

Capítulo 8

Alteamento do lençol freático pela equação de Hantush

8. Alteamento do lençol freático pela equação de Hantush

8.1 Introdução

O objetivo é calcular o alteamento do lençol freático quando fazemos uma infiltração

8.2 Alteamento do lençol freático pela Equação de *Hantush*

Existe um lençol freático que tem altura “ b ”, porosidade efetiva S_y e condutividade hidráulica K . Observar que a condutividade hidráulica K do aquífero saturado pode ser diferente daquela da zona de aeração conforme Figura (8.1) e (8.2).

Queremos saber que com a infiltração da água no lençol freático como o mesmo sobe e saber se isto não vai ocasionar problema do escoamento devido a necessidade de se manter sempre no mínimo 1,20m do lençol freático até o fundo da trincheira de exfiltração, sendo isto importante

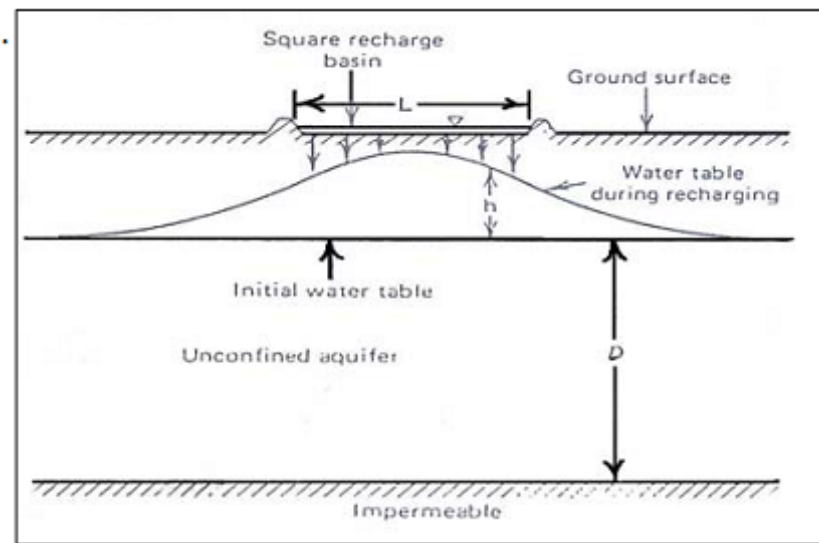


Figura 8.1 Alteamento do lençol freático devido a recarga
