Sistemas Energéticos

3º ano 6º semestre

Aula 20

Aula 20: Dimensionamento de Chaminés

Tópicos

- ***Extracção Natural***
- ***Extracção forçada***
- ***Extracção Induzida***
- ***Dimensionamento da Chaminé***
- ***Equação de Bernulli***
- ***Perdas de Carga***
- ***Dimensionamento da altura da chaminé***

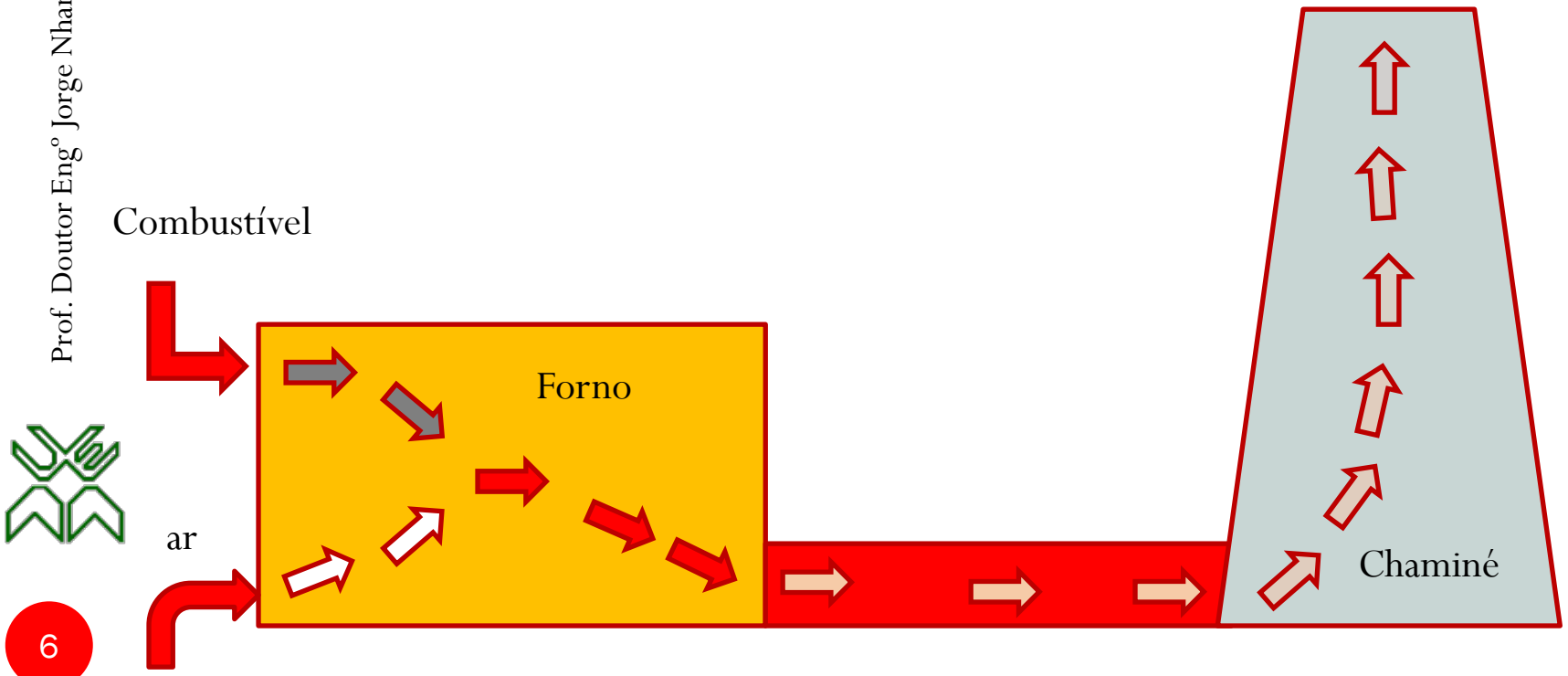
20 - Chaminé

20.1-Extracção Natural

A movimentação do ar e dos gases de combustão é garantida pela acção de ventiladores associada ao efeito de sucção da chaminé. De acordo com o tipo de instalação, a fornalha do forno pode operar em depressão ou pressurizada.

Na extracção natural a fornalha opera sempre em depressão, garantindo-se o suprimento adequado de ar e a remoção dos gases indirectamente por aspiração da chaminé. Actualmente a sua aplicação se restringe a alguns fornalhas de capacidade baixa e que não impliquem altas perdas de carga ou fluxo de gases.

20.1-Extracção Natural



20.2 -Extracção Forçada

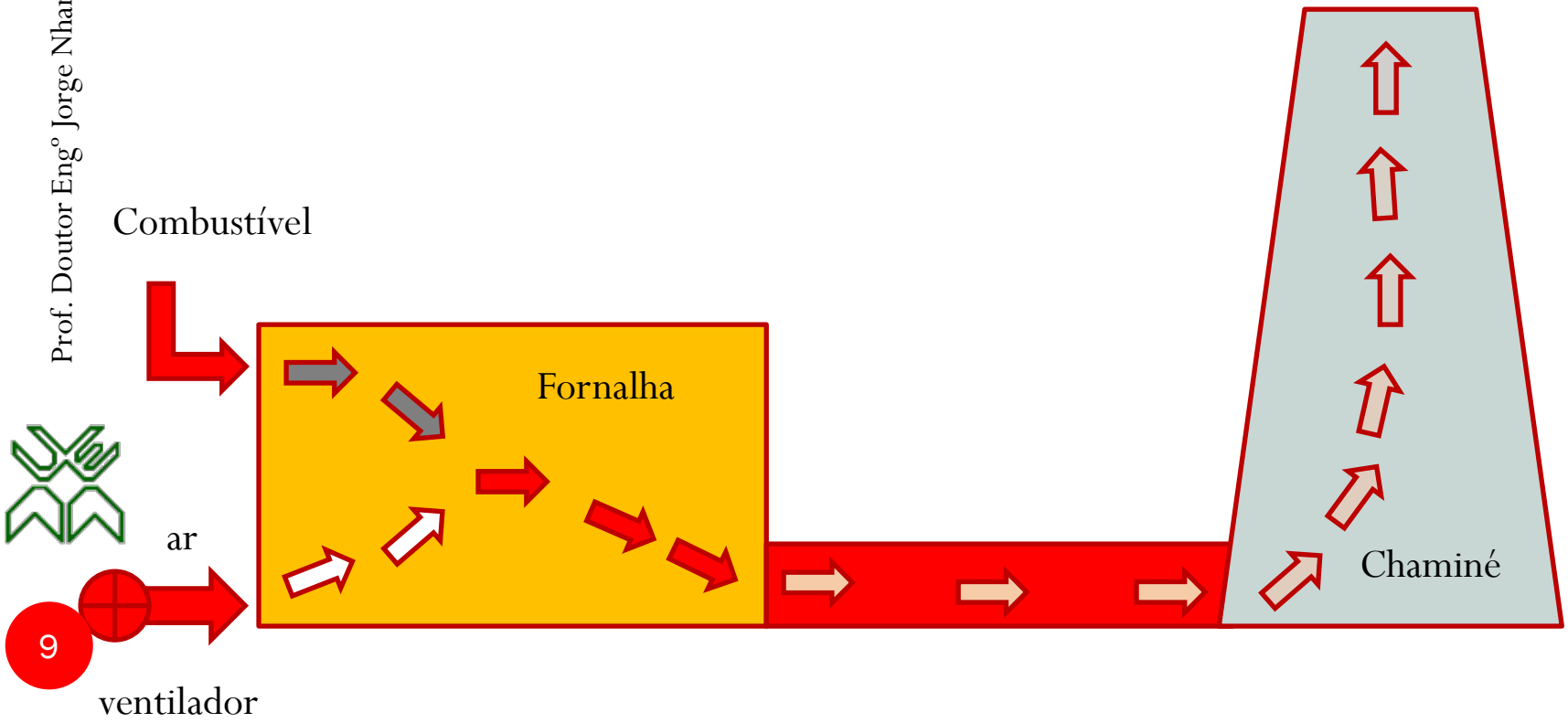
A opção de uso de ventiladores ou de aspiradores caracteriza as chamadas extracção artificial ou mecânica.

