

BRAGANTIA

Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo

Vol. 20

Campinas, junho de 1961

N.º 21

ESTUDO HIDROLÓGICO DE PEQUENAS BACIAS E SUA APLICAÇÃO À IRRIGAÇÃO (1)

RINO N. TOSELLO, *engenheiro-agrônomo, Seção de Irrigação, Instituto Agrônomo*

RESUMO

No presente trabalho faz-se o estudo hidrológico de pequenas bacias situadas na Estação Experimental «Dr. Theodureto de Camargo», do Instituto Agrônomo, em Campinas, com base em dados coligidos no período de junho de 1945 a julho de 1947. Duas das bacias, respectivamente de 120 e 180 hectares de área, são contribuintes de uma terceira bacia, de 522 hectares, limitada em sua parte inferior pela barragem de terra de uma velha reprêsa. As vazões das duas pequenas bacias e do ladrão da reprêsa foram medidas com calhas «Parshall» durante aquele intervalo de tempo. Os dados foram analisados por meio de diagramas, simples e acumulados, das vazões das bacias e das precipitações mensais. São também apresentados diversos diagramas de Rippl para ilustrar a aplicação prática dos dados.

Comparações de dados de evapotranspiração obtidos dos estudos hidrológicos, com dados de evapotranspiração potencial calculados pelo emprêgo da fórmula de Thornthwaite, mostraram uma surpreendente concordância, em torno de uma média mensal de 80 milímetros, obtida para períodos de 13 meses.

As porcentagens de vazão das bacias em relação ao volume das precipitações foram, em média, de 26,5%, da qual apenas uma pequena parcela (3% da precipitação total) é atribuída à enxurrada. Os restantes 23,5% da vazão das bacias acredita-se serem devidos à água percolada do solo que atingiu o lençol freático. As perdas totais (infiltração + evaporação) verificadas por efeito do armazenamento de água, represadas pela antiga barragem de terra, foram estimadas em torno de 50% da vazão total de alimentação. Acredita-se que poderiam ser menores se a barragem fôsse construída por processos modernos, que implicam na impermeabilização quase total da estrutura. Verifica-se que há uma defasagem nos máximos e mínimos observados para as precipitações e vazões das bacias estudadas, mais acentuada no início da estação chuvosa devido ao fenômeno de retenção de água pelo solo. Essa defasagem assume aspectos de particular importância nos estudos de disponibilidade de água, revelando ser bastante precário o método de determinação da vazão, em uma época qualquer, sem a continuidade necessária.

(1) Resumo do trabalho apresentado ao I Congresso Nacional de Conservação do Solo, realizado em Campinas, Estado de São Paulo de 17 a 23 de julho de 1960. Recebido para publicação em 3 de março de 1961.

1 — INTRODUÇÃO

Uma das principais fontes de água para a irrigação de áreas agrícolas do Estado de São Paulo é a proveniente do armazenamento de água, mediante a construção de barragens de terra nos locais adequados das pequenas bacias, cujas áreas podem ou não estar totalmente circunscritas aos limites da propriedade agrícola.

A fim de avaliar a disponibilidade de água para a irrigação, principalmente quando a capacidade das fontes de suprimento é fator limitativo, torna-se necessário um estudo hidrológico detalhado das bacias contribuintes, que nas pequenas bacias pode ser limitado a um registro das vazões dos córregos de possível aproveitamento, durante um intervalo de tempo suficiente para a obtenção dos dados básicos, complementados pelo registro das precipitações pluviométricas ocorridas na área.

Todavia, com a rápida expansão da prática da irrigação por aspersão, principalmente para a cultura de hortaliças, tomate e batatinha, em diversas regiões do Estado, as firmas comerciais incumbidas de projetar o sistema ficam impossibilitadas de coletar os elementos básicos necessários, porquanto o lavrador interessado geralmente tem pressa no uso do equipamento e a coleta prolongada de dados pode resultar contraproducente aos interesses comerciais da firma. Assim, para que o projeto não fique despido inteiramente de técnica, tem sido preocupação normal das firmas responsáveis, em caso de dúvida quanto à capacidade das fontes de suprimento de água, solicitar do lavrador a estimativa ou a medição das vazões dos córregos em época de seca, ou então obter a medição da vazão, muitas vezes por intermédio do próprio técnico da firma, em uma época qualquer do ano, não raro uma única vez, adotando então um coeficiente de segurança baseado em algum critério técnico que nem sempre evita a possibilidade de incorrer em sérios erros de estimativa.

A fim de contribuir para o conhecimento do estudo hidrológico das pequenas bacias, bem como das perdas provenientes do armazenamento de água, foi empreendido o estudo descrito no presente trabalho, com base em dados coletados no período de junho de 1945 a julho de 1947, em pequenas bacias da Estação Experimental Central «Dr. Theodureto de Camargo», em Campinas. Intervalo relativamente curto, para o estudo aprofundado de questões hidrológicas, serve, no

entanto, para dar uma idéia da ordem de grandeza das variáveis envolvidas, e ilustrar os métodos de análise empregados.

Como a acumulação de água é feita para atender finalidades diversas, como industriais, agrícolas, de abastecimento de água às populações, para fins hidrelétricos, recreativos e ornamentais, sanitários, defesa contra inundações etc., os estudos hidrológicos, mesmo de pequenas bacias, apresentam interesse geral e formam subsídio valioso como componentes que são de maiores bacias, para estudos de obras de maior importância.

2 — MATERIAL E MÉTODOS

O método empregado para o estudo descrito neste trabalho foi o conhecido na literatura norte-americana como «inflow-outflow method», que pode ser livremente traduzido como o «método do balanço das vazões de entrada e saída», sendo o mais exato para a finalidade quando aplicado a bacias naturais, porque se atém a mensurações diretas.

As medições de vazão foram feitas por intermédio de calhas medidoras «Parshall», construídas de cedro, com tábuas de 1" de espessura e tratadas com «Carbolineum». O emprêgo dessas estruturas, de construção mais difícil que os vertedouros, tornou-se necessário devido à baixa declividade das correntes de água nos locais de medição, não permitindo represamento de água a montante, sob pena de extravasar parte da água do leito dos córregos.

Conforme o desenho apresentado na figura 1, as dimensões da calha foram adaptadas do modelo 1/2 A de Hardesty (5), por ser êste o modelo cujos limites de leituras de vazão estavam de conformidade com a amplitude de variação das vazões esperadas das bacias. No quadro 1 são apresentados os dados de vazão daquele modelo de calha medidora em função da altura de água a montante do estrangulamento, para o caso da vazão livre, sem afogamento.

Foram instaladas três calhas medidoras, numeradas de 1 a 3, respectivamente para medir as vazões provenientes das bacias aqui denominadas de «Conservação do Solo», «Horticultura» e do ladrão da represa «Santa Genebra». Para facilitar futuras referências, as bacias de captação correspondentes a cada calha serão designadas respectivamente de **bacia 1**, **bacia 2** e **bacia 3**, compreendendo esta última toda a área de captação situada a montante da crista da barragem daquela represa, envolvendo as áreas das bacias 1 e 2.

