

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	PRECEITOS ESTATÍSTICOS APLICADOS À QUALIDADE.....	31
2.1	Metodologia DNER – PRO 277/1997.....	31
2.2	Definições básicas.....	31
2.3	Resumo das metodologias.....	32
2.3.1	Metodologia antiga.....	32
2.3.2	Metodologia nova.....	33
2.3.3	Tabela aplicativa.....	34
3	GARANTIA DA QUALIDADE.....	35
3.1	Introdução.....	35
3.2	Definições.....	36
3.3	Problemas de qualidade nos pavimentos.....	40
3.4	Processo de garantia da qualidade.....	41
3.5	Benefícios do planejamento e implementação da garantia da qualidade.....	42
3.6	Tipos de especificações.....	43
3.6.1	Especificações tradicionais.....	44
3.6.2	Especificações de garantia da qualidade.....	44
3.6.3	Especificações baseadas em técnicas estatísticas.....	44
4	ATIVIDADES DE CONTROLE DA QUALIDADE.....	47
4.1	Introdução.....	47
4.2	Itens do pavimento que requerem controle da qualidade.....	49
4.2.1	Aterro e subleito.....	49
4.2.2	Sub-bases e bases.....	49
4.2.3	Revestimentos.....	50
4.2.4	Dispositivos de drenagem.....	51
4.2.5	Segurança viária.....	51
4.3	Inspeção.....	52
4.3.1	Frequência das inspeções.....	52
4.3.2	Documentação das inspeções.....	53
4.3.3	Amostragem e ensaios de campo e de laboratório.....	53
4.3.4	Frequência de amostragem.....	55
4.3.4.1	Fatores que afetam a frequência de amostragem.....	55
4.3.5	Relação entre amostragem e inspeções de campo.....	55
4.4	Descrição dos ensaios mais utilizados em obras rodoviárias.....	57
4.4.1	Ensaio de consistência ou caracterização dos solos.....	57
4.4.1.1	Limite de liquidez.....	57
4.4.1.2	Limite de plasticidade.....	59
4.4.2	Ensaio de compactação.....	61
4.4.2.1	Energia de compactação.....	63
4.4.3	Ensaio do Índice de Suporte Califórnia.....	64
4.4.3.1	O incrível Dr. Porter e o maravilhoso ensaio CBR.....	67
4.4.4	Ensaio de granulometria de solos por peneiramento.....	89
4.4.5	Ensaio de granulometria por peneiramento do agregado.....	91

4.4.6	Ensaio de desgaste por abrasão do agregado .....	94
4.4.7	Ensaio de durabilidade de agregado .....	95
4.4.8	Ensaio de adesividade de agregado .....	96
4.4.9	Ensaio de equivalente de areia de agregado .....	97
4.4.10	Ensaio do índice de forma de agregado .....	98
4.4.11	Ensaio da resistência à tração por compressão diametral .....	99
4.4.12	Ensaio do dano por umidade induzida .....	103
4.4.13	Ensaio de estabilidade e fluência Marshall .....	105
4.4.14	Dosagem Marshall .....	106
4.4.14.1	Composição percentual da mistura de agregados + filler .....	107
4.4.14.2	Análise granulométrica dos agregados + filler .....	107
4.4.14.3	Composição percentual da mistura .....	107
4.4.14.4	Faixa de trabalho .....	107
4.4.14.5	Determinação das massas específicas .....	108
4.4.14.6	Fracionamento da mistura de agregados + filler .....	109
4.4.14.7	Determinação das densidades medias das misturas de agregados + filler .....	109
4.4.14.8	Densidade teórica .....	110
4.4.14.9	Determinações do teor ótimo de CAP .....	110
4.4.14.10	Preparo das misturas .....	111
4.4.14.11	Compactação dos corpos de prova .....	112
4.4.14.12	Definição dos materiais constituintes num corpo de prova .....	112
4.4.14.13	Densidade aparente .....	113
4.4.14.14	Estabilidade Marshall .....	114