Com o aumento da capacidade das fornalhas e envolvimento de dispositivos complementares (pré-aquecedores de ar, termopermutadores de recuperação etc.) as perdas de carga atingiram valores tais que tornaram inviável o seu funcionamento apenas com extracção natural.

20.2 -Extracção Forçada

Na extracção mecânica, as perdas de carga são superadas pela acção combinada da chaminé e dos ventiladores. As fornalhas adaptadas para a extracção forçada operam com ventiladores que geram pressões positivas no interior da fornalha de modo a superar as perdas de carga e forçar os gases a se deslocarem no sentido da chaminé.

20.2 -Extracção Forçada



20.3 - Extracção Induzida

Há fornalhas que para além de ventiladores também possuem extractores na base da chaminé e funcionam no esquema de extracção chamado induzida ou balanceada.

Os ventiladores são dimensionados com base na vazão e nas perdas de carga causadas pelo deslocamento do ar de combustão.

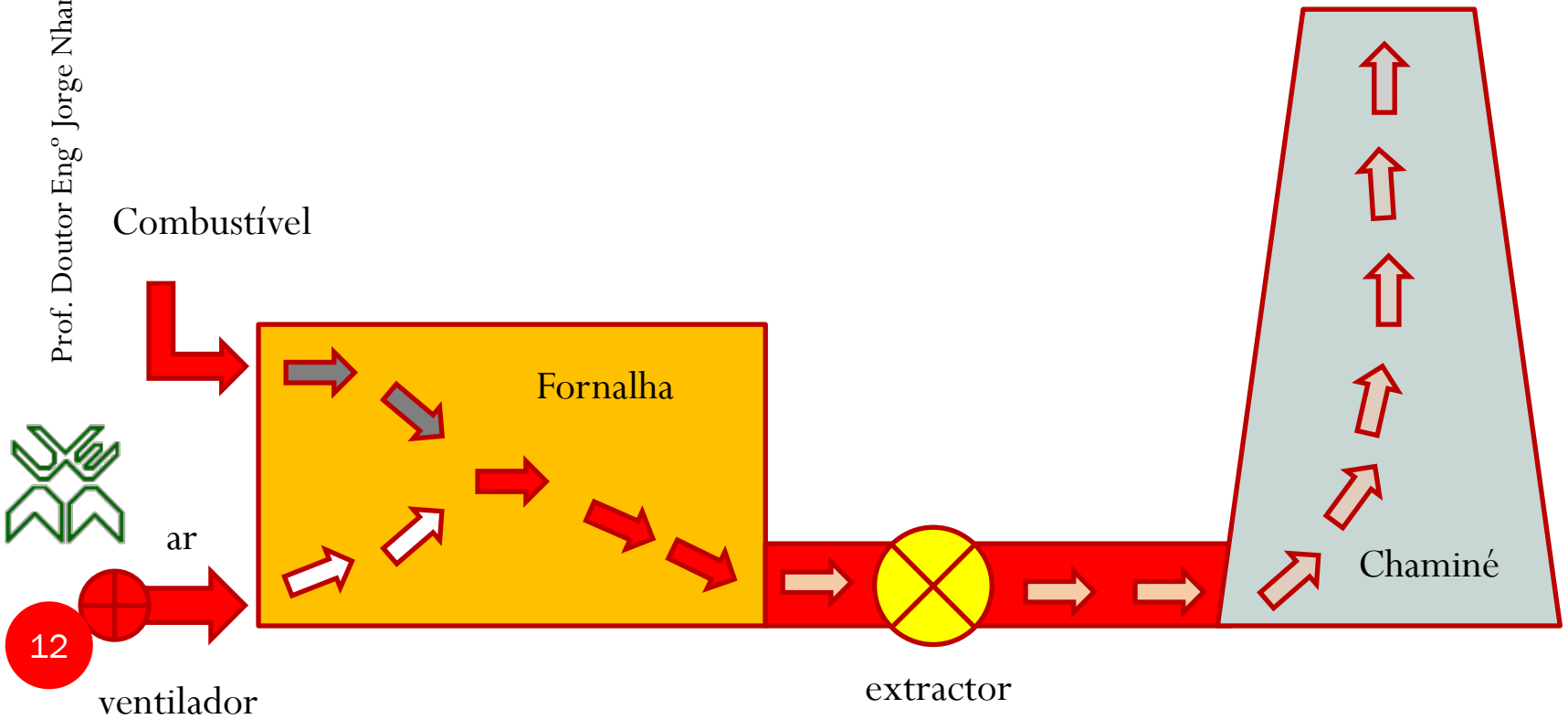
20.3 - Extracção Induzida

O efeito combinado de exaustores e da chaminé deve ser suficiente para superar as perdas de carga do circuito de gases e ainda impor velocidades adequadas para que os gases sejam efectivamente extraídos pelo topo da chaminé.

