Ubirajara da Silva Valença
Sergio Stanisck Reis
Mario Palazzo
José Ferreira Rocha
Alcio Augusto Carpes Athayde

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS: um enfoque dual

1ª EDIÇÃO

COLEÇÃO DISSEMINAR

IME

FRF

Rio de Janeiro
2013

Publicado por: Instituto Militar de Engenharia e Fundação Ricardo Franco
Copyright © 2013 Instituto Militar de Engenharia e Fundação Ricardo Franco

Editor Chefe e Supervisão: Cel R1 Rubenildo Pithon de Barros

Projeto gráfico, capa, diagramação,
tratamento de Imagens e ilustrações: Ary Preihs Filho

Elaboração de fórmulas
e equações químicas: Maj Tanos Celmar Costa França

Revisão: Major QCO Leila das Neves Gouveia
Maor QCO Célia Câmara de Araújo

662.2
E 57

Engenharia dos Explosivos: um enfoque dual/
Ubirajara da Silva Valença ... [et al.]. - Rio de Janeiro:
Instituto Militar de Engenharia:
Fundação Ricardo Franco, 2013
740p: il; 30 cm. - (Coleção Disseminar)
Inclui bibliografia
ISBN - 978-85-98013-06-0
1. Explosivos I Valença, Ubirajara da Silva II Série

CDD: 662.2

Todos os direitos reservados ao Instituto Militar de Engenharia e Fundação Ricardo Franco.

Instituto Militar de Engenharia
Praça General Tibúrcio, 80 - Praia Vermelha
Rio de Janeiro - RJ - CEP 22290-270
http://www.ime.eb.br

Fundação Ricardo Franco
Rua Ramon Franco, 26 - Urca
Rio de Janeiro - RJ - CEP 22290-290
http://www.frf.br

Nenhuma parte deste material poderá ser reproduzida, armazenada ou transmitida de qualquer forma ou por quaisquer meios; eletrônico, mecânico, fotocópia ou gravação, sem autorização do IME, FRF e dos autores.

O conteúdo deste material é de exclusiva responsabilidade dos autores.

O IME e FRF não se responsabilizam pelos dados cujas fontes estejam citadas.

FICHA CATALOGRÁFICA

Dedicatória

In Memoriam aos amigos e coautores deste livro
Alcio Augusto Carpes Athayde
e Mário Palazzo

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 5 16/09/2013 22:55:58

Agradecimentos

Nossos agradecimentos são dirigidos, em especial, ao Coronel QEM Alfredo Cruz Junior, Professor do Instituto Militar de Engenharia, o grande incentivador para que escrevêssemos este livro, no qual estamos deixando registradas as experiências vividas nas Fábricas Militares por onde passamos.

Queremos agradecer, do mesmo modo, ao Instituto Militar de Engenharia, nosso berço de conhecimentos, nas pessoas do seu Comandante, General-de-Divisão Rodrigo Baloussier Ratton, do Coronel QEM Rubenildo Pithon de Barros, Chefe da Seção de Meios Auxiliares - pelo profissionalismo, capacidade técnica e entusiasmo na ajuda da editoração deste trabalho - e do Major QEM Tanos Celmar Costa França pela prestimosa revisão das fórmulas dos explosivos aqui apresentadas.

À Fundação Ricardo Franco, representada pelos seus Presidente e Vice-Presidente, que muito nos estimularam na consecução do projeto deste livro, além do apoio para realizar sua publicação.

Agradecemos, também, ao Coronel QEM Josedes Castelo Branco Maia, antigo Chefe da Seção de Normas Técnicas do Centro Tecnológico do Exército, pela extraordinária atenção que dispenssou para conosco, disponibilizando, sempre em curto prazo, as mais diversas Normas Técnicas que foram solicitadas para consulta e publicação e que muito engrandeceram o texto deste compêndio.

Cumpre-nos agradecer, ainda, a Indústria de Material Bélico do Brasil – IMBEL, que, por intermédio de seu Diretor-Presidente, General-de-Brigada Álvaro Henrique Vianna de Moraes, gentilmente, nos autorizou, em documento particular, realizar citações dos produtos e das publicações daquela Empresa; aos Engenheiros das Fábricas Presidente Vargas e da Estrela, em particular o Coronel QEM Mário Emílio Paiva Michel, prematuramente falecido em 2007, o Coronel QEM Antônio Carlos Lonthfranc e o Engenheiro Haroldo Carlos Costa dos Santos, ao nos proporcionarem inestimáveis auxílio, extinguindo dúvidas sobre alguns dos processos de fabricação que eram importantes para serem publicados. Ao final deste agradecimento, estará publicado o Ofício do Senhor Diretor-Presidente da IMBEL ao qual nos referimos acima.

Ao amigo Geólogo Leziro Marques Silva, Professor da Universidade São Judas Tadeu, em São Paulo, agradecemos os inúmeros textos que nos enviou e que serviram como fontes de consulta para diversos tópicos abordados no Livro.

Somos, finalmente, muito gratos às nossas famílias e aos inúmeros amigos que nos entusiasmaram, durante mais de quatro anos, a dar sequência a esta obra que trata de assunto tão instigante: o estudo de pólvoras e explosivos.

AGRADECIMENTO

INDÚSTRIA DE MATERIAL BÉLICO DO BRASIL
Vinculada ao Ministério da Defesa por intermédio do
Exército Brasileiro

Ofício 261/PRESI **Brasília, DF, 27 de maio de 2011.**

Ao Exmo Senhor
General Ubirajara da Silva Valença

Senhor General,

Versa o presente expediente sobre autorização para citar em livro os Cadernos de Encargos, Normas de Análise e Produtos fabricados pela Indústria de Material Bélico do Brasil – IMBEL.

2. Em atenção à solicitação enviada, informo a V Exa que, sensibilizado, autorizo não só a citação, mas agradeço por divulgar, em livro de sua autoria os Cadernos de Encargos, Normas de Análise e Produtos da IMBEL.

3. Aproveito a oportunidade para cumprimentar a V Exa pela brilhante iniciativa de escrever sobre a fabricação de produtos de defesa, em particular de pólvoras e explosivos, que por certo servirá de inspiração e conhecimento para novas gerações de engenheiros militares e integrantes da sociedade, estudiosos da indústria de defesa brasileira.

4. Sem mais para o momento, apresento os votos de consideração, agradecimento e apreço.

Respeitosamente,

Gen Bda Álvaro Henrique Vianna de **MORAES**
Diretor-Presidente da IMBEL

QGEx – Bloco H – 3º Andar – SMU – CEP 70630-901
Brasília – DF

AGRADECIMENTO

Sumário

Dedicatória 5

Agradecimento 7 e 8

Listas 47

Currículos 59

Apresentação 65

capítulo 1

GENERALIDADES SOBRE EXPLOSIVOS

I – INTRODUÇÃO 68

II – A QUÍMICA E A FÍSICA DOS EXPLOSIVOS 68
A - A natureza das explosões 68
1) Explosões físicas 68
2) Explosões nucleares 69
3) Explosões químicas 69
B - Explosivos 69

III – A HISTÓRIA DOS EXPLOSIVOS 71
A – Pólvora Negra 71
B – A nitroglicerina de Nobel 72
C – Nitrocelulose 72
D – Desenvolvimento dos propelentes 73
E – Desenvolvimento dos explosivos industriais de emprego em obras civis 73
F – O desenvolvimento dos explosivos militares 75
G – Explosões acidentais 76
1) Problemas antigos 76
2) As reformas no século XIX 76
3) Acidentes notáveis 77
4) Acidentes durante a guerra 78
5) Problemas do pós-guerra 78

IV – A NATUREZA DOS EXPLOSIVOS 79
A – Características básicas 79
B – Misturas Explosivas 79
C – Compostos explosivos 81
D – Caráter explosivo e a constituição das substâncias explosivas 81
E – Características dos explosivos 84
1) Calor de explosão (Q) 84
2) Balanço de oxigênio (Ω) 85
3) Efeito do balanço de oxigênio sobre o calor de explosão 86
4) Composição dos produtos gasosos da explosão 87

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 9 16/09/2013 22:55:59

5) Temperatura de explosão 88
6) Volume gasoso 89
7) Pressão de explosão 89
8) Combustão e Detonação 90
a) Os dois processos de combustão 90
b) Combustão 91
c) Velocidade de regressão 91
d) Coeficiente de velocidade de queima 92
e) Velocidade mássica de queima 92
f) Fenômeno de superfície 93
g) Detonação 93
9) Estabilidade Química 95

V – FUNÇÕES E CLASSIFICAÇÃO DOS EXPLOSIVOS E PIROTÉCNICOS 97
A – Repartição de Energia 99
1) Propelentes 99
2) Detonações no ar 99
3) Detonações confinadas 100
4) Medida de repartição de energia 100
5) Velocidade e pressão de detonação 101

VI – EFEITO MUNROE OU EFEITO DA CARGA OCA 107

VII – DA EXPANSÃO DE GASES 111
A – Produção de gás 111
B – Otimização dos propelentes 112
C – Força, Potência e Energia 112
1) Liberação de Energia 112
2) Cálculo da constante de Força 113
3) Potencial 113
4) Valores da expansão do Bloco de chumbo de Trauzl 115
5) O Morteiro Balístico 115
a) Energia relativa da unidade de peso 116
b) Grau de energia relativa 116
c) Energia do cartucho 117
d) Energia volumétrica relativa 117

VIII – BIBLIOGRAFIA 118

capítulo 2

ÁCIDO SULFÚRICO

I – DESIGNAÇÕES E FÓRMULA 120
A - Designações 120
B - Fórmula 120

II – HISTÓRICO 120

III – CARACTERÍSTICAS 121

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 10 16/09/2013 22:55:59

IV – APLICAÇÕES 121

V – PROPRIEDADES 122

VI – FABRICAÇÃO 122
A – Processo de Fabricação 123
1) Combustão e Catálise 124
2) Absorção do SO_3 126
3) Produção de Ácido Sulfúrico com SO_3 dissolvido - Óleum de Vitriolo -, com concentração acima de 20% 128

VII – SEGURANÇA DO PESSOAL E MANUSEIO 131

VIII – BIBLIOGRAFIA 131

capítulo 3

ÁCIDO NÍTRICO

I – FÓRMULA 134

II – HISTÓRICO 134

III – CARACTERÍSTICAS 134

IV – PROPRIEDADES QUÍMICAS 134

V – FABRICAÇÃO 136

VI – PROCESSO CATALÍTICO 139

VII – BIBLIOGRAFIA 141

capítulo 4

AGENTES NITRANTES

I – HISTÓRICO 144

II – TEORIA DA NITRAÇÃO 145
A – Sistemas mais comuns geradores de íon nitrônio 146
1) Ácido nítrico 146
2) Soluções de ácidos nítrico e sulfúrico 146

III – MECANISMO DE NITRAÇÃO 147

IV – PREPARAÇÃO E CÁLCULO DAS MISTURAS SULFONÍTRICAS 150
A – O método algébrico 150
B – O método de Tissot 152
C – Regra das misturas ou da diluição 153

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 11 16/09/2013 22:55:59

D – Métodos de cálculos, partindo de um ácido residual e de um ou mais constituintes 154

V – CAPACIDADE DESIDRATANTE DO ÁCIDO SULFÚRICO - DVS 157

VI – BIBLIOGRAFIA 160

capítulo 5

TROTIL - TNT

I – DESIGNAÇÕES E FÓRMULAS 162
A – Designações 162
B – Fórmulas 162

II – HISTÓRICO 162

III – ESPECIFICAÇÕES 162

IV – CLASSIFICAÇÃO 163

V – PROPRIEDADES 163
A – Físicas 163
1) Ponto de Fusão 163
2) Solubilidade 163
3) Calor de Cristalização 164
4) Massa Específica 164
5) Pressão de Vapor 164
B – Químicas e Termoquímicas 164
C – Explosivas 165

VI – TOXIDEZ 165

VII – EMPREGO 166

VIII – DESCONTAMINAÇÃO 167

IX – FABRICAÇÃO 167
A – Processo descontínuo 168
1) Primeira Etapa 170
2) Segunda Etapa 171
3) Terceira Etapa 172
4) Purificação 173
5) Tratamento dos trinitrotoluenos assimétricos 173
6) Secagem 175
7) Escamação 176
8) Cristalização 177
9) Embalagem 178
B – Fabricação do dinitrotolueno purificado 178
1) Matéria-prima: T_{2-} bruto 178
2) Procedimento 178
C – Aproveitamento Parcial dos Ácidos Residuais 178

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 12 16/09/2013 22:55:59

D – Fabricação do TNT - Processo Contínuo 179
1) Generalidades 179
2) Teoria 179
3) Interpretação do Esquema da Fabricação Contínua do TNT 179
a) Oficina de Mononitração 182
b) Oficina de Dinitração 182
c) Oficina de Trinitração 183
d) Oficina de Purificação 183
e) Oficina de recuperação do HNO_3 184
f) Tratamento dos Efluentes do Processo Contínuo de Fabricação 185

