

SUMÁRIO

Prefácio	V
Convenções para Denominações	VII
Introdução	21
I Etapas para o Projeto	21
II Abrangência do Projeto	22
Considerações sobre o Dimensionamento de VBP	27
I Bases Teóricas	27
II Hipóteses	27

PRIMEIRA PARTE

Ventiladores com Rotores Radiais – VRA

Capítulo 1	33
Escoamento do Ar Rotor sem Atrito Infinitas Pás, Infinitamente próximas	33
1.1 Considerações	33

1.2 Trabalho Específico do Ar Consumido pelo Rotor e Diferença de Pressão Correspondente -----	34
1.3 Volume de Ar em Escoamento pelo Rotor -----	34
1.4 Geometria e Número de Pás -----	35
Capítulo 2 -----	37
Escoamento do Ar no Rotor sem Atrito e Número Finito de Pás de Espessura Finita -----	37
2.1 Trabalho Específico do Ar Consumido pelo Rotor e Diferença de Pressão Correspondente -----	37
2.2 Coeficientes de Estrangulamento para as Arestas de Entrada e de Saída -----	38
Capítulo 3 -----	41
Escoamento do Ar com Atrito no Rotor e na Carcaça, Número Finito de Pás de Espessura -----	41
3.1 Trabalho Específico Consumido pelo Ar e Diferença de Pressão Correspondente Considerando o Rendimento Interno em todo o VRA -----	41
3.2 Volume de Ar em Escoamento pelo Rotor e Rendimento de Fuga -----	43
Capítulo 4 -----	45
Potência e Diâmetro do Eixo -----	45

Capítulo 5	47
Rotor	47
5.1 Coeficientes e seus Valores Utilizados no Dimensionamento Preliminar de Rotores de VRA	47
5.2 Coeficientes de Pressão	47
5.3 Coeficiente de Diâmetro	48
5.4 Método Analítico para Traçado da Projeção Horizontal da Linha de Corrente Média do Escoamento no ar no Rotor com Variação Linear de $\tan\beta$	48
5.5 Roteiro para Traçado da Projeção Horizontal da Linha Média de Pá do Rotor com um Arco de Circunferência --	49
5.5.1 Dados de entrada	49
5.5.2 Cálculos e traçado	50
5.6 Algoritmo para Pré-Dimensionamento Aerodinâmico de VRA	51
5.6.1 Considerações	51
5.6.2 Dados de entrada	51
5.6.3 Cálculos e decisões	51
5.6.4 Saída	55
5.6.5 Comentários	55
5.7 Perda de Energia no Rotor e no Distribuidor	56
 Capítulo 6	 59
Empuxo Axial e Radial	59
6.1 Empuxo Axial	59
6.1.1 Equacionamento	59

6.1.2 Algoritmo-----	62
6.1.2.1 Dados de entrada -----	62
6.1.2.2 Cálculos e decisões-----	62
6.1.2.3 Saída -----	64
6.2 Empuxo Radial-----	64
Capítulo 7 -----	67
Carcaça -----	67
7.1 Considerações -----	67
7.2 Espiral Externa -----	67
7.2.1 Equacionamento -----	67
7.2.2 Algoritmo -----	68
7.2.2.1 Dados de entrada -----	68
7.2.2.2 Cálculos e decisões -----	68
7.3 Espiral Interna -----	69
7.3.1 Equacionamento -----	69
7.3.2 Algoritmo -----	71
7.3.2.1 Dados de entrada -----	71
7.3.2.2 Cálculos e decisões -----	71
Capítulo 8 -----	73
Perda de Energia -----	73
8.1 Perda de Energia no Injetor da Entrada e Difusor da Saída --	73
8.2 Perda de Energia na Espiral -----	74
8.3 Perda de Energia nas Transições -----	74
8.4 Perda de Potência por Atrito Lateral -----	74
8.5 Perda de Volume por Fuga nos Labirintos e Furos -----	75