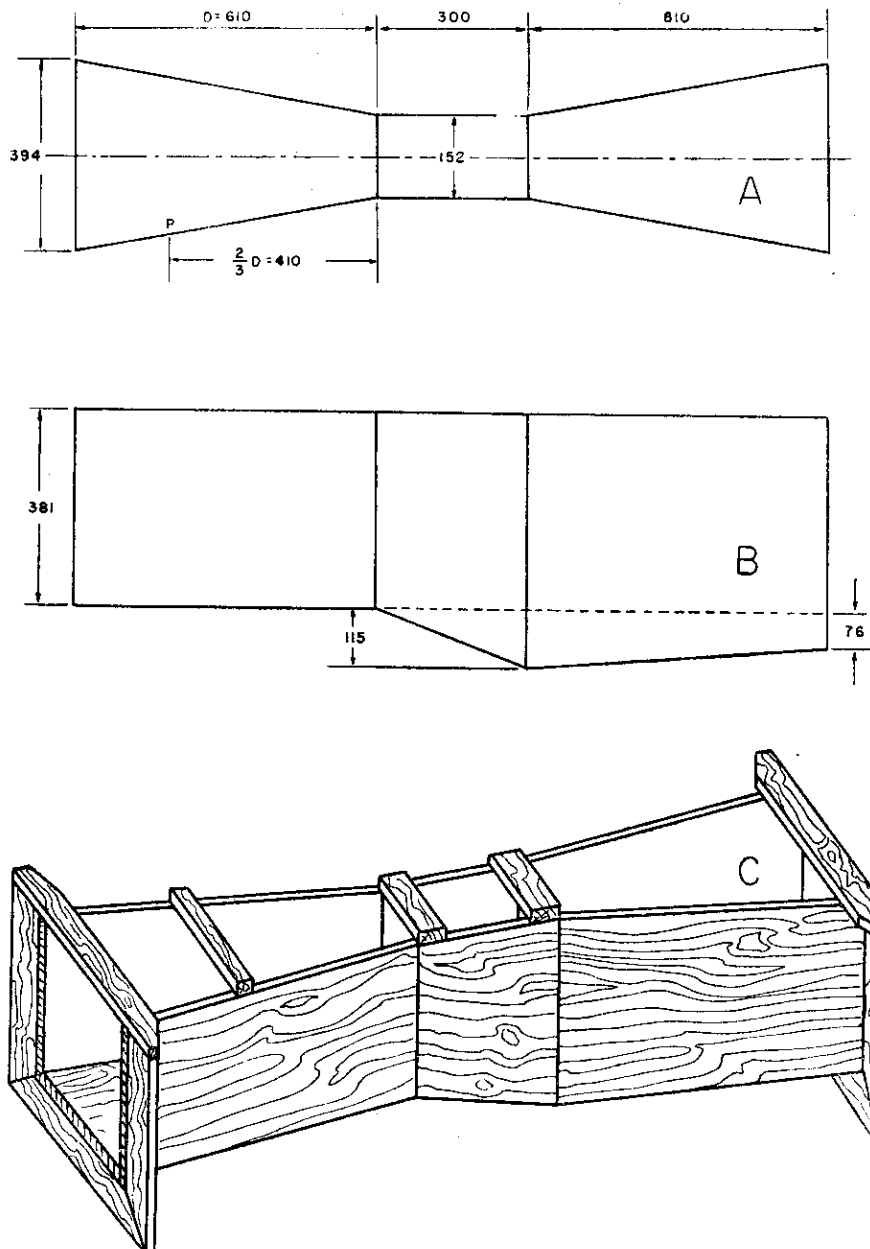


FIGURA 1. — Desenho esquemático da calha medidora "Parshall" modelo 1/2 A de Hardesty. A, vista de cima; B, vista de lado; C, perspectiva da calha construída de madeira.

Quadro 1. — Vazão livre da calha medidora Parshall de 6" de estrangulamento, em l/s convertidos dos dados apresentados por Parshall (9)

| Altura | Vazão | Altura | Vazão | Altura | Vazão | Altura | Vazão | Altura | Vazão |
|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| cm | l/s | cm | l/s | cm | l/s | cm | l/s | cm | l/s |
| 3,0 | 1,42 | 9,1 | 8,78 | 18,0 | 19,54 | 24,1 | 33,13 | 30,2 | 49,28 |
| 3,4 | 1,70 | 9,4 | 9,06 | 18,3 | 20,11 | 24,4 | 33,98 | 30,5 | 50,13 |
| 3,7 | 1,98 | 9,8 | 9,63 | 18,6 | 20,67 | 24,7 | 34,83 | 30,8 | 51,26 |
| 4,0 | 2,27 | 10,1 | 10,20 | 18,9 | 21,52 | 25,0 | 35,68 | 31,1 | 52,11 |
| 4,3 | 2,55 | 13,1 | 10,76 | 19,2 | 22,09 | 25,3 | 36,25 | 31,4 | 52,96 |
| 4,6 | 2,83 | 13,4 | 11,04 | 19,5 | 22,66 | 25,6 | 37,10 | 31,7 | 53,81 |
| 4,9 | 3,12 | 13,7 | 11,61 | 19,8 | 23,22 | 25,9 | 37,95 | 32,0 | 54,66 |
| 5,2 | 3,40 | 14,0 | 12,18 | 20,1 | 24,07 | 26,2 | 38,52 | 32,3 | 55,79 |
| 5,5 | 3,96 | 14,3 | 12,74 | 20,4 | 24,64 | 26,5 | 39,36 | 32,6 | 56,64 |
| 5,8 | 4,25 | 14,6 | 13,31 | 20,7 | 25,20 | 26,8 | 40,21 | 32,9 | 57,49 |
| 6,1 | 4,53 | 14,9 | 13,59 | 21,0 | 26,05 | 27,1 | 41,06 | 33,2 | 58,34 |
| 6,4 | 5,10 | 15,2 | 14,16 | 21,3 | 26,62 | 27,4 | 41,91 | 33,5 | 59,19 |
| 6,7 | 5,38 | 15,5 | 14,73 | 21,6 | 27,47 | 27,7 | 42,48 | 33,8 | 60,04 |
| 7,0 | 5,66 | 15,8 | 15,29 | 21,9 | 28,04 | 28,0 | 43,33 | 34,1 | 61,17 |
| 7,3 | 6,23 | 16,2 | 15,86 | 22,3 | 28,89 | 28,3 | 44,18 | 34,4 | 62,02 |
| 7,6 | 6,51 | 16,5 | 16,43 | 22,6 | 29,45 | 28,7 | 45,03 | 34,7 | 62,87 |
| 7,9 | 7,08 | 16,8 | 17,28 | 22,9 | 30,30 | 29,0 | 45,88 | 35,1 | 64,00 |
| 8,2 | 7,36 | 17,1 | 17,84 | 23,2 | 31,15 | 29,3 | 46,73 | 35,4 | 64,85 |
| 8,5 | 7,93 | 17,4 | 18,41 | 23,5 | 31,72 | 29,6 | 47,58 | 35,7 | 65,70 |
| 8,8 | 8,21 | 17,7 | 18,97 | 23,8 | 32,57 | 29,9 | 48,43 | 36,0 | 66,84 |

Os locais para a instalação das calhas foram cuidadosamente escolhidos a fim de assegurar vazão sem afogamento, para facilitar as leituras de altura de água, que assim eram feitas apenas a montante, e garantir maior precisão nas medições de vazão, feitas diàriamente durante todo o período de observações.

As precipitações ocorridas na área em estudo foram obtidas por intermédio de um dos pluviômetros instalados na bacia 1, após verificar-se que as diferenças de precipitações entre pluviômetros não eram apreciáveis pouco afetando os totais mensais.

As áreas das bacias foram demarcadas e planimetradas em mapa topográfico da Estação Experimental acrescida da parte complementar obtida por um levantamento realizado no campo, com base em outros mapas existentes, de áreas circunvizinhas. Para a demarcação das bacias foi empregado o método do traçado de linhas de maior declive, sucessivamente perpendiculares à curva de nível imediatamente superior, a partir de um lado e outro do ponto de convergência no córrego, até o ponto de convergência das linhas de maior declive, o que se verifica no ponto mais elevado de cada bacia. Para o caso da bacia 3, a linha da crista da barragem serviu de partida para a demarcação da área dessa bacia.

Para a análise dos dados hidrológicos, o método geralmente adotado é o da construção e exame de gráficos especialmente recomendados para a finalidade. Os gráficos comumente usados, e que foram adotados neste trabalho, são os denominados pluviogramas e hidrogramas, simples e acumulados das observações mensais. Os hidrogramas acumulados, inclusive os pluviogramas, são também denominados **curva de massa** (2, 4, 7). Todavia, Davis (1) reserva essa designação aos hidrogramas da vazão acumulada, deduzidas as perdas inevitáveis por infiltração, evaporação etc., conforme foi originalmente usado em 1882 por Rippl, citado por Horton (3), para estudos de suprimento de água e energia elétrica. Por essa razão, os diagramas em que se comparam as vazões líquidas com as demandas recebem a denominação de diagramas de Rippl, porém essa denominação tem sido generalizada também para os diagramas envolvendo as vazões brutas.

3 — RESULTADOS OBTIDOS

No quadro 2 são apresentados os dados mensais simples e acumulados de vazão das bacias 1, 2, 3, do conjunto das bacias 1 e 2, aqui de-

signadas bacia 1+2 e do ladrão da repêsa, sendo que a vazão da bacia 3 foi estimada através da redução dos dados de vazão das bacias 1 e 2, conforme está adiante indicado.

No quadro 3 são apresentados os dados de porcentagem das vazões do ladrão, em relação aos totais das vazões da bacia 1+2 e em relação aos dados estimativos das vazões da bacia 3, bem como os dados ajustados das vazões acumuladas das bacias 1, 2, 1+2 e do ladrão, obtidos multiplicando-se os dados de vazão acumulada do quadro 2 pelas porcentagens médias do quadro 3, para a construção dos diagramas de Rippl, correspondentes à ilustração dos problemas de armazenamento de água, adiante discutidos.

No quadro 4 são apresentados os dados mensais, simples e acumulados, das precipitações e dos volumes das precipitações nas bacias 1, 2 e 1+2, bem como as porcentagens das vazões das bacias correspondentes em relação ao volume das precipitações. Essas porcentagens, se expressas em frações da unidade podem ser comparadas aos coeficientes de deflúvio mensal, denominados por Ongaro (8) coeficientes de Pasini, como homenagem ao engenheiro que os empregou em 1910 para obtenção do coeficiente de redução mensal de chuva, de grande aplicação em cálculo de rede hidráulica de drenagem, estabelecendo também as bases para o desenvolvimento do moderno método racional («rational method») de estimativa da enxurrada máxima, erroneamente atribuído a outros autores.

As áreas das bacias, obtidas da média de três leituras consecutivas de planímetro polar Amsler, para efeito de cálculo de volume das precipitações, foram as seguintes:

| | <i>Area m²</i> |
|-----------------|---------------------------|
| Bacia 3 | 5 216 820 |
| Bacia 1 | 1 356 232 |
| Bacia 2 | 1 802 875 |
| Bacia 1+2 | 3 159 107 |

Dividindo-se a área da bacia 3 pela área da bacia 1+2, obtém-se o fator $f = 1,6514$ que multiplicado pelos dados de vazão da bacia 1+2, permite obter as estimativas de vazão da bacia 3, apresentadas no quadro 2.