X – SEGURANÇA NA FABRICAÇÃO DO TNT 185

XI – BIBLIOGRAFIA 186

capítulo 6

NITROPENTA - PETN

I – DESIGNAÇÕES E FÓRMULAS 188
A – Designações 188
B – Fórmulas 188

II – HISTÓRICO 188

III – ESPECIFICAÇÕES 188

IV – CLASSIFICAÇÃO 189

V – PROPRIEDADES 189
A – Físicas 189
B – Químicas e Termoquímicas 190
C – Explosivas 190

VI – TOXIDEZ 191

VII – EMPREGO 191

VIII – DESCONTAMINAÇÃO 191

IX – FABRICAÇÃO 191
A – Matérias-Primas 191
B – Processo 192
1) Nitração Descontínua 192
2) Purificação Preliminar 193
3) Purificação Final 193
a) Estabilização 193
b) Recristalização 194
4) Secagem 194
5) Peneiração 195

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 13 16/09/2013 22:55:59

6) Embalagem 195
7) Recuperação das matérias-primas e tratamento dos rejeitos 195

X – CÁLCULOS DA FABRICAÇÃO 195

XI – NITRAÇÃO SEMICONTÍNUA DO PENTAERITRITOL 197
A – Descrição dos Equipamentos 198
B – Procedimento preliminar para Nitração do Pentaeritritol Semicontínua 199
C – Procedimento para Nitração pelo Processo Semicontínuo 200

XII – FLEGMATIZAÇÃO 201

XIII – BIBLIOGRAFIA 201

capítulo 7

HEXOGÊNIO - RDX

I – DESIGNAÇÕES E FÓRMULAS 204
A – Designações 204
B – Fórmulas 204

II – HISTÓRICO 204

III – ESPECIFICAÇÕES 204

IV – CLASSIFICAÇÃO 205

V – PROPRIEDADES 205
A – Físicas 205
B – Químicas e Termoquímicas 206
C – Explosivas 206

VI – TOXIDEZ 207

VII – EMPREGO 208

VIII – DESCONTAMINAÇÃO 208

IX – FABRICAÇÃO 208
A – Processo Ácido Nítrico e Ciclo hexametilenotetramina 208
1) Nitração 209
2) Precipitação 210
3) Purificação 211
4) Secagem 212
5) Peneiração e Embalagem 212
6) Absorção dos Gases Nitrosos 212
7) Recuperação das matérias-prima e Tratamento dos Efluentes 212
8) Dados referentes à fabricação 213

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 14 16/09/2013 22:55:59

X – FLEGMATIZAÇÃO 213

XI – OUTROS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO 213

XII – BIBLIOGRAFIA 214

capítulo 8

OCTOGÊNIO - HMX

I – DESIGNAÇÕES E FORMULAS 216
A – Designações 216
B – Fórmulas 216

II – HISTÓRICO 216

III – ESPECIFICAÇÕES 216

IV – CLASSIFICAÇÃO 217

V – PROPRIEDADES 217
A – Físicas 217
B – Químicas 217
C – Explosivas 218

VI – TOXIDEZ 218

VII – EMPREGO 219

VIII – FABRICAÇÃO 219
A – Matérias-Primas 219
B – Processo 220
C – Processo por Batelada 220
1) Preparar as seguintes soluções, em partes por peso 220
2) Sequência das operações 221
D – Tratamento dos Efluentes 222
E – Processo semicontínuo 223

IX – TRATAMENTO DOS EFLUENTES 225

X – REGRAS DE SEGURANÇA 225

XI – BIBLIOGRAFIA 225

capítulo 9

NITROCELULOSE

I – DESIGNAÇÕES E FÓRMULAS 228

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 15 16/09/2013 22:55:59

A – Designações 228
B – Fórmulas 228
C – Outra representação da molécula com 4 unidades 228
D – Nomenclatura para fins militares 228
1) Brasil 228
2) Estado Unidos da América do Norte 228

II – HISTÓRICO 229

III – ESPECIFICAÇÕES MILITARES 231

IV – CLASSIFICAÇÃO 231

V – PROPRIEDADES 231
A – Para a nitrocelulose brasileira 231
1) Considerações sobre as propriedades 233
2) Determinação da viscosidade no Viscosímetro de Höeppler 233
B - Propriedades das Nitroceluloses utilizadas nos Estados Unidos da América do Norte 235

VI – TOXIDEZ 236

VII – EMPREGO 236

VIII – FABRICAÇÃO DA NITROCELULOSE 237
A – Matérias-Primas 237
1) Purificação da Celulose 237
a) Digestão 237
b) Lavagem 238
c) Branqueamento 238
d) Acidificação 238
e) Desfibramento 238
f) Centrifugação 238
g) Secagem 238
h) Enfardamento 239
B – Nitração 239
1) Nitração com Misturas Sulfonítricas 240
2) Estabilização 241
a) Fervimento Ácido sem Pressão 241
b) Fervimento Ácido com Pressão 242
3) Polpação (Refinação) 242
4) Fervimento Alcalino 242
5) Mistura de Lotes 243
6) Filtração 243
7) Centrifugação ou Extração 243
8) Recolhimento das Águas-Mães e Águas de Lavagens 243
C – Conclusões 244

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 16 16/09/2013 22:56:00

D – Medidas de Segurança 244
E– Exemplo do cálculo para a fabricação de um lote de nitrocelulose 244
1) Cálculo do linter pela regra das misturas 245
2) Peso do linter 245
3) Peso das Sulfonítricas 246
4) Peso dos ácidos para o preparo das sulfonítricas 246
5) Cálculo da Viscosidade 247

IX – BIBLIOGRAFIA 249

capítulo 10

NITROGLICERINA

I – DESIGNAÇÕES E FÓRMULAS 252
A – Designações 252
B – Fórmulas 252

II – HISTÓRICO 252

III – ESPECIFICAÇÕES 253

IV – CLASSIFICAÇÃO 253

V – PROPRIEDADES 253
A – Físicas 253
B – Químicas e Termoquímicas 255
C – Explosivas 257
1) Reação de decomposição 257
2) Emulsão 257

VI – TOXIDEZ 258

VII – EMPREGOS 258

VIII – FABRICAÇÃO 259
A – Reação 259
B – Nitração 259
1) Equipamentos para produção da nitroglicerina 260
2) Temperatura da glicerina 260
3) Temperatura da nitração 260
4) Tempo de nitração 261
C – Separação da NG do ARG 262
1) Métodos antigos 262
2) Métodos modernos 262
D – Transporte da nitroglicerina 263
E – Águas de lavagem 264
F – Ácido residual - ARG 264
G – Desnitração do ácido residual 266

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 17 16/09/2013 22:56:00

H – Matérias-primas para a produção de NG 268
I – Instalação Biazzi para Produzir Nitroglicerina pelo Processo Contínuo 268

IX – NORMAS DE SEGURANÇA 270

X – BIBLIOGRAFIA 271

capítulo 11

NITROGLICOL

I – DESIGNAÇÕES E FÓRMULAS 274
A - Designações 274
B - Fórmulas 274

II – HISTÓRICO 274

III – ESPECIFICAÇÕES 275

IV – CLASSIFICAÇÃO 275

V – PROPRIEDADES 275
A – Físicas 275
B – Químicas 276
C – Explosivas 276

VI – TOXIDEZ 276

VII – EMPREGO 277

VIII – FABRICAÇÃO 277
A – Matérias Primas 277
B – Nitração e Estabilização 278
C – Ácido residual 278
D – Prática recomendada 279

IX – BIBLIOGRAFIA 279

capítulo 12

OUTROS ALTOS EXPLOSIVOS

I – INTRODUÇÃO 282

II – EXPLOSIVOS SIMPLES 282
A – Nitroguanidina 282
1) Fabricação 283
2) Análise da nitroguanidina 284
3) Toxidez 285
B – Tetril 285

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 18 16/09/2013 22:56:00

C – Ácido pícrico 285
D – Picrato de amônio 286
E – Hexanitroestilbeno 286
F – Nitrato de amônio 288

III – MISTURAS BINÁRIAS 288
A – Amatol 288
B – Composição A 289
C – Composição B 290
D – Composição C 290
E – Octol 291
F – Pentolite 292
G – Picratol 293
H – Tetritol 294
I – Tritonal 294

IV – MISTURAS TERNÁRIAS 295
A – Amatex 20 295
B – Amonal 295
C – HBX - High Blast Explosives 295
D – HTA - 3 296
E – Torpex 297

V – MISTURAS QUATERNÁRIAS 298
A – PBX - Plastic Bonded Explosives 298
B – DBX - Depth Bomb Explosive 299

VI – BIBLIOGRAFIA 299

capítulo 13

AGENTES DE INICIAÇÃO

I – INTRODUÇÃO 302

II – INICIADORES 302

III – ESCORVAS 302
A – Constituintes das escorvas 302
B – Fabricação das escorvas 303
C – Estabilidade química 303

IV – BIBLIOGRAFIA 303

capítulo 14

AZIDA DE CHUMBO

I – DESIGNAÇÃO E FÓRMULAS 306
A – Designação 306
B – Fórmulas 306

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 19 16/09/2013 22:56:00

II – HISTÓRICO 306

III – ESPECIFICAÇÕES 307

IV – CLASSIFICAÇÃO 307

V – PROPRIEDADES 307
A – Físicas 307
B – Químicas 308
C – Explosivas 308

VI – TOXIDEZ 309
A – Danos à saúde, agudos e crônicos 309
B – Primeiros Socorros 309

VII – EMPREGO 309

VIII – DESCONTAMINAÇÃO 310

IX – FABRICAÇÃO 310
A – Matérias-Primas 310
B – Processo de Fabricação por Batelada 310
1) Fases do Processo 310
2) Desenvolvimento do Processo 310
a) Preparo da solução de nitrato de chumbo 310
b) Preparo da solução de hidróxido de sódio 311
c) Preparo da solução de azida de sódio 311
d) Preparo da solução de dextrina 311
e) Obtenção da azida de chumbo por batelada 311
f) Filtração 314
g) Secagem 315
C – Embalagem 316
D – Tratamento de efluentes e resíduos 316

X – BIBLIOGRAFIA 316

capítulo 15

ESTIFINATO DE CHUMBO

I – DESIGNAÇÕES E FÓRMULAS 320
A – Designações 320
B - Fórmulas 320

II – HISTÓRICO 320

III – ESPECIFICAÇÕES 320

IV – CLASSIFICAÇÃO 321

V – PROPRIEDADES 321

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 20 16/09/2013 22:56:00

A – Físicas 321
B – Químicas 322
C – Explosivas 322

VI – TOXIDEZ 322

VII – EMPREGO 323

VIII – DESCONTAMINAÇÃO 324

IX – FABRICAÇÃO PELO PROCESSO POR BATELADA 324
A – Matérias-Primas 324
B – Processo de Fabricação 324
1) Fases do Processo 324
2) Fluxograma do Processo 324
3) Desenvolvimento do Processo 327
C – Embalagem 331
D – Tratamento dos efluentes 331

X – BIBLIOGRAFIA 332

capítulo 16

DIAZODINITROFENOL

I – DESIGNAÇÕES E FÓRMULAS 334
A – Designações 334
B – Fórmulas 334

II – HISTÓRICO 334

III – ESPECIFICAÇÕES 335
A – Especificações Militares 335

IV – CLASSIFICAÇÃO 335

V – PROPRIEDADES 335
A – Físicas 335
B – Químicas 336
C – Explosivas 336

VI – TOXIDEZ 337
A – Identificação de risco 337
B – Medidas de primeiros socorros 338
C – Perigo de fogo 338
D – Estabilidade e Reatividade 338

VII – EMPREGO 339

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 21 16/09/2013 22:56:00

VIII – DESCONTAMINAÇÃO 339

IX – FABRICAÇÃO 339
A - Matérias-primas 339
B – Processos de fabricação 339
1) Processo I 339
2) Processo II 340
3) Processo III 341
C - Tratamento dos efluentes 343
D - Armazenagem 343

X – BIBLIOGRAFIA 343

capítulo 17

TETRAZENO

I – DESIGNAÇÕES E FÓRMULAS 346
A – Designações 346
B – Fórmulas 346

II – HISTÓRICO 346

III – ESPECIFICAÇÕES 347

IV – CLASSIFICAÇÃO 347

V – PROPRIEDADES 347
A – Físicas 347
B – Químicas 348
C – Explosivas 348

VI – TOXIDEZ 349
A – Efeitos agudos 349
B – Efeitos crônicos 349
C – Primeiros Socorros 349

VII – EMPREGO 349

VIII – DESCONTAMINAÇÃO 349

IX – FABRICAÇÃO 349
A – Matérias-Primas 349
B – Processos 350
1) Fases Processo da Fábrica Alemã - Wolfratshausen 350
2) Reação do processo 350
3) Esquema do Processo de Fabricação 351
4) Desenvolvimento do Processo por Batelada 352
a) Preparação das Soluções 352
b) Alimentação das Soluções 352