Fonte: Todd, 1990

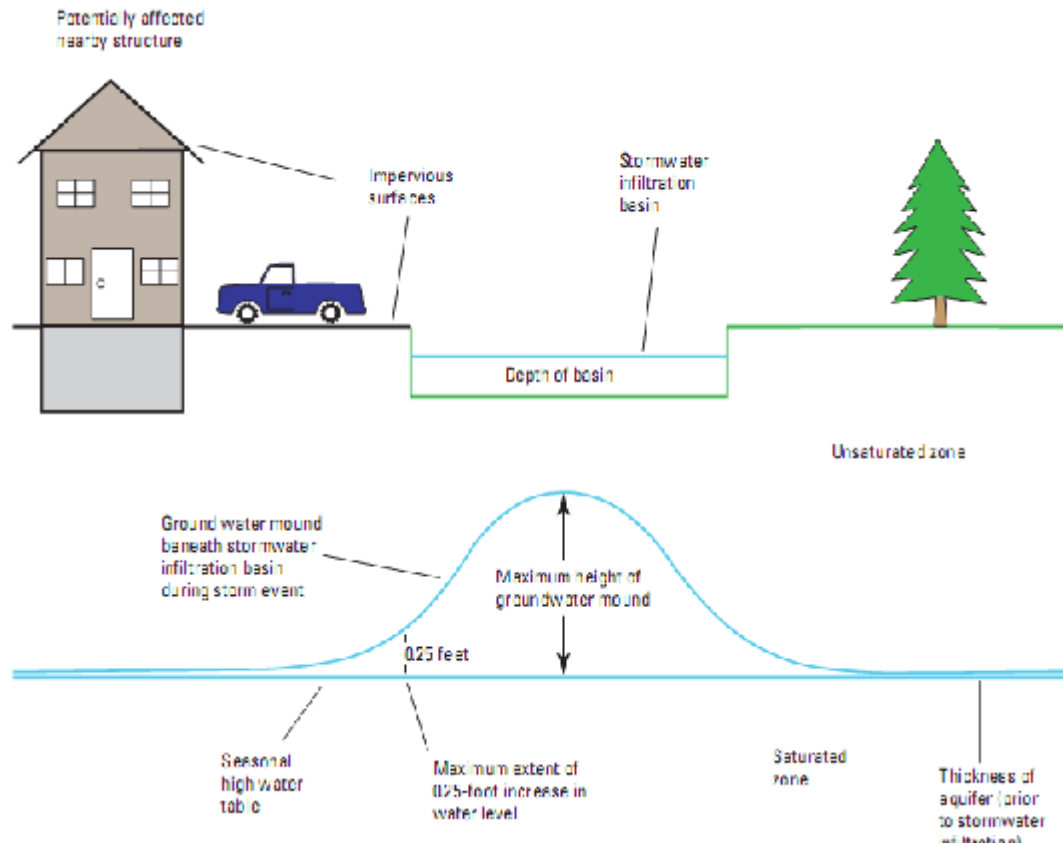


Figura 8.2- Esquema do alçamento do lençol freático
Fonte: USGS, 2010

O parâmetro “v” será:

$$v = Kx b / S_y$$

$$b_1 = 0,5 x (h_i + h(t))$$

Sendo:

v = parâmetro (m²/dia)

b₁ = espessura do lençol freático no tempo t (m)

S_y = porosidade efetiva (adimensional)

h_i = altura inicial da espessura do lençol freático (m)

h(t) = altura no tempo t (m)

Hantush, 1967 in Chin, 2000 obteve a seguinte equação:

$$h_m^2(t) = h_i^2 + (2N x v x t / K) x S^* (W / (8 v t)^{0,5} , L / (8 v t)^{0,5})$$

Sendo:

h_m = é a máxima altura do lençol freático no tempo t em relação a base (m)

h_i = espessura do lençol freático

N = taxa de recarga (m/dia)

t = tempo (horas)

K = condutividade hidráulica do aquífero (m/dia)

W= largura da trincheira (m)
 L= comprimento da trincheira (m)
 v = parâmetro (m²/dia)

