

MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO E DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM ÁREAS URBANAS

Pluviometric and Surface Runoff Monitoring in Urban Areas

Monitoreo Pluviométrico y de Escorrentía Superficial en Áreas Urbanas

BARBASSA, A. P.¹

Resumo

A precipitação é um fenômeno que envolve variações espaciais e temporais que dificultam sua quantificação. O escoamento superficial, em geral, é obtido indiretamente através da medida de nível, que, também é susceptível a variações temporais. Entretanto as escalas de medida são bem maiores que aquelas encontradas em pluviometria. Além das características dos eventos, existem outros fatores que intervêm, como o processo de medição usado pelo equipamento escolhido, o conhecimento dos processos de medida, local de instalação, capacitação do observador e etc.. Levantaram-se a partir de testes em laboratório e campo, usando equipamentos totalmente eletrônicos de medida pluviométrica e de nível, questões relacionadas à calibração, instalação, manutenção, operação e qualidade da medida.

Os resultados destas avaliações ilustram o comportamento deste tipo de equipamento e as possibilidades de monitoramento em meio urbano. Foram conduzidos numerosos testes e, ainda assim, não se conhecem completamente os aparelhos. Os usuários dos dados hidrológicos normalmente não se preocupam, o suficiente, com a qualidade dos registros. Os erros médios encontrados para os pluviógrafos variaram de -4,76% para 3,7 mm/h até 1,13% para 78 mm/h. O intervalo de medida afeta a precisão, pois sendo pequeno o intervalo a altura precipitada também o é, caindo na faixa de maior erro. Para pequenas alturas de lâmina o linígrafo produz maiores erros. Estes equipamentos facilitam sobremaneira o monitoramento quando comparado com registradores convencionais. A instalação do linígrafo eletrônico é notadamente mais simples. As propostas de instalação dos pluviógrafos a 5,5 m do solo, embora fora das recomendações, viabilizou a coleta de dados. Tanto linígrafo quanto pluviógrafo eletrônicos têm autonomia de medida maiores e facilitam a manipulação dos dados, por estarem em arquivos. Exigem entretanto maiores capacitação do técnico e outros cuidados na operação e manutenção. São também apresentadas dificuldades encontradas e o método usado para levantar as curvas-chave.

Palavras-chave: Ordenamento territorial; Planejamento urbano; Território; Leis; América Latina.

¹ BARBASSA, A. P. - Ademir Paceli Barbassa. Professor Doutor da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1689-4873>, (in memoriam).

COMO CITAR:

Barbassa, A. P. MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO E DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM ÁREAS URBANAS. Engenharia Urbana Em Debate, 5(1). <https://doi.org/10.14244/engurbdebate.v5i1.125>

Texto publicado originalmente no Seminário Internacional de Manejo de Águas Pluviais Urbanas, em 1997. O texto foi revisado pela Professora Doutora Anai Floriano Vasconcelos (anai.vasconcelos@ufscar.br), a qual manteve o texto original, exceto o item 8, que foi elaborado a fim de complementar as informações disponibilizadas do artigo original.



Abstract

Precipitation is a phenomenon that involves spatial and temporal variations that make its quantification difficult. Surface runoff is generally obtained indirectly through level measurement, which is also susceptible to temporal variations. However, the measurement scales are much larger than those found in pluviometry. Besides the characteristics of the events, other factors intervene, such as the measurement process used by the chosen equipment, the knowledge of the measurement processes, the installation location, the observer's training, etc. Issues related to calibration, installation, maintenance, operation, and measurement quality were raised from tests in the laboratory and field using fully electronic pluviometric and level measurement equipment.

The results of these evaluations illustrate the behavior of this type of equipment and the possibilities for monitoring in urban environments. Numerous tests were conducted, and yet the devices are not completely understood. Users of hydrological data usually do not concern themselves sufficiently with the quality of the records. The average errors found for the pluviographs ranged from -4.76% for 3.7 mm/h to 1.13% for 78 mm/h. The measurement interval affects the precision, as a small interval results in a small precipitated height, falling into the range of greater error. For small sheet heights, the linigraph produces larger errors. These devices greatly facilitate monitoring compared to conventional recorders. The installation of the electronic linigraph is notably simpler. The proposal to install the pluviographs at 5.5 m above the ground, although outside the recommendations, made data collection feasible. Both the electronic linigraph and pluviograph have greater measurement autonomy and facilitate data manipulation since they are in files. However, they require greater technical training and other care in operation and maintenance. Difficulties encountered and the method used to develop the key curves are also presented.