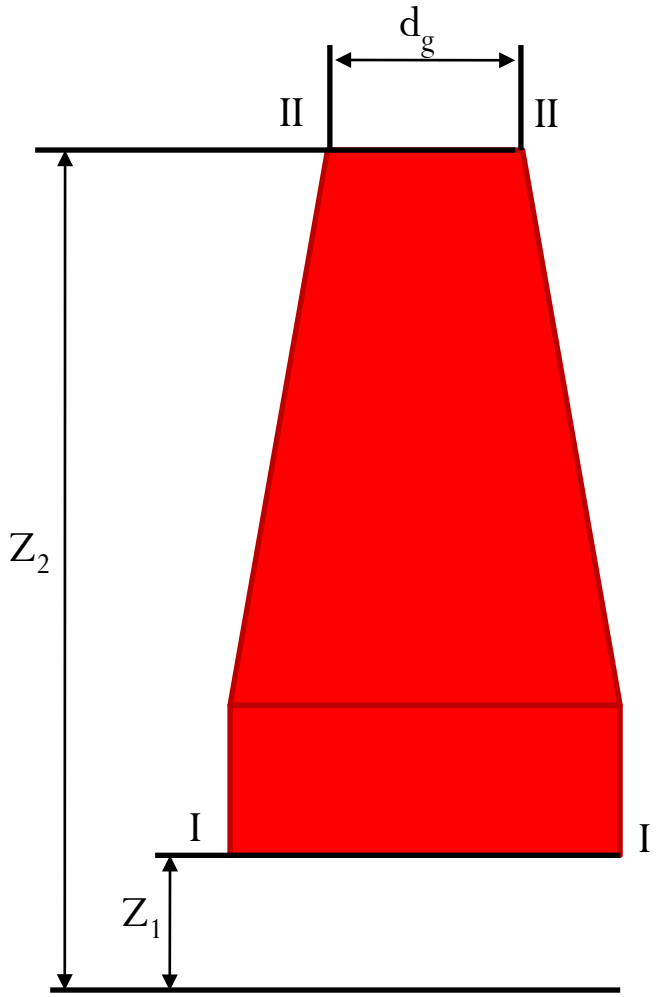
A pressão no interior da fornalha é normalmente negativa na faixa de -10 a -100 Pa (-1 a -10 mmH_20). A depressão aumenta à medida que os gases se deslocam para a chaminé.

20.3 - Extracção Induzida

Prof. Doutor Engº Jorge Nhambiu ◊Sistemas Energéticos



20.4 -Dimensionamento da Chaminé



- Z_1 – altura geométrica da base da chaminé.
- Z_2 – altura geométrica da garganta da chaminé.
- d_g – diâmetro da garganta da chaminé.

20.4 -Dimensionamento da Chaminé

$$\frac{c_1^2}{2}\rho_1 + P_1 + z_1\rho_1 g = \frac{c_2^2}{2}\rho_2 + P_2 + z_2\rho_2 g + \Delta h_{atrito} \qquad \textbf{(20.1)}$$

Se na Secção I – I Se tiver-se depressão e altura h_1, e na Secção II – II a altura h_2, assim:

$$B_1 - h_1 = P_1 \qquad \text{e} \qquad B_2 - h_2 = P_2 \qquad \textbf{(20.2)}$$

Onde B_1 e B_2 são pressões barométricas

$$(B_1 - B_2) + (h_2 - h_1) - (Z_2 - Z_1)\rho_{gás} g = \frac{c_2^2 - c_1^2}{2}\rho g + \Delta h_{atr} \qquad \textbf{(20.3)}$$

A resistência hidráulica total será:

$$h_{total} = \frac{c_2^2 - c_1^2}{2}\rho g + \Delta h_{atr} \qquad \textbf{(20.4)}$$

20.4 -Dimensionamento da Chaminé

Então:

$$h_{tot} = (h_2 - h_1) - (Z_2 - Z_1)(\rho_{ar} - \rho_{gás})g \qquad \textbf{(20.5)}$$

O valor da extracção natural é dado por:

$$h_{\text{extracção natural}} = (Z_2 - Z_1)(\rho_{ar} - \rho_{gás})g \qquad \textbf{(20.6)}$$

Assim a resistência hidráulica total é superada pela diferença entre as depressões e as extracções naturais

Os ventiladores e os exaustores na extracção artificial são dimensionados com base na vazão e nas perdas de carga.

20.4 -Dimensionamento da Chaminé

A potência necessária pode ser calculada pela equação:

$$N_i = \frac{\dot{M} \cdot \Delta Pv}{\rho \cdot \eta} \ [\mathrm{W}] \qquad \textbf{(20.7)}$$

Onde:

N – potência interna do ventilador em W

M - fluxo mássico de ar em Kg/s

ΔPv - perda de carga a ser superada pelo ventilador

η - rendimento do ventilador (para ventiladores centrífugos admite-se 0,65 a 0,75)

Para compensar as sobrecargas de vazão e as perdas de carga durante a operação do equipamento, recomenda-se adoptar coeficientes de segurança na ordem de 20 a 40%

20.4 -Dimensionamento da Chaminé

A equação da carga hidráulica do ventilador é então dada pela equação:

$$H_{vent} = h^*_{total} - \left(h^*_2 - h_1\right) - h_{\text{extracção natural}} \qquad \textbf{(20.8)}$$

Então a carga hidráulica do ventilador utiliza-se para superar uma parte da resistência hidráulica total que não pode ser superada pela extracção e depressão.

Se no percurso dos gases a sua pressão for maior que a pressão atmosférica:

$$H_{vent} = h_{atrito} + \frac{\left(P_2 - P_1\right)}{\rho g} - h_{\text{extracção natural}} \qquad \textbf{(20.9)}$$

20.4 -Dimensionamento da Chaminé

Nas unidade providas de sistemas de extracção balanceados a câmara de combustão normalmente opera em depressão devido ao efeito combinado dos exaustores e da chaminé. Os ventiladores são dimensionados com base na vazão e nas perdas de carga causadas pelo deslocamento do ar de combustão.

20.4 -Dimensionamento da Chaminé

A capacidade dos ventiladores determina-se da expressão:

$$\dot{V}_v = \beta_1 \dot{B}_c V_{ar}^o \left(\alpha_f - \Delta\alpha_f + \Delta\alpha^* - \Delta\alpha_p\right) \frac{t_{\text{ar } frio} + 273}{273} \frac{1{,}01 \cdot 10^5}{P_B} \quad \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right] \qquad \textbf{(20.10)}$$

Onde:

β_1 – coeficiente de reserva da alimentação

$G_o > 5{,}6$ kg/s $\quad \beta = 1{,}05$

$G_o < 5{,}6$ kg/s $\quad \beta = 1{,}1$

a_f – excesso de ar na fornalha

$\Delta a_f - \Delta a_p$ – infiltração do ar na fornalha e nos dispositivos de preparação do combustível

$t_{\text{ar frio}}$ – temperatura do ar frio na entrada do ventilador

P_B – pressão barométrica *Pa*

Δa^* - escape de ar após os aquecedores de ar

B_c – consumo de combustível

20.4 -Dimensionamento da Chaminé

A potência do motor eléctrico para accionar o ventilador determina-se de:

$$N_v = \left(\beta_2 V_v^{\&} H_v\right)\frac{100}{\eta_e^v} \quad [\mathrm{W}] \qquad \textbf{(20.11)}$$

Onde:

$\beta_2 = 1{,}1$ – coeficiente de reserva da potência eléctrica

H_v – altura da pressão desenvolvida pelo ventilador

η_e^v – rendimento do ventilador

20.4 -Dimensionamento da Chaminé

A capacidade do exaustor determina-se de:

$$\dot{V}_{ex} = \beta_1 \dot{B}_c \left[V_g^o + (\alpha_{ex} - 1) V_{ar}^o \right] \frac{t_{ex} + 273}{273} \cdot \frac{1{,}01 \cdot 10^5}{P_B} \quad \left[\frac{m^3}{s} \right] \qquad \textbf{(20.12)}$$

Onde

V_g – é o volume teórico dos produtos de combustão completa

a_{ex} – coeficiente de excesso de ar até ao exaustor de gases

t_{ex} – temperatura dos gases até ao exaustor

20.4 -Dimensionamento da Chaminé

A potência do motor eléctrico que acciona o exaustor calcula-se pela expressão:

$$N_{ex} = \frac{\beta_2 V_{ex} H_{ex}}{\eta_e^{ex}} 100 \quad [\mathrm{W}] \qquad \textbf{(20.13)}$$

Onde:

H_{ex} – carga calculada da pressão completa do exaustor

η_e^{ex} – rendimento do exaustor

O volume dos gases que passam pela chaminé calcula-se de:

$$V_g^{ch} = B_c \left[V_g^o + (\alpha_{ch} - 1) V_{ar} \right] \frac{t_{g1}^{ch} + 273}{273} \cdot \frac{1{,}01 \cdot 10^5}{P_B} \quad \left[\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}} \right] \qquad \textbf{(20.14)}$$

Onde:

a_{ch} – coeficiente de excesso de ar até a chaminé

t_{g1}^{ch} – temperatura dos gases até a chaminé

20.5 -Equação de Bernulli

O objectivo dos cálculos aerodinâmicos nas fornalhas é o de avaliar as perdas de carga hidráulica nas condutas de ar e de gases de escape da fornalha, para se seleccionar os ventiladores exaustores e calcular a altura da chaminé.

Da Equação de Bernulli obtém-se:

$$\frac{c^2}{2} + u + Pv + Zg = H = cte \qquad \textbf{(20.15)}$$

Que é a representação da Primeira Lei da Termodinâmica para sistemas abertos e mostra que a energia do fluxo em qualquer secção da conduta é uma grandeza constante. Ela é obtida desprezando as forças centrifugas e as forças de atrito.

20.5 -Equação de Bernulli

Durante a passagem do fluído por tubagens na realidade sempre existem forças de atrito entre o fluído e as paredes e entre as camadas de fluído.

Uma parte da energia do fluxo gasta-se para superar estas forças e transforma-se em calor que é absorvido pelo próprio fluído. As forças de atrito também provocam umas perdas de carga ao longo das condutas que medem-se em fracções da energia cinética do fluxo.

20.5 -Equação de Bernulli

Geralmente nos cálculos de resistência hidráulica, a energia cinética está relacionada com 1 m^3 do fluxo do fluído. Então a unidade de medida de energia é [J/m^3] que é a mesma unidade da pressão.

$$P\left[\frac{N}{m^2}\right] \equiv \left[\frac{N \cdot m}{m^2 m}\right] \equiv \left[\frac{J}{m^3}\right]$$

20.6 -Perdas de Carga

As perdas de energia cinética por atrito de $1m^3$ do fluxo são numericamente iguais à queda de pressão.

À fracção das perdas de energia cinética, que significa o mesmo que perdas de carga, chama-se coeficiente de resistência hidráulica e geralmente designa-se pela letra grega ζ

Então as perdas da energia cinética ou quedas de pressão determinam-se de:

$$\Delta P = \xi \frac{c^2}{2} \rho \qquad \left[\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}\right] \equiv [Pa] \qquad \textbf{(20.16)}$$

20.6 -Perdas de Carga

Da experiência sabe-se que o coeficiente de resistência hidráulica exprime-se por:

$$\xi = \lambda \frac{l}{d} \qquad \textbf{(20.17)}$$

Onde:

λ - é o coeficiente de atrito que depende do regime do movimento, do estado da superfície do tubo e espécie e do tipo de fluido no escoamento. Determina-se de gráficos ou de equações empíricas

l – é o comprimento da tubagem [m]

d – é o diâmetro do tubo [m]

20.6 -Perdas de Carga

Substituindo a Equação 20.17 na 20.16, obtém-se a expressão para calcular a resistência de atrito:

$$\Delta P = \lambda \frac{lc^2}{2d} \rho = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho}{2} \left(\frac{\dot{V}}{S} \right)^2 \qquad \textbf{(20.18)}$$

O coeficiente de atrito depende do número de Reynolds e calcula-se usando expressões empíricas ou pelo diagrama de Moody

20.6 -Perdas de Carga

Para escoamento laminar Re < 2320 tem-se para condutas circulares:

$$\lambda = 64/\mathrm{Re} \qquad (20.19)$$

Para condutas de secção transversal rectangular

$$\lambda = \frac{A}{\mathrm{Re}} \qquad (20.20)$$

O número de Reynolds calcula-se de:

$$\mathrm{Re} = \frac{c \cdot d_{eq}}{\mu} \qquad (20.21)$$

20.6 -Perdas de Carga

O diâmetro equivalente obtém-se:

$$d_{eq} = \frac{4S}{P} \qquad \textbf{(20.22)}$$

Onde

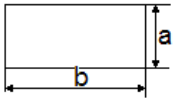
S - é a secção transversal do tubo

P - é o perímetro molhado

c - a velocidade do fluído

Coeficiente para o cálculo do diâmetro equivalente

Tabela 20.1 Coeficiente para o cálculo do diâmetro equivalente

Forma do canal	**d_{eq}**	**A**
1.Quadrado com lado "a"	a	57
2. Rectângulo **a/b** 		
0,10	1,81·a	85
0,20	1,67·a	76
0,25	1,60·a	73
0,33	1,50·a	69
0,50	1,30·a	62
3. Circular	d	64