QUADRO 2. — Vazões médias mensais, simples e acumuladas das bacias, em metros cúbicos

| Ano | Mês | Bacia 1 | | Bacia 2 | | Bacia 1+2 | | Bacia 3 (2) | | Ladão | |
|-----------|-----------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------|-------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | | U ₁ | ΣU ₁ | U ₂ | ΣU ₂ | U ₁₊₂ | ΣU ₁₊₂ | U ₃ | ΣU ₃ | U _L | ΣU _L |
| 1945 | Jun. | 23 380 | 23 380 | 42 431 | 42 431 | 65 811 | 65 811 | 108 680 | 108 680 | 42 224 | 42 224 |
| | Jul. | 15 936 | 39 316 | 20 034 | 62 465 | 35 970 | 101 781 | 59 401 | 168 081 | 25 900 | 68 124 |
| | Ago. | 12 803 | 52 119 | 20 356 | 82 821 | 33 159 | 134 940 | 54 759 | 222 840 | 21 347 | 89 471 |
| | Set. | 12 416 | 64 535 | 15 163 | 97 984 | 27 579 | 162 519 | 45 544 | 268 384 | 15 422 | 104 893 |
| | Out. | 11 464 | 75 999 | 14 008 | 111 992 | 25 472 | 187 991 | 42 064 | 310 448 | 14 517 | 119 410 |
| | Nov. | 18 196 | 94 195 | 18 196 | 130 188 | 36 392 | 224 383 | 60 098 | 370 546 | 36 547 | 155 957 |
| | Dez. | 17 410 | 111 605 | 37 792 | 167 980 | 55 202 | 279 585 | 91 161 | 461 707 | 35 007 | 190 964 |
| | Jan. | 38 087 | 149 692 | 105 797 | 273 777 | 143 884 | 423 469 | 237 610 | 699 317 | 70 683 | 261 647 |
| | Fev. | 45 408 | 195 100 | 107 606 | 381 383 | 153 014 | 576 483 | 252 687 | 952 004 | 95 341 | 356 988 |
| | Mar. | 55 630 | 250 730 | 125 671 | 507 054 | 181 301 | 757 784 | 299 400 | 1 251 404 | 114 475 | 471 463 |
| | Abr. | 53 058 | 303 788 | 123 276 | 630 330 | 176 334 | 934 118 | 291 198 | 1 542 602 | 119 621 | 591 084 |
| | Mai. | 46 015 | 349 803 | 113 912 | 744 242 | 159 927 | 1 094 045 | 264 103 | 1 806 705 | 123 447 | 714 531 |
| Jun. | 47 952 | 397 755 | 106 194 | 850 436 | 154 146 | 1 248 191 | 254 557 | 2 061 262 | 98 470 | 813 001 | |
| Jul. | 54 050 | 451 805 | 109 948 | 960 384 | 163 998 | 1 412 189 | 270 826 | 2 332 088 | 106 065 | 919 066 | |
| Ago. | 47 113 | 498 918 | 104 779 | 1 065 163 | 151 892 | 1 564 081 | 250 834 | 2 582 922 | 100 011 | 1 019 077 | |
| Set. | 22 058 | 520 976 | 29 627 | 1 094 790 | 51 685 | 1 615 766 | 85 353 | 2 668 275 | 27 397 | 1 046 474 | |
| Out. | 12 883 | 533 859 | 13 794 | 1 108 584 | 26 677 | 1 642 443 | 44 054 | 2 712 329 | 12 133 | 1 058 607 | |
| Nov. | 13 427 | 547 285 | 15 060 | 1 123 644 | 28 487 | 1 670 930 | 47 043 | 2 759 372 | 13 530 | 1 072 137 | |
| Dez. | 12 856 | 560 142 | 13 928 | 1 137 572 | 26 784 | 1 697 714 | 44 231 | 2 803 603 | 12 240 | 1 084 377 | |
| Jan. | 16 204 | 576 346 | 17 276 | 1 154 848 | 33 480 | 1 731 194 | 55 289 | 2 858 892 | 15 240 | 1 099 617 | |
| Fev. | 12 919 | 589 265 | 13 886 | 1 168 734 | 26 805 | 1 757 999 | 44 266 | 2 903 158 | 12 193 | 1 111 810 | |
| Mar. | 29 275 | 618 540 | 32 248 | 1 200 982 | 61 253 | 1 819 522 | 101 599 | 3 004 757 | 28 391 | 1 140 201 | |
| Abr. | 89 580 | 708 120 | 106 635 | 1 307 617 | 196 215 | 2 015 737 | 324 029 | 3 328 786 | 89 165 | 1 229 366 | |
| Mai. | 69 719 | 777 839 | 107 832 | 1 415 449 | 177 551 | 2 193 288 | 293 208 | 3 621 994 | 95 030 | 1 324 396 | |
| Jun. | 48 056 | 825 895 | 82 814 | 1 498 263 | 130 870 | 2 324 158 | 216 119 | 3 838 113 | 72 187 | 1 396 583 | |
| Jul. | 43 819 | 869 714 | 83 298 | 1 581 561 | 127 117 | 2 451 275 | 209 921 | 4 048 034 | 64 201 | 1 460 784 | |

(2) As vazões da bacia 3 foram obtidas multiplicando-se as vazões da bacia 1+2 pelo fator 1,6514, igual à relação entre as áreas dessas bacias.

QUADRO 3. — Porcentagens das vazões acumuladas do ladrão, em relação às vazões das bacias, e vazões líquidas correspondentes das bacias e do ladrão, em metros cúbicos

| Ano | Mês | % das vazões do ladrão | | | | Vazões líquidas (°) | | | | |
|------|------|-------------------------------|---------------------------|---------|---------|---------------------|-----------|---------|--|--|
| | | $\Sigma U_L / \Sigma U_{1+2}$ | $\Sigma U_L / \Sigma U_3$ | Média | Bacia 1 | Bacia 2 | Bacia 1+2 | Ladrão | | |
| | | | | | | | | | | |
| 1945 | Jun. | 64,2 | 38,9 | 51,5 | 12 041 | 21 852 | 33 893 | 21 745 | | |
| | Jul. | 66,9 | 40,5 | 53,7 | 21 113 | 33 544 | 54 657 | 36 583 | | |
| | Ago. | 66,3 | 40,2 | 53,3 | 27 779 | 44 144 | 71 923 | 47 688 | | |
| | Set. | 64,5 | 39,1 | 51,8 | 33 429 | 50 756 | 84 185 | 54 335 | | |
| | Out. | 63,5 | 38,5 | 51,0 | 38 760 | 57 116 | 95 876 | 60 899 | | |
| | Nov. | 69,5 | 42,1 | 55,8 | 52 561 | 72 645 | 125 206 | 87 024 | | |
| | Dez. | 68,3 | 41,4 | 54,9 | 61 271 | 92 221 | 153 492 | 104 839 | | |
| | Jan. | 61,8 | 37,4 | 49,6 | 74 247 | 135 793 | 210 040 | 129 777 | | |
| | Fev. | 61,9 | 37,5 | 49,7 | 96 965 | 189 547 | 286 512 | 177 423 | | |
| | Mar. | 62,2 | 37,7 | 50,0 | 125 365 | 253 527 | 378 892 | 235 732 | | |
| | Abr. | 63,3 | 38,3 | 50,8 | 154 324 | 320 208 | 474 532 | 300 271 | | |
| | Mai | 65,3 | 39,5 | 52,4 | 183 297 | 389 983 | 573 290 | 374 414 | | |
| Jun. | 65,1 | 39,4 | 52,3 | 208 026 | 444 778 | 652 804 | 425 200 | | | |
| Jul. | 65,1 | 39,4 | 52,3 | 236 294 | 502 281 | 738 575 | 480 672 | | | |
| Ago. | 65,2 | 39,4 | 52,3 | 260 934 | 557 080 | 818 014 | 532 977 | | | |
| Set. | 64,8 | 39,2 | 52,0 | 270 908 | 569 291 | 840 199 | 544 166 | | | |
| Out. | 64,5 | 39,0 | 51,8 | 276 539 | 574 247 | 850 786 | 548 358 | | | |
| Nov. | 64,2 | 38,9 | 51,6 | 282 400 | 579 800 | 862 200 | 553 223 | | | |
| Dez. | 63,9 | 38,7 | 51,3 | 287 353 | 583 574 | 870 927 | 556 285 | | | |
| 1947 | Jan. | 63,5 | 38,5 | 51,0 | 293 936 | 588 972 | 882 908 | 560 805 | | |
| | Fev. | 63,2 | 38,3 | 50,8 | 299 347 | 593 717 | 893 064 | 564 799 | | |
| | Mar. | 62,7 | 37,9 | 50,3 | 311 126 | 604 094 | 915 220 | 573 521 | | |
| | Abr. | 61,0 | 36,9 | 49,0 | 346 979 | 640 732 | 987 711 | 602 389 | | |
| | Mai | 60,4 | 36,6 | 48,5 | 377 252 | 686 493 | 1 063 745 | 642 332 | | |
| | Jun. | 60,1 | 36,4 | 48,3 | 398 907 | 723 661 | 1 122 568 | 674 550 | | |
| | Jul. | 59,6 | 36,1 | 47,9 | 416 593 | 757 568 | 1 174 161 | 699 716 | | |

(3) Exemplo de obtenção da vazão líquida: $\frac{51,5}{100} \times 21.380 = 11.011$.