4.4.14.15	Volume de vazios .....	114
4.4.14.16	Vazios do agregado mineral .....	115
4.4.14.17	Relação betume-vazios .....	117
4.4.14.18	Cálculo do teor ótimo de ligante .....	117
4.4.15	Ensaio de extração das misturas asfálticas .....	118
4.4.16	Alguns ensaios de campo .....	119
4.4.16.1	Ensaio do frasco de areia .....	119
4.4.16.2	Ensaio com sondas rotativas .....	120
5	CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE .....	123
5.1	Introdução .....	123
5.2	Planos de amostragem .....	123
5.3	Revisão dos conceitos fundamentais da estatística .....	124
5.3.1	Universo .....	125
5.3.2	População .....	125
5.3.3	Unidades de ensaio ou unidades de amostragem .....	125
5.3.4	Amostragem aleatória .....	125
5.3.5	Média aritmética .....	125
5.3.6	Desvio-padrão .....	126
5.3.6.1	Desvio-padrão amostral ( $S^2$ ) .....	126
5.3.7	Variância .....	126
5.3.8	Coefficiente de variação .....	126
5.3.9	Distribuição normal .....	126
5.3.9.1	Exemplo de utilização da tabela da curva normal .....	127
5.4	Metodologia atual aplicada .....	129

5.4.1 Amostra.....	129
5.4.2 Plano de amostragem .....	129
5.4.3 Risco.....	130
5.4.4 Defeito .....	130
5.4.5 Técnicas de inspeção .....	131
5.4.6 Condições específicas.....	131
5.4.7 Plano de amostragem .....	132
5.4.7.1 Inspeção .....	133
5.4.7.2 Tabela aplicativa.....	133
6 CONTROLE DOS PRINCIPAIS SERVIÇOS .....	135
6.1 Terraplenagem .....	135
6.1.1 Serviços preliminares.....	135
6.1.1.1 Condições gerais.....	136
6.1.1.2 Materiais .....	136
6.1.1.3 Execução.....	136
6.1.1.4 Inspeções .....	138
6.1.1.5 Controle da execução.....	138
6.1.1.6 Verificação do produto .....	139
6.1.1.7 Condições de conformidade e não-conformidade .....	139
6.1.2 Cortes .....	139
6.1.2.1 Materiais .....	142
6.1.2.2 Execução .....	142
6.1.2.3 Controle dos insumos.....	143
6.1.2.4 Controle de execução.....	143
6.1.2.5 Controle do produto .....	144
6.1.2.6 Condições de conformidade e não-conformidade .....	144
6.1.3 Aterros .....	145
6.1.3.1 Condições específicas .....	145
6.1.3.2 Controle dos insumos.....	146
6.1.3.3 Controle da execução.....	147
6.1.3.4 Verificação do produto .....	147
6.2 Drenagem.....	150
6.2.1 Drenos subterrâneos .....	150
6.2.1.1 Drenos cegos.....	150
6.2.1.2 Materiais .....	150
6.2.1.3 Controle de produção .....	152
6.2.1.4 Verificação do produto .....	152
6.2.1.5 Condições de conformidade e não-conformidade .....	153
6.2.2 Drenos sub-superficiais .....	154
6.2.3 Drenos sub-horizontais .....	154
6.2.4 Sarjetas e valetas .....	154
6.2.4.1 Recomendações .....	155
6.2.4.2 Controle dos insumos.....	156
6.2.4.3 Verificação do produto .....	156
6.2.4.4 Condições de conformidade e não conformidade .....	157
6.2.4.4 ABNT NBR 12655:2022 .....	158
6.2.4.5 Exemplo de planilha de cálculo.....	160
6.2.5 Transposição de sarjetas e valetas .....	162
6.2.5.1 Transposição com tubos de concreto.....	162

6.2.5.2	Transposição com laje de concreto armado.....	162
6.2.5.3	Materiais .....	162
6.2.5.4	Execução .....	162
6.2.5.5	Controle dos insumos.....	163
6.2.5.6	Verificação do produto .....	163
6.2.5.7	Condições de conformidade e não conformidade.....	163
6.2.6	Meios-fios e guias .....	165
6.2.6.1	Materiais .....	165
6.2.6.2	Execução .....	165
6.2.6.3	Controle dos insumos.....	165