20.6 -Perdas de Carga

Para regime turbulento, paredes lisas, $2320 < Re < 10^5$, $\Delta < 0{,}001$

$$\lambda = \frac{0{,}316}{Re^{0{,}25}}$$ Fórmula de Blasius **(20.23)**

Regime turbulento $Re > 10^5$, tubos lisos

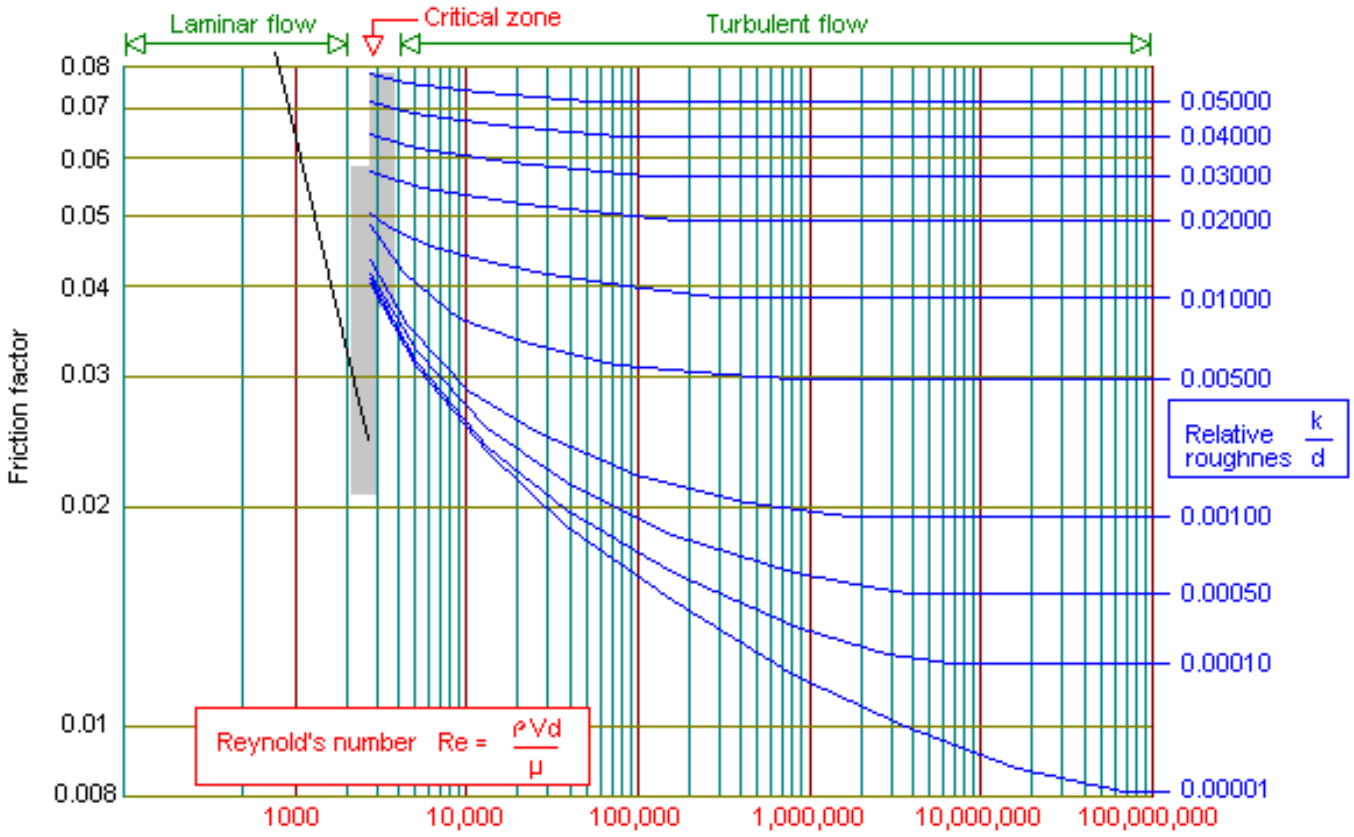
$$\lambda = 0{,}0032 + \frac{0{,}221}{Re^{0{,}237}}$$ **(20.24)**

Regime turbulento $Re > 2320$, tubos rugosos

$$\lambda = 0{,}11\left(\frac{\Delta}{d_{eq}} + \frac{68}{Re}\right)^{0{,}25}$$ **(20.25)**

Ou pelo diagrama de Moody

Diagrama de Moody



Onde k = Δ é a rugosidade absoluta e λ é o factor de fricção.

Rugosidade Absoluta

Tabela 20.2 Rugosidade absoluta de vários materiais

Material	Rugosidade Absoluta (mm)
Tubos de aço sem costura novos	0,02 - 0,05
Tubos de aço sem costura usados	0,15 - 0,30
Tubos de aço soldados novos	0,04 - 0,10
Tubos de ferro-gusa, novos	0,25 - 0,10
Tubos de aço ou ferro gusa, usados	0,80 - 1,50
Ductos de cimento novos	0,05 - 0,10
Ductos de cimento usados	0,60
Ductos de betão armado	0,30 - 0,80
Ductos de tijolos	7,50 - 10,00

Para estimativas preliminares admite-se (para o regime turbulento) $\lambda = 0,02 - 0,04$

20.7 -Perdas de Carga Totais

A queda de pressão também ocorre nos lugares onde o fluxo altera bruscamente de direcção ou há alteração da secção transversal da conduta (válvula, curvas, torneiras, junções etc) a isto chama-se resistência hidráulica local. Neste caso também é cómodo exprimir as perdas de energia em fracções da energia de movimento de $1m^3$ do fluido

$$\Delta P_l = \xi_l \frac{c^2}{2} \rho \qquad \textbf{(20.26)}$$

20.7 -Perdas de Carga Totais

O valor ζ_l chama-se coeficiente de resistência local e determina-se de prontuários técnicos em conformidade com o tipo de resistência local.

A resistência total de um fluído é dada por:

$$\Delta P = \Delta P_{at} + \sum \Delta P_l \qquad \textbf{(20.27)}$$

Factor de perdas de carga localizadas

Tabela 20.3 Factor de perdas de carga localizadas

Nº	Peça	ζ_l
1	Ampliação gradual	0,30
2	Controlador de vazão	2,50
3	Cotovelo de 90º (raio curto)	0,90
4	Cotovelo de 45º (raio curto)	0,40
5	Crivo	0,75
6	Curva de 90º (raio longo)	0,40
7	Curva de 45º (raio longo)	0,20
8	Curva de 22,5º (raio longo)	0,10
9	Entrada normal em canalização	0,50
10	Entrada de borda	1,00
11	Existência de pequena derivação	0,03
12	Junção	0,40

Nº	Peça	ζ_l
13	Medidor de venturi	2,50**
14	Redução gradual	0,15*
15	Contador de ângulo aberto	5,00
16	Contador de gaveta, aberto	0,20
17	Contador de globo, aberto	10,00
18	Saída de canalização	1,00
19	T, passagem directa	0,60
20	T, saída de lado	1,30
21	T, saída bilateral	1,80
22	Válvula de pé	1,75
23	Válvula de retenção	2,50

* Com base na velocidade maior (secção menor)

** Relativamente a velocidade na canalização

Velocidades Óptimas

Tabela 20.4 Velocidades Óptimas para Escoamentos

Tipo de fluído	Velocidade (m/s)
Sistemas hidráulicos P ≤ 16 Mpa	3 - 5
Sistemas hidráulicos P ≥16 Mpa	6 - 8
Sistemas pneumáticos	16 – 40
Sistemas pneumáticos (condutas grandes)	6 – 15

20.8 – Dimensionamento da altura do Chaminé

Para se determinar a altura da chaminé, determina-se primeiro todas as perdas no percurso dos gases desde a câmara até ao ponto de escape:

$$\sum \Delta P \qquad \textbf{(20.28)}$$

Introduz-se um coeficiente de perdas:

$$\Delta P = (1{,}2 - 1{,}3)\sum \Delta P \qquad \textbf{(20.29)}$$

A altura da chaminé calcula-se da fórmula empírica que toma em conta as condições térmicas e geométricas para se garantir a extracção dos gases.