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 22 16/09/2013 22:56:00

c) Filtração 352
d) Secagem 353
e) Embalagem 353
C – Tratamento dos Efluentes 353

X – BIBLIOGRAFIA 354

capítulo 18

IDENTIFICAÇÃO DE EXPLOSIVOS INICIADORES

I – INTRODUÇÃO 356
A – Fulminato de Mercúrio 356
B – Azida de chumbo 356
C – Estifinato de chumbo 357
D – Diazodinitrofenol 357
E – Tetrazeno 357

II – BIBLIOGRAFIA 358

capítulo 19

PROCESSAMENTO DE METAIS POR EXPLOSIVOS

I – INTRODUÇÃO 360

II – CONSIDERAÇÕES INICIAIS 360
A – Processamento de Metais por Explosivos 360
B – Conformação com gás explosivo 361
C – Conformação eletro-hidráulica 361
D – Conformação eletromagnética ou magnetomotriz 361
E – Conformação com martelo hidráulico ou magneto-hidráulico 361

III – SOLDAGEM POR EXPLOSIVOS 361

IV – ENDURECIMENTO POR EXPLOSIVOS 362

V – CONFORMAÇÃO POR EXPLOSIVOS 364

VI – MATERIAIS METÁLICOS E EXPLOSIVOS 365

VII – PROCESSAMENTO DE METAIS POR EXPLOSIVOS NO BRASIL 368

VIII – CONSIDERAÇÕES GERAIS 368

IX – EXEMPLOS DE RESULTADOS DO PROCESSO 370
A – Soldagem de Latão Naval em Aço Carbono por Explosivos 370
B – Materiais e Experiências Realizadas 375
C – Resultados 377

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 23 16/09/2013 22:56:00

X – QUALIDADE DE CHAPAS BIMETÁLICAS DE AÇO INOXIDÁVEL – AÇO CARBONO OBTIDAS POR EXPLOSÃO 381
A – Experiências realizadas 381
B – Resultados obtidos 382
1) - Ensaio por ultra-som 383
2) - Exame metalográfico da chapa bimetálica 384
3) - Ensaios mecânicos da chapa bimetálica 385
a) Resistência à tração 385
b) Resistência ao cisalhamento 385
c) Ensaio de dobramento 385
d) Determinação de espessura 385
C – Operações em Escala Industrial 386
1) Desempenamento e Conformação 386
2) Ensaios de Avaliação 388
D - Aspectos Econômicos 390

XI – BIBLIOGRAFIA 391

capítulo 20

PROPRIEDADES DOS PROPELENTES

I – HISTÓRICO 394

II – DEFINIÇÃO 395

III – CLASSIFICAÇÃO 395
A – Monopropelentes 395
B – Bipropelentes 396
C – Composites 396
D – Simulacros inertes de propelentes 396

IV – CARACTERÍSTICA GERAL DOS PROPELENTES 396

V – CONSTITUINTES DAS PÓLVORAS E DOS PROPELENTES 396
A – Bases ativas 396
B – Estabilizantes 397
C – Plastificantes 397
D – Auxiliares de gelatinização 397
E – Auxiliares de oxidação 397
F – Substâncias que facilitam o preparo dos propelentes 398
G – Aditivos que influem no comportamento 398
H – Modificadores balísticos 398
I – Agentes de cobertura e inibidores de queima 398

VI – EMPREGOS DOS PROPELENTES 399

VII – FORMAS FÍSICAS DOS GRÃOS DE PROPELENTES 400

VIII – INICIABILIDADE 401

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 24 16/09/2013 22:56:00

IX – PRESSÃO CRÍTICA 402

X – EROSIVIDADE 402

XI – BIBLIOGRAFIA 403

capítulo 21

PÓLVORA DE BASE SIMPLES

I – DEFINIÇÃO 406

II – FABRICAÇÃO 406
A – Desidratação da nitrocelulose 406
B – Quebra-bloco 406
C – Misturação 406
D – Maceração 407
E – Prensagem preliminar 407
F – Preprensagem 407
G – Filtragem na prensa 408
H – Prensagem final 408
I – Corte 408
J – Recuperação do solvente 409
K – Fervimento 409
L – Peneiração 409
M – Secagem 409
N – Grafitagem 410
O – Peneiração 410
P – Misturação 410
Q – Embalagem e Armazenagem 410

III – GARANTIA DA QUALIDADE 412

IV – CALOR DE EXPLOSÃO 412

V – NOMENCLATURA DAS PÓLVORAS DE BS 412

VI – BIBLIOGRAFIA 412

capítulo 22

PÓLVORA DE BASE DUPLA

I – DEFINIÇÃO 416

II – FABRICAÇÃO 416
A – Pólvora tubular curta sem solvente 416
1) Preparação da massa primária 416
2) Laminação preliminar 417
3) Secagem 417

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 25 16/09/2013 22:56:00

4) Laminação final 417
5) Corte em disco 418
6) Prensagem 418
7) Corte 419
8) Peneiração 420
9) Grafitagem 420
10) Mistura de lotes 420
11) Embalagem e Armazenamento 420
B – Pólvora tubular com solvente 420
1) Extração de solvente 421
2) Peneiração 421
3) Grafitagem, Peneiração, Misturação, Embalagem e Armazenagem 421
C – Pólvora tubular longa para Canhões 421
1) Corte 421
2) Seleção 421
3) Mistura de lotes 422
4) Embalagem e Armazenagem 422
D – Pólvora tubular longa para foguetes 422
1) Maceração 422
2) Cura 423
3) Seleção visual e radiográfica 423
4) Teste em ponto fixo 423
E – Pólvora laminar com solvente 423
F – Carga "0" (Zero) 424
1) Secagem 424
2) Maceração 424
3) Laminação final 424
4) Corte em plaquetas 425
5) Laminação fina 425
6) Secagem (Eliminação do excesso de solvente) 425
7) Corte 425
8) Peneiração 425
9) Grafitagem, Peneiração, Homogeneização, Embalagem e Armazenagem 425
G – Pólvora laminar para Suplemento de morteiros 426
1) Costura 426
3) Pesagem 426
4) Envelopamento 426
5) Seleção 426
6) Mistura de lotes 426
7) Embalagem e Armazenagem 426
H – Pólvora laminar sem solvente 427

III – GARANTIA DA QUALIDADE 429

IV – NOMENCLATURA DAS PÓLVORAS DE BD 429

V – CÁLCULO PARA A FABRICAÇÃO DE UMA BD 429

VI – BIBLIOGRAFIA 432

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 26 16/09/2013 22:56:00

capítulo 23

PÓLVORA DE BASE TRÍPLICE

I – DEFINIÇÃO 434

II – INTRODUÇÃO 434

III – FABRICAÇÃO 434
A – Desidratação da nitrocelulose 435
B – Quebra bloco (Block-breaker) 435
C – Pré-misturação (Premixing) 435
D – Misturação (Final mixing) 436
E – Prensagem preliminar (Block pressing) 437
F – Prensagem final (Final pressing) 438
G – Corte (Cutting) 438
H – Secagem (Air drying) 439
I – Descarregamento dos carros-estantes e premisturação 440
J – Grafitagem 441
K – Misturação final (Final blending) 441

IV – GARANTIA DA QUALIDADE 441

V – IDENTIFICAÇÃO QUALITATIVA DA NITROGUANIDINA 441

VI – BIBLIOGRAFIA 442

capítulo 24

PÓLVORAS ESFÉRICAS

I – HISTÓRICO 446

II – FABRICAÇÃO 446
A – Formação do grão 447
1) 1º Estágio – Formação da laca 447
2) 2º Estágio – Condições de obtenção dos grãos na granulometria desejada 447
3) 3º Estágio – Densificação 448
4) 4º Estágio - Endurecimento 448
B – Seleção e Classificação 449
C – Cobertura 449
D – Extração 449
E – Secagem 449
F – Grafitagem 450
G – Misturação 450
H – Embalagem e armazenagem 450
I – Garantia da Qualidade 451

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 27 16/09/2013 22:56:00

III – COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE FABRICAÇÃO DA PÓLVORA ESFÉRICA E DAS PÓLVORAS CONVENCIONAIS 451

IV – BIBLIOGRAFIA 452

capítulo 25

PROPELENTES MOLDADOS

I – INTRODUÇÃO 454

II – TECNOLOGIA DA FABRICAÇÃO DE PROPELENTES MOLDADOS 454
A – Identificação dos Itens do fluxograma 456
1) Componentes da forma 456
2) Inibidor 456
3) Forma 456
4) Grão Base 456
5) Carregamento da forma 456
6) Evacuação da forma 456
7) Solvente de moldagem 456
8) Moldagem 456
9) Cura 457
10) Desmoldagem 457
11) Usinagem 457
12) Inspeção radiográfica 457
13) Carregamento do foguete 457

III – FABRICAÇÃO DOS PROPELENTES MOLDADOS 457
A – Fabricação da pólvora de moldagem (grão base) 457
B – Moldagem e Cura 457
1) Grão base de base simples 458
2) Grão base de base dupla 458
3) Grão base de base dupla modificada (CMDB) 458

IV – FOGUETES QUE UTILIZAM PROPELENTES MOLDADOS 458

V – FABRICAÇÃO DO GRÃO BASE 460
A – Misturação 462
B – Granulação 462
C – Secagem 462
D – Acabamento 462

VI – FABRICAÇÃO DO SOLVENTE DE SOLDAGEM 463

VII – FABRICAÇÃO DO PROPELENTE MOLDADO 463
A – Admissão do Solvente de Moldagem 464
B – Cura 465
C – Desmoldagem 466
D – Usinagem 466

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 28 16/09/2013 22:56:00

E – Inspeção 467

VIII – BIBLIOGRAFIA 467

capítulo 26

COMPOSITES

I – GENERALIDADES 470

II – FABRICAÇÃO DE PROPELENTES SÓLIDOS COMPOSITES 471
A – Constituintes 471
1) Os comburentes 471
2) Os combustíveis aglutinantes 472
a) Polisulfeto 473
b) Poliuretano 474
c) Polibutadieno 474
d) Polibutadieno terminado por carboxila 475
e) Polibutadieno terminado por hidroxila 476
3) Novos aglutinantes para cumprir as exigências de ar puro 476
4) Desenvolvimentos fora dos Estados Unidos 477
B – Aditivos dos propelentes 477
1) Os aditivos mecânicos 477
2) Os aditivos balísticos 478
C – Fabricação dos propelentes Composites 478
1) Princípios da fabricação 478
2) As diversas etapas de fabricação 479
a) Preparação do oxidante 479
b) Preparação do combustível 480
c) Misturação 480
d) Carregamento das formas 481
e) Cura 481
f) Acabamento 482
g) Controle de fabricação 482
D – Perigos e segurança na fabricação de Composites 482

III – PROPRIEDADES DOS PROPELENTES COMPOSITES 483
A – Qualidades exigidas para os propelentes sólidos 483
B – Definição das propriedades dos propelentes Composites 485
1) Propriedades mecânicas 485
2) Propriedades balísticas 485
C – Comparação entre os propelentes composites e os propelentes homogêneos 488
1) Rendimento das massas de propelentes 488

IV – A PESQUISA DE PROPELENTES DE ALTA ENERGIA 491
A – Propelentes sólidos, modernos, de alta energia – A visão na década de 1960 491
B – Ingredientes modernos – A visão da década de 1960 492
1) Oxidantes 492
a) Perclorato de nitrônio ou NP (NO_2ClO_4) – Nitrosila 492

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 29 16/09/2013 22:56:00

b) Perclorato de lítio ou LP ($LiClO_4$) 493
c) Diperclorato de Hidrazínio ou HP [N_2H_6 $(ClO_4)_2$] 493
2) Combustíveis 493
a) Hidreto de lítio e alumínio ou LAH ($LiAlH_4$) 493
b) Hidreto de magnésio (MgH_2) e Borohidreto de lítio ($LiBH_4$) 493
c) Metais na forma de pó como Zircônio (Zr) e o Berílio (Be) 494
3) Aglutinantes 494
a) Nitrouretanas ou NU 494
b) Nitraminas (HMX, RDX) 494
c) Tetrazóis 494
d) Fluorcarbonos ou FC 495
e) Plastificantes 495

V – BIBLIOGRAFIA 502

capítulo 27

PÓLVORA NEGRA

I – HISTÓRICO 506

II – GENERALIDADES 508

III – EVOLUÇÃO DA COMPOSIÇÃO 508

IV – CARACTERÍSTICAS 508

V – EMPREGOS 508

VI – IDENTIFICAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS 509
A – Função dos componentes 509
B – Descrição das matérias-primas 509

VII – PROCESSO DE FABRICAÇÃO 509
A – Misturação 509
B – Incorporação 510
C – Granulação 510
D – Acabamento da pólvora 511
1) Alisamento 511
2) Secagem 511
3) Grafitagem 511
4) Peneiração 511
5) Classes da Pólvora Negra 512