Keywords: Territorial planning; Urban planning; Territory; Law; Latin America

Resumen

La precipitación es un fenómeno que implica variaciones espaciales y temporales que dificultan su cuantificación. El escurrimiento superficial, en general, se obtiene indirectamente a través de la medida de nivel, que también es susceptible a variaciones temporales. Sin embargo, las escalas de medida son mucho mayores que las encontradas en pluviometría. Además de las características de los eventos, existen otros factores que intervienen, como el proceso de medición utilizado por el equipo elegido, el conocimiento de los procesos de medición, el lugar de instalación, la capacitación del observador, etc. Se plantearon cuestiones relacionadas con la calibración, instalación, mantenimiento, operación y calidad de la medida a partir de pruebas en laboratorio y campo, utilizando equipos totalmente electrónicos de medida pluviométrica y de nivel.

Los resultados de estas evaluaciones ilustran el comportamiento de este tipo de equipo y las posibilidades de monitoreo en medio urbano. Se realizaron numerosas pruebas y, aun así, no se conocen completamente los aparatos. Los usuarios de los datos hidrológicos normalmente no se preocupan lo suficiente por la calidad de los registros. Los errores medios encontrados para los pluviógrafos variaron de -4,76% para 3,7 mm/h hasta 1,13% para 78 mm/h. El intervalo de medida afecta la precisión, ya que siendo pequeño el intervalo, la altura precipitada también lo es, cayendo en la gama de mayor error. Para pequeñas alturas de lámina, el linígrafo produce mayores errores. Estos equipos facilitan en gran medida el monitoreo en comparación con los registradores convencionales. La instalación del linígrafo electrónico es notablemente más sencilla. Las propuestas de instalación de los pluviógrafos a 5,5 m del suelo, aunque fuera de las recomendaciones, viabilizaron la recolección de datos. Tanto el linígrafo como el pluviógrafo electrónicos tienen mayor autonomía de medida y facilitan la manipulación de los datos, al estar en archivos. No obstante, requieren mayor capacitación del técnico y otros cuidados en la operación y mantenimiento. También se presentan dificultades encontradas y el método utilizado para desarrollar las curvas clave

Palabras-clave: Ordenamiento territorial; Planificación urbana; Territorio; Leyes; América Latina.

1. Introdução

Precipitação e vazão são dados de entrada básicas para calibração de modelo de previsão de enchentes. São encontradas na bibliografia abordagens das condições de instalações, características técnicas e operação voltadas para condições normais de medida. Abordam-se a seguir estes mesmos aspectos, entretanto, com base em experiência de registros em área urbana e com uso de equipamentos totalmente eletrônicos.

O escoamento superficial e precipitação podem ser obtidos a partir do registro da variação de uma lâmina de água com o tempo, sendo a vazão obtida a partir da conversão de lâmina através de curva-chave. As medidas diretas de vazões só são necessárias para levantamento da curva-chave.

A precipitação é um fenômeno climatológico que envolve variações temporal e espacial, dificultando

sua quantificação. O escoamento superficial também é complexo, pois embora com variações no tempo e no espaço restritas ao canal, está sujeito a vários fatores como qualidade da água, rapidez de passagem da cheia, local de medida etc.. A qualidade de ambas as medidas depende também de grupos de fatores, como o processo de medição utilizada pelo equipamento escolhido, o conhecimento deste processo de medida, do local escolhido para instalação do posto de medida, da capacitação do observador e etc..

A precipitação é caracterizada pelas grandezas de altura pluviométrica, duração e intensidade. A altura pluviométrica (h), expressa em mm, é a espessura da lâmina d'água depositada sobre a área atingida pela precipitação. A duração (t) é o tempo em que ocorre a precipitação, expresso em horas ou minutos, e intensidade (I) é a relação entre a altura pluviométrica e a duração. Tem-se pois que registrar continuamente o tempo e a altura para quantificar a precipitação.

A medida por pluviômetro consiste em determinar a altura pluviométrica ocorrida em intervalos de 24 horas, ou a intervalos menores de tempo, as quais somadas indicam a precipitação diária. O aparelho possui uma área circular circunscrita por anel biselado (área de captação) e um recipiente para armazenamento. O volume de precipitação que é captado pela área circular é acumulado pelo recipiente para posterior medida.

A medida da variação temporal da precipitação requer a utilização de pluviógrafo. Este aparelho possui área de captação da precipitação na sua parte superior e processos de medidas do volume e do tempo, ambas contínuas. O mecanismo para registro da variação do tempo emprega relojoaria convencional ou processo eletrônico digital. O registro da altura precipitada é feito pela medida do volume de precipitação coletado, por processos mecânicos convencionais ou eletrônicos.