6.2.6.4	Verificação do produto .....	166
6.2.6.5	Condições de conformidade e não conformidade.....	166
6.2.7	Entradas e descidas d'água .....	168
6.2.7.1	Materiais .....	168
6.2.7.2	Execução .....	168
6.2.7.3	Controle dos insumos.....	168
6.2.7.4	Verificação do produto .....	169
6.2.7.5	Condições de conformidade e não conformidade.....	169
6.2.8	Dissipadores de energia .....	170
6.2.8.1	Materiais .....	171
6.2.8.2	Execução.....	171
6.2.8.3	Controle dos insumos.....	171
6.2.8.4	Verificação do produto .....	172
6.2.8.5	Condições de conformidade e não conformidade.....	172
6.2.9	Bueiros tubulares de concreto .....	173
6.2.9.1	Condições gerais.....	173
6.2.9.2	Materiais .....	174
6.2.9.3	Execução.....	175
6.2.9.4	Controle dos insumos.....	176
6.2.9.5	Verificação do produto .....	176
6.2.9.6	Condições de conformidade e não conformidade.....	177
6.2.10	Bueiros metálicos sem interrupção de tráfego .....	178
6.2.10.1	Materiais .....	178
6.2.10.2	Controle dos insumos .....	179
6.2.10.3	Condições de conformidade e não conformidade .....	180
6.2.11	Bueiros celulares de concreto .....	181
6.2.11.1	Condições gerais.....	181
6.2.11.2	Materiais .....	182
6.2.11.3	Controle dos insumos .....	182
6.2.11.4	Controle da produção .....	183
6.2.11.5	Verificação do produto.....	183
6.2.11.6	Condições de conformidade e não conformidade .....	183
6.2.12	Caixa coletoras .....	184
6.2.12.1	Condições gerais.....	185
6.2.12.2	Materiais .....	185
6.2.12.3	Controle dos insumos .....	186
6.2.12.4	Controle da produção .....	186
6.2.12.5	Verificação do produto.....	186
6.2.12.6	Condições de conformidade e não conformidade .....	187

6.3 Pavimentação flexível – sub-bases e bases.....	188
6.3.1 Regularização do subleito .....	188
6.3.1.1 Condições gerais.....	188
6.3.1.2 Materiais.....	188
6.3.1.3 Controle dos insumos.....	189
6.3.1.4 Controle da execução .....	189
6.3.1.5 Verificação do produto .....	190
6.3.1.6 Plano de amostragem .....	190
6.3.1.7 Condições de conformidade e não conformidade.....	191
6.3.2 Reforço do subleito .....	192
6.3.2.1 Materiais .....	192
6.3.2.2 Controle dos insumos .....	193
6.3.2.3 Controle da execução.....	193
6.3.2.4 Verificação do produto .....	194
6.3.2.5 Plano de amostragem.....	194
6.3.2.6 Condições de conformidade e não-conformidade .....	194
6.3.3 Sub-base estabilizada granulometricamente .....	195
6.3.3.1 Materiais .....	195
6.3.3.2 Controle dos insumos .....	196
6.3.3.3 Controle da execução.....	197
6.3.3.4 Verificação do produto .....	197
6.3.3.5 Plano de amostragem.....	198
6.3.3.6 Condições de conformidade e não-conformidade .....	198
6.3.4 Sub-base de solo melhorado com cimento .....	199
6.3.4.1 Materiais .....	200
6.3.4.2 Mistura do solo com o cimento.....	200
6.3.4.3 Controle dos insumos.....	201
6.3.4.4 Controle da mistura .....	201
6.3.4.5 Controle da execução.....	202
6.3.4.6 Verificação do produto .....	203
6.3.4.7 Plano de amostragem.....	204
6.3.4.8 Condições de conformidade e não conformidade.....	204
6.3.5 Base estabilizada granulometricamente .....	205
6.3.5.1 Materiais .....	206
6.3.5.2 Controle dos materiais.....	207
6.3.5.3 Verificação do produto .....	209
6.3.5.4 Plano de amostragem.....	209