VIII – EMBALAGEM 512

IX – SEGURANÇA NO MANUSEIO E NA FABRICAÇÃO 513

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 30 16/09/2013 22:56:01

X – SENSIBILIDADE 513

XI – ESTABILIDADE 513

XII – ANÁLISE 513

XIII – SUBSTITUTAS DA PÓLVORA NEGRA 514

XIV – FLUXOGRAMA DE FABRICAÇÃO 515

XV – BIBLIOGRAFIA 516

capítulo 28

ARTIFÍCIOS PIROTÉCNICOS

I – CATEGORIAS DE ARTIFÍCIOS PIROTÉCNICOS 518
A - Introdução 518
B – Chamas e Sinalização 519
C – Fumaças brancas e coloridas 521
1) Gerador térmico do tipo Venturi 521
2) Tipos de queimas 521
3) Disseminação explosiva 522
4) Tipos de Queima 522
D – Traçantes e Traçantes geradores de fumaça 523
E – Incendiários 524
F – Retardos e Estopins 526
G – Composições para flash fotográficos 527
H – Acendedores e Iniciadores 528
I – Simuladores 529

II – FABRICAÇÃO DOS PIROTÉCNICOS 532
A – Estocagem 532
B – Moagem 532
C – Classificação 532
D – Pesagem 532
E – Misturação 532
F – Granulação 533
G – Carregamento 533
H – Secagem 533
I – Montagem 533

III – TESTES 533
A – Espécies de Teste 533
1) Desenvolvimento 533
2) Avaliação 534
3) Utilização 534
4) Vigilância 534

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 31 16/09/2013 22:56:01

5) Mal funcionamento 534
6) NATO 534
B – Luz 535
1) Geral 535
2) Testes de Laboratório 535
3) Testes de Campo 536
4) Medida da Cor 536
C – Fumaça 537
1) Geral 537
2) Testes de Laboratórios 537
3) Testes de Campo 539
4) Técnicas Fotográficas 539
D – Calor 539
E – Artifícios movidos a gás 540
F – Análise da Composição Pirotécnica 541
1) Análise Térmica Diferencial – ATD 541
2) Termogravimetria 541
3) Espectroscopia Infravermelho 541
4) Análise Térmica Condutimétrica 541
5) Análise Eletrotérmica 541
6) Análise Química Clássica 542
G – Sensibilidade 543
1) Impacto 543
2) Fricção 543
3) Higroscopicidade 543
4) Sensibilidade ao Calor 543
5) Descarga Eletrostática 544
6) Compatibilidade 544

IV – BIBLIOGRAFIA 544

capítulo 29

ESTABILIDADE QUÍMICA DAS PÓLVORAS E EXPLOSIVOS

I – INTRODUÇÃO 546

II – COMPATIBILIDADE E VIDA EM PRATELEIRA DE EXPLOSIVOS 546
A – Envelhecimento químico dos explosivos 547
B – Envelhecimento químico de propelentes 548

III – FATORES QUE INFLUEM NA ESTABILIDADE QUÍMICA 550

IV – PROVA DE ESTABILIDADE QUÍMICA X PROVA BALÍSTICA 550

V – PROVAS PARA A DETERMINAÇÃO DA ESTABILIDADE QUÍMICA 550

VI – CLASSIFICAÇÃO DAS PÓLVORAS 551

VII – CRITÉRIO PARA DETERMINAÇÃO DA ESTABILIDADE QUÍMICA DAS PÓLVORAS 552

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 32 16/09/2013 22:56:01

VIII – TABELAS DE PONTOS PARA AS PROVAS ALEMÃ, DE ARMAZENAMENTO E BERGMANN-JUNK 552

IX – ESTABILIDADE QUÍMICA A VÁCUO 554

X – MANUAL TÉCNICO T9-1903 554
A – Princípios fundamentais de segurança 555

XI – DETERMINAÇÃO DA ESTABILIDADE QUÍMICA DE PROPELENTES A BASE DE NITROCELULOSE EMPREGANDO O CALORÍMETRO DE FLUXO DE CALOR 556
A – Considerações teóricas – aspectos gerais 556
B – Procedimentos para o teste 556
1) Definições 556
2) Descrição geral 557
3) Equipamentos usados 557
4) Preparação dos propelentes 557
5) Critérios de Aceitação 557
6) Interpretação dos dados 558

XII – BIBLIOGRAFIA 560

capítulo 30

LEGISLAÇÃO APLICADA AOS EXPLOSIVOS E PROPELENTES

I - INTRODUÇÃO 564

II - A LEGISLAÇÃO 564
A – Manual Técnico T 9 -1903 564
B – R-105 564
C – Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos 565
D – Acordo para a Facilitação do Transporte de Produtos Perigosos no Mercosul- Transporte Terrestre. 565
E – Normas para a Fiscalização, pelo Exército, da produção de Material de Emprego Militar 565
F – Modelo Administrativo Ciclo de Vida dos Materiais de Emprego Militar – IG 20 -12 567
1) O Modelo diz respeito aos diferentes tipos de Materiais de Emprego Militar - MEM 567
2) Objetivos do Modelo 567

III – NORMALIZAÇÃO 567
A – Definição internacional de normalização 567
B – Definição de Norma 568
C – Diferença entre Norma e Regulamento 568
D – A Normalização no Brasil 568
1) O Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial 568
2) Organização 569

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 33 16/09/2013 22:56:01

E – ABNT - Fórum Nacional de Normalização 569
F – Normas Brasileiras - NBR 569
G – A Normalização Técnica no Exército Brasileiro 570

III – BIBLIOGRAFIA 571

capítulo 31

NOÇÕES SOBRE GARANTIA DA QUALIDADE NA FABRICAÇÃO DE EXPLOSIVOS E PROPELENTES

I - INTRODUÇÃO 574
A – Qualidade 574
B – Cliente 574
C – Produto 574
D – Controle da Qualidade 574
E – Garantia da Qualidade 574
F – Política da Qualidade 574
G – Gestão da Qualidade 574
H – Sistema da Qualidade 575
I – Controle Estatístico do Processo 575
J – Qualidade Total 575
K – Normalização 575
L – Auditorias 575
M – Manual da Qualidade 575
N – Planos da Qualidade 575

II – IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE 576

III – REQUISITOS A SEREM ATENDIDOS 576

IV – HISTÓRICO DOS LOTES FABRICADOS DE EXPLOSIVOS OU DE PROPELENTES 577

V - BIBLIOGRAFIA 578

capítulo 32

GENERALIDADES SOBRE EXPLOSIVOS INDUSTRIAIS

I – EVOLUÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS EXPLOSIVOS INDUSTRIAIS 582
A – Conceituação 582
B – Histórico 582
1) Método Rudimentar usado até início do século XVII 582
2) Método com emprego de Explosivos Mecânicos (1627/ 1634) 582
3)Métodos modernos com emprego dos Explosivos Químicos 582
C – Evolução dos Explosivos Industriais 582
D – Geração dos Explosivos 583
1) Dinamites Nitroglicerinadas e Gelatinosas 583
2) ANFOs 583

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 34 16/09/2013 22:56:01

3) Lamas Explosivas 583
4) Emulsões Explosivas 583
E – Distinção entre as formas de transformação dos explosivos 584
1) Distinção entre Deflagração e Detonação 584
2) Distinção entre altos e baixos explosivos 584
3) Distinção entre explosivos primários e explosivos secundários 584
4) Distinção entre explosivos militares e explosivos industriais 584
F – Tipos de Explosivos industriais 585
1) Explosivos Nitroglicerinados 585
2) Agentes detonantes 585
G – Componentes (Ingredientes) de Explosivos Industriais 585
1) Explosivo Básico 585
2) Combustíveis e Oxidantes 585
3) Antiácidos 586
4) Depressores de Chama 586
5) Agentes Controladores da Densidade Específica e Sensibilidade 586
6) Agentes Cruzadores (Cross Linking) 586
7) Agentes Energizantes 586

II – PROPRIEDADES E SELEÇÃO DOS EXPLOSIVOS INDUSTRIAIS 586
A – Velocidade de Detonação 587
1) Objetivos da medição 587
2) Medição 587
a) Metódo de Dautriche 587
b) Método do cronógrafo eletrônico, com sensores 587
c) Cálculo pelo cronógrafo eletrônico acionado por fibra ótica 587
3) Aplicações 588
B – Densidade dos Explosivos 588
1) Objetivo da medição 589
2) Medição 589
3) Aplicações 589
C – Pressão de Detonação 590
1) Objetivos da Medição 590
2) Medição 590
3) Aplicações 590
D – Sensibilidade dos Explosivos Industriais 591
1) Sensibilidade à Iniciação (Sensitividade) 591
a) Medição 591
b) Aplicação 592
2) Sensibilidade à Detonação por Simpatia (air gap) 592
a) Medição 592
b) Aplicação 593
3) Sensibilidade à variação do diâmetro 593
a) Medição 593
b) Aplicação 593
4) Sensibilidade (Tolerância) à Pressão 594
a) Medição 594
b) Aplicação 594

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 35 16/09/2013 22:56:01

E – Resistência à Água 594
1) Medição 594
2) Aplicação 595
F – Volume Gasoso 595
1) Objetivo da medição 596
2) Aplicações 596
G - Balanço de Oxigênio 596
1) Objetivo da medição 596
2) Medição 596
3) Aplicações 597
H – Gases Tóxicos 597
1) Objetivo da medição 598
2) Medição 598
3) Aplicação 598
I - Energia dos Explosivos 599
1) AWS – Absolute Weight Strength 600
2) ABS – Absolute Bulk Strength 600
3) RWS – Relative Weight Stength 600
4) RBS – Relative Bulk Strength 601

III – BIBLIOGRAFIA 601

capítulo 33

DINAMITES

I – DEFINIÇÃO E HISTÓRICO 604

II – TIPOS DE DINAMITES 604
A – Dinamites nitroglicerinadas 604
1) Com absorvente inerte 604
2) Com absorvente ativo 604
B – Outros tipos de Dinamites 604
1) Dinamites Amoniacais 604
2) Dinamites com Baixo Teor de Nitroglicerina 604
3) Dinamites Seguras ou Dinamites Permissíveis 605
4) Dinamites Incongeláveis 605
5) Dinamites Militares 605
C – Dinamites Gelatinosas 605
1) Formulação de uma Dinamite Gelatinosa 605
2) Características das dinamites 606
3) Propriedades Resultantes dessa dinamite 606
D – Gelatina Explosiva 607
1) Características 607
2) Especificações 607
3) Emprego 607
E – Dinamites Semi-Gelatinosas 607
1) Especificações do Explosivo 607
2) Emprego 608

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 36 16/09/2013 22:56:01

III – BALANÇO DE OXIGÊNIO NOS CONSTITUINTES DAS DINAMITES 608
A – Cálculo de balanço de oxigênio de uma mistura explosiva executada em função da sua composição, a partir do teor de oxigênio dos componentes 608

IV – PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE DINAMITES 609
A – Preparação prévia da gelatina 609
1) Transporte da nitroglicerina 609
2) Estocagem nos tanques de nitroglicerina 609
3) Pesagem e transferência para o misturador (panelas) 609
B – Fabricação da gelatina 609
1) Alimentação da nitroglicerina 609
2) Misturação da nitroglicerina e demais componentes 610
C – Preparação dos sais 611
D – Preparação dos aditivos 611
E – Misturação 611
F – Encartuchamento 611
G – Embalagem 611
H – Empaiolamento 611
I – Fluxograma da Fabricação 612

V – BIBLIOGRAFIA 612

capítulo 34

ANFOs

I – DEFINIÇÕES 616

II – NITRATO DE AMÔNIO 616
A – Evolução do nitrato de amônio como matéria-prima mais importante na formulação dos Explosivos Industriais 616
B – Características do nitrato de amônio 616
C– Especificações 617
D – Tipos de nitratos de amônio 617
E – Processo de fabricação do nitrato de amônio 617

III – ANFOs 617
A – Constituição 617
B – Otimização da energia dos ANFOs 618
C – Características dos ANFOs 619
1) Vantagens 619
2) Desvantagens 619

IV – ANFO/ALUMÍNIO 619

V – APLICAÇÃO DOS ANFOs 619

VI – PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DOS ANFOs 620

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 37 16/09/2013 22:56:01

A – Preparação do nitrato de amônio 620
B – Preparação dos aditivos 620
C – Misturação 620
D – Ensacamento 620
E – Armazenamento 620
F – Validade 620
G – Fluxograma da fabricação dos Anfos 621

VII – BIBLIOGRAFIA 621

capítulo 35

LAMAS EXPLOSIVAS

I – DEFINIÇÃO 624

II – MECANISMOS DE FUNCIONAMENTO 624

III – COMPARAÇÃO DAS PASTAS COM O ANFO 624

IV – FORMULAÇÃO DE UMA LAMA TÍPICA 624

V – CONSTITUINTES PRINCIPAIS DE UMA LAMA EXPLOSIVA 624

VI – FUNÇÕES DOS PRINCIPAIS INGREDIENTES USADOS NAS LAMAS 624

VII – CARACTERÍSTICAS 625

VIII – LAMAS EXPLOSIVAS ENCARTUCHADAS 625
A – Aplicação 625
B – Especificações de uma Lama Explosiva 625