Estes equipamentos podem usar cubas basculantes que funcionam, uma enchendo e outra esvaziando alternadamente, emitindo sinal a cada basculada, correspondente ao volume de uma cuba. Alternativamente, a altura pode ser medida através

de recipiente equipado com bóia ou balança, que envia sinal acusando o enchimento, e sifão para descarregamento quando o recipiente estiver cheio. O sinal da basculagem ou do enchimento do recipiente pode ser elétrico ou mecânico, assim como o processo de registro da informação pode ser magnético (fitas, memória residente, disquetes etc) ou mecânico (cartões).

Modernamente existem os equipamentos totalmente eletrônicos ou digitais para pluviometria. Os processos de medida de tempo, medida da altura pluviométrica e armazenamento dos registros são todos eletrônicos. No caso do equipamento totalmente eletrônico, o volume coletado pela área de captação é conduzido a uma câmara para avaliação da altura de precipitação. A medida dessa altura é realizada através de um transdutor de pressão localizado na base desta câmara de coleta. O transdutor de pressão emite sinal elétrico de acordo com a coluna de água presente nesta câmara. Este sinal relativo à coluna de água é então analisado e registrado em um datalogger juntamente com o momento em que foi feita a leitura. O datalogger (unidade de armazenamento de dados), deve ser configurado pelo usuário de acordo com as constantes próprias do pluviógrafo e programado para leituras intervaladas de acordo com as necessidades, geralmente superiores a um minuto.

Analogamente ao que foi dito para precipitação, o escoamento superficial é caracterizado pelo hidrograma, de onde se obtém volume de escoamento superficial direto, tempo de pico, de recessão e de base, vazão de pico, escoamento de base etc.. O hidrograma requer os levantamentos da curva chave e do registro da variação de nível ou linigrama. Embora ambos sejam importantes para a determinação do escoamento superficial, enfoca-se o registro linimétrico com maior ênfase.

2. Precisão dos equipamentos

Os pluviógrafos mecânicos segundo CHEVALIER, apud TUCCI (1993), têm precisão de medição da altura pluviométrica tanto melhor quanto maior a área de captação ou maior a altura pluviométrica

sob registro. Os pluviógrafos com sistemas de pesagem ou boia com sifão apresentam melhor precisão, por serem estas medidas contínuas, que os pluviógrafos com cubas basculantes. A maioria destes equipamentos apresentam precisão de 0,1 mm. A medida do tempo, que depende da velocidade de adiantamento do pluviograma, apresenta, geralmente, precisão de 5 minutos. Os linígrafos convencionais têm, geralmente, precisão na medição de lâminas de 1 cm, podendo chegar a 0,1 cm, e de tempo de 1 até 30 minutos.

Os pluviógrafos eletrônicos testados têm máximas resolução de 0,1 mm e precisão de 0,5 mm, e medida do tempo com precisão de relógio digital. Os linígrafos apresentam 0,125% de erro combinado (com base na reta de melhor ajuste), segundo os fabricantes.

Os equipamentos eletrônicos possibilitam realizar registros a intervalos superiores a 1 minuto, têm autonomia de registros que pode variar de semanas a meses, dependendo das condições de fornecimento de energia e do intervalo de tempo entre os registros. Além disso, os dados não necessitam ser interpretados manualmente ou capturados por mesa digitalizadora. Os registros são recuperados da unidade de armazenamento (datalogger) em arquivos facilmente acessíveis e manipuláveis.

3. Calibração

A opção por equipamento totalmente novo exigiu testes para verificar as constantes de configuração e avaliações do comportamento frente a diferentes intensidades de precipitação e intervalos de leitura, e diferentes lâminas de água para os linígrafos eletrônicos. Foram avaliados três pluviógrafos e dois linígrafos, todos totalmente eletrônicos.

O linígrafo eletrônico foi calibrado em laboratório conectando uma mangueira de água à entrada do sensor, e, ao lado, uma régua graduada. Variou-se então a coluna de água de 0,5 a 5 m, fazendo a leitura direta na coluna de água e o registro pelo equipamento. O resultado é mostrado na tabela 1. Verifica-se que o erro calculado varia de -6% para 0,5m de coluna de água até 0,6% para 5 m.