QUADRO 4. — Precipitações e volumes das precipitações, simples e acumuladas, ocorridas nas bacias e coeficientes de deflúvio correspondentes às vazões acumuladas

| Ano | Mês | Precipitações | | Volume das precipitações por bacia | | | | | | Coeficiente de deflúvio | | |
|-----------|-----------|---------------|------------------|------------------------------------|-----------------------|----------------|-----------------------|--------------------|---------------------------|--|--|--|
| | | h mm | Σh mm | Bacia 1 | | Bacia 2 | | Bacia 1+2 | | Bacia 1 | Bacia 2 | Bacia 1+2 |
| | | | | V_1 m^3 | ΣV_1 m^3 | V_2 m^3 | ΣV_2 m^3 | V_{1+2} m^3 | ΣV_{1+2} m^3 | $\frac{\Sigma U_1}{\Sigma V_1}$ m^3 | $\frac{\Sigma U_2}{\Sigma V_2}$ m^3 | $\frac{\Sigma U_{1+2}}{\Sigma V_{1+2}}$ m^3 |
| 1945 | Jun. | 199,3 | 199,3 | 270 291 | 270 291 | 359 318 | 359 318 | 629 609 | 629 609 | 8,6 | 11,9 | 10,5 |
| | Jul. | 14,5 | 213,8 | 19 665 | 289 956 | 26 142 | 385 460 | 45 807 | 675 416 | 13,6 | 16,2 | 15,1 |
| | Ago. | 2,0 | 215,8 | 292 668 | 3 606 | 3 606 | 389 066 | 6 318 | 681 734 | 17,8 | 21,3 | 19,8 |
| | Set. | 35,5 | 251,3 | 48 145 | 340 813 | 64 003 | 453 069 | 112 148 | 793 882 | 18,9 | 21,6 | 20,5 |
| | Out. | 129,0 | 380,3 | 174 950 | 515 763 | 232 574 | 685 643 | 407 524 | 1 201 406 | 14,7 | 16,3 | 15,6 |
| | Nov. | 225,9 | 606,2 | 306 366 | 822 129 | 407 275 | 1 092 918 | 713 641 | 1 915 047 | 11,5 | 11,9 | 11,7 |
| | Dez. | 199,4 | 805,6 | 270 426 | 1 092 555 | 359 498 | 1 452 416 | 629 925 | 2 544 972 | 10,2 | 11,6 | 11,0 |
| 1946 | Jan. | 369,3 | 1 174,9 | 500 845 | 1 593 400 | 665 811 | 2 118 227 | 1 166 656 | 3 711 628 | 9,4 | 12,9 | 11,4 |
| | Fev. | 150,8 | 1 325,7 | 204 515 | 1 797 915 | 271 877 | 2 390 104 | 476 392 | 4 188 020 | 10,9 | 16,0 | 13,8 |
| | Mar. | 88,7 | 1 414,4 | 120 295 | 1 918 210 | 159 917 | 2 550 021 | 280 212 | 4 468 232 | 13,1 | 19,9 | 17,0 |
| | Abr. | 39,1 | 1 453,5 | 53 027 | 1 971 237 | 70 493 | 2 620 514 | 123 521 | 4 591 753 | 15,4 | 24,1 | 20,3 |
| | Mai. | 16,5 | 1 470,0 | 22 377 | 1 993 614 | 29 748 | 2 650 262 | 52 125 | 4 643 878 | 17,5 | 28,1 | 23,6 |
| | Jun. | 34,7 | 1 504,7 | 47 060 | 2 040,674 | 62 561 | 2 712 823 | 109 621 | 4 753 499 | 19,5 | 31,3 | 26,3 |
| | Jul. | 84,0 | 1 588,7 | 113 921 | 2 154 595 | 151 444 | 2 864 267 | 265 364 | 5 018 863 | 21,0 | 33,5 | 28,1 |
| | Ago. | 1,3 | 1 590,0 | 1 763 | 2 156 358 | 2 344 | 2 866 611 | 4 107 | 5 022 970 | 23,1 | 37,2 | 31,1 |
| | Set. | 35,8 | 1 625,8 | 48 552 | 2 204 910 | 64 544 | 2 931 155 | 113 096 | 5 136 066 | 23,6 | 37,4 | 31,5 |
| | Out. | 124,0 | 1 749,8 | 168 169 | 2 373 079 | 223 560 | 3 154 715 | 391 728 | 5 527 794 | 22,5 | 35,1 | 29,7 |
| | Nov. | 128,2 | 1 878,0 | 173 865 | 2 546 944 | 231 132 | 3 385 847 | 404 997 | 5 932 791 | 21,5 | 33,2 | 28,2 |
| | Dez. | 170,5 | 2 048,5 | 231 232 | 2 778,176 | 307 394 | 3 693 241 | 538 627 | 6 471 418 | 20,2 | 30,8 | 26,2 |
| 1947 | Jan. | 325,5 | 2 374,0 | 441 443 | 3 219 619 | 586 844 | 4 280 085 | 1 028 287 | 7 489 705 | 17,9 | 27,0 | 23,1 |
| | Fev. | 280,4 | 2 654,4 | 380 278 | 3 599 897 | 505 533 | 4 785 618 | 885 812 | 8 385 517 | 16,4 | 24,4 | 21,0 |
| | Mar. | 94,4 | 2 748,8 | 128 025 | 3 727 922 | 170 194 | 4 955 812 | 298 219 | 8 683 736 | 16,6 | 24,2 | 21,0 |
| | Abr. | 73,3 | 2 822,1 | 99 409 | 3 827 331 | 132 153 | 5 087 965 | 231 562 | 8 915 298 | 18,5 | 25,7 | 22,6 |
| | Mai. | 52,6 | 2 874,7 | 71 336 | 3 898 667 | 94 833 | 5 182 798 | 166 169 | 9 081 467 | 20,0 | 27,3 | 24,2 |
| | Jun. | 14,3 | 2 889,0 | 19 394 | 3 918 061 | 25 781 | 5 208 579 | 45 175 | 9 126 642 | 21,1 | 28,8 | 25,5 |
| Jul. | 44,2 | 2 933,2 | 59 944 | 3 978 005 | 79 688 | 5 288 267 | 139 632 | 9 266 274 | 21,9 | 29,9 | 26,5 | |

4 — DISCUSSÃO

4.1 — ANÁLISE DOS DIAGRAMAS

Um exame minucioso dos diagramas apresentados na figura 2 (A, B) revela, de um modo geral, que as vazões mensais das bacias acompanham as precipitações com um certo atraso, verificando-se uma defasagem entre os máximos e mínimos correspondentes, que se atribui ao efeito da retenção de água por parte do solo e ao tempo que a água deve levar para atravessar a camada de solo, atingir o lençol freático e dêste escoar-se para os canais superficiais e alcançar a estrutura de medição: a enxurrada superficial, ou simplesmente enxurrada, conforme se verá mais adiante, representa parcela de pouca significação na interpretação dos dados mensais. Devido àquela defasagem, observa-se que as vazões mínimas das bacias ocorrem ainda em plena fase inicial da estação chuvosa, e os máximos quando a estação já entrou em declínio. A observação popular, de experimentados lavradores e matutos, que quando principiam as chuvas os córregos secam, encontra confirmação nos diagramas apresentados. A defasagem é mais evidente no início da estação chuvosa, pois que a terra então se encontra mais sêca e o volume de retenção de água é maior.

A comparação dos diagramas das bacias 1 e 2 indica que apesar da diferença entre áreas das duas bacias, que é refletida nas vazões máximas, não houve diferença apreciável nas vazões mínimas, como poderia ser esperado; essa diferença de comportamento entre as duas bacias poderia ser atribuída a todos os fatores diferenciais existentes, porém é possível que a topografia mais íngreme da bacia 2 tenha sido fator preponderante; os máximos e mínimos nas bacias 1 e 2 sofrem oscilações praticamente semelhantes, observando-se as mesmas defasagens em relação ao pluviograma apresentado.

É interessante notar que em ambas as bacias tanto os máximos como os mínimos foram atingidos nos mesmos meses do ano, em dois anos consecutivos: os valores mínimos, também em dois anos consecutivos, nas duas bacias, atingiram praticamente a mesma ordem de grandeza, deixando a impressão de serem valores mais ou menos fixos, porém o intervalo curto de observação não permite que a inferência seja generalizada.