IX – PROCESSO DE FABRICAÇÃO DAS LAMAS EXPLOSIVAS 625
A – Preparação do NMEA 625
B – Preparação do licor neutro 625
C – Misturação 626
D – Outras Operações 626

X – LAMAS EXPLOSIVAS BOMBEÁVEIS 627
A – Métodos de operações por bombeamento 627

XI – LAMAS EXPLOSIVAS SISMOGRÁFICAS 628
A – Evolução das Lamas Sismográficas 628
B – Características 628

XII – BIBLIOGRAFIA 628

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 38 16/09/2013 22:56:01

capítulo 36

EMULSÕES EXPLOSIVAS

I – DEFINIÇÃO 630

II – CONCEITO QUÍMICO DE EMULSÃO 630

III – GENERALIDADES 630
A – Sensibilização das emulsões 630
B – Constituintes principais de uma emulsão 630
C – Exemplo de uma formulação 631
D – Funções das matérias-primas 631
E – Características das emulsões 631
F – Especificações 631
G – Exemplos de emulsões e suas aplicações 632

IV - PROCESSO DE FABRICAÇÃO DAS EMULSÕES ENCARTUCHADAS E BULK 632
A – Preparo das soluções 632
B – Misturação 632
D – Encartuchamento ou bombeamento para a emulsão "Bulk" 632
E – Resfriamento 632
F – As emulsões encartuchadas seguem para a embalagem 632
G – Processo Bulk para as emulsões bombeáveis 632

V – ANFO/Pesado 633
A – Formulação típica de um ANFO/Pesado 634

VI – ANÁLISE COMPARATIVA DAS CARACTERÍSTICAS 634
A – Entre a emulsão e o ANFO 634
B – Entre a emulsão e a lama 634
C – Entre as dinamites nitroglicerinadas e outros explosivos 634

VII – BIBLIOGRAFIA 634

capítulo 37

EMPREGO DOS ACESSÓRIOS DE DETONAÇÃO DAS ESCORVAS E DOS EXPLOSIVOS

I – INICIAÇÃO DOS EXPLOSIVOS 636

II – ACESSÓRIOS DE DETONAÇÃO 636
A – Explosores para espoletas elétricas 636
B – Explosores para o sistema Nonel 637
C – Estopim Hidráulico 637
D – Cordel detonante 638
E – Espoleta comum 639

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 39 16/09/2013 22:56:01

F – Espoletas elétricas 640
1) Espoleta Elétrica Instantânea 640
2) Espoletas Elétricas de Retardo 640
G – Espoletas Eletrônicas 641
H – Nonel 642
I – Retardos 643
1) Emprego de Micro Retardos 643
J – Reforçadores e Booster 644

III – EMPREGO DAS ESCORVAS 644
A – O Sistema de Escorvamento 645

IV – EMPREGOS DOS EXPLOSIVOS 645
A – Natureza da operação de detonação 646
B – Tipos de equipamento de perfuração 646
C – Tipos de rocha a ser trabalhada 647
D – Condições de umidade 648
E – Condições de aeração 649
F – Características dos explosivos 649
G – Impactos ambientais 652
1) Vibração do Terreno 652
2) Sobrepressão atmosférica e ruído 652
3) Causas a serem consideradas 652
4) Medidas a tomar visando o controle ambiental 653

V – BIBLIOGRAFIA 653

capítulo 38

TEORIA DO DESMONTE DE ROCHAS

I – INTRODUÇÃO 656

II – FINALIDADE 656

III – FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO NUM DESMONTE 656

IV – MECANISMO DE RUPTURA DA ROCHA 656
A – Detalhamento da fase dinâmica – (Fragmentação) 657
1) Fase I – Trituração da rocha (Esmagamento) 657
2) Fase II – Zona de intenso fraturamento 658
B – Detalhamento da fase semi-dinâmica - lançamento - lançamento 659
1) Fase III -Extensão das Fendas Radiais pela ação dos gases 659
2) Fase IV - Projeção da rocha 659
3) Fase V – Fragmentação por colisão 660

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 40 16/09/2013 22:56:01

V – TEMPO DE MOVIMENTAÇÃO DA ROCHA 660

VI – BIBLIOGRAFIA 660

capítulo 39

TÉCNICAS DE EXPLORAÇÃO DE ROCHAS E ELABORAÇÃO DE PLANO DE FOGO

I – INTRODUÇÃO 662

II – DESMONTE DE ROCHA A CÉU ABERTO POR BANCADAS 662

III – BANCADAS 662

IV – PLANO DE FOGO 663
A – Elementos de um Plano de Fogo 663
B – Elementos de uma Bancada 664
1) Diâmetro dos Furos (D) 664
a) Diâmetros práticos utilizados 664
2) Altura da Bancada (H_b) 665
a) Fórmulas utilizadas 666
3) Afastamento (A) 667
a) Fórmulas utilizadas 667
4) Espaçamento (E) 669
5) Relação Afastamento versus Espaçamento 670
6) Subfuração (S) 670
7) Inclinação dos Furos (α) 670
8) Profundidade dos Furos (H_f) 671
9) Tampão (T) 672
10) Volume da Rocha por Furo (V) 673
11) Razão de Carregamento e Razão Linear de Carregamento 673
12) Profundidade dos furos (H_f), Densidade Linear e Quantidade de Explosivo da Carga de Fundo (Q_{cf}) 674
13) Carga de Coluna (Q_{cc}) e Altura da Carga de Coluna (H_{cc}) 674
14) Frente de Trabalho (F) e Avanço (A_v) 675
15) Necessidade de Produção (NP) 676
16) Número de Espaçamentos (N_e) 676
17) Retardos 677

V – EXEMPLOS DE PLANOS DE FOGO 678
A - Exemplo 1 678
1) Cálculo do Afastamento (A) 678
2) Cálculo da Subfuração (S) 678
3) Cálculo da profundidade do furo (Hf) 678
4) Cálculo do Espaçamento (E) 678
5) Cálculo do Tampão (T) 678
6) Cálculo da razão linear de carregamento (RL) 678
7) Cálculo da altura da carga de explosivo (H_e) 679

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 41 16/09/2013 22:56:01

8) Cálculo da carga de explosivo (Q_e) 679
9) Cálculo do volume de rocha por furo (V) 679
10) Cálculo da razão de carregamento (RC) 679
11) Cálculo da Perfuração Específica (PE) 679
B - Exemplo 2 679
1) Cálculo do número de furos necessários (NF) 680
2) Cálculo do total de metros perfurados (MP) 680
3) Cálculo do total de explosivos (TE) 680
4) Cálculo do custo dos explosivos e acessórios (CEA) 680
5) Cálculo do custo da perfuração (CP) 680
6) Cálculo do Custo Total do Desmonte (Perfuração + Explosivos e acessórios) [CTD] 680
7) Custo por m^3 680
8) Custo por tonelada 680
C - Exemplo 3 681
1) Cálculo do Afastamento (A) 681
2) Cálculo da Subfuração (S) 681
3) Cálculo da profundidade do furo (H_f) 681
4) Cálculo do Espaçamento (E) 681
5) Cálculo do Tampão (T) 681
6) Cálculo da altura da carga de explosivo (H_e) 681
7) Cálculo do número de cartuchos da carga de explosivo (NC_e) 681
8) Cálculo da massa da carga de explosivo (Q_e) 682
9) Cálculo do volume de rocha por furo (V) 682
10) Cálculo da razão de carregamento (RC) 682
11) Cálculo da Perfuração Específica (PE) 682

VI – BIBLIOGRAFIA 682

capítulo 40

DESMONTES ESCULTURAIS

I – INTRODUÇÃO 684

II – CONCEITO 684

III – MÉTODOS 684
A – Perfuração de costura (PC) – perfuração linear (PL); line drilling 684
B – Detonação perimétrica (DP) – carga amortecida; smooth blasting (SB); smoothing; contour blasting; perimeter blasting; sculture blasting 685
C – Detonação amortecida (DA) – fogo cuidadoso; cushion blasting; triming; slabbing; slashing 685
D – Pré-fissuramento (PS) – pré-seccionamento; corte prévio; pre-shearing; pre-sloting; stress relieving; pre-splitting 687

IV – APLICAÇÕES 689
A – Construções 689
B – Mineração 689

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 42 16/09/2013 22:56:01

V – VANTAGENS GERAIS 689

VI – FUNDAMENTOS TEÓRICOS 690
A – Fatores econômicos e de adaptação 692
B – Parâmetros de perfuração 692
1) Planos de fraqueza artificiais 692
2) Furos raiados 692
3) Furos guias 693
4) Diâmetro dos furos guias 693
5) Distância dos furos guias ao furo carregado 693
6) Número de furos 693
7) Influência da precisão de perfuração 693
8) Relação A'/E' 694
9) Inclinação dos furos do Desmonte Escultural 694
C – Plano de fogo para o Desmonte Escultural 694
1) Pressão de detonação 694
2) Pressão Amortecida ou Efetiva (desacoplamento e espaçadores) 695
3) Geologia da rocha 695
4) Algumas recomendações empíricas 696
5) Exemplos elementares 697

VII – BIBLIOGRAFIA 699

capítulo 41

DESMONTES SUBTERRÂNEOS

I – INTRODUÇÃO 702

II – PILÕES 702
A – Introdução 702
B – Pilão em centro 703
C – Pilão em V 704
D – Pilão Norueguês 705
E – Pilão queimado, estraçalhante ou "burn-cut" 705
F – Pilão Coromant 706
G – Pilão em cratera 706
H – Pilão circular ou Pilão de furos grandes 707

III – PLANO DE FOGO 708
A – Distribuição e concentração da carga 710
B – Razão de carregamento 711
C – Iniciação e escorva ótimas 712
D – Avanço por detonação 712
E – Diâmetro do furo para detonações em seção plena 713
F – Tamponamento 714
G – Subfuração 715
H – Sequência de iniciação e tempo de retardo (timing) 715
I – Segurança 716

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 43 16/09/2013 22:56:02

IV – BIBLIOGRAFIA 717

capítulo 42

PREPARAÇÃO E EXECUÇÃO DOS FOGOS

I – PREPARO DAS ESCORVAS 720
A – Escorvas Estopim - Espoleta 720
B – Escorvas estopim – espoleta no cartucho de dinamite 720
C – Escorva cordel detonante no cartucho de dinamite 721
1) Processo 1 721
2) Processo 2 721

II – CARREGAMENTO DOS FUROS 721
A – Carregamento normal com cordel detonante 721
B – Outro tipos de carregamento dos furos além dos explosivos encartuchados 722

III – LIGAÇÕES COM CORDEL DETONANTE 722
A – Ramificações com cordel detonante 722
B – Emendas de dois cordéis detonantes 723
C – Colocação das espoletas 723
D – Diagramas das ligações com Cordel Detonante 723
1) Ligações Normais 723
2) Ligações com Espoletas 724
a) Exemplo 1 724
a) Exemplo 2 724
a) Exemplo 3 724

VI – COLOCAÇÃO DOS RETARDOS 725
A – Uso de retardos para cordel detonante 725
B – Croquis de um furo carregado e acionado por cordel detonante 725
C – Cálculo do tempo de retardo para cordel detonante 726
D – Uso de microrretardos 726

V – INICIAÇÃO DO FOGO 726
A – Iniciação com estopim 726
B – Iniciação elétrica 727
C – Iniciação por Sistema Nonel 727
D – Localização da Iniciação 728

VI – EXECUÇÃO DA DETONAÇÃO E RETORNO À ÁREA 729

VII – ANÁLISE DE RESULTADOS E AÇÕES CORRETIVAS 729

VIII – DESVIOS DOS RESULTADOS E CORREÇÕES DOS PROBLEMAS 730
A – Matacões versus fogachos - fogo secundário 730
1) Método do “Fogacho” (Método do Bloco Perfurado) 730
2) Método do “João de Barro” 731

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 44 16/09/2013 22:56:02

3) Método do "Buraco de Cobra" 732
B – Repé versus fogo de levante (fogo secundário) 732