6.3.5.5 Condições de conformidade e não conformidade.....	210
6.3.6 Base de solo melhorado com cimento .....	211
6.3.6.1 Materiais .....	211
6.3.6.2 Mistura do solo com o cimento.....	212
6.3.6.3 Controle dos insumos.....	213
6.3.6.4 Controle da mistura .....	213
6.3.6.5 Controle da execução.....	214
6.3.6.6 Verificação do produto .....	215
6.3.6.7 Plano de amostragem.....	216
6.3.6.8 Condições de conformidade e não-conformidade .....	216
6.3.7 Base de solo-cimento .....	217
6.3.7.1 Materiais .....	218

6.3.7.2	Mistura do solo com o cimento.....	219
6.3.7.3	Controle dos insumos.....	219
6.3.7.4	Controle da mistura.....	219
6.3.7.5	Controle da execução.....	220
6.3.7.6	Verificação do produto.....	222
6.3.7.7	Plano de amostragem.....	222
6.3.7.8	Condições de conformidade e não conformidade.....	222
6.3.8	Macadame hidráulico.....	224
6.2.8.1	Condições gerais.....	224
6.3.8.2	Materiais.....	224
6.3.8.3	Controle dos insumos.....	227
6.3.8.4	Verificação do produto.....	228
6.3.8.5	Plano de amostragem.....	228
6.3.8.6	Condições de conformidade e não conformidade.....	228
6.4	Pavimentação rígida – sub-base e placa.....	232
6.4.1	Sub-base de concreto de cimento Portland compactado com rolo.....	232
6.4.1.1	Materiais.....	232
6.4.1.2	Controle dos insumos.....	234
6.4.1.3	Controle da execução.....	234
6.4.1.4	Controle do produto.....	235
6.4.1.5	Resistência do concreto.....	236
6.4.1.6	Condição de aceitação.....	237
6.4.1.7	Plano de amostragem.....	238
6.4.1.8	Condições de conformidade e não conformidade.....	238
6.4.2	Execução de pavimento rígido com equipamento de fôrmas deslizantes.....	240
6.4.2.1	Materiais.....	240
6.4.2.2	Controle dos insumos.....	243
6.4.2.3	Controle da execução.....	244
6.4.2.4	Controle do produto.....	244
6.4.2.5	Controle da qualidade.....	246
6.4.2.6	Condições de conformidade e não-conformidade.....	247
6.5	Revestimentos asfálticos.....	248
6.5.1	Imprimação com ligante asfáltico.....	248
6.5.1.1	Condições gerais.....	248
6.5.1.2	Materiais.....	249
6.5.1.3	Controle dos insumos.....	249
6.5.1.4	Controle da execução.....	250
6.5.1.5	Verificação do produto.....	251
6.5.1.6	Plano de amostragem.....	251
6.5.1.7	Condições de conformidade e de não-conformidade.....	251
6.5.2	Pintura de ligação com ligante asfáltico.....	253
6.5.2.1	Condições gerais.....	253
6.5.2.2	Materiais.....	254
6.5.2.3	Controle dos insumos.....	254
6.5.2.4	Controle da execução.....	255
6.5.2.5	Verificação do produto.....	255
6.5.2.6	Plano de amostragem.....	255
6.5.2.7	Condições de conformidade e de não-conformidade.....	256

6.5.3 Tratamento superficial simples .....	257
6.5.3.1 Condições gerais.....	257
6.5.3.2 Materiais .....	258
6.5.3.3 Controle dos insumos.....	259
6.5.3.4 Controle da execução.....	261
6.5.3.5 Verificação do produto .....	262
6.5.3.6 Plano de amostragem.....	262
6.5.3.7 Condições de conformidade e de não-conformidade .....	263
6.5.4 Tratamento superficial duplo .....	264
6.5.4.1 Condições gerais.....	265
6.5.4.2 Materiais .....	265
6.5.4.3 Controle dos insumos.....	267
6.5.4.4 Controle da execução.....	268
6.5.4.5 Verificação do produto .....	270
6.5.4.6 Plano de amostragem.....	270
6.5.4.7 Condições de conformidade e de não-conformidade .....	270