A forma da variação da última porção dos diagramas das bacias, especialmente nos meses de maio, junho e julho de 1947, difere tão

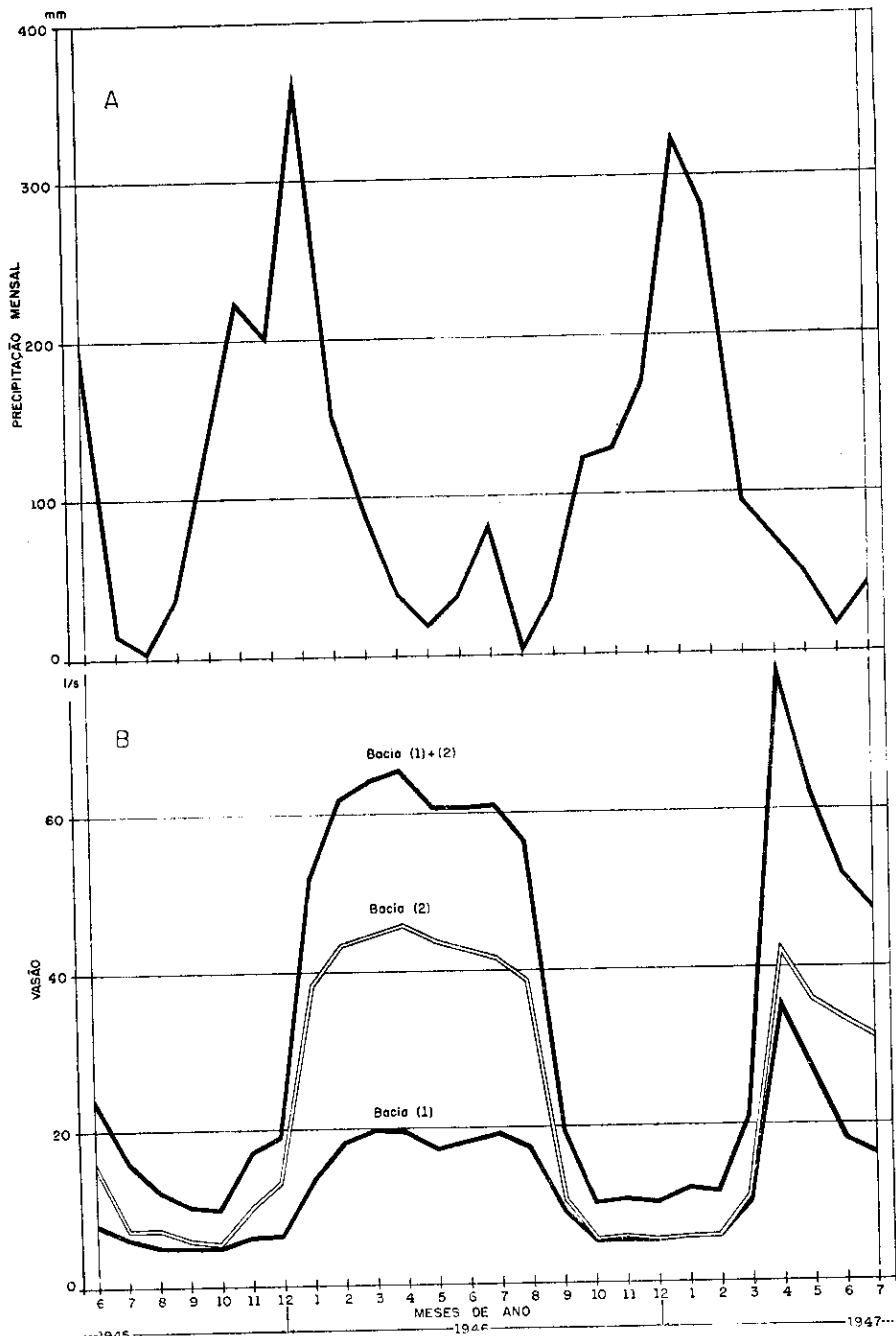


FIGURA 2. — A — Pluviograma das precipitações mensais; B — Hidrograma das vazões mensais observadas nas bacias 1, 2 e 1+2.

grandemente do que seria sugerido pela forma senusoidal dos diagramas, observada no período de junho de 1945 a abril de 1947, que se torna difícil estabelecer comparações, devendo-se atribuí-la a desigualdades na ocorrência das precipitações e modificações nas características de vazão das bacias. Deve ser notado, também, que o máximo da bacia 1 cresceu muito de um ano para outro, o mesmo não ocorrendo com o máximo da bacia 2, que permaneceu praticamente igual ao do ano anterior.

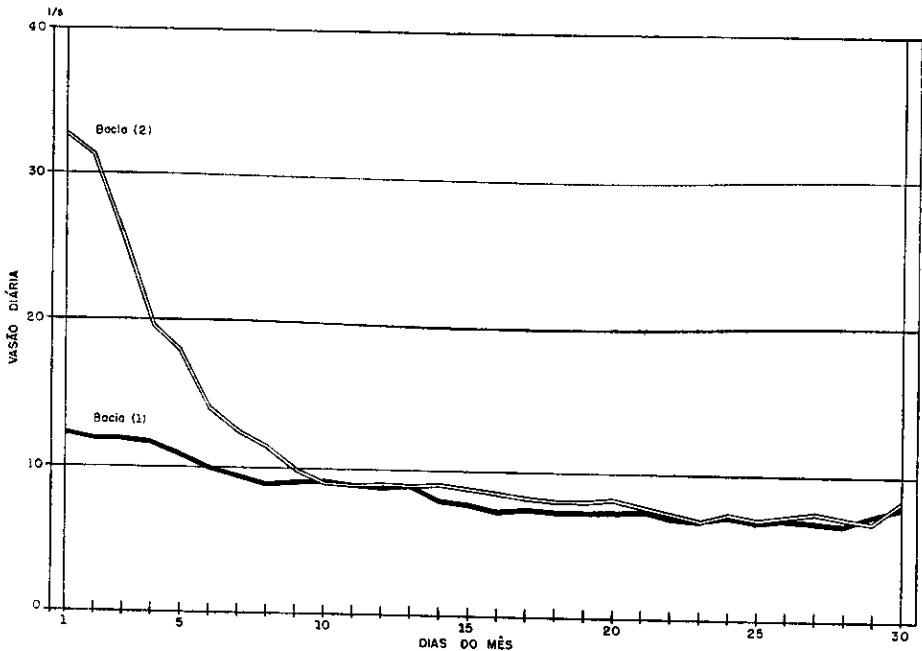


FIGURA 3. — Diagramas das vazões diárias do mês de setembro de 1946 observadas nas bacias 1 e 2.

Na figura 3 são apresentados os hidrogramas de vazão diária das bacias 1 e 2, referentes ao mês de setembro de 1946, mostrando que a oscilação de vazão foi bastante acentuada na bacia 2 tendo caído de cerca de 33 para cerca de 9 litros/segundo, no curto espaço de 10 dias, enquanto que na bacia 1 não houve oscilação tão acentuada, no mesmo período. Esta observação por si só basta para evidenciar a precariedade do método de determinação de vazão uma única vez, como base para o cálculo de disponibilidade de água para projetos de irrigação.

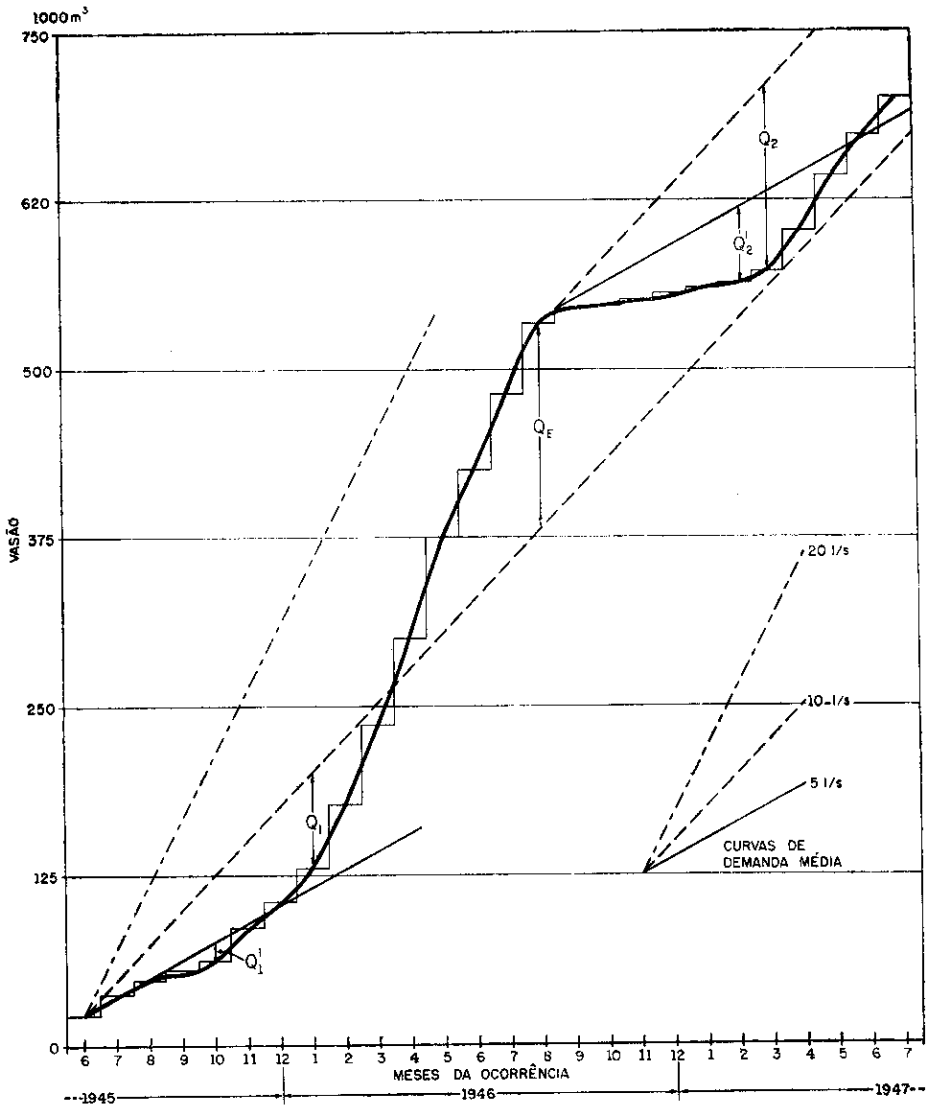


FIGURA 4. --- Curva de massa dos dados ajustados das vazões mensais da bacia 3 e diagramas comparativos de Rippl.