IX – FALHAS DE DETONAÇÃO 733

X – BIBLIOGRAFIA 734

capítulo 43

FATOR DE EFETIVIDADE RELATIVA DOS EXPLOSIVOS

I – INTRODUÇÃO 736

II – COMO SE DETERMINA O FATOR DE EFETIVIDADE RELATIVA 736

III – EXPLOSIVOS INDUSTRIAIS 737

IV – CONSIDERAÇÕES SOBRE AS DINAMITES 737

V – EXPLOSIVOS NÃO NITROGLICERINADOS 739

VI – EMPREGO DAS TABELAS 740

VII – CONCLUSÕES 741

VIII – BIBLIOGRAFIA 741

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 45 16/09/2013 22:56:02

Listas

capítulo 1

GENERALIDADES SOBRE EXPLOSIVOS

Tabela 1.1 - Comportamento dos explosivos versus balanço de oxigênio 83
Tabela 1.2 - Calor de Explosão calculado de alguns Explosivos 85
Tabela 1.3 - Balanço de oxigênio em NG, RDX e TNT 86
Figura 1.1 - Efeito do balanço do oxigênio sobre o calor de explosão 86
Tabela 1.4 - Velocidade de Detonação de alguns Explosivos Industriais 103
Tabela 1.5 - Velocidade de detonação de alguns Explosivos Militares 103
Figura 1.2 - Esquema do Método de Dautriche 105
Figura 1.3 - Carga oca e Alvo 108
Tabela 1.6 - Efeito do material do revestimento sobre a influência da carga oca 109
Tabela 1.7 - Valores de Índices potência para alguns altos explosivos 114
Tabela 1.8 - Expansão do Bloco de chumbo de Trauzl 115
Tabela 1.9 - Relações de energia de um explosivo 117

capítulo 2

ÁCIDO SULFÚRICO

Figura 2.1 - Esquema da instalação de produção de Ácido Sulfúrico - Combustão e Catálise 124
Figura 2.2 - Esquema da Instalação da Absorção do Ácido Sulfúrico 126
Tabela 2.1 - Massa específica do H_2SO_4, em função da concentração do ácido 127
Figura 2.3 - Esquema da Instalação para Produção de AS 109 (SN 105,46/03) 128
Figura 2.4 - Ponto de fusão do oleum 129
Tabela 2.2 - Cálculo pelo Método de Tissot 130

capítulo 3

ÁCIDO NÍTRICO

Figura 3.1 - Esquema da Instalação de Produção de Ácido Nítrico - Processo Valentiner 137
Figura 3.2 - Esquema da Instalação de Produção de Ácido Nítrico - Processo Sintético 140
Figura 3.3 - Esquema da Instalação de Concentração de Ácido Nítrico 141

capítulo 4

AGENTES NITRANTES

Tabela 4.I - Série de possíveis agentes nitrantes, em ordem de aumento de poder de nitração 149
Tabela 4.2 - Cálculo pelo Método de Tissot 153
Tabela 4.3 - Cálculo pelo Método de Tissot 153
Tabela 4.4 - Cálculo pelo Método de Tissot 155

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 47 16/09/2013 22:56:02

Tabela 4.5 - Cálculo pelo Método de Tissot 157
Tabela 4.6 – Cálculo pelo Método de Tissot 157

capítulo 5

TROTIL - TNT

Figura 5.1 - Solidificação do TNT 163
Tabela 5.1 - Calor específico do TNT 163
Tabela 5.2 - Dados para a obtenção do TNT [6] 169
Tabela 5.3 – Porcentagem de isômeros na mononitração e composição do ART 169
Figura 5.2 - Esquema das Reações de Nitrações para Obtenção do Trinitrotolueno 170
Tabela 5.4 - Propriedades dos Mononitros 171
Tabela 5.5 - Solubilidade doTNT no sulfito de sódio 175
Figura 5.3 - Sedimentador 175
Figura 5.4 - Secador de TNT 176
Figura 5.5 - Escamador de TNT 177
Figura 5.6 - Conjunto de bandejas para cristalização 177
Figura 5.7 - Esquema da Fabricação contínua de TNT 180
Figura 5.8 - Esquema da Fabricação contínua de TNT (continuação) 181
Tabela 5.6 - Composições das Misturas Nitrantes 185
Tabela 5.7- Composições dos Ácidos Residuais 185

capítulo 6

NITROPENTA - PETN

Tabela 6.1 - Classes da Nitropenta em função da Granulometria 189
Tabela 6.2 - Produtos de decomposição da PETN 190
Figura 6.1 - Esquema da Instalação da Nitração do Pentaeritritol - Processo Semicontínuo 197
Figura 6.2 - Dosador Contínuo 198
Figura 6.3 - Filtro descontínuo 199

capítulo 7

HEXOGÊNIO - RDX

Tabela 7.1 - Classes do RDX 205
Tabela 7.2 - Rendimento da reação em função da concentração do HNO_3 210

capítulo 8

OCTOGÊNIO - HMX

Tabela 8.1 - Especificação do HMX 216
Tabela 8.2 - Propriedades das diversas formas do HMX 217
Tabela 8.3 - Consumo de Matéria-prima 223
Figura 8.1 - Esquema da Instalação para Obtenção do HMX 224

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 48 16/09/2013 22:56:02

capítulo 9

NITROCELULOSE

Tabela 9.1 - Nomenclatura das Nitroceluloses 228
Tabela 9.2 - Resultados dos Ensaios de Estabilidade aceitáveis para a Nitrocelulose 231
Tabela 9.3 - Decomposição Explosiva da Nitrocelulose em Função do Teor de Nitrogênio 232
Tabela 9.4 - Calor de Combustão e de Formação da Nitrocelulose com diversos Teores de Nitrogênio 233
Figura 9.1 - Gráfico da Solubilidade da Nitrocelulose em Função do Teor de Nitrogênio 234
Tabela 9.5 - Solubilidade da Nitrocelulose em Função do Teor de Nitrogênio 234
Tabela 9.6 - Condições das reações para obtenção dos 3 tipos de nitrocelulose 240
Tabela 9.7 - Teores de Nitrogênio da Nitrocelulose e Rendimentos das reações em função das Sulfonítricas utilizadas 240
Figura 9.2 - Tanque de Mistura de Lotes 243
Figura 9.3 - Tanque de Sedimentação 244
Tabela 9.8 - Características de um lote de nitrocelulose 245
Tablea 9.9 - Cálculo de uma sulfonítrica pelo Método Tissot 246
Tabela 9.10 - Cálculo de uma sulfonítrica pelos Processos Algébrico e Tissot 246
Figura 9.4 - Fluxograma da Purificação do Linter 248
Figura 9.5 - Fluxograma da Fabricação da Nitrocelulose 249

capítulo 10

NITROGLICERINA

Tabela 10.1- Decomposição de NG em função do tempo, submetida a 100 °C 256
Tabela 10.2 - Velocidade detonação em função da emulsão 257
Figura 10.1- Dispositivo Antipropagação da Detonação 263
Figura 10.2 - Diagrama da estabilidade do ácido residual da nitroglicerina 265
Figura 10.3 - Esquema da Instalação de Desnitração do Ácido Residual da Nitroglicerina 267
Figura 10.4 - Esquema de instalação de Produção de Nitroglicerina - Processo Biazzi Adaptado 269

capítulo 11

NITROGLICOL

Figura 11.1 - Diagrama da estabilidade do Ácido Residual do Nitroglicol 279

capítulo 12

OUTROS ALTOS EXPLOSIVOS

Tabela 12.1 - Tipos e classes de Nitroguanidina em função da granulometria 282
Tabela 12.2 - Especificações da Nitroguanidina 283

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 49 16/09/2013 22:56:02

Tabela 12.3 - Especificações do HNS 287
Tabela 12.4 - Formulações das Composições A 289
Tabela 12.5 - Valores comparativos dos Volumes de crateras produzidas pelo TNT, Composição B e octol 292
Tabela 12.6 - Formulações de HBX 296
Tabela 12.8 - Sensibilidade do Torpex 298
Tabela 12.9 - Rendimento do Torpex em relação ao TNT em cargas moldadas 298

capítulo 14

AZIDA DE CHUMBO

Figura 14.1 - Instalação para Produção de Azida de Chumbo 312
Figura 14.2 - Esquema do reator para Azida de Chumbo com Agitador Especial 313
Figura 14.3 - Esquema do agitador Especial para Azida de Chumbo 313
Figura 14.4 - Esquema de Filtração da Azida de Chumbo 314
Figura 14.5 - Esquema de Filtração usado para pequenas quantidades 315

capítulo 15

ESTIFINATO DE CHUMBO

Figura 15.1 - Esquema da sulfonação e Nitração do Resorcinol 325
Figura 15.2 - Esquema da precipitação do Estifinato de Chumbo 326
Figura 15.3 - Esquema do Reator Sulfonador 327
Figura 15.4 - Esquema do Nitrador do Resorcinol Sulfonado 329

capítulo 16

DIAZODINITROFENOL

Tabela 16.1 - Capacidade do DDNP para iniciar explosivos menos sensíveis, expressa em gramas do iniciador para fazer detonar 0,40 g do explosivo sob teste 337
Figura 16.1 - Esquema da Instalação de Produção do DDNP - Processo I 340
Figura 16.2 - Esquema da Instalação de Produção do DDNP - Processo II 341
Figura 16.3 - Esquema da Instalação de Produção do DDNP - Processo III 342

capítulo 17

TETRAZENO

Tabela 17.1 - Efeito da pressão no tetrazeno no teste de areia 346
Figura 17.1 - Esquema da Instalação de Produção do Tetrazeno 351

capítulo 19

PROCESSAMENTO DE METAIS POR EXPLOSIVOS

Figura 19.1 - Comparação de endurecimento por explosivos com laminação a frio de Al 2024 - T3 362

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 50 16/09/2013 22:56:02

Figura 19.2 - Endurecimento, por choque, de aços austeníticos 363
Figura 19.3 - Resultados obtidos no endurecimento por explosivos de uma seção de núcleo de "jacaré", relativamente ao eixo de simetria do perfil do trilho 363
Figura 19.4 - Esquema típico do processo de conformação por explosivos 364
Figura 19.5 - Representação esquemática do arranjo para expansão por explosivos de tubos em espelhos de caldeiras 365
Tabela 19.1A - Combinações de metais que já foram soldados por explosivos 366
Tabela 19.1B - Combinações de metais que já foram soldados por explosivos 367
Figura 19.6 - Esquema genérico da colisão obtida na soldagem por explosivos 371
Figura 19.7 - Condições de contorno para definição de parâmetros ótimos de soldagem 374
Tabela 19.2 - Composição do latão naval 375
Tabela 19.3 - Propriedades físicas e mecânicas de alguns metais e ligas e seus fatores de soldabilidade 375
Tabela 19.4 - Propriedades mecânicas dos materiais 376
Figura 19.8 - Velocidade de detonação em função da densidade de carga do explosivo 376
Figura 19.9 - Efeito da espessura da chapa de latão naval nas condições de contorno para ótima soldagem em aço A 515 377
Figura 19.10 - Esquema dos arranjos para os ensaios mecânicos de resistência da solda por explosão 378
Tabela 19.5 - Propriedades iniciais e finais da chapa bimetálica Latão Naval - aço A 515-70 obtida por explosão 379
Tabela 19.6 - Tolerância de planicidade 380
Figura 19.11 - Ensaios de qualificação obtidos em chapas bimetálicas soldadas por explosão 381
Figura 19.12 - Localização das regiões onde foram retirados corpos-de-prova para ensaios da chapa bimetálica inox-aço carbono, obtida por explosão (inox 304 - aço C-E 36) 382
Tabela 19.7 - Resultado dos ensaios mecânicos realizados em chapa bimetálica de aço inox - aço carbono obtida por explosão (*) Regiões trabalhadas a frio 382
Figura 19.13 - Localização das regiões baseadas em chapa biométrica de aço inoxidável 4105, com aço baixo carbono, obtida por explosão 383
Figura 19.14 - Micrografia da interface aço inoxidável - aço carbono da chapa bimetálica, nas proximidades do início da explosão (aumento: 50X). Reduzido 30% para impressão 384
Figura 19.15 - Micrografia da interface aço inoxidável - aço carbono da chapa bimetálica, no fim da soldagem (região mais afastada do início da explosão; aumento 50X). Reduzido 30% para impressão 384
Figura 19.16 - Aspecto da onda característica de boa solda, da chapa bimetálica aço inox - aço carbono obtida por explosão (aumento 50 X. Reduzido 30% para impressão) 384
Figura 19.17 - Medida de espessura da camada revestidora (aço inox) de uma chapa bimetálica 386
Figura 19.18 - Localização das regiões ensaiadas na chapa bimetálica obtida em escala industrial 387
Figura 19.19 - Localização de corpos-de-prova em chapa bimetálica em que foi constatado defeito devido ao colapso dos separadores 387
Tabela 19.8 - Resultados dos ensaios de resistência ao cisalhamento e tração, realizados em corpos-de-prova retirados de chapas bimetálicas de aço inox-aço C, obtidas por explosão em escala industrial 388