6.5.5 Tratamento superficial triplo .....	274
6.5.5.1 Condições gerais.....	274
6.5.5.2 Materiais .....	275
6.5.5.3 Controle dos insumos.....	277
6.5.5.4 Controle da execução.....	278
6.5.5.5 Verificação do produto .....	279
6.5.5.6 Plano de amostragem.....	280
6.5.5.7 Condições de conformidade e de não-conformidade .....	280
6.5.6 Macadame betuminoso com ligante asfáltico convencional por penetração .....	281
6.5.6.1 Condições gerais.....	282
6.5.6.2 Materiais .....	282
6.5.6.3 Controle dos insumos.....	284
6.5.6.4 Controle da execução.....	286
6.5.6.5 Verificação do produto .....	286
6.5.6.6 Plano de amostragem.....	287
6.5.6.7 Condições de conformidade e de não-conformidade .....	287
6.5.7 Lama asfáltica .....	290
6.5.7.1 Condições gerais.....	290
6.5.7.2 Materiais .....	291
6.5.7.3 Controle dos insumos.....	292
6.5.7.4 Controle da execução.....	293
6.5.7.5 Verificação do produto .....	293
6.5.7.6 Plano de amostragem.....	294
6.5.7.7 Condições de conformidade e de não-conformidade .....	294
6.5.8 Pré-misturado a frio com emulsão catiônica convencional .....	296
6.5.8.1 Condições gerais.....	296
6.5.8.2 Materiais .....	296
6.5.8.3 Controle dos insumos.....	298
6.5.8.4 Controle da execução.....	299
6.5.8.5 Verificação do produto .....	300
6.5.8.6 Plano de amostragem.....	301
6.5.8.7 Condições de conformidade e de não-conformidade .....	301

6.5.9	Areia-asfalto a quente .....	303
6.5.9.1	Condições gerais .....	303
6.5.9.2	Materiais .....	304
6.5.9.3	Controle dos insumos.....	306
6.5.9.4	Controle da execução.....	306
6.5.9.5	Verificação do produto .....	307
6.5.9.6	Plano de amostragem.....	308
6.5.9.7	Condições de conformidade e de não-conformidade .....	308
6.5.10	Microrrevestimento asfáltico .....	310
6.5.10.1	Condições gerais.....	310
6.5.10.2	Materiais .....	310
6.5.10.3	Controle dos insumos.....	313
6.5.10.4	Controle da execução.....	313
6.5.10.5	Verificação do produto.....	314
6.5.10.6	Plano de amostragem .....	314
6.5.10.7	Condições de conformidade e de não-conformidade .....	314
6.5.11	Concreto asfáltico .....	316
6.5.11.1	Materiais .....	316
6.5.11.2	Controle dos insumos.....	322
6.5.11.3	Controle da execução.....	325
6.5.11.4	Verificação do produto .....	326
6.5.11.5	Plano de amostragem .....	327
6.5.11.6	Condições de conformidade e não-conformidade .....	328
7	EXEMPLOS PRÁTICOS .....	333
7.1	Dadas as planilhas de controles dos serviços de base estabilizada granulometricamente e concreto asfáltico, calcular média, desvio-padrão amostral, $V_{\min}$ , $V_{\max}$ , $X_{\min}$ e $X_{\max}$ verificando se os serviços estão “conformes” ou “não conformes” .....	333
7.1.1	Base estabilizada granulometricamente .....	333
7.1.2	Concreto asfáltico .....	334
7.2	Dadas as planilhas de Tratamento Superficial Duplo, Pintura de Ligação com Ligante Asfáltico e Concreto Asfáltico, calcular a Verificação da Efetividade da Gestão da Qualidade dentro dos preceitos do procedimento DNIT 011/2004 – PRO.....	335
7.2.1	Tratamento Superficial Duplo.....	335
7.2.2	Pintura de Ligação com Ligante Asfáltico.....	335
7.2.3	Concreto Asfáltico.....	336
7.2.4	Verificação mensal da efetividade do PGQ.....	337
7.2.5	Resumo da verificação da efetividade do PGQ.....	338
	REFERÊNCIAS .....	339