

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. – GENERALIDADES

<u>1-1. Definições.</u>	<u>1</u>
<u>1-2. Formas em planta.</u>	<u>2</u>
<u>1-3. Dimensões.</u>	<u>3</u>
<u>1-4. Exigências técnicas a satisfazer na construção de um reservatório.</u>	<u>5</u>
<u>1-5. Os efeitos a considerar.</u>	<u>6</u>
<u>1-51. PESO PRÓPRIO</u>	<u>6</u>
<u>1-52. CARGA DEVIDA AOS LÍQUIDOS CONTIDOS.</u>	<u>6</u>
<u>1-53. SOBRECARGAS DE UTILIZAÇÃO</u>	<u>7</u>
<u>1-54. VARIAÇÕES DE TEMPERATURA E DE RETRAÇÃO</u>	<u>7</u>
<u>1-55. DEFORMAÇÃO LENTA</u>	<u>7</u>
<u>1-56. EFEITOS CLIMÁTICOS: NEVE E VENTO</u>	<u>8</u>
<u>1-57. INFLUÊNCIA DOS ABALOS SÍSMICOS.</u>	<u>12</u>
<u>1-6. Classificação dos reservatórios.</u>	<u>13</u>
<u>1-61. A POSIÇÃO DO RESERVATÓRIO EM RELAÇÃO AO SOLO</u>	<u>13</u>
<u>1-62. A FORMA DA CUBA</u>	<u>14</u>
<u>1-63. SEGUNDO A FORMA DE FECHAMENTO</u>	<u>14</u>
<u>1-64. SEGUNDO A COMPLEXIDADE DA CONSTRUÇÃO</u>	<u>14</u>
<u>1-65. SEGUNDO O USO.</u>	<u>14</u>
<u>1-66. SEGUNDO A NATUREZA DO LÍQUIDO CONSERVADO</u>	<u>15</u>
<u>1-7. Aspecto dos reservatórios. Problemas estéticos.</u>	<u>15</u>

CAPÍTULO 2. – TECNOLOGIA

<u>2-1. Constituição geral dos reservatórios</u>	<u>17</u>
<u>2-10. PEQUENOS RESERVATÓRIOS APOIADOS NO SOLO</u>	<u>17</u>
<u>2-11. RESERVATÓRIOS RETANGULARES APOIADOS NO SOLO</u>	<u>17</u>
<u>2-111. Reservatórios pequenos</u>	<u>18</u>
<u>2-112. Reservatórios de grandes dimensões horizontais.</u>	<u>18</u>
<u>2-113. Tanques de grandes dimensões verticais</u>	<u>21</u>

2-12. TANQUES CIRCULARES APOIADOS NO SOLO	21
2-121. <i>Pequenos tanques.</i>	21
2-122. <i>Tanques de grandes dimensões horizontais.</i>	21
2-123. <i>Tanques de grande altura.</i>	21
2-13. RESERVATÓRIOS DE FORMAS VARIADAS, APOIADAS NO SOLO	22
2-131. <i>Fundo poligonal.</i>	22
2-132. <i>Fundo em curvatura variável contínua.</i>	22
2-133. <i>Forma variada.</i>	22
2-14. RESERVATÓRIOS RETANGULARES APOIADOS NO SOLO	22
2-141. <i>Pequenos reservatórios.</i>	23
2-142. <i>Reservatórios de grandes dimensões em planta</i>	23
2-143. <i>Reservatórios de grande altura.</i>	23
2-15. RESERVATÓRIOS CIRCULARES APOIADOS NO SOLO.	24
2-151. <i>Pequenos reservatórios.</i>	24
2-152. <i>Reservatório de grandes dimensões em planta (D > 30 m).</i>	24
2-153. <i>Reservatórios de grande altura.</i>	24
2-16. RESERVATÓRIOS DE FORMA VARIADA APOIADOS NO SOLO	25
2-17. RESERVATÓRIOS MUITO GRANDES.	25
2-171. <i>Reservatórios retangulares</i>	25
2-172. <i>Reservatórios circulares</i>	30
2-18. PISCINAS SOBRE PILARES	34
2-181. <i>Dimensões e disposições diversas</i>	34
2-182. <i>Equipamento</i>	36
2-183. <i>Princípios de construção</i>	36
2-19. RESERVATÓRIO RETANGULAR SOBRE PILARES	38
2-20 RESERVATÓRIOS CIRCULARES (FORMA DE REVOLUÇÃO) SOBRE PILARES	39
2-201. <i>Cuba</i>	39
<i>Paredes</i>	39
<i>Cobertura</i>	42
<i>Fundos</i>	44
<i>Estrutura de apoio</i>	46
<i>Pilares</i>	46
<i>Torre</i>	48
<i>Reservatórios elevados diversos</i>	54
<i>Cubas de vinhos.</i>	54
<i>Cisternas para produtos negros</i>	58
<i>Reservatórios de hidrocarbonetos.</i>	59
2-2. Revestimentos - Isolação – Impermeabilização.	63
2.21. FUNÇÕES A GARANTIR.	63
2.22. REVESTIMENTOS EXTERNOS	63
2-221. <i>Reservatórios de água potável</i>	63
2-222. <i>Tanques de hidrocarbonetos.</i>	66