8.6 Labirintos -----	75
8.6.1 Dados de entrada -----	75
8.6.2 Cálculos e decisões -----	75
8.7 Furos -----	76
8.7.1 Dados de entrada -----	76
8.7.2 Cálculos e decisões -----	76
Capítulo 9 -----	79
Algoritmo para Cálculo das Perdas de Energia e do	
Rendimento Interno -----	79
9.1 Dados de Entrada -----	79
9.2 Cálculos e Decisões -----	79
9.3 Saída -----	84
9.4 Comentários -----	84
Capítulo 10 -----	87
Projeto do Rotor -----	87
10.1 Considerações -----	87
10.2 Pás de Simples Curvatura – $20 \leq n_{qA} < 125$ -----	88
10.2.1 Projeção de pá do rotor de simples curvatura rebatida no plano vertical e projeto preliminar do corte longitudinal no rotor -----	88
10.2.2 Projeção das pás do rotor de simples curvatura no plano horizontal -----	89
10.3 Pás de Dupla Curvatura – $125 \leq n_{qA} < 162$ -----	90
10.3.1 Projeção de pá do rotor de dupla curvatura rebatida no plano vertical -----	90

10.3.2	Projeção das pás do rotor de dupla curvatura no plano horizontal -----	95
10.4	Pás Diagonais – $162 \leq n_{qA} \leq 350$ -----	97
10.4.1	Projeção das pás diagonais do rotor rebatida no plano vertical -----	97
10.4.2	Projeção das pás diagonais do rotor no plano horizontal -----	105
Capítulo 11	-----	107
	Fabricação do Modelo ou Molde das Pás e do Rotor	109
11.1	Ajuste das Projeções -----	107
11.2	Fabricação do Modelo ou Molde das Pás e do Rotor ----	109
11.2.1	Comentários -----	109
11.2.2	Método das coordenadas -----	110
Capítulo 12	-----	115
Aplicação	-----	115
12.1	Dados de Entrada -----	115
12.2	Pré-Dimensionamento Aerodinâmico, Cálculos e Decisões -----	115
12.3	Espiral Externa -----	118
12.3.1	Dados de entrada -----	118
12.3.2	Cálculos e decisões -----	119
12.4	Estudo com Espiral Interna -----	120
12.4.1	Dados de entrada-----	120
12.4.2	Cálculos e decisões -----	120
12.5	Comentários e Recomendações -----	123

Capítulo 13	127
Ventilador Siroco	127
13.1 Considerações Iniciais	127
13.2 Particularidades dos VRC	129
13.2.1 Trabalho específico consumido pelo rotor e a diferença de pressão correspondente com número infinito de pás, infinitamente próximas de espessura infinitesimal	129
13.2.2 Geometria e número de pás	129
13.2.3 Trabalho específico consumido pelo rotor, diferença de pressão correspondente e volume de ar real em escoamento com número finito de pás de espessura finita	130
13.2.4 Coeficientes adimensionais, rotação específica e campo operacional	132
13.3 Algoritmo para Pré-Dimensionamento Aerodinâmico de VRC	134
13.3.1 Considerações	134
13.3.2 Dados de entrada	135
13.3.3 Cálculos e decisões	135
13.4 Aplicação	138
13.4.1 Dados de entrada	138
13.4.2 Cálculos e decisões	138
13.4.3 Projeto	141
13.5 Comentários e Sugestões	141

SEGUNDA PARTE

Ventiladores com Rotores Radiais e Axiais – VAX e VSL

Capítulo 1	147
Ventiladores Axiais	147
1.1 Trabalho Específico Teórico Consumido de Ar pelo Rotor ---	147
1.2 Volume em Escoamento pelo Rotor	148
1.3 Geometria	149
1.4 Escoamento do Ar no Rotor Sem Atrito e Pás com Espessura Finita	149
1.5 Trabalho Específico Consumido pelo Rotor considerando o Rendimento Interno do VAX	150
1.6 Volume de Ar em Escoamento pelo Rotor, Rendimento de Fuga e Labirinto	151
1.6.1 Volume de ar em escoamento pelo rotor e rendimento de fuga	151
1.6.2 Labirinto.....	151
1.6.3 Algoritmo para cálculo do labirinto	152
1.6.3.1 Dados de Entrada.....	152
1.6.3.2 Cálculos e Decisões	152
Capítulo 2	153
Limitações do Projeto	153
2.1 Potência e Diâmetro do Eixo	153
2.2 Características e Coeficientes	154
2.2.1 Equação de Euler adimensional	154
2.2.2 Coeficiente de Pressão.....	154