Nas figuras 4, 5 e 6 são apresentadas as «curvas de massa» ou sejam os diagramas de acumulação dos dados ajustados de vazão normal, com os diagramas de Rippl correspondentes, para ilustrar a aplicação prática dos dados obtidos.

Como os princípios para a construção dos diagramas são os mesmos para as três figuras, será suficiente uma discussão sucinta das figuras 5 e 6 e mais detalhada apenas da figura 4, na qual são apresentados os diagramas de Rippl para as demandas médias contínuas de 5, 10 e 20 l/s. As linhas paralelas às retas das demandas, traçadas a partir do início do intervalo, se não interceptam a curva de massa que se mantém abaixo da reta, como é o caso da demanda de 20 l/s, indica que a demanda excede a capacidade de suprimento da bacia; se houver in-

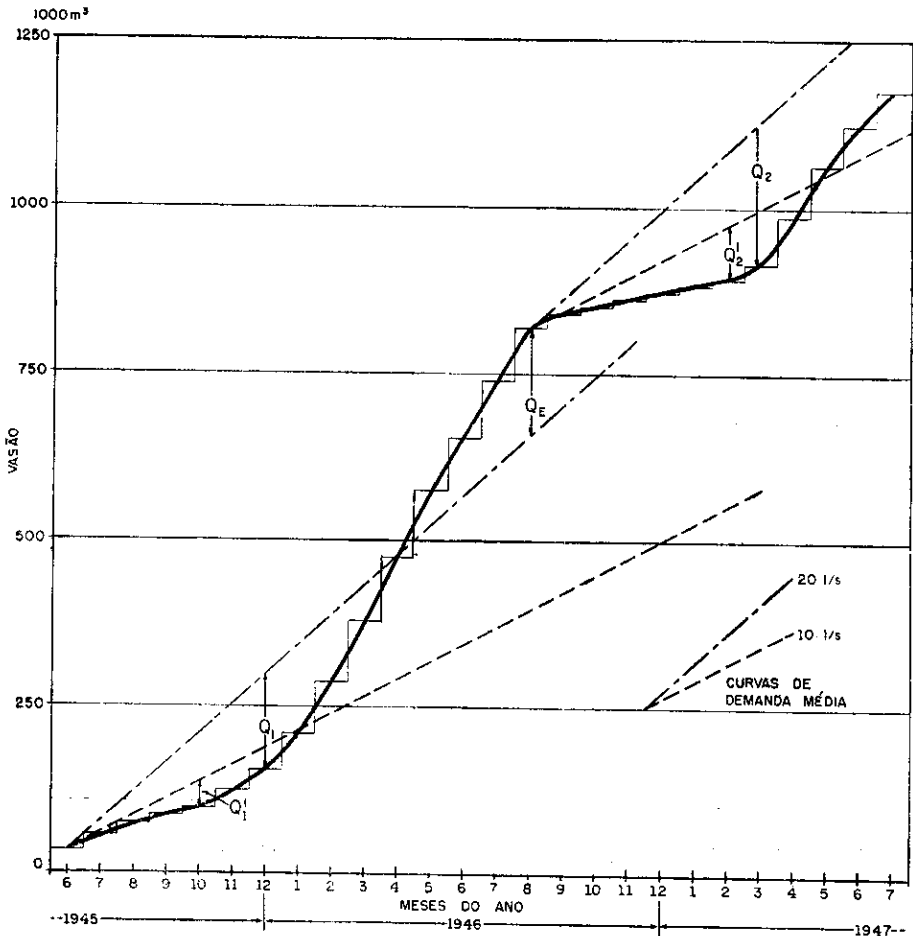


FIGURA 5. — Curva de massa dos dados ajustados das vazões mensais das bacias 1 + 2 e diagramas comparativos de Rippl.

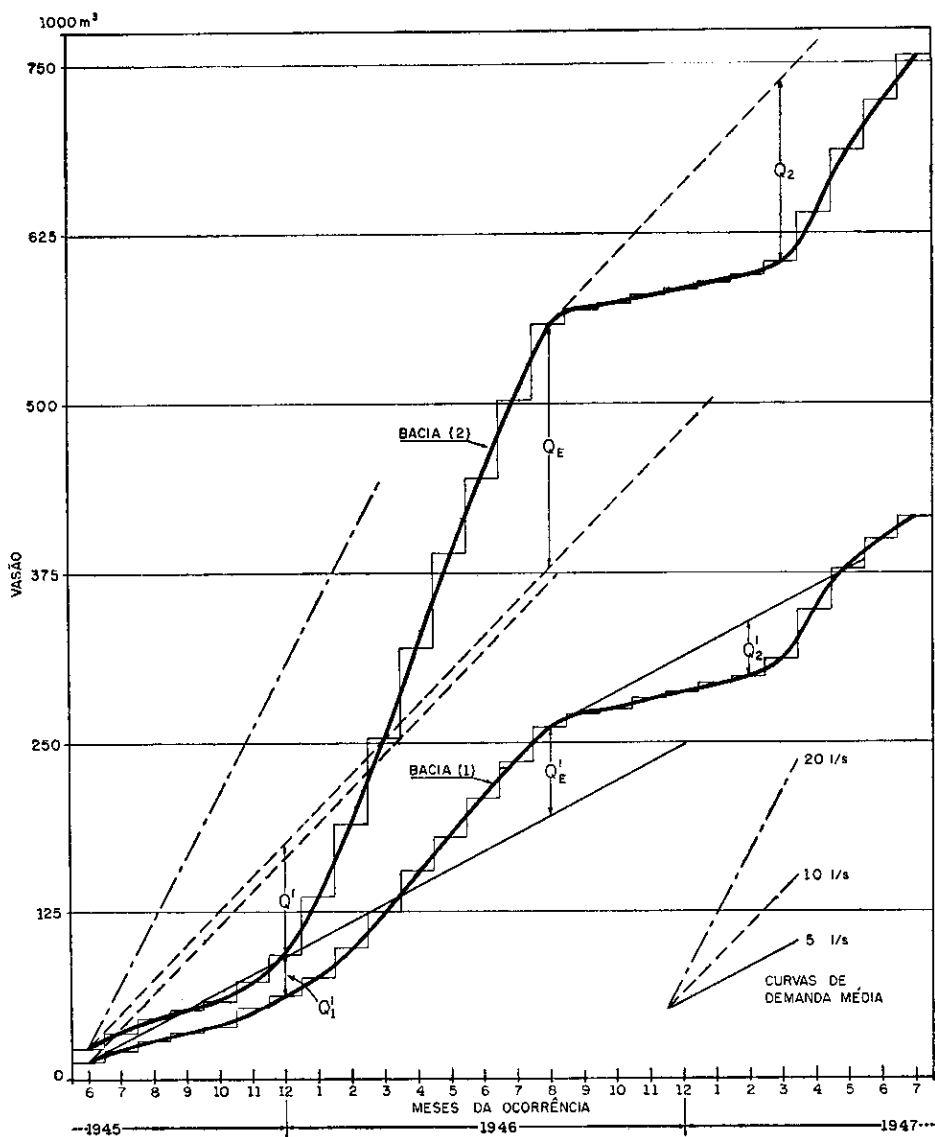


FIGURA 6. --- Curva de massa dos dados ajustados das vazões mensais das bacias 1 e 2 e diagramas comparativos de Rippl.

terceptação e a curva de massa estiver abaixo da reta, como é o caso da demanda de 10 l/s, a ordenada máxima Q_1 indicará a quantidade de água que deveria ter sido armazenada para atender a demanda no período de junho de 1945 a março de 1946; a partir de abril de 1946 até o fim do intervalo observa-se um excesso de volume em relação à demanda de 10 l/s, representado pela ordenada máxima Q_E ; todavia, no período de setembro de 1946 até o fim do intervalo de estudo, observa-se que a demanda excedeu o suprimento de um volume representado pela ordenada máxima Q_2 , a qual representa o volume que deveria ter sido armazenado para atender a demanda.

Evidentemente para que o sistema de acumulações fôsse possível, na prática, as seguintes condições deveriam verificar-se: a) $Q_E > Q_2$; b) a reta de demanda de 10 l/s deveria interceptar novamente a curva de massa, dentro do intervalo de interesse, mantendo-se Q_2 como ordenada; c) haver condições topográficas para o armazenamento econômico do volume Q_2 .

No caso da demanda de 5 l/s verifica-se a necessidade de armazenamento nos períodos de junho a novembro de 1945, cujo volume é representado pela ordenada máxima Q_1 , e no período de setembro de 1946 a maio de 1947, cujo volume é representado pela ordenada máxima Q'_2 , não havendo dúvida quanto à capacidade do suprimento de garantir o fornecimento de água para o armazenamento necessário.