Tabela 1 - Registros de lâminas manuais e através do sensor de nível

| Tempo (minutos) | Registro manual (metro) | Registro eletrônico (metro) | Erro % |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------|--------|
| 41 | 1,00 | 0,972 | -2,8 |
| 42 | 1,50 | 1,481 | -1,3 |
| 43 | 2,0 | 1,998 | -0,6 |
| 44 | 2,75 | 2,743 | -0,1 |
| 45 | 3,5 | 3,503 | 0,1 |
| 46 | 4,0 | 4,013 | 0,3 |
| 47 | 4,5 | 4,525 | 0,6 |
| 48 | 5,0 | 5,032 | 0,6 |
| 49 | 4,5 | 4,517 | 0,4 |
| 50 | 3,5 | 3,506 | 0,2 |
| 51 | 2,5 | 2,497 | -0,1 |
| 52 | 1,5 | 1,481 | -1,3 |
| 53 | 0,5 | 0,47 | -6,0 |

Fonte: Elaborado pelo autor (1997).

Introduziram-se no pluviógrafo, volumes de água medidos através de balões volumétricos entre os registros do equipamento. Foram adicionados, repetidas vezes, volumes de 50, 100, 250, 500 e 1000 mL que correspondem, respectivamente, às intensidades de 3,7; 7,4; 37,74 e 148 mm/h.

A tabela 2 apresenta, resumidamente, resultados de ensaios em laboratório para pluviógrafos totalmente eletrônicos. Em cada uma das colunas 1, 3 e 5 são apontados o número de volumes juntamente com os valores destes volumes adicionados. Nas colunas 2, 4 e 6 apresentam-se os erros produzidos por cada um dos três equipamentos. Os erros são médios e calculados como se segue:

$$(1) \text{ Erro}(\%) = \frac{\text{Altura registrada} - \text{Altura adicionada}}{\text{Altura adicionada}} \times 100$$

A última linha da tabela 2 mostra os erros médios dos três pluviógrafos eletrônicos frente a adição de diferentes volumes.

Tabela 2- Erros médios para diferentes volumes adicionados

| Pluviógrafo eletrônico 1 | | Pluviógrafo eletrônico 2 | | Pluviógrafo eletrônico 3 | |
|---|--------|---|--------|---|--------|
| n° adições * vol. adicionado (mL) | Erro % | n° adições * vol. adicionado (mL) | Erro % | n° adições * vol. adicionado (mL) | Erro % |
| 7 * 1000 | -0,39 | 17 * 1000 | -0,08 | 18 * 1000 | -3,24 |
| 4 * 500 | -1,05 | 11 * 500 | -1,21 | 4 * 500 | -5,54 |
| 8 * 250 | -2,30 | 6 * 250 | -3,02 | 6 * 250 | -4,02 |
| 8 * 100 | -2,80 | 7 * 100, 1 * 150 | -4,6 | 6 * 100 | -6,76 |
| 45 * 50 | -4,5 | 35 * 50 | -5,02 | 7 * 50 | -35,2 |
| 4*50, 3*100 1*200, 2*250 2*500, 2*1000 | 1,48 | 2*25 2*50, 2*100 2*250, 2*500 3*1000 | -0,53 | 7*50, 6*100 5*250, 5*500 2*1000 | -5,85 |

Fonte: Elaborado pelo autor (1997).

Evidencia-se, na tabela 2, o seguinte comportamento:
a) A análise dos erros mostrados na coluna 2, 4 e 6 mostra, inicialmente, que o aparelho 3 tem um comportamento destoante em relação a 1 e 2, por apresentar flutuações nas medidas e valores de erros bem superiores.

b) Os valores registrados tendem a ser inferiores aos valores reais representados pelos volumes introduzidos.

c) O erro de registro é inversamente proporcional aos volume introduzido, ou seja, quanto maior a intensidade precipitada, menor o erro de registro (maior precisão de registro).

d) Os erros de registros, por serem negativos e inversamente proporcionais aos volumes introduzidos, abrem possibilidade de correção analítica. Isto pode facilmente ser feito através de qualquer planilha.

Detectou-se em laboratório que a fonte de erros do pluviógrafo 3 deve-se a placa de circuito, sendo providenciada sua substituição.

pluviométricas (mm/h) nas colunas 3 e 4, e, na coluna 5, os erros médios. O maior erro é de - 4,76 %, entretanto ele se dá sobre uma intensidade de 3,7 mm/h, ou ainda, sobre uma altura de 0,307 mm, o que parece ser bastante aceitável.