2-23. REVESTIMENTOS INTERNOS	67
2-231. <i>Reservatório de água potável</i>	67
2-232. <i>Reservatórios de águas servidas</i>	68
2-233. <i>Reservatórios de água do mar</i>	68
2-234. <i>Cubas de vinhos</i>	68
2-235. <i>Reservatórios de produtos negros</i>	71
2-236. <i>Reservatórios de hidrocarbonetos</i>	71
2-237. <i>Piscinas</i>	72
2-24. JUNTAS	73
2-3. Obras secundárias diversas	75
2-31. ACESSOS EXTERNOS. ILUMINAÇÃO	75
2-32. ACESSO À CUBA DE UM RESERVATÓRIO ELEVADO E À COBERTURA	75
2-33. DISPOSIÇÕES DIVERSAS NA COBERTURA	83
2-34. PERFURAÇÕES DA CUBA PARA COLOCAÇÃO DAS TUBULAÇÕES	87

CAPÍTULO 3. – MÉTODOS DE CÁLCULO

3-1. Reservatório retangular apoiado no solo	91
3-11. PAREDES	91
3-111. Paredes planas verticais. Dados teóricos	91
3-111-1. <i>Placa retangular apoiada em todo seu contorno e submetida a uma carga hidrostática</i>	91
3-111-2. <i>Placa retangular engastada em três lados e articulada no quarto</i>	96
3-111-3. <i>Placa retangular engastada em três lados e livre no quarto</i>	97
3-111-4. <i>Placa retangular engastada nos quatro lados e submetida a uma carga hidrostática</i>	97
3-111-5. <i>Placa retangular engastada nos dois lados opostos, articulada nos outros dois e submetida a uma pressão hidrostática</i>	100
3-111-6. <i>Placa retangular engastada em dois lados opostos, articulada num outro e livre no quarto e submetida a uma pressão hidrostática</i>	102
3-111-7. <i>Placa retangular engastada em dois bordos opostos, apoiada nos outros dois e submetida a uma carga hidrostática</i>	103
3-111-8. <i>Placa retangular engastada no lado ($x = a$) e submetida a uma pressão hidrostática</i>	105
3-111-9. <i>Esforço cortante numa laje retangular vertical engastada nas duas bordas verticais e articuladas nos dois outros lados</i>	105
3-111-10. <i>Esforço cortante numa laje retangular com 2 bordas engastadas, 1 borda articulada, a quarta sendo livre</i>	107
3-112. Paredes planas verticais. Métodos práticos. Cálculos elásticos	107
3-112-1. <i>Considerações gerais</i>	107
3-112-2. <i>Regulamento americano</i>	122
3-112-3. <i>Caso de reservatório aberto de grande área e de pequena altura</i>	124
3-112-4. <i>Caso de reservatório coberto de grande área e de pequena altura</i>	125
3-112-5. <i>Caso de reservatório aberto de pequenas dimensões em planta e de grande altura</i>	127
3-112-6. <i>Reservatório coberto alongado em planta e de seção transversal vertical relativamente pequena</i>	129

3-112-7. Reservatório cúbico	136
3-112-8. Reservatório de seção horizontal quadrada, de lado: $a = 2h$	137
3-113. <i>Paredes planas verticais, cálculos plásticos</i>	138
3-114. <i>Paredes planas verticais. Caso de reservatórios multicelulares</i>	148
3-114-1. Considerações gerais	148
3-114-2. Reservatório de duas células quadradas.	151
3-114-3. Reservatório de duas células retangulares longas de modo tal que $b/a < 1,37$	152
3-114-4. Reservatório de duas células retangulares longas tais que $b/a = 1,37$	153
3-114-5. Reservatório de quatro células retangulares	154
3-114-6. Regras de cálculo do Catálogo de Especificações dos construtores de concreto armado	155
3-115. <i>Paredes verticais nervuradas</i>	156
3-115-1. Reservatório coberto com nervuras verticais.	156
3-115-11. Placa	156
3-115-12. Nervuras verticais	157
3-115-2. Reservatório de nervuras horizontais	158
3-115-21. Placas	159
3-115-22. Nervuras	159
3-115-3. Reservatório de nervuras ortogonais	160
3-115-31. Placas	160
3-115-32. Nervuras horizontais	161
3-115-33. Nervuras verticais	161
3-115-4. Reservatório não coberto de nervuras verticais	162
3-116. <i>Paredes curvas nervuradas</i>	164
3-117. <i>Tensões admissíveis</i>	165
3-117-1. Concreto.	165
3-117-2. Aço.	167
3-118. <i>Disposição da armadura</i>	173
3-118-1. Parede apoiada sem engastamento em todo seu contorno	173
3-118-2. Parede engastada em 3 lados e articulada na cobertura.	173
3-118-3. Parede engastada nos 3 lados e livre no topo.	173
3-118-4. Parede engastada nos 4 lados	174
3-118-5. Outros sistemas de apoio das paredes planas.	174
3-118-6. Parede de depósito não coberto de grande superfície e de pequena altura.	174
3-118-7. Parede de depósito coberto de grande superfície e de pequena altura	174
3-118-8. Reservatório coberto de pequena superfície horizontal, mas de grande altura.	175
3-118-9. Reservatório coberto de nervuras verticais ou horizontais	175
3-118-10. Reservatório não coberto de nervuras verticais	175
3-118-11. Paredes curvas entre nervuras	175
3.12. COBERTURA.	175
3.13. FUNDO	176
3-131. <i>Tensões do fundo sobre solo de fundação</i>	176
3-131-1. Esforços exercidos	176
3-131-11. Influência do peso próprio do fundo e do peso do líquido.	177

3-131-12. <i>Influência das paredes e da cobertura.</i>	177
3-131-121. <i>Parede articulada</i>	177
3-131-122. <i>Parede engastada</i>	186
3-132. <i>Dimensionamento do fundo.</i>	188
3-132-1. <i>Fundo em laje longa</i>	188
3-132-11. <i>Fundo articulado</i>	188
3-132-12. <i>Fundo engastado</i>	188
3-132-2. <i>Fundo em laje retangular próxima do quadrado.</i>	189
3-132-3. <i>Fundo em laje nervurada.</i>	191
3-132-4. <i>Fundo em laje fina com nervuras ortogonais.</i>	191
3-133. <i>Pontos particulares referentes aos fundos</i>	191
3-133-1. <i>Terreno desigualmente resistente sob os fundos de grandes dimensões</i>	191
3-133-2. <i>Fundos sobre estacas ou tubulões.</i>	192
3-133-3. <i>Fundos com pilares internos.</i>	201
3-133-4. <i>Reservatórios sem "fundo"</i>	202
3-133-41. <i>Reservatório não coberto</i>	202
3-133-42. <i>Reservatório coberto</i>	203
3-2. Reservatório circular apoiado no solo	204
3-21. PAREDES	204
3-211. <i>Cálculo clássico da parede circular sob pressão</i>	204
3-212. <i>Cargas de fissuração das paredes dos reservatórios</i>	206
3-213. <i>Influência do fundo e da cobertura.</i>	208
3-213-1. <i>Método Lebellet</i>	208
3-213-2. <i>Método Hangan-Soare</i>	228
3-214. <i>Parede de espessura variável</i>	243
3-215-1. <i>Reservatório de dois compartimentos, dos quais um anular</i>	244
3-215-2. <i>Reservatório com divisão diametral.</i>	244
3-215-21. <i>Os dois compartimentos estão cheios.</i>	244
3-215-22. <i>Somente um compartimento está cheio, o outro vazio.</i>	246
3-216. <i>Reservatórios unidos</i>	251
3-217. <i>Reservatórios troncônicos de geratrizes inclinadas retilíneas.</i>	252
3-218. <i>Reservatórios em arcos.</i>	254
3-219. <i>Reservatório de forma indeterminada</i>	256
3-219-1. <i>Losango</i>	256
3-219-2. <i>Quadrado</i>	257
3-219-3. <i>Anel</i>	258
3-22. COBERTURA	258
3-221. <i>Cobertura em cúpula</i>	258
3-222. <i>Cobertura em laje fina</i>	262
3-223. <i>Cobertura em laje nervurada.</i>	262
3-224. <i>Cobertura em laje anular.</i>	263
3-225. <i>Cúpula central e toro anular.</i>	264
3-226. <i>Cobertura cônica</i>	266
3-227. <i>Cobertura troncônica.</i>	267
3-228. <i>Cobertura em laje-cogumelo e laje maciça</i>	268
3-23. FUNDO	268
3-231. <i>Laje circular</i>	268
3-232. <i>Fundo nervurado</i>	270

3-233.	<i>Fundo com apoio central anular</i>	270
3-234.	<i>Cúpula</i>	270
3-235.	<i>Laje-cogumelo</i>	271
3-236.	<i>Dimensões gerais dos reservatórios circulares clássicos</i>	271
3-3.	Reservatório de forma indeterminada apoiada no solo	272
3-31.	RESERVATÓRIO NÃO COBERTO	272
3-311.	<i>Laje em paralelogramo</i>	273
3-312.	<i>Laje formando um polígono regular de n lados</i>	273
3-313.	<i>Trapézio</i>	273
3-32.	GRANDE RESERVATÓRIO COBERTO E DE PEQUENA ALTURA.	273
3-33.	RESERVATÓRIO COBERTO OU NÃO DE GRANDE ALTURA	274
3-4.	Caixa d'água retangular	274
3-41.	CAIXA D'ÁGUA DE PEQUENA SEÇÃO HORIZONTAL	274
3-411.	<i>Fundo</i>	274
3-412.	<i>Paredes</i>	275
3-413.	<i>Pilares-suporte</i>	275
3-414.	<i>Fundação</i>	276
3-42.	CAIXA D'ÁGUA DE GRANDE SEÇÃO HORIZONTAL CONTENDO UMA PEQUENA ALTURA D'ÁGUA.	276
3-421.	<i>Fundo</i>	276
3-422.	<i>Pilares</i>	276
3-43.	CAIXA D'ÁGUA DE GRANDE CAPACIDADE	277
3-44.	PISCINA ELEVADA.	277
3-441.	<i>Paredes</i>	277
3-442.	<i>Fundo</i>	277
3-5.	Caixa d'água circular	278
3-51.	COBERTURA.	278
3-52.	PARFDES	278
3-521.	<i>Métodos analíticos</i>	279
3-522.	<i>Método por recorrência</i>	282
3-523.	<i>Paredes em arcos múltiplos</i>	284
3-53.	CONSOLOS.	285
3-531.	<i>Consolo troncônico</i>	285
3-532.	<i>Consolo tórico</i>	290
3-54.	FUNDO	291
3-541.	<i>Cúpula esférica</i>	291
3-542.	<i>Cobertura cônica</i>	292
3-543.	<i>Cobertura tórica</i>	292
3-55.	CINTAS	295
3-551.	<i>Cinta alta da cúpula</i>	295
3-552.	<i>Cinta baixa da cúpula</i>	295
3-553.	<i>Cinta alta de tronco de cone</i>	296
3-554.	<i>Cinta baixa da cuba</i>	296

<u>3-555. Cinta alta de cúpula de fundo</u>	<u>297</u>
<u>3-556. Cinta baixa de parede vertical intermediária</u>	<u>297</u>
3-56. ESTRUTURA DE SUPORTE	297
<u>3-561. Esforços a serem considerados.</u>	<u>298</u>
<u>3-562. Torre em casca fina cilíndrica</u>	<u>298</u>
<u>3-562-1. Tensões.</u>	<u>298</u>
3-562-2. Estabilidade	299
3-563. Torre com geratriz retilínea inclinada	300
3-564. Torre de geratriz de traçado qualquer	300
3-565. Estrutura sobre pilares verticais sem contraventamentos	300
3-566. Pilar sobre colunas inclinadas sem contraventamento	302
3-567. Pilares sobre colunas verticais com contraventamento	302
3-568. Pilar em torre reforçada por contrafortes	302
3-57. FUNDAÇÕES.	303
<u>3-571. Sapata contínua.</u>	<u>303</u>
<u>3-572. Sapatas isoladas</u>	<u>304</u>
<u>3-573. Pilar sobre radier</u>	<u>304</u>
<u>3-574. Fundações sobre tubulões</u>	<u>304</u>

CAPÍTULO 4. – EXEMPLOS NUMÉRICOS

4-1. Reservatórios retangulares apoiados no solo	305
4-11. RESERVATÓRIO GRANDE PARALELEPIPÉDICO ABERTO	305
<u>4-111. Cálculo dos momentos nas paredes segundo diversos métodos</u>	<u>305</u>
<u>4-112. Cálculo dos esforços cortantes.</u>	<u>313</u>
<u>4-113. Cálculo das armações das paredes</u>	<u>314</u>
<u>4-114. Cálculo à ruptura</u>	<u>315</u>
4-12. RESERVATÓRIO PEQUENO PARALELEPIPÉDICO COBERTO.	315
<u>4-121. Influência da cobertura.</u>	<u>315</u>
<u>4-122. Influência das paredes verticais</u>	<u>316</u>
<u>4-123. Influência da carga hidrostática nas paredes</u>	<u>317</u>
<u>4-124. Influência do peso do fundo.</u>	<u>317</u>
<u>4-125. Influência do peso do ligante hidrocarbonado no fundo</u>	<u>318</u>
<u>4-126. Caso de terreno ruim, momentos totais</u>	<u>320</u>
<u>4-127. Caso de terreno muito bom, momentos totais.</u>	<u>320</u>
<u>4-128. Cálculo prático</u>	<u>322</u>
<u>4-128-1. Paredes.</u>	<u>322</u>
<u>4-128-2. Cobertura</u>	<u>323</u>
<u>4-128-3. Fundo</u>	<u>323</u>
<u>4-128-4. Momentos totais</u>	<u>323</u>
4-13. RESERVATÓRIO COBERTO NERVURADO	325
<u>4-131. Cobertura</u>	<u>325</u>
<u>4-132. Fundo</u>	<u>326</u>
<u>4-133. Paredes.</u>	<u>326</u>
4-14. RESERVATÓRIO GRANDE RETANGULAR COM CONTRAFORTES	327
<u>4-141. Arco das paredes</u>	<u>327</u>
<u>4-142. Contrafortes.</u>	<u>330</u>

4-143. <i>Tirante</i>	332
4-144. <i>Arco da cobertura</i>	333
4-145. <i>Nervura da cobertura</i>	333
4-146. <i>Viga-calha</i>	334
4-2. Reservatórios circulares apoiados no solo	335
4-21. RESERVATÓRIO PEQUENO	335
4-211. <i>Cúpula de cobertura</i>	335
4-212. <i>Paredes circulares</i>	337
4-213. <i>Fundo</i>	339
4-22. RESERVATÓRIO GRANDE	340
4-3. Reservatórios circulares elevados	343
4-31. RESERVATÓRIO PEQUENO	343
4-311. <i>Cúpula superior</i>	343
4-312. <i>Cinta da cúpula</i>	345
4-313. <i>Parede cilíndrica externa</i>	345
4-314. <i>Cinta da parede (tronco de cone inclinado a 45°)</i>	346
4-315. <i>Tronco de cone</i>	346
4-316. <i>Cúpula de fundo</i>	348
4-317. <i>Cinta de base</i>	348
4-318. <i>Parede cilíndrica interna</i>	349
4-319. <i>Torre de suporte</i>	349
4-32. RESERVATÓRIO GRANDE ELEVADO DE 1500 m³ DE MONTREUIL	351
4-321. <i>Cúpula de cobertura</i>	351
4-322. <i>Parede cilíndrica</i>	351
4-323. <i>Cinta alta do consolo</i>	356
4-324. <i>Consolo</i>	357
4-325. <i>Cúpula de fundo</i>	358
4-326. <i>Cinta de base</i>	359
4-327. <i>Estrutura (12 pilares)</i>	361
4-328. <i>Fundações</i>	362
4-33. RESERVATÓRIO GRANDE DE 2500 m³	362
4-331. Cobertura cônica	364
4-331-1. <i>Cone</i>	364
4-331-2. <i>Laje anular</i>	364
4-331-3. <i>Cinta fletida</i>	365
4-332. <i>Parede externa</i>	365
4-333. <i>Parede interna</i>	369
4-334. <i>Estudo das lajes do reservatório</i>	371
4-335. <i>Pilares</i>	375
4-336. <i>Fundações</i>	378
4-337. <i>Estabilidade do conjunto</i>	379
4-34. RESERVATÓRIO DE 450 m³ DE GRANDE ALTURA	379
4-341. <i>Descrição geral</i>	379
4-342. <i>Capacidade da cuba</i>	383
4-343. <i>Esforços externos devidos ao vento</i>	383
4-344. <i>Cúpula de cobertura</i>	386
4-345. <i>Cuba</i>	389

ÍNDICE

XVII

4-346. <i>Chaminé interna.</i>	<u>396</u>
4-347. <i>Cúpula de fundo</i>	<u>396</u>
4-348. <i>Vaso de expansão.</i>	<u>399</u>
4-349. <i>Torre</i>	400
4-349-1. O piso interno.	410
4-349-2. <i>Fuste cilíndrico de fundação</i>	<u>413</u>
4-349-3. Estabilidade das fundações.	416