Na figura 5 verifica-se que para a demanda de 20 l/s haveria necessidade de armazenamento nos períodos de junho de 1945 a abril de 1946, cujo volume é representado pela ordenada máxima Q_1 e no período de agosto de 1946 até o fim do intervalo, cujo volume é representado pela ordenada máxima Q_2 ; porém, como se verifica $Q_E < Q_2$, o sistema seria inviável na prática pela incapacidade do suprimento de fornecer a água necessária para o armazenamento. No caso de demanda de 10 l/s, verifica-se que o volume de armazenamento maior é Q'_2 , no período de agosto de 1946 a abril de 1947, o qual seria viável em relação à capacidade de suprimento.

Na figura 6 os diagramas foram separados para as bacias 1 e 2 a fim de ilustrar a possibilidade de proceder a análises complementares, de forma que as necessidades totais de armazenamento possam ser racionalmente repartidas em relação à capacidade de suprimento de cada bacia. A demanda de 20 l/s está fora de cogitação por não interceptar

nenhuma das curvas de massa; a de 10 l/s seria viável na bacia 2 por verificar-se $Q_E > Q_2$, porém não seria viável na bacia 1 onde seria viável a de 5 l/s por verificar-se $Q'_E > Q'_2$.

Nos exemplos acima admitiu-se serem as demandas representadas pelas linhas retas apenas para fins didáticos, porque a solução dos problemas de armazenamento não é dificultada pela forma da curva de demanda.

Como as curvas de massa apresentadas nas figuras 4, 5 e 6 foram construídas com os dados líquidos de vazão das bacias, obtidos a partir dos dados observados, dos quais foram deduzidas as perdas totais inevitáveis, é oportuno, nesta altura, discutir o conceito das perdas.

4.2 — PERDAS DEVIDAS AO ARMAZENAMENTO

Ao ser a água acumulada pelo represamento, os seguintes fenômenos ocorrem simultaneamente:

- a) aumenta a superfície livre da água e portanto a evaporação;
- b) aumenta a superfície de contato da água com o solo e, portanto, a infiltração;
- c) aumenta a carga hidrostática da água sobre o solo, acelerando o processo de infiltração;
- d) nas barragens de terra, a percolação através da estrutura pode ser fator importante de perdas de água;
- e) nas fundações inadequadas das barragens o fluxo (*creeping*) sob a estrutura pode constituir-se em fator preponderante de perdas de água;
- f) a presença da massa líquida por sua vez atua no sentido de refrescar o ambiente, diminuindo a oportunidade de evaporação.

As perdas devidas à evaporação podem ser conhecidas pelo emprego de evaporímetros flutuantes ou estimadas com boa aproximação por meio de fórmulas adequadas; porém, as perdas devidas à infiltração são difíceis de ser medidas, embora possam ser teoricamente estimadas mediante fórmulas criteriosamente escolhidas e se proceda a determinação de permeabilidade no local ou em materiais colhidos do local da barragem, e pelo recurso a métodos mais elaborados, como o da

analogia elétrica, cujo emprêgo se vem ampliando no domínio da engenharia hidráulica, principalmente nos estudos de obras de maior vulto.

A medição da vazão do ladrão de uma represa e das vazões que ocorrem na bacia correspondente proporcionam um método direto, seguro, de conhecimento das perdas totais que se verificam por efeito do armazenamento de água. Desde que se conheçam as perdas devidas à evaporação, por simples diferença se obtém as perdas devidas à infiltração total, inclusive as que ocorrem através da própria barragem. Como neste trabalho não foram feitas mensurações de evaporação, as perdas são as totais (evaporação + infiltração).

Para a computação dessas perdas foram obtidas as porcentagens de vazão do ladrão nas bacias 1+2 e 3 em relação às vazões mensais acumuladas e às vazões médias acumuladas dessas bacias, apresentadas no quadro 3. Conforme já foi discutido anteriormente, as estimativas mais prováveis das porcentagens de vazão do ladrão estão entre os valores da coluna $\Sigma U_L / \Sigma U_{1+2}$ e $\Sigma U_L / \Sigma U_3$. A bacia 1+2 representa cerca de 61% da área total da bacia da represa, de forma que a vazão desta bacia é certamente maior do que a daquela, mas inferior aos valores indicados na coluna correspondente do quadro 2, por não se verificar a proporcionalidade vazão/área nas bacias estudadas. Não sendo possível uma estimativa exata das porcentagens de vazão do ladrão, em relação à bacia da represa, acredita-se que os valores médios adotados podem ser aceitos em princípio, tendo sido os utilizados para as estimativas das vazões líquidas das bacias e do ladrão que aparecem no quadro 3.

Os valores médios das porcentagens de vazão do ladrão em relação aos dados acumulados sofreram oscilações relativamente pequenas, sendo que o maior valor assinalado foi de 55,8% e o menor o valor final de 47,9%, que representa a porcentagem líquida do ladrão verificada no intervalo de estudo. No entanto, convém observar que por se referirem a dados acumulados de vazão, pequenas diferenças em porcentagens indicam volumes crescentes de água, à medida que crescem os volumes acumulados.

É possível que, com a ampliação de estudos hidrológicos de pequenas bacias, chegue-se à determinação de porcentagens normais mensais, por estação do ano ou mesmo anual, para uso em projetos de acumulação de água. É óbvio que as perdas totais são imediatamente calculadas a partir das porcentagens de vazão do ladrão, e no caso presente alcançaram o total de 52,1% ou seja cerca de 50%, perda que pela sua im-

portância e conforme o caso não poderá deixar de ser levada em consideração na solução dos problemas de armazenamento de água.

4.3 — COEFICIENTES DE DEFLÚVIO

Os coeficientes de deflúvio, expressos em porcentagem, apresentados no quadro 4, para as bacias 1, 2 e 1+2, obtidos pela relação entre os totais acumulados de vazão das bacias e os totais acumulados dos volumes das precipitações respectivas, indicam que sofrem oscilação mensal e variam com as características das bacias, atingindo nas bacias 1 e 2 as médias de 21,9 e 29,9%, respectivamente, e média de 26,5% para a bacia 1+2. Esses valores comparam-se razoavelmente com a média anual obtida para bacias norte-americanas (4) que é de 28,3% e a média de 20,0% geralmente indicada nos compêndios de engenharia, para projetos de abastecimento de água. É possível também que com a ampliação dos estudos hidrológicos das pequenas bacias, chegue-se à determinação de coeficientes normais, mensais, por estação do ano e mesmo anuais, para efeito de cálculos estimativos de vazão de bacias, a partir de dados de precipitação e área.

4.4 — ESTIMATIVAS DE ÁGUA DE PERCOLAÇÃO E DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO

De acôrdo com os dados apresentados no quadro 4, do total de água precipitada na área da bacia 1+2, 26,5% foram mensurados através da vazão dos córregos correspondentes, perfazendo um total de cerca de $9\ 266\ 274 \times 0,265 = 2\ 455\ 563\ \text{m}^3$, englobando a água que brotou do lençol freático, ou seja a água de percolação, e a que se evadiu da área sob a forma de enxurrada. Como existem os coletores de enxurrada da Seção de Conservação do Solo na bacia 1, é possível fazer uma estimativa bem aproximada das perdas de água em tôda a bacia; adotando-se a média de 3% sôbre o total das precipitações, com base nos dados apresentados por Marques (6), resulta um total de $9\ 266\ 274 \times 0,03 = 277\ 988\ \text{m}^3$, que deduzido do total escoado sob a forma de vazão, dá $2\ 455\ 565 - 277\ 988 = 2\ 177\ 575\ \text{m}^3$ para o volume de água percolada que se evadiu da área. Expressando êsses valores em altura de água, ter-se-ia para todo o período estudado os seguintes totais:

| | <i>mm</i> |
|--------------------------------------|-----------|
| Enxurrada | 88 |
| Água percolada | 689 |
| Água escoada (evadida da área) | 777 |

Tendo-se computado o total de água precipitada e o total de água evadida da área sob a forma de água percolada e de enxurrada, a diferença deve expressar a água evapotranspirada, computada a variação de volume de água verificado sob a forma de retenção, tanto do solo como do lençol freático. Analisando-se os hidrogramas das bacias, apresentados na figura 2, e admitindo-se proporcionalidade entre volume escoado e acréscimo de capacidade do lençol, verifica-se que houve acréscimo no volume de retenção de água, ao término do intervalo de estudo, e sendo êsse acréscimo de difícil computação, os cálculos de água evapotranspirada em todo o intervalo careceriam de significação. Todavia, essa dificuldade pode ser afastada limitando as computações a um período em que as vazões retornam aos mesmos mínimos, no mesmo sentido de aproximação, a fim de evitar o efeito de *histeresis* tão comumente ligado aos fenômenos de água no solo. Verificando-se corresponder um desses períodos ao intervalo de outubro de 1945 a outubro de 1946 (13 meses), obtêm-se os seguintes volumes totais, calculados a partir dos elementos correspondentes dos quadros 2 e 4:

| | <i>m³</i> |
|-----------------------------|-----------|
| Água precipitada | 4 733 912 |
| Água escoada | 1 479 924 |
| Água percolada | 1 337 907 |
| Enxurrada | 142 017 |
| Água evapotranspirada | 3 253 988 |

Expressando êsses volumes em altura mensal média de água obtém-se:

| | <i>mm</i> |
|-----------------------------|-----------|
| Água precipitada | 115,3 |
| Água escoada | 36,0 |
| Água percolada | 32,5 |
| Enxurrada | 3,5 |
| Água evapotranspirada | 79,3 |

Procedendo-se a idêntico cálculo, correspondente ao período de maio de 1946 a maio de 1947 (13 meses) intervalo em que as vazões re-

tornam praticamente ao mesmo valor, obtêm-se os seguintes valores médios mensais em altura de água :

| | <i>mm</i> |
|-----------------------------|-----------|
| Água precipitada | 109,3 |
| Água escoada | 30,7 |
| Água percolada | 27,4 |
| Enxurrada | 3,3 |
| Água evapotranspirada | 78,6 |

As médias mensais da água evapotranspirada nos períodos de outubro de 1945 a outubro de 1946 e de maio de 1946 a maio de 1947, foram praticamente iguais, demonstrando que nesses períodos não deve ter havido efeito pronunciado de variação do volume de retenção de água, aliás de conformidade com a suposição feita anteriormente.