Tabela 3 - Erros médios dos pluviógrafos eletrônicos

| Volume de teste (mL) | Intervalo entre registros (min) | Altura (mm) | Intensidade (mm/h) | Erro médio (%) |
|----------------------|---------------------------------|-------------|--------------------|----------------|
| 50 | 5 | 0,308 | 3,7 | -4,76 |
| 100 | 5 | 0,617 | 7,4 | -3,70 |
| 250 | 5 | 3,08 | 37,0 | -2,66 |
| 500 | 5 | 6,16 | 74,0 | -1,13 |
| 1000 | 5 | 12,33 | 148,0 | -0,24 |

Fonte: Elaborado pelo autor (1997).

A tabela 3 mostra os erros médios de registros dos pluviógrafos 1 e 2. Na coluna 1, apresentam-se os valores dos volumes introduzidos com as correspondentes alturas (mm) e intensidades

As avaliações dos erros de registros não consideraram uma outra fonte de erros, por não ser erro de medida. Trata-se de variação de registros que ocorre durante auto-drenagens

dos volumes armazenados.

Notou-se, durante os ensaios, que houve introdução de erros causados pela auto-drenagem. Observou-se uma variação de registro, em média de 1,2 mm, provocada pela auto-drenagem, numa amostra de 17 ocorrências. Esta deficiência é, entretanto, minimizada pelos seguintes fatores: o equipamento foi programado pelo fabricante para descarregar o volume armazenado em períodos não chuvosos (ou ao atingir um nível máximo); há autonomia de registrar, sem necessidade de descarga, superior a 50 mm.

Tal erro causaria, então, diferença entre o valor total da precipitação medido em pluviômetro e pluviógrafo. Segundo o Manual de Serviços de Hidrometria, DNAEE (1977), são admissíveis diferenças entre as alturas medidas totais obtidas em pluviômetros e pluviógrafos de 10 a 15%, de 5 a 10% e de 3 a 5% respectivamente para chuvas de pequena, média e alta intensidade.

Há que conhecer melhor os efeitos destes erros sobre longos períodos de registros.

4. Localização do posto de medida

Pluviógrafo ou pluviômetro são assentados de modo que a área receptora esteja na horizontal e, geralmente, distando entre 1 a 1,5 m da superfície do terreno. A fim de evitar a interferência de obstáculos como edificações, árvores e etc. nas medições, recomenda-se que a distância entre o aparelho e o obstáculo seja superior a duas vezes a altura deste.

Tais recomendações são muitas vezes motivo para transferência de estações climatológicas para áreas mais amplas, às vezes situadas periféricamente ao meio urbano, para se conseguir livrar das citadas interferências.

O desenvolvimento de projeto de pesquisa para estudos em drenagem, obrigou a instalar uma rede de coleta em meio urbano, formada por três postos de medida pluviométrica e dois postos limimétricos. Os postos têm de

ser homoganeamente dispostos de modo a terem áreas de influência, tanto quanto possível, próximas. Assim, restringem-se as opções de lugares de instalação. Deparou-se também com o problema de segurança do equipamento. O vandalismo é um problema seríssimo que simplesmente pode inviabilizar um projeto de monitoramento hidrológico.

A solução encontrada foi instalar o aparelho a uma distância do solo de 5,5 m, preso a um poste. Assim o acesso ao mesmo só pode ser realizado através de escada. Tal proposta reduz inclusive a interferência de obstáculos vizinhos já que o equipamento está elevado. Entretanto, pode haver uma variação do valor medido devido a esta elevação do equipamento, que deve ser quantificada.

Observaram-se em laboratório e em instalação de campo que quando os pluviógrafos estiverem sujeitos a oscilações, podem apresentar variações nos valores registrados de 0,1 mm.

A instalação dos linígrafos eletrônicos constou de uma tubulação de aço galvanizado de 2" de diâmetro, protegendo o sensor de nível e o cabo, do ponto de medida até o datalogger, montado também a 5,5 metros de altura. Este esquema de instalação viabiliza enormemente as medições, quando comparado com um linígrafo convencional que requer obras para construção de poço tranquilizador e proteção dos equipamentos.

O datalogger, quando instalado em campo, necessitou ser protegido contra umidade. O equipamento foi colocado em caixa confeccionada em chapa de aço de 3 mm de espessura, a fim de evitar perfurações a bala, como as ocorridas.

5. Operações e manutenção

A operação do equipamento exigirá do técnico uma ambientação com microcomputadores, necessários à recuperação dos dados armazenados nas unidades de armazenamento.

A frequência com que se recuperam os dados

pode ser até mensal, no caso de não haver transmissão automática de dados. Entretanto, é desejável que se faça inspeção semanal ao equipamento, quando possível, para verificação das condições da instalação, da limpeza da placa solar quando for o caso, das condições da bateria etc. A recuperação em períodos curtos