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 51 16/09/2013 22:56:02

Figura 19.20 - Perfil de dureza em torno da interface da chapa bimetálica obtida por explosão em escala industrial 389

capítulo 20

PROPRIEDADE DOS PROPELENTES

Figura 20.1 - Influência dos modificadores balísticos na queima de propelentes 398
Figura 20.2 - Grão tipo bastão - queima degressiva 400
Figura 20.3 - Grão monoperfurado - queima neutra 400
Figura 20.4 - Grão multiperfurado - queima progressiva 401
Figura 20.5 - Curvas de pressão para três tipos de propelentes 401
Tabela 20.1 - Pressão crítica (psi) 402
Tabela 20.2 - Erosividade das pólvoras, segundo Vieille 403

capítulo 21

PÓLVORA DE BASE SIMPLES

Figura 21.1 - Fluxograma da Produção de Pólvora BS 411

capítulo 22

PÓLVORA DE BASE DUPLA

Figura 22.1 - Fluxograma da Produção de Pólvora de Base Dupla 428
Tabela 22.1 - Calor de Explosão de pólvoras BD 429
Tabela 22.2 - Especificação da pólvora BD - 209 430
Tabela 22.3 - Características da NC (1) 430
Tabela 22.4 - Características da NC (2) 430
Tabela 22.5 - Configuração da Formulação 431
Tabela 22.6 - Formulação final da BD - 209 431
Tabela 22.7 - Formulação da BD - 302 e da BD - 406 432

capítulo 23

PÓLVORA DE BASE TRÍPLICE

Tabela 23.1 - Características dos propelentes nitroglicerinados 434
Tabela 23.2 - Composição de uma BT 436
Figura 23.1 - Grão de pólvora de BT cortado defeituosamente, destacando a existência de "cauda". 439
Figura 23.2 - Fluxograma da Produção de Pólvora de Base Tríplice 442

capítulo 24

PÓLVORAS ESFÉRICAS

Figura 24.1 - Esquema da fabricação de Pólvora Esférica 446

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 52 16/09/2013 22:56:02

capítulo 25

PROPELENTES MOLDADOS

Tabela 25.1 – Características dos Propelentes 455
Figura 25.1 - Fluxograma da Fabricação de Moldados 455
Tabela 25.2 - Composições Típicas de Propelentes 458
Tabela 25.3 - Foguetes Americanos 459
Tabela 25.4 - Foguetes Franceses 459
Figura 25.2 - Representação do corte de um grão base contendo cauda 460

capítulo 26

COMPOSITES

Figura 26.1 - Fabricação dos propelentes Composites 479
Tabela 26.1 - Propriedades de Diversos Propelentes 486
Tabela 26.2 - Impulso Específico 489
Tabela 26.3 - Calores de formação e massas específicas dos metais 490
Tabela 26.4 a - Variação (calculada) da temperatura de combustão adiabática para a reação do oxigênio com diversos elementos (dados levantados por Grosse) 496
Tabela 26.4 b - Variação (calculada) da temperatura de combustão adiabática para a reação do oxigênio com diversos elementos (dados levantados por Grosse) 497
Tabela 26.5 - Formulações de alguns propelentes de base dupla 498
Tabela 26.6 - Ingredientes usados em propelentes de base dupla 498
Tabela 26.7 - Ingredientes usados em propelentes Composites 499
Tabela 26.8 - Aglutinantes usados em propelentes composites e processos de fabricação 500
Tabela 26.9 - Características de alguns propelentes composites operacionais 501
Tabela 26.10 - Formulação atualizada de propelentes composites 502

capítulo 27

PÓLVORA NEGRA

Roger Bacon (c. 1214 - 1292) 506
Tabela 27.1 - Evolução das Composições da Pólvora Negra 508
Tabela 27.2 - Granulometria 512
Figura 27.1 - Fluxograma de fabricação da Pólvora Negra 515

capítulo 28

ARTIFÍCIOS PIROTÉCNICOS

Tabela 28.1 - Fórmulas para chamas infravermelho 520
Tabela 28.2 - Sistema de chamas vermelho-verde 520
Tabela 28.3 - Quantidade de agente fumígeno por metro cúbico de fumaça padrão 522
Tabela 28.4 - Fórmulas típicas para composições de Iniciadores e Traçantes 524
Tabela 28.5 - Propriedades dos metais Pirofóricos 525

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 53 16/09/2013 22:56:02

Tabela 28.6 - Calores de reação (volumétricos) máximos para metais reagindo com fluorcarbonos 526
Tabela 28.7 - Composições para retardos 527
Tabela 28.8 - Pólvoras Negras usadas em Pirotecnia 528
Tabela 28.9 - Misturas de Iniciação 530
Tabela 28.9 - Misturas de Iniciação 531

capítulo 29

ESTABILIDADE QUÍMICA DAS PÓLVORAS E EXPLOSIVOS

Tabela 29.1 - Ligações químicas homoliticamente unidas com suas respectivas energias de ativação para diferentes classes de explosivos orgânicos 547
Figura 29.1 - Esquema simplificado para envelhecimento químico de propelentes 550
Tabela 29.2 - Determinação da Estabilidade Química das Pólvoras e dos Explosivos 551
Tabela 29.3 - Quadro de Classificação das Pólvoras 552
Tabela 29.4 - Critério para determinação da Estabilidade Química das Pólvoras 552
Tabela 29.5 - de Pontos da Prova de Armazenamento a 100 °C 552
Tabela 29.6 - de Pontos para Pólvora de Base Simples - Prova Alemã 553
Tabela 29.7 - de Pontos de Pólvora de Base Dupla - Prova Alemã 553
Tabela 29.8 - de Pontos para a Prova de Bergmann-Junk (120 °C e 132 °C) 553
Tabela 29.9 - Estabilidade de Explosivos no Vácuo 554
Tabela 29.10 - Potência Máxima Admissível por Unidade de Massa 558
Tabela 29.11 - Prazo para o segundo teste do propelente 559
Tabela 29.12 - Prazo para testes sucessivos do propelente 559
Tabela 29.13 - Valor Máximo de ΔQ_{EX} 560
Tabela 29.14 - Classificação do Propelente 560

capítulo 32

GENERALIDADES SOBRE EXPLOSIVOS INDUSTRIAIS

Tabela 32.1- Combustível e Oxidante 585
Figura 32.1 - Esquema do Método do Contador Digital 587
Figura 32.2 - Esquema do Método do Cronômetro Eletrônico por Fibra Ótica 588
Tabela 32.2 - Valores das velocidades de detonação dos Explosivos 588
Tabela 32.3 - Densidades dos Explosivos 589
Tabela 32.4 - Pressão de Detonação dos Explosivos Industriais 590
Figura 32.3 – Progresso da reação 591
Tabela 32.5 - Iniciação mínima 592
Tabela 32.6 - Valores Médios Esperados dos Explosivos para detonação por simpatia 592
Figura 32.4 - Esquema para medir o “air gap” 592
Tabela 32.7 - Diâmetros ou Espessura da Massa Crítica 593
Figura 32.5 - Esquema do Dispositivo para o Teste do Diâmetro Crítico 593
Tabela 32.8 - Teste de Detonação sob Pressão Hidrostática 594
Tabela 32.9 - Tempo de Resistência á água 595
Tabela 32.10 - Volume Gasoso dos Explosivos 595
Tabela 32.11 - Balanço de Oxigênio dos Explosivos 597

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 54 16/09/2013 22:56:02

Tabela 32.12 - Identificação e Sintomas dos Gases Tóxicos 598
Tabela 32.13 - Toxidez do Monóxido de Carbono 598
Tabela 32.14 - Classes dos Explosivos em função da Toxidez 598
Tabela 32.15 - Força dos Explosivos 600

capítulo 33

DINAMITES

Tabela 33.1 - Finalidades do Aditivos 605
Tabela 33.2 - Teores de Oxigênio dos Constituintes das Dinamites 608
Figura 33.1 - Esquema da Oficina de Fabricação da Gelatina 610
Figura 33.2 - Misturadora de Nitroglicerina 610
Figura 33.3 - Esquema da uma Encartuchadeira Manual 611
Figura 33.4 - Fluxograma da Fabricação das Dinamites 612

capítulo 34

ANFOs

Tabela 34. 1 - Componentes dos ANFOs 618
Figura 34.1 - Influência do teor de óleo combustível no Balanço de Oxigênio e no Poder Calorífico dos Anfos 618
Figura 34.2 - Fluxograma da Fabricação dos ANFOs 621

capítulo 35

LAMAS EXPLOSIVAS

Figura 35.1 - Fluxograma da Fabricação das Lamas 626
Figura 35.2 - Esquema da Fabricação/Aplicação de Lama Bombeável 627

capítulo 36

EMULSÕES EXPLOSIVAS

Figura 36.1 - Distribuição dos Componentes de uma emulsão 630
Figura 36.2 - Esquema da Fabricação da Emulsão Bulk 633
Tabela 36.1 - Análise comparativa das características entre a emulsão e o ANFO 634

capítulo 37

EMPREGO DOS ACESSÓRIOS DE DETONAÇÃO DAS ESCORVAS E DOS EXPLOSIVOS

Figura 37.1 - Estopim Hidráulico 637
Figura 37.2 - Cordel Detonante 638
Figura 37.3 - Esquema da Espoleta Comum 639
Figura 37.4 - Espoleta Elétrica Instantânea 640
Figura 37.5 - Esquema da Espoleta de Retardo 640

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 55 16/09/2013 22:56:02

Figura 37.6 - Esquema dos Reforçadores 644
Tabela 37.1 - Modelos de Britadores versus Tamanho Máximo das Rochas que Podem Processar 647
Tabela 37.2 - Densidade, Peso , Volume e Dureza das Rochas 648
Tabela 37.3 - Características dos Explosivos Industriais 650
Tabela 37.4 - Características dos Explosivos Industriais da IMBEL 651
Figura 37.7 - Custos Relativos dos Explosivos por Tonelada de Rocha Extraída 652

capítulo 38

TEORIA DO DESMONTE DE ROCHAS

Figura 38.1 - Forma Geométrica da Onda de Choque 657
Figura 38.2 - Aumento do Diâmetro do Furo pela Ação da Onda de Choque 658
Figura 38.3 – Efeito da Onda de Choque na Face livre da Rocha 658
Figura 38.4 - Fraturamento pela Onda de Choque 659
Figura 38.5 – Fragmentação por Flexão 659
Figura 38.6 - Fase da Fragmentação por Colisão 660

capítulo 39

TÉCNICAS DE EXPLORAÇÃO DE ROCHAS E ELABORAÇÃO DE PLANO DE FOGO

Figura 39.1- Esquema dos Elementos de uma Bancada 664
Figura 39.2 - Altura da Bancada 665
Tabela 39.1 - Compromisso Diâmetro do Furo e Altura da Bancada 667
Figura 39.3- Afastamento 667
Tabela 39.2 - Outros Valores para os Cálculos do Afastamento 668
Figura 39.4 - Espaçamento 669
Figura 39.5 -Subfuração 670
Figura 39.6 – Inclinação de Furos 671
Figura 39.7 - Profundidade do Furo 671
Figura 39.8 - Tampão 672
Tabela 39.3 - Valores Práticos de RC Relacionados com os Tipos de Rochas 673
Figura 39.9 - Elementos das Cargas Aplicadas 675
Figura 39.10 - Frente e Avanço 676
Figura 39.9 - Malhas para detonações 677

capítulo 40

DESMONTES ESCULTURAIS

Figura 40.1 - Sistema e procedimento típicos para a perfuração linear 685
Figura 40.2 - Distribuição de carga por furo no método de detonação amortecida 686
Figura 40.3 - Detonação amortecida em cortes esquinados 686
Figura 40.4 - Escalonamento da carga nos furos para uma ótima ação do explosivo 687
Figura 40.5 - Sugestão para aplicação do prefissuramento 688
Figura 40.6 - Distribuição de retardos no núcleo quando se aplica o prefissuramento 688
Figura 40.7 - Prefissuramento em cortes esquinados 689
Figura 40.8 - Princípio do Prefissuramento 691