Comparando-se essas médias com as estimativas de evapotranspiração potencial obtidas pelo método de Thornthwaite, para os mesmos intervalos, conforme dados apresentados pelo autor em 1953 (10) em palestra realizada no Instituto Agronômico, obtêm-se:

| MÉTODOS DE ESTIMATIVA | <i>out. 1945 a out. 1946</i> | <i>maio 1946 a maio 1947</i> |
|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Dados hidrológicos da bacia | 79,3 mm | 78,6 mm |
| Fórmula de Thornthwaite | 81,2 mm | 80,4 mm |

É surpreendente a concordância entre as estimativas mensais de evapotranspiração atual e potencial, mesmo porque a distribuição pluviométrica na bacia não foi tão perfeita a ponto de ter evitado a ocorrência de qualquer período de seca, embora deva ser citado que de acordo com o método de análise de secas utilizado pelo autor, com base em fórmulas de evapotranspiração, capacidade de retenção de água disponível pelo solo e profundidade efetiva do sistema radicular das plantas (10, 11) não tivessem mesmo ocorrido naqueles intervalos nenhuma seca de importância.

A mesma concordância não se observa porém em outros períodos em que se verifica pronunciada desigualdade de vazões no início e fim do intervalo considerado, ressaltando o provável efeito das diferenças existentes no volume de retenção de água, como fator preponderante: mesmo para alguns períodos, em que a igualdade de vazão é atingida por fenômenos opostos, de ascensão e descensão, não se verifica concordância, podendo haver acentuada diferença entre as estimativas de evapotranspiração, como é o caso do intervalo de dezembro de 1945 a se-

tembro de 1946, obtendo-se o valor médio mensal de 58 milímetros para a evapotranspiração atual e de 77,5 milímetros para a potencial, diferença de cerca de 25% calculada em relação à evapotranspiração potencial. Se bem que pequenas diferenças pudessem ser atribuídas à incapacidade das fórmulas empíricas de representar o fenômeno da evapotranspiração com exatidão, parece razoável admitir-se a existência de um efeito semelhante à *histeresis*, quer a vazão seja atingida pelo fenômeno de ascensão ou de descensão; não deve ser esquecido que as médias mensais escondem oscilações diárias que podem também contribuir para acentuar as diferenças.

5 — CONCLUSÕES

- a) As calhas medidoras «Parshall» oferecem boas possibilidades de emprêgo nos estudos de vazão de bacias, podendo ser construídas de madeira, concreto, chapas de alumínio ou metálicas galvanizadas, para lhes garantir duração compatível com a importância dos trabalhos, sendo que o modelo deve ser escolhido de acôrdo com as vazões máximas e mínimas esperadas;
- b) O método adotado de balanço de vazão de entrada e saída de água na represa, oferece grandes possibilidades para a determinação das perdas totais inevitáveis verificadas pelo efeito do armazenamento de água, que neste estudo foram estimadas em cerca de 50% da vazão total de alimentação da represa;
- c) As estimativas obtidas de porcentagens de vazão das bacias, em relação às precipitações, de respectivamente 21,9 e 29,9%, para bacias de 120 e 180 hectares, com média de 26,5% para a bacia de 300 hectares, estão dentro dos limites dos valores encontrados na literatura;
- d) Do total de água precipitada nas bacias estudadas, cerca de 75% foi devolvida à atmosfera sob a forma de água evapotranspirada, com uma média mensal de cerca de 80 milímetros; os restantes 25% foram escoados sob a forma de vazão mensurável dos córregos, dos quais se estima que cerca de 3% o foram sob a forma de enxurrada superficial, tendo os restantes 22% percolado através do solo;

- e) Houve surpreendente concordância nas estimativas de evapotranspiração obtidas tendo em conta os dados hidrológicos das bacias e as obtidas com a aplicação da fórmula empírica de Thornthwaite evidenciando as possibilidades de aplicação dessa fórmula para estudos de ordem geral, conforme tem sido o critério seguido pelo autor;
- f) A comparação dos hidrogramas das bacias com os pluviogramas revela que há nítida defasagem nos máximos e mínimos, principalmente no início da estação chuvosa, quando é maior o efeito da retenção de água por parte do solo. Essa defasagem justifica o provérbio popular que diz: **quando começam as chuvas os córregos secam** e condena o processo de avaliação da capacidade de suprimento dos córregos pela determinação das vazões uma única vez, especialmente quando há dúvidas quanto ao suprimento de atender as demandas;
- g) O fenômeno de *histeresis* parece manifestar-se também na água do subsolo, afetando o volume de água retido, segundo as vazões sejam atingidas pelos processos de ascensão ou descensão do lençol freático.

HYDROLOGIC STUDIES OF SMALL BASINS WITH APPLICATION TO IRRIGATION

SUMMARY

Some hidrologic studies were undertaken in the period of June 1945 up to July 1947, on small basins located in the «Dr. Theodureto de Camargo» Experiment Station, of the Instituto Agronômico in Campinas. Two of the basins, respectively of 120 and 180 hectares, were envelopped by a third basin of 522 hectare limited downstream by an earth dam. The inflow and outflow of the impounded water have been measured, as well as the flow of the two basins.

The data collected were analysed by means of simple and mass diagrams of surface flow and rainfall. Comparisons of the evapotranspiration data obtained from the hydrologic studies were made with potencial evapotranspiration data obtained by using Thornthwaite's empirical formula, with coincidentally remarkable agreement, with an average monthly evapotranspiration of about 80 milimeters.

The percentages of surface flow in relation to total rainfall were found to average about 26.5%, from which a small portion only (3% of the total rainfall) was attributed to surface runoff. The remaining 23.5% is believed to be the percolated water which appeared as ground water flow.

Total losses (infiltration + evaporation), occurring due to the accumulation of water by the old existing earth dam were estimated to be of the order of 50%

of the total inflow, thus indicating that only 50% of the initial inflow could be used, the remaining being accounted as unavoidable losses. It is believed that part of these losses could be minimized if the dam structure were built according to modern techniques.

Rippl diagrams were used and its usefulness in solving problems of storage of water for irrigation purpose was shown by practical examples.

The method used in this work to determine the total losses in impounding water, if properly applied to measure the total inflow and outflow, is believed to yield the best results, since no estimated data are obtained but actually measured.

LITERATURA CITADA

1. DAVIS, CALVIN V. Handbook of applied hydraulics. New York, McGraw Hill Book Company, Inc., 1942. p. 115-116.
2. GROVER, NATHAN C. & HARRINGTON, ARTHUR W. Stream flow. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1943. p. 911.
3. HORTON, R. E. Flood crest reduction by channel storage. New York. Trans. Am. Geo. Union, Part III: 820-825, 1941.
4. American Society of Civil Engineers, New York. Hidrology Handbook, 1949. p. 22 e 81. (ASCE — Manuals of Engineering Practice N.º 28)
5. Armco Industrial e Comercial S. A., Rio de Janeiro. Manual de Hidrotécnica, 1943. p. 49-52.
6. MARQUES, JOÃO Q. A. Processos modernos de preparo do solo e defesa contra a erosão. Bahia, Instituto Central de Fomento Econômico, 1950. p. 32-138. (Boletim n.º 19).
7. MEAD, DANIEL W. Hidrology. New York, McGraw Hill Book Company, Inc., 1950. p. 582.
8. ONGARO, GIOVANNI. Il calcolo delle reti idrauliche di bonifica. Italia, Edizione Agricole Bologna, 1958. p. 38.
9. PARSHALL, R. L. Measuring water in irrigation canals with Parshall flumes and small weirs. U.S.D.A., 1950. 62 p. (Soil Conservation Services Circular N.º 843).
10. TOSELLO, RINO N. Interpretação das sêcas nas zonas cafeeiras do Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo, 1953. (Palestra realizada na 90.ª Reunião Científica).
11. ——— Irrigação de cafézal. Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo. I Curso de Cafeicultura, 1954. 3.ª Edição, 1957. p. [183]-193.