Tabela 8.1- Valores de α e β conforme função de erro

α	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,14	0,18	0,22	0,26	0,30	0,34	0,38	0,42	0,46	0,50	0,54	0,58	0,62
0,02	0,0021	0,0073	0,0101	0,0125	0,0146	0,0181	0,0216	0,0243	0,0267	0,0288	0,0306	0,0322	0,0337	0,0349	0,0361	0,0371	0,0380	0,0387
0,04	0,0073	0,0135	0,0188	0,0236	0,0278	0,0333	0,0416	0,0470	0,0518	0,0559	0,0596	0,0628	0,0657	0,0683	0,0705	0,0725	0,0743	0,0759
0,06	0,0101	0,0188	0,0266	0,0335	0,0398	0,0459	0,0502	0,0544	0,0584	0,0624	0,0661	0,0692	0,0719	0,0743	0,0765	0,0785	0,0803	0,0819
0,08	0,0125	0,0236	0,0335	0,0425	0,0508	0,0582	0,0647	0,0706	0,0761	0,0812	0,0860	0,0905	0,0946	0,0983	0,1017	0,1048	0,1076	0,1102
0,10	0,0146	0,0278	0,0398	0,0508	0,0608	0,0698	0,0776	0,0844	0,0908	0,0968	0,1024	0,1077	0,1126	0,1171	0,1213	0,1252	0,1288	0,1322
0,14	0,0181	0,0333	0,0459	0,0562	0,0652	0,0725	0,0786	0,0842	0,0894	0,0941	0,0984	0,1024	0,1061	0,1095	0,1127	0,1157	0,1184	0,1209
0,18	0,0216	0,0416	0,0562	0,0698	0,0816	0,0916	0,1000	0,1070	0,1128	0,1174	0,1217	0,1257	0,1294	0,1328	0,1359	0,1387	0,1413	0,1437
0,22	0,0243	0,0470	0,0647	0,0804	0,0942	0,1064	0,1171	0,1264	0,1342	0,1406	0,1466	0,1522	0,1575	0,1624	0,1670	0,1713	0,1753	0,1790
0,26	0,0267	0,0518	0,0706	0,0884	0,1048	0,1200	0,1342	0,1474	0,1596	0,1708	0,1810	0,1902	0,1985	0,2059	0,2124	0,2180	0,2228	0,2273
0,30	0,0288	0,0559	0,0759	0,0958	0,1136	0,1294	0,1442	0,1580	0,1708	0,1826	0,1934	0,2032	0,2120	0,2198	0,2267	0,2327	0,2378	0,2426
0,34	0,0306	0,0596	0,0816	0,1036	0,1236	0,1416	0,1584	0,1742	0,1890	0,2028	0,2156	0,2274	0,2382	0,2480	0,2568	0,2646	0,2715	0,2775
0,38	0,0322	0,0628	0,0868	0,1116	0,1336	0,1536	0,1716	0,1884	0,2042	0,2190	0,2328	0,2456	0,2574	0,2682	0,2770	0,2848	0,2917	0,2977
0,42	0,0337	0,0657	0,0916	0,1184	0,1432	0,1660	0,1868	0,2056	0,2224	0,2382	0,2530	0,2668	0,2796	0,2914	0,3022	0,3120	0,3208	0,3286
0,46	0,0349	0,0683	0,0962	0,1250	0,1528	0,1796	0,2044	0,2272	0,2480	0,2668	0,2836	0,2994	0,3142	0,3280	0,3408	0,3526	0,3634	0,3732
0,50	0,0361	0,0705	0,1004	0,1322	0,1630	0,1928	0,2206	0,2464	0,2702	0,2920	0,3128	0,3316	0,3494	0,3662	0,3820	0,3968	0,4106	0,4234
0,54	0,0371	0,0725	0,1044	0,1382	0,1710	0,2028	0,2326	0,2604	0,2862	0,3110	0,3348	0,3576	0,3794	0,3992	0,4180	0,4358	0,4526	0,4684