2.2.3	Mínima Relação de Cubo -----	155
2.2.4	Outras características e relações-----	156
Capítulo 3	-----	159
Rotor	-----	159
3.1	Grade – Perfil-----	159
3.2	Características de Perfis-----	160
3.3	Confronto entre Pás Construídas em Perfil e de Espessura Constante-----	165
3.4	Outras Características -----	166
3.5	Perda de Energia -----	167
3.6	Empuxo Axial -----	170
3.6.1	Força do peso das partes girantes-----	171
3.6.2	Forças de origem aerodinâmica -----	171
3.6.3	Resultante-----	172
3.6.4	Roteiro para cálculo do empuxo axial -----	172
3.7	Algoritmo para Cálculo Aerodinâmico do Rotor-----	173
3.7.1	Objetivos -----	173
3.7.2	Dados de entrada -----	174
3.7.3	Cálculos e decisões -----	174
3.8	Aplicação do Algoritmo para Cálculo Aerodinâmico do Rotor-----	178
3.8.1	Dados de entrada -----	178
3.8.2	Cálculos e decisões -----	179
3.9	Traçado das Projeções das Pás -----	182
3.9.1	Metodologia -----	182

3.9.2 Roteiro para obtenção gráfica de ponto da linha de pressão ou de sucção do perfil sobre superfície cilíndrica -----	182
3.9.2.1 Dados de entrada -----	182
3.9.2.2 Roteiro -----	183
3.9.3 Algoritmo para obtenção analítica de pontos das linhas de pressão ou de sucção dos perfis sobre superfícies cilíndricas -----	185
3.9.3.1 Equacionamento -----	185
3.9.3.2 Dados de entrada -----	185
3.9.3.3 Algoritmo-----	185
3.9.4 Equacionamento para obtenção analítica de ponto da linha de pressão ou de sucção do perfil sobre superfície esférica a partir de ponto sobre superfície cilíndrica---	186
3.9.5 Algoritmo para obtenção analítica dos pontos das linhas de pressão ou de sucção dos perfis sobre superfície esférica a partir de ponto sobre superfície cilíndrica -----	186
3.9.5.1 Dados de entrada -----	186
3.9.5.2 Algoritmo-----	187
3.9.6 Roteiro para o traçado das projeções sobre superfície cilíndrica-----	188
3.9.6.1 Dados de entrada -----	188
3.9.6.2 Traçado do rotor hélice -----	188
3.9.7 Roteiro para o traçado das projeções sobre superfície esférica -----	189
3.9.7.1 Dados de entrada-----	189
3.9.7.2 Traçado do rotor Kaplan -----	190

3.10	Aplicação dos Roteiros-----	191
3.10.1	Traçado das projeções dos perfis em verdadeira grandeza -----	191
3.10.2	Traçado das projeções dos perfis sobre superfície cilíndrica -----	194
Capítulo 4	-----	197
Carcaça - Perdas	-----	197
4.1	Comentários-----	197
4.2	Bocal ou Injetor da Entrada -----	198
4.3	Distribuidor -----	199
4.3.1	Comentários -----	199
4.3.2	Perda de energia -----	200
4.4	Difusor da Saída -----	200
Capítulo 5	-----	203
Algoritmos para Determinação das Perdas Energéticas	---	203
5.1	Considerações-----	203
5.2	Algoritmo -----	203
5.2.1	Dados de entrada -----	203
5.2.2	Cálculos e decisões -----	203
Capítulo 6	-----	207
Comentários Finais sobre VAX	-----	207

Capítulo 7	209
Ventiladores de Sopro Livre	209
7.1 Considerações.....	209
7.1.1 Tipos e denominações.....	209
7.1.2 Condições ambientais e penetração	210
7.2 Equacionamento Básico e Equação de Euler	211
7.2.1 Equacionamento básico	211
7.2.2 Equação de Euler.....	212
7.3 Coeficientes Adimensionais	213
7.4 Rendimentos e Eficiência Energética.....	214
7.4.1 Rendimentos	214
7.4.2 Eficiência energética	217
7.5 Perfis e Geometria das Pás	219
7.5.1 Perfis	219
7.5.2 Geometria das pás	220
7.6 Campo operacional.....	221
7.7 Roteiro para Cálculo Aerodinâmico	222
7.7.1 Comentários	222
7.7.2 Dados de entrada	223
7.7.3 Cálculos e decisões.....	223
7.8 Aplicação para VSL de teto	226
7.8.1 Dados de entrada.....	226
7.8.2 Cálculos e decisões	226
7.8.3 Desenhos preliminares	229
Referências Bibliográficas	231
Índice Alfabético Remissivo	233