20.8 – Dimensionamento da altura do Chaminé

$$H = \frac{\Delta P + \zeta \frac{c_{boca}^2}{2} \rho_{gás} \left(1 + \beta \cdot t_{boca}\right)}{g\left(\frac{\rho_{ar}}{1+\beta \cdot t_{ar}} - \frac{\rho_{gás}}{1+\beta \cdot \overline{t}_g}\right) - \frac{\lambda}{3d_{médio}} \frac{c_{médio}^2}{2} \rho_{gás} \left(1 + \beta \cdot \overline{t}_g\right)} \quad [\text{m}] \qquad \textbf{(20.30)}$$

Onde:

ζ – é o coeficiente de resistência local na saída da chaminé. Usa-se como valor médio ζ=1,06

c_{boca}, c_{base}- velocidades dos gases a saída e na base da chaminé respectivamente;

$\varrho_{gás}$ e ϱ_{ar} – são as densidades dos gases e do ar respectivamente;

t_{boca} – é a temperatura média dos gases e na boca da chaminé;

$\overline{t}_g$

t_{ar} – é a temperatura do ar ambiente;

λ - é o coeficiente de atrito na parede interior da chaminé;

$d_{médio}$ é o diâmetro médio da chaminé;

β=1/273

20.8 – Dimensionamento da altura do Chaminé

A temperatura dos gases a saída da chaminé determina-se de:

$$t_s = t_{base} - \Delta t \cdot H \quad [^oC] \qquad \textbf{(20.31)}$$

Onde Δt é a queda média de temperatura por metro de altura da chaminé (ºC/m) ou (K/m) que é dado por resultados experimentais que dependem do tipo de chaminé.

Tabela 20.5 valor de Δt para diferentes tipos de chaminés

Tipo de Chaminé	Δt [K/m]
1. Fabricada de tijolo	1 - 1,5
2. Fabricada de aço com revestimento interno	2 - 3
3. Fabricada de aço sem revestimento	3 – 4

20.8 – Dimensionamento da altura do Chaminé

O diâmetro da boca da chaminé é dado por:

$$d_{ch} = 1{,}13\sqrt{\dot{V}_g^{ch} / c_{gas}} \qquad [\mathrm{m}] \qquad \textbf{(20.32)}$$

$c_{gás}$ – velocidade dos gases a saída da chaminé

$c_{gás}$ = 4 – 8 m/s para extracção natural

$c_{gás}$ = 10 m/s para extracção artificial

$d_{base} = 1{,}5 \cdot d_{boca}$

Fórmula aproximada do cálculo da altura da chaminé

$$H = \frac{\Delta P_{ch}}{273\left(\frac{\rho_{ar}}{273+t_{ar}} - \frac{\rho_{gás}}{273+t_{gás}}\right)\frac{9{,}81Pa}{1{,}01\cdot 10^5}} \qquad [\mathrm{m}] \qquad \textbf{(20.33)}$$

Onde:

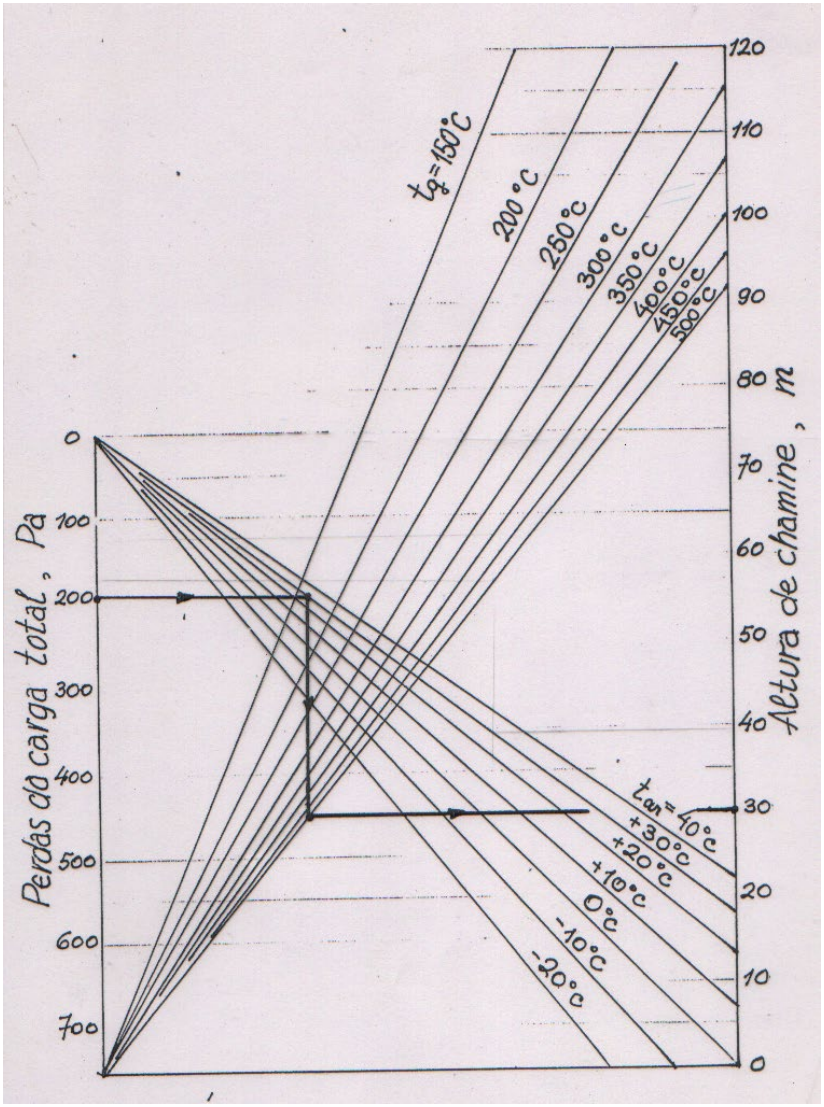
ΔP_{ch} – extracção feita pela chaminé

ρ_{ar} e ρ_g densidade do ara e dos gases de escape às condições normais

$t_{gás}$ – temperatura média dos gases da chaminé

t_{ar} – temperatura do ar ambiente

Ábaco para determinar a altura da chaminé



20.9 Marcha de Cálculo do Dimensionamento da Chaminé

1. A massa de trabalho do combustível calcula-se de:

$$C^t = C^d \cdot \frac{100 - W^t}{100}$$

$$H^t = H^d \cdot \frac{100 - W^t}{100}$$

$$N^t = N^d \cdot \frac{100 - W^t}{100}$$

$$O^t = O^d \cdot \frac{100 - W^t}{100}$$

$$S^t = S^d \cdot \frac{100 - W^t}{100}$$

$$A^t = A^d \cdot \frac{100 - W^t}{100}$$

$$W^t$$

20.9 Marcha de Cálculo do Dimensionamento da Chaminé

2. O volume teórico do ar é dado por:

$$V^{o}_{arNor} = 0,0889 \cdot \left(C^{t} + 0,375 \cdot S^{t}\right) + 0,265 \cdot H^{t} - 0,0333 \cdot O^{t} \left[\frac{m^3}{kg}\right]$$