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 56 16/09/2013 22:56:02

Figura 40.9 – Superposição de efeitos de choque de dois furos contíguos 691
Figura 40.10 - O carregamento dos furos no Desmonte Escultural 696
Tabela 40.1 - Dados para Fogos Controlados 698

capítulo 41

DESMONTES SUBTERRÂNEOS

Figura 41.1 - Pilão em Centro ou em Pirâmide 704
Figura 41.2 - Pilão em V 704
Figura 41.3 - Pilão Norueguês 705
Figura 41.4 - Pilão Queimado ou burn-cut de furos de igual diâmetro: a) Em turno reverso; b) Em triângulo 705
Figura 41.5 - Pilão Coromant 706
Figura 41.6 - Pilão em Cratera 706
Figura 41.7 - Pilão Circular (em quatro seções) 707
Tabela 41.1 – Medidas das distâncias entre centros de furos (a, b, c, d) para um furo carregado de 32 mm e furo descarregado de diâmetro Ø variável no pilão cilíndrico em dupla espiral 707
Figura 41.8 - Pilão cilíndrico em dupla espiral 708
Figura 41.9 - Variação típica da razão de carregamento com a área da face para rochas competentes 711
Tabela 41.2 - Avanço médio por detonação para uma faixa de comprimentos de furos com pilão queimado com três furos de alívio com diâmetro de 76 mm e desvio da perfuração de 20 mm/m 713
Tabela 41.3 - Distâncias de afastamento e espaçamento típicas fora da área do pilão 714
Figura 41.10 - Linhas de quebra em uma seção plena ao redor e baseadas em um pilão queimado (usando-se espoletas MS e de Período Longo) 714
Tabela 41.4 - Informações sobre gases tóxicos 716
Tabela 41.5 - Toxidez do Monóxido de Carbono 716

capítulo 42

PREPARAÇÃO E EXECUÇÃO DOS FOGOS

Figura 42.1- Escorva com Espoletim 720
Figura 42.2 - Cartucho Escorvado com Cordel Detonante 721
Figura 42.3 - Cartucho Escorvado com Cordel Detonante usando Fita Adesiva 721
Figura 42.4 - Tipos de Carregamento dos Furos 722
Figura 42.5 - Ligação do cordel detonante com nó Boca de Lobo 723
Figura 42.6 - Emenda com Nó Direito 723
Figura 42.7 - Esquema da colocação das espoletas simultâneas 724
Figura 42.8 - Esquema das ligações dos cordeis detonantes com duplo circuíto de detonação 724
Figura 42.9 - Esquema das ligações dos cordeis detonantes com disponibilidade de três iniciações 724
Figura 42.10 - Esquema das ligações de retardos no cordel detonante 725
Figura 42.11-Furo Acionado por Cordel Detonante com Retardo 725
Figura 42.12 – Pontos de Iniciação num Furo 729
Figura 42.13 - Origem dos Matacões 730

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 57 16/09/2013 22:56:02

Figura 42.14 - Método do Fogacho 731
Figura 42.15 –Método do João de Barro 731
Figura 42.16 - Método do Buraco da Cobra 732
Figura 42.17 - Fogo Levante 732

capítulo 43

FATOR DE EFETIVIDADE RELATIVA DOS EXPLOSIVOS

Tabela 43.1 - Fator de Efetividade Relativa - Explosivos Militares 736
Tabela 43.2 - Fator de Efetividade Relativa de Dinamite Militar 739
Tabela 43.3 - Fator de Efetividade Relativa dos Explosivos Industriais Nitroglicerinados 739
Tabela 43.4 - Fator de Efetividade Relativa dos Explosivos não Nitroglicerinados 740

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 58 16/09/2013 22:56:03

Currículos

Alcio Augusto Carpes **Athayde**

Tenente Coronel Reformado do Exército Brasileiro, falecido em dezembro de 2011; Aspirante do Quadro de Material Bélico -1964 AMAN; Engenheiro Químico formado em 1972 pelo IME; Pós Graduado em Engenharia de Segurança pela UFRJ-RJ e em Controle da Qualidade pela PUC-RJ.

Como Engenheiro Militar exerceu as seguintes funções:

Adjunto de fabricação de Dinamites e Nitroglicerina e participante da equipe de Assistência Técnica para os clientes da Fabrica Presidente Vargas- Piquete, Chefe de fabricação de Explosivos Iniciadores, Fabricação de Cápsulas para munição, Fabricação de Traçantes para munições, Carregamento de petardos de granadas de TNT, Recarregamento de granadas e atividades em laboratórios de Controle da Qualidade e Desativação e faina ao mar de munições falhadas na Fábrica de Realengo-RJ, Engenheiro de Segurança na Fábrica de Piquete – SP, Chefe do desenvolvimento e fabricação de traçantes para munição 90 mm e de pirotécnicos diversos e gerente do Departamento de Controle da Qualidade na Fábrica da Estrela-Vila Inhomirim – RJ, Gerente do Departamento de Materiais da Fábrica de Material de Comunicações e Eletrônica- RJ, Coordenador Geral da Qualidade na IMBEL e Organizador dos Programas da Qualidade da IMBEL.

Estagiou no exterior na Argentina- Buenos Aires e Gualeguachú-Negociação com nitropenta, nos Estados Unidos- Estágios em nove Arsenais Americanos e na Alemanha - Seminário de Armas Não Letais - Etinglen.

Prestou assistência técnica em Hidroelétricas (Xingó-SE), Minas de Carvão(Crisciúma-SC), Minas de Cobre(Camaquã- RJ), Estrada de Ferro(Cacequi-Rio Grande-RS), Prospecção de Petróleo (Cururipe- AL), Túneis (Lages-SC), Pedreiras (Diversas), Rodovias (Estrada da Produção-RS).

Na reserva do Exército foi Professor da Faculdade de Engenharia Química, de Lorena –FAENQUIL (Lorena – SP), Professor da Faculdade de Engenharia de Segurança da UERJ (Rio de Janeiro -RJ), da Faculdade de Vassouras (Seção Três Rios) e do Instituto Militar de Engenharia.

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 59 16/09/2013 22:56:03

José Ferreira **Rocha**

Capitão Reformado do Exército. Aspirante do Quadro de Material Bélico – 1961 – AMAN; Engenheiro Químico – 1967 – IME, Mestre em Ciências, Área de Mecânica – 1967 – EFEI e Especialização na área de Processamento de Metais por Explosão, no Denver Research Institute, University of Denver, Colorado, Estados Unidas da América do Norte.

Exerceu as seguintes funções:

Oficial de Manutenção da 111ª Companhia Leve de Manutenção, Rio de Janeiro, Auxiliar de Instrutor do Curso de Material Bélico da AMAN, Chefe de Fabricação de Nitroglicerina e Dinamites, Setor de Estudos, Assistência Técnica e Laboratórios Químico e Experimental, tudo na Fábrica Presidente Vargas, Piquete-SP; Professor de Química da Faculdade Salesiana e Faculdade de Engenharia Química, ambas de Lorena-SP; Professor de Transmissão de Calor da Faculdade de Engenharia da UNESP, Guaratinguetá-SP e de Operações Unitárias do Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos-SP, como Professor Convidado. Na área de especialização, ministrou cursos de emprego de explosivos, nas Universidades Federais do Rio Grande do Sul e de Minas Gerais.

Na Reserva do Exército, implantou e gerenciou a Filial do IPT de São Paulo, em Lorena-SP, através da qual desenvolveu e implantou no País a tecnologia de Processamento de Metais por Explosão, implantou e gerenciou a Filial da Avibrás Aeroespacial, também em Lorena-SP, fundou a Faculdade de Engenharia Química de Lorena, da qual é Doutor Honoris Causa. Apresentou vários trabalhos técnicos em Congressos Nacionais e Internacionais e prestou serviços na área de desmonte de rochas nas indústrias de mineração e de construção pesada, tendo introduzido a técnica de desmonte com o uso de Emulsões Explosivas na Construtora Odebrecht, da qual foi Consultor Autônomo. Junto com mais três Engenheiros, escreveu o Livro "Engenharia dos Explosivos; Um enfoque dual", em fase de editoração, sob o patrocínio do IME e da Fundação Ricardo Franco.

É Cidadão Honorário de Lorena-SP, membro da Academia Nacional de Economia, Rio de Janeiro-RJ e membro da Academia Paulistana Maçônica de Letras, São Paulo-SP.

Atualmente é Consultor Técnico da Empresa Multiclad Indústria e Comércio de Processamento de Metais por Explosão Ltda., na área de Engenharia de Processos.

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 60 16/09/2013 22:56:03

Mario **Palazzo**

Coronel Reformado do Exército; Aspirante da Arma de Engenharia - 1952 – AMAN; Engenheiro Químico-1964 - IME e Mestre em Ciências, Área de Catálise -1976 – IME.

Exerceu as seguintes funções:

Auxiliar de Instrutor e Instrutor do Curso de Engenharia da AMAN, Chefe dos Grupos de Fabricação dos Ácidos Sulfúrico e Nítrico e de Trotil da Fábrica Presidente Vargas, em Piquete-SP, Professor de Pólvoras e Explosivos, Chefe da Seção de Química e Chefe da Divisão de Ensino e Pesquisa do IME, Chefe da Seção Técnica da Diretoria de Moto-Mecanização, Assessor da Comissão Nacional de Energia Nuclear, para elaboração de Projeto de Construção de uma Usina de Água Pesada.

Visitou no exterior as Usinas de Produção de Água Pesada dos Estados Unidos da América do Norte e do Canadá, e fez Estágio no Laboratório de Catálise da Universidade de Paris IV, França.

Na Reserva do Exército foi Diretor da Divisão de Química Inorgânica do Instituto Nacional de Tecnologia.do Ministério de Ciência e Tecnologia e Coordenador de Treinamento do Instituto Brasileiro da Qualidade Nuclear, que é o Órgão de Supervisão Técnico Independente do Programa Nuclear Brasileiro.

Foi Professor de Química da Faculdade Salesiana de Lorena-SP, do Curso de Engenharia Cartográfica da então Universidade do Estado da Guanabara, dos Cursos de Engenharia da Universidade Gama Filho e da Sociedade Educacional Professor Nuno Lisboa.

Autor dos artigos sobre Trotil e Nitroglicerina publicados na Enciclopédia Mirador Internacional da Encyclopedia Britânica do Brasil, em 1976.

Foi consultor autônomo para fabricação de explosivos e implantação da Qualidade em laboratórios de ensaios.

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 61 16/09/2013 22:56:03

Sergio **Stanisck** Reis

Coronel da Reserva de 1a Classe do Exército Brasileiro; Aspirante-a-Oficial da Arma de Artilharia 1968 - AMAN; Oficial de Comunicações – 1971 - Escola de Comunicações; Engenheiro Químico – 1979, IME; Pós-Graduação em Gestão pela Qualidade Total – 1990 – Universidade Católica de Petrópolis - RJ.

Exerceu as seguintes funções:

Oficial Subalterno e Instrutor no 7º Grupo de Canhões 75 Auto-Rebocado(Ijuí/RS); Comandante de Subunidade e Instrutor de Comunicações Rádio e Fio no 1º Grupo de Artilharia Auto Propulsado (Vila Militar/RJ) e 18º Grupo de Artilharia de Campanha (Rondonópolis/MT), Chefe das Unidades de Fabricação de Altos Explosivos (Nitropenta/RDX) e de Detonadores (Explosivos Iniciadores, Espoletas e Cápsulas de Detonação). Gerente do Departamento Industrial, do Departamento de Engenharia e Controle de Qualidade e Diretor Superintendente da Indústria de Material Bélico do Brasil IMBEL – na Fábrica da Estrela /RJ.

Foi Professor de Química Geral e Tecnológica da Universidade Católica de Petrópolis - RJ. Na Reserva do Exército, foi Adjunto do Coordenador Geral de História Oral na Diretoria de Assuntos Culturais e Chefe do Departamento de Química da Universidade Católica de Petrópolis.- RJ.

Atualmente é consultor autônomo para fabricação de Altos Explosivos e de Explosivos Iniciadores e participa da História Oral na Diretoria de Assuntos Culturais do Exército.

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 62 16/09/2013 22:56:03

Ubirajara da Silva **Valença**

General-de-Brigada Reformado do Exército; Aspirante da Arma de Engenharia-1956-AMAN; Engenheiro Químico-1965-IME; Mestre em Ciências, Área de Catálise-1978-IME.

Exerceu as seguintes funções como Engenheiro Militar:

Chefe do Grupo de Fabricação de Pólvoras de Base Dupla; dos Laboratórios Químico e Experimental; do Gabinete de Estudos; e Adjunto do Diretor Técnico da Fábrica Presidente Vargas, em Piquete, SP. Professor da Cadeira de Explosivos e Chefe do Laboratório de Explosivos, do IME; Professor da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Lorena, SP; da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, SP; da Sociedade Educacional Professor Nuno Lisboa, Rio de Janeiro; da Faculdade de Engenharia Química de Lorena; Lorena; SP; e da Universidade Santa Úrsula, Rio de Janeiro. Chefe do Serviço de Fiscalização de Produtos Controlados e do Laboratório Químico Regional da 1a Região Militar; Subcomandante do Instituto Militar de Engenharia; Assessor do Chefe do Departamento de Material Bélico para Assuntos da IMBEL e Diretor do Instituto de Pesquisa e Desenvovimento.

Estagiou no Radford Army Ammunition Plant, Virginia, USA; no Institut de Recherche sur la Catalyse, Lyon, França; e no Laboratoire de Cinetique Chimique, Paris, França. Traduziu, em parceria, o livro General Chemistry-Principles and Structures; e publicou diversos artigos sobre a fabricação de pólvoras e de explosivos nas Revistas de Ciência & Tecnologia e A Defesa Nacional.

Na Reserva do Exército, participou do Grupo de Trabalho, do Ministério da Defesa, que estudou e propôs a reestruturação da IMBEL e do Grupo de Trabalho para a implantação e fabricação, no Brasil, do Nitrato de 2-Etil Hexila, aditivo para aumentar o teor de cetana no óleo diesel. Foi Diretor de Pesquisa e Desenvolvimento da IMBEL.

Atualmente, é Professor da Cadeira de Explosivos do IME.

ENGENHARIA DOS EXPLOSIVOS um enfoque dual.indd 63 16/09/2013 22:56:03