.04906615E + 00$	---	---	---

Tabela 58: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o impulso específico no vácuo.

n_x	n_y	h	ϕ	p_U	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
8	2	0.08125000	$9.44113157E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	4	0.04062500	$9.31493438E - 01$	não se aplica	não se aplica	não se aplica
32	8	0.02031250	$9.32690669E - 01$	---	---	---
64	16	0.01015625	$9.30960519E - 01$	---	---	---
128	32	0.00507813	$9.29301280E - 01$	0.06038	$-3.88240407E - 02$	$1.16472122E - 01$
256	64	0.00253906	$9.29540170E - 01$	---	---	---