0,58	0,0380	0,0743	0,1081	0,1440	0,1798	0,2146	0,2484	0,2812	0,3130	0,3438	0,3726	0,3994	0,4252	0,4490	0,4718	0,4936	0,5144	0,5342
0,62	0,0387	0,0759	0,1115	0,1494	0,1882	0,2260	0,2628	0,2986	0,3334	0,3672	0,3990	0,4298	0,4596	0,4884	0,5162	0,5430	0,5688	0,5936
0,66	0,0394	0,0773	0,1136	0,1534	0,1942	0,2350	0,2748	0,3136	0,3514	0,3882	0,4240	0,4588	0,4926	0,5254	0,5572	0,5880	0,6178	0,6466
0,70	0,0401	0,0798	0,1154	0,1572	0,2000	0,2438	0,2876	0,3314	0,3742	0,4160	0,4568	0,4956	0,5334	0,5702	0,6060	0,6408	0,6746	0,7074
0,74	0,0406	0,0806	0,1161	0,1598	0,2046	0,2494	0,2942	0,3390	0,3828	0,4256	0,4674	0,5082	0,5480	0,5868	0,6246	0,6614	0,6972	0,7320
0,78	0,0411	0,0816	0,1165	0,1622	0,2080	0,2538	0,2996	0,3454	0,3912	0,4360	0,4808	0,5246	0,5674	0,6092	0,6500	0,6898	0,7286	0,7664
0,82	0,0415	0,0824	0,1168	0,1646	0,2124	0,2592	0,3060	0,3528	0,3996	0,4464	0,4932	0,5390	0,5848	0,6296	0,6734	0,7162	0,7580	0,7988
0,86	0,0419	0,0832	0,1171	0,1660	0,2148	0,2616	0,3084	0,3552	0,4020	0,4488	0,4956	0,5414	0,5872	0,6320	0,6758	0,7186	0,7604	0,8012
0,90	0,0422	0,0838	0,1171	0,1670	0,2158	0,2626	0,3094	0,3562	0,4030	0,4498	0,4966	0,5424	0,5882	0,6330	0,6768	0,7196	0,7614	0,8022
0,94	0,0425	0,0841	0,1171	0,1680	0,2168	0,2636	0,3104	0,3572	0,4040	0,4508	0,4976	0,5434	0,5892	0,6340	0,6778	0,7206	0,7624	0,8032
0,98	0,0428	0,0844	0,1171	0,1690	0,2178	0,2646	0,3114	0,3582	0,4050	0,4518	0,4986	0,5444	0,5902	0,6350	0,6788	0,7216	0,7634	0,8042
1,00	0,0429	0,0844	0,1171	0,1690	0,2178	0,2646	0,3114	0,3582	0,4050	0,4518	0,4986	0,5444	0,5902	0,6350	0,6788	0,7216	0,7634	0,8042
1,20	0,0437	0,0858	0,1263	0,1654	0,2030	0,2400	0,2760	0,3110	0,3450	0,3790	0,4130	0,4470	0,4810	0,5150	0,5490	0,5830	0,6170	0,6510
1,40	0,0441	0,0866	0,1275	0,1669	0,2049	0,2419	0,2779	0,3129	0,3479	0,3829	0,4179	0,4529	0,4879	0,5229	0,5579	0,5929	0,6279	0,6629
1,60	0,0444	0,0871	0,1283	0,1680	0,2062	0,2432	0,2792	0,3142	0,3492	0,3842	0,4192	0,4542	0,4892	0,5242	0,5592	0,5942	0,6292	0,6642
2,00	0,0444	0,0871	0,1284	0,1681	0,2064	0,2434	0,2794	0,3144	0,3494	0,3844	0,4194	0,4544	0,4894	0,5244	0,5594	0,5944	0,6294	0,6644
2,50	0,0444	0,0872	0,1284	0,1682	0,2065	0,2435	0,2795	0,3145	0,3495	0,3845	0,4195	0,4545	0,4895	0,5245	0,5595	0,5945	0,6295	0,6645
3,00	0,0444	0,0872	0,1284	0,1682	0,2065	0,2435	0,2795	0,3145	0,3495	0,3845	0,4195	0,4545	0,4895	0,5245	0,5595	0,5945	0,6295	0,6645