3. O volume teórico dos Gases Biatómicos calcula-se de:

$$V^{o}_{RONor} = 0,79 \cdot V^{o}_{ar} + 0,008 \cdot N^{t} \left[\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{kg}}\right]$$

4. O volume teórico de água obtém-se de:

$$V^{o}_{H_2 0 Nor} = 0,1116 \cdot H^{t} + 0,0124 \cdot W^{t} + 0,0161 \cdot V^{o}_{ar} \left[\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{kg}}\right]$$

5. Volume dos Gases Triatómicos:

$$V_{R0_2 Nor} = 1,867 \cdot \left(C^{t} + 0,375 \cdot S^{t}\right)/100 \left[\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{kg}}\right]$$

20.9 Marcha de Cálculo do Dimensionamento da Chaminé

Prof. Doutor Engº Jorge Nhambiu ◊ Sistemas Energé

6. O volume real dos Gases Biatómicos calcula-se de:

$$V_{R_2 Nor} = V^{\circ}{}_{N_2} + (\alpha - 1) \cdot 0,79 \cdot V^{\circ}{}_{ar} \quad \left[\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{kg}}\right]$$

7. O volume real de Água obtém-se de:

$$V_{H_2 0 Nor} = V^{\circ}{}_{H_2 0} + 0,0161 \cdot (\alpha - 1) \cdot V^{\circ}{}_{ar} \quad \left[\frac{m^3}{kg}\right]$$

8. O volume dos Gases Triatómicos calcula-se de:

$$V_{R0_2 Nor} = 1,867.\left(C^t + 0,375.S^t\right)/100 \quad \left[\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{kg}}\right]$$

9. O volume do Oxigénio Excedente obtém-se de:

$$V_{0_2 Nor} = 0,21 \cdot (\alpha - 1) \cdot V^{\circ}{}_{ar} \quad \left[\frac{m^3}{kg}\right]$$

20.9 Marcha de Cálculo do Dimensionamento da Chaminé

10. O volume dos Gases de Combustão calcula-se de:

$$V_{gNor} = V_{R0_2\,Nor} + V_{RONor} + V_{H_2 0\,Nor} + V_{0_2\,Nor} \quad \left[\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{kg}}\right]$$

11. O fluxo volumétrico dos gases que passam pela chaminé calcula-se de:

$$V_g^{ch} = B_c \left[V_{gNor}^{o} + (\alpha_{ch} - 1) V_{ar}\right] \frac{t_{gB}^{ch} + 273}{273} \cdot \frac{1{,}01 \cdot 10^5}{P_B} \quad \left[\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}\right]$$

ou

$$V_g^{ch} = B_c \cdot V_{gNor} \cdot \frac{t_{gB}^{ch} + 273}{273} \cdot \frac{1{,}01 \cdot 10^5}{P_B} \quad \left[\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}\right]$$

20.9 Marcha de Cálculo do Dimensionamento da Chaminé

Prof. Doutor Engº Jorge Nhambiu ◊ Sistemas Energé

12. O diâmetro da saída da chaminé é dado por:

$$d_{boca} = 1{,}13\sqrt{V_g^{ch} / c_{g_{boca}}} \quad [\mathrm{m}]$$

$c_{gás}$ – velocidade dos gases a saída da chaminé

$c_{gás}$ = 4 – 8 m/s para extracção natural

$c_{gás}$ = 10 m/s para extracção artificial

13. O diâmetro da base da chaminé é dado por:

$$d_{base} = 1{,}5 \cdot d_{boca} \quad [\mathrm{m}]$$

14. O diâmetro médio da chaminé é dado por:

$$d_{médio} = \frac{d_{base} + d_{boca}}{2} \quad [\mathrm{m}]$$

20.9 Marcha de Cálculo do Dimensionamento da Chaminé

15. A velocidade dos gases na base da chaminé é dado por:

$$c_{g_{base}} = \frac{c_{g_{boca}} \cdot d_{boca}^2}{d_{base}^2} \quad \left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$$

16. A velocidade média dos gases na chaminé é dada por:

$$c_{medio} = 0,5 \cdot \left(c_{boca} + c_{base}\right) \quad \left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$$

20.9 Marcha de Cálculo do Dimensionamento da Chaminé

17. As perdas locais calculam-se de:

$$\Delta P_l = \xi_l \frac{c^2}{2} \rho \quad [Pa]$$

18. As perdas totais calculam-se de:

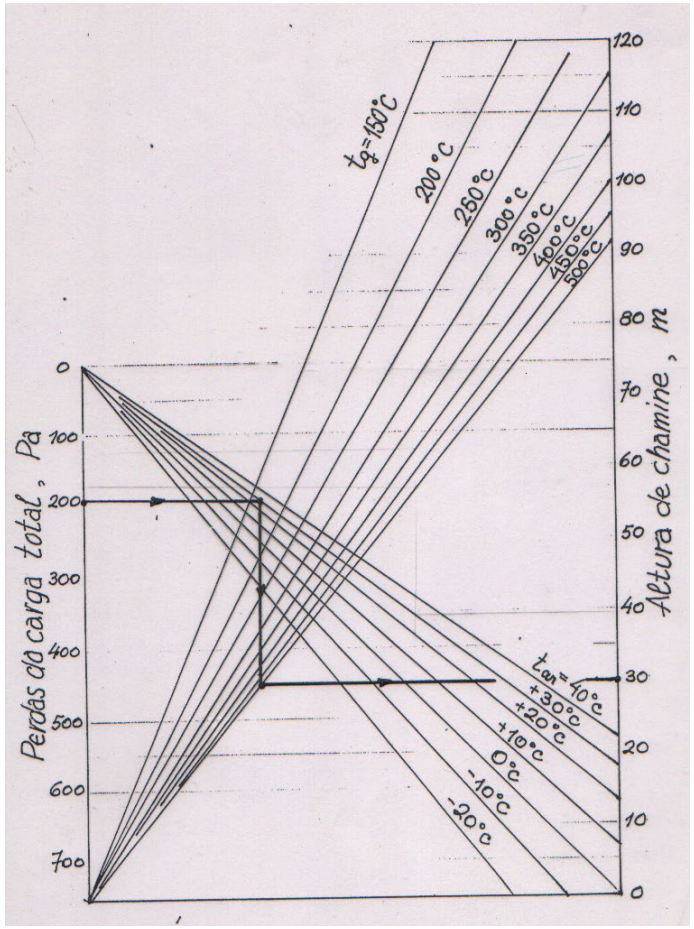
$$\Delta P = \Delta P_{at} + \sum \Delta P_l \quad [Pa]$$

19. As perdas são multiplicadas por um coeficiente de segurança :

$$\Delta P = (1,2 - 1,3) \sum \Delta P \quad [Pa]$$

20.9 Marcha de Cálculo do Dimensionamento da Chaminé

20. Do ábaco retira-se a altura aproximada da chaminé



20.9 Marcha de Cálculo do Dimensionamento da Chaminé

21. A temperatura dos gases a saída da chaminé determina-se de:

$$t_{boca} = t_{base} - \Delta t \cdot H \quad [^{o}C]$$

H – retira-se do ábaco

22. A temperatura média dos gases na chaminé determina-se de:

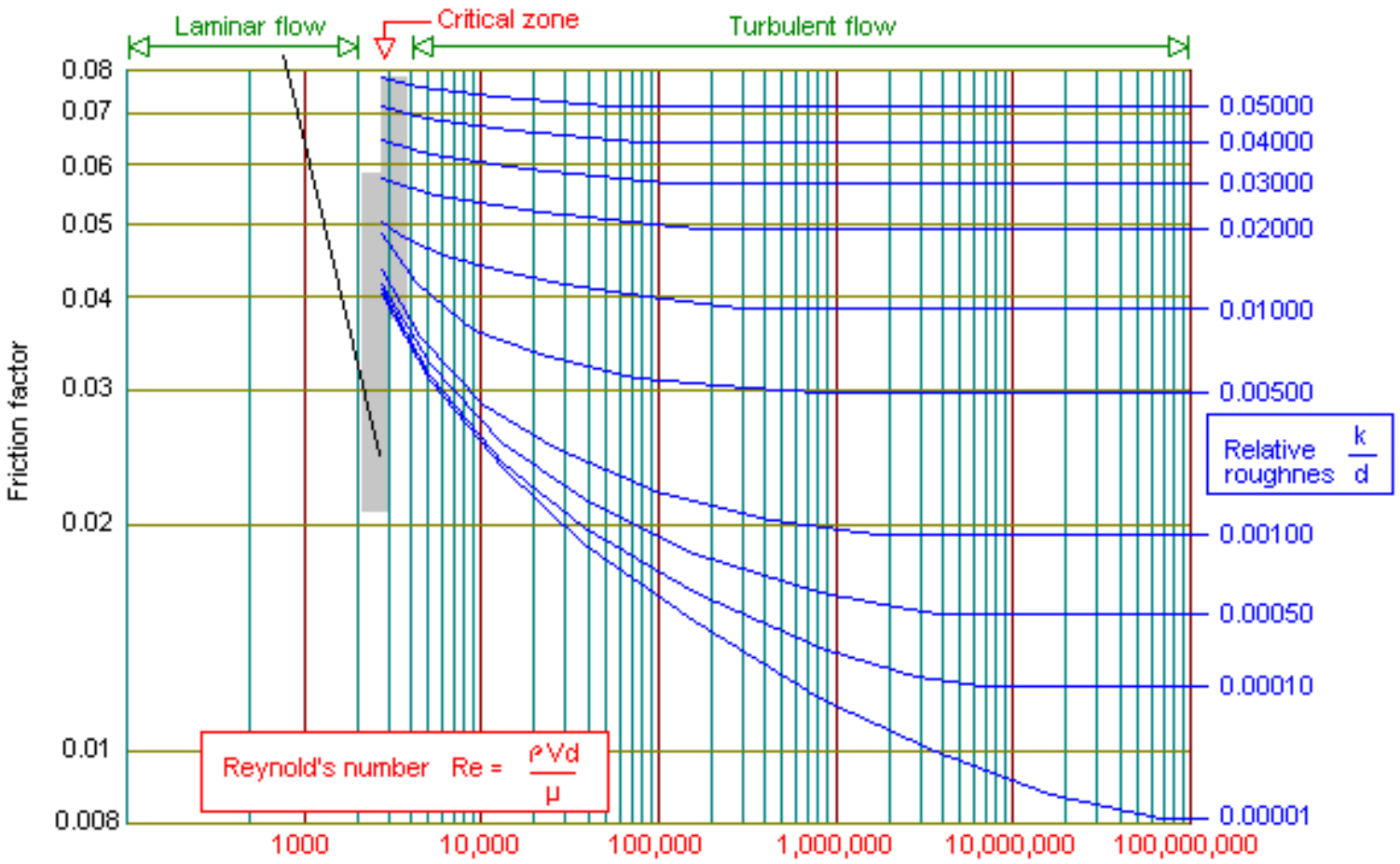
$$t_{média} = \frac{t_{base} + t_{boca}}{2} \quad [^{o}C]$$

23. Calcula-se o número de Reynolds de:

$$\mathrm{Re} = \frac{c_{média} \cdot d_{médio_{eq}}}{\nu} = \frac{\rho \cdot c_{média} \cdot d_{médio_{eq}}}{\mu}$$

20.9 Marcha de Cálculo do Dimensionamento da Chaminé

24. Pelo diagrama de Moody obtém-se o factor de fricção λ



20.9 Marcha de Cálculo do Dimensionamento da Chaminé

25. A altura da chaminé calcula-se da fórmula:

$$H = \frac{\Delta P + \zeta \frac{c_{boca}^2}{2} \rho_{gás} \left(1 + \beta \cdot t_{boca}\right)}{g\left(\frac{\rho_{ar}}{1+\beta \cdot t_{ar}} - \frac{\rho_{gás}}{1+\beta \cdot \overline{t}_g}\right) - \frac{\lambda}{3d_{médio}} \frac{c_{médio}^2}{2} \rho_{gás} \left(1 + \beta \cdot \overline{t}_g\right)} \quad [\text{m}]$$

Onde:

ζ – é o coeficiente de resistência local na saída da chaminé. Usa-se como valor médio ζ=1,06

c_{boca}, c_{base}- velocidades dos gases a saída e na base da chaminé respectivamente

$\rho_{gás}$ e ρ_{ar} – são as densidades dos gases e do ar

$\overline{t}_g$, t_{boca} – é a temperatura média dos gases e na boca da chaminé respectivamente.

t_{ar} – é a temperatura do ar ambiente

λ - é o coeficiente de atrito na parede interior da chaminé

$d_{médio}$ é o diâmetro médio da chaminé

β=1/273 é o coeficiente de expansão térmica