Fonte: Bouwer in Mays, 1999

$$v = Kx b / Sy = 107 \times 10,7 / 0,2 = 5.724,5 \text{ m}^2/\text{dia}$$

$$b1 = 0,5 \times [h_i + h(t)]$$

Hantush, 1967 in Chin, 2000 obteve a seguinte equação:

$$h_m^2(t) = h_i^2 + (2N_x v x t / K) \times S^* (W / (8 v t)^{0,5}, L / (8 v t)^{0,5})$$

$$h_m^2(t) = 10,7^2 + (2 \times 34,5 \times 5725 \times t / 107) \times S^* (1 / (8 \times 5725 t)^{0,5}, 6 / (8 \times 5725 t)^{0,5})$$

$$h_m^2(t) = 114 + 3692 \times t \times S^* (0,00467 t^{0,5}, 0,028 / t^{0,5})$$

Para t = 1 dia teremos:

$$h_m^2(t) = 114 + 3692 \times 1 \text{ dia} \times S^* (0,00467 \times 1^{0,5}, 0,028 / 1^{0,5})$$

$$h_m^2(t) = 114 + 3692 \times 1 \text{ dia} \times S^* (0,00467, 0,028)$$

$$\alpha = 0,00467$$

$$\beta = 0,028$$

Entrando na Tabela (8.1) e (8.2) com os valores de α e β e fazendo as **interpolações** achamos o valor 0,00044

$$h_m^2(t) = 114 + 3692 \times 1 \text{ dia} \times 0,00044 = 114 + 1,6 = 115,6$$

$$h_m = 115,6^{0,5} = 10,8 \text{ m}$$

Portanto, o aquífero que tinha 10,7m passou para 10,8m, isto é, subiu 0,10m, que não apresenta perigo, pois, existe do fundo da trincheira até o nível do lençol freático a distância de 1,85m.

Internet

Uma outra maneira é entrar na internet no site e calcular

<http://www.aqtesolv.com/forum/rmound.asp>

Achamos 10,8m

Poderemos também variar o tempo de 1 dia para 10 dias, 100dias, 1.000dias, 10.000dias, mas a altura de 10,80m permanecerá estável.

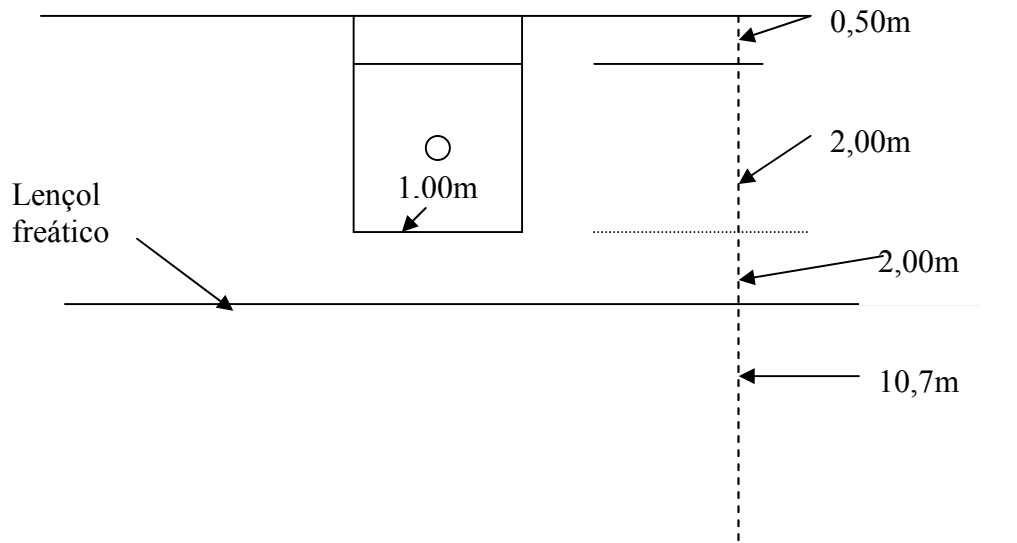


Figura 8.3- Esquema para verificar o alçamento do lençol freático

Exemplo 8.2 Bom

Dimensionar um reservatório de infiltração on line com bacia de área de 3.000m^2 (0,3ha), com área impermeável do terreno $AI=50\%$, $K=13\text{mm/h}=0,30\text{m/dia}$, porosidade efetiva igual a 0,1, tempo de concentração de $t_c=10\text{min}$, usando a equação de chuva de Natal, RN para $Tr=5\text{anos}$ considerando a que o lençol freático está a 5,00 de profundidade e que a espessura do lençol freático é de 7,00m.

O reservatório foi dimensionado com volume $25,2\text{m}^3$ e dimensões $6,4\text{m} \times 12,8\text{m}$ com $0,31\text{m}$ de profundidade.

Vamos considerar que a espessura do aquífero seja **$b=7,00\text{m}$** e $K=0,30\text{m/dia}=13\text{mm/h}$ e porosidade efetiva $S_y=0,10$.

Queremos infiltrar em dois dias a altura de $0,31\text{m}$, que nos dará $0,31/2=0,16\text{m/dia}$, ou $25,2/2=12,6\text{m}^3/\text{dia}$.

Portanto:

$$Q=12,6\text{m}^3/\text{dia}$$

$$Kt=0,30\text{m/dia}$$

$$W=6,40\text{m (largura)}$$

$$L=12,8\text{m (comprimento)}$$

A taxa de infiltração será:

$$N=Q/(L \times W)$$

$$N=12,6/(12,8 \times 6,4)=0,15 \text{ m/dia}$$

O parâmetro v será:

$$v=K \times b / S_y=0,30 \times 7,0 / 0,1 = 21 \text{ m}^2/\text{dia}$$

Hantush, 1967 in Chin, 2000 apresenta a equação:

$$h_m^2(t)=h_i^2 + (2Nxv \times t/K) \times S^* (W/(8vt))^{0,5}, L/(8vt)^{0,5}$$

$$h_m^2(t)=7^2 + (2 \times 0,15 \times 21 \times t/0,30) \times S^* (6,4/(8 \times 21t))^{0,5}, 12,8/(8 \times 21t)^{0,5}$$

$$h_m^2(t)=49 + 21 \times t \times S^* (0,49/t^{0,5}, 0,99/t^{0,5})$$

Para **$t=2 \text{ dia}$** teremos:

$$h_m^2(t)=49 + 21 \times 2\text{dia} \times S^* (0,49/t^{0,5}, 0,99/t^{0,5})$$

$$h_m^2(t)=49 + 42 \times S^* (0,49/2^{0,5}, 0,99/2^{0,5})$$

$$h_m^2(t)=49 + 42 \times S^* (0,28, 0,70)$$

$$\alpha=0,28$$

$$\beta=0,70$$

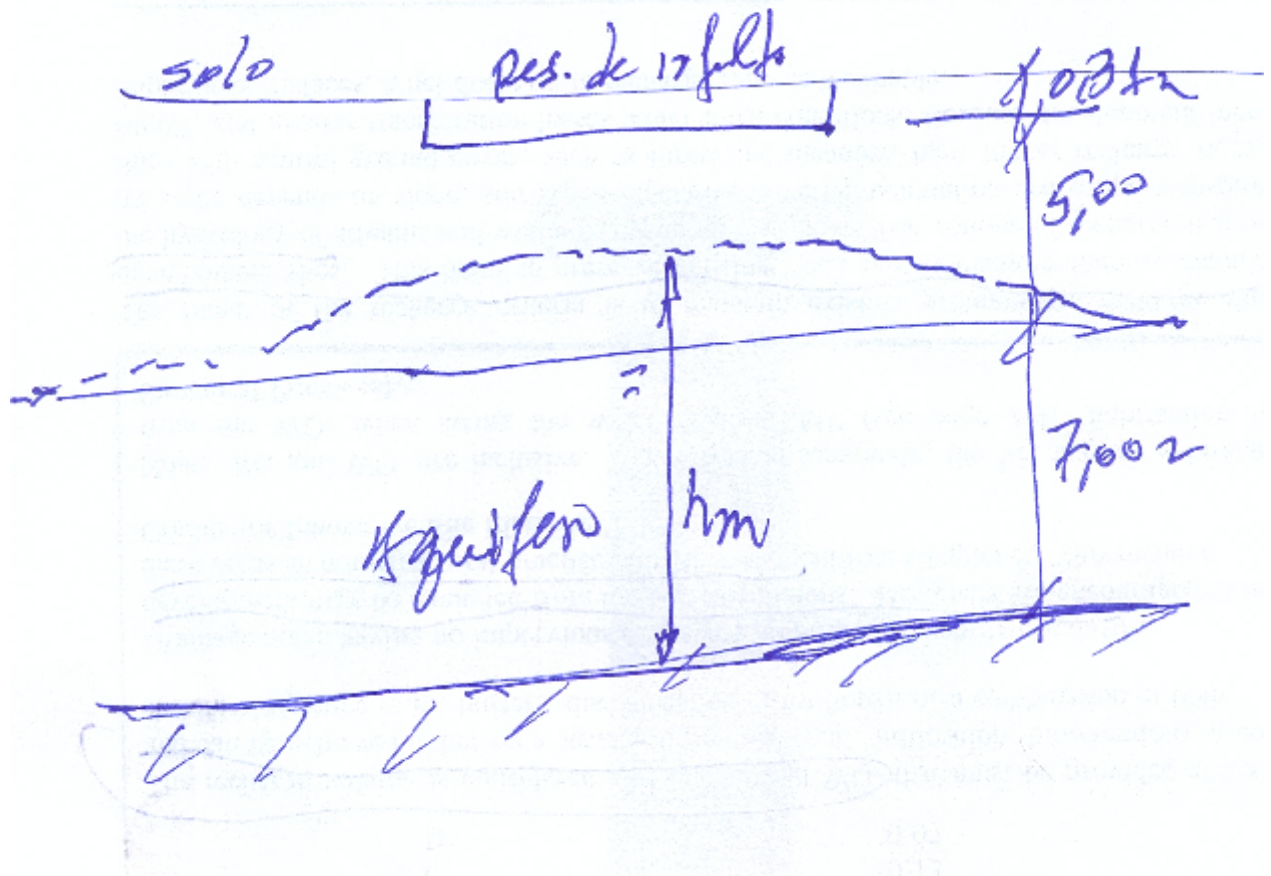
Entrando na Tabela (48.8) com os valores de α e β e fazendo as **interpolações** achamos o valor **0,43**.

$$h_m^2(t)=49 + 42 \times 2\text{dia} \times 0,43=49+36,12=85,12\text{m}$$

$$h_m=9,22\text{m}$$

Portanto, a espessura do aquífero com a recarga será de $9,22\text{m}$ e como antes a espessura era de $7,00\text{m}$, então houve alçamento do aquífero de $2,22\text{m}$

Portanto, o aquífero que tinha 7m passou para $9,22\text{m}$, isto é, subiu $2,22\text{m}$, que não apresenta perigo pois, existe do reservatório até o nível do lençol freático a distância de $1,20\text{m}$. Do exemplo podemos compreender a necessidade de que a distância do fundo do reservatório de infiltração até o lençol freático seja no mínimo $1,20\text{m}$.



8.3 Bibliografia e livros consultados

- CRITICAL AQUIFER RECHARGE AREAS (CARAS). *Chapter 6: Critical aquifer recharge áreas. Executive report- Best available science*, volume I, february, 2004.
- DELLEUR, JACQUES W. *The handbook of groundwater engineering*. 1999. ISBN 0-8493-2698-2.
- FENNESSEY, LARRY. *Hydrologic budgets for development scale áreas in Pennsylvania*.
- FENNESSEY, LAWRENCE A. J. et al. *The NRCS curve number, a new look at an old tool*. Villanova University, outubro de 2001.
- McCUEN, RICHARD H. *Hydrologic analysis and design*. 2a ed. Prentice Hall, 1998
- PLANO DIRETOR DE MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS DE NATAL, RN, 2009
- REICHARDT, KLAUS E TIMM, LUIZ CARLOS. *Solo, planta e atmosfera- conceitos, processos e aplicações*, 2004. Editora Manole.
- ZANGAR, CARL N. *Theory and problems of water percolation*. United States Department of the Interior – Bureau of Reclamation. Denver, Colorado, abril de 1953, 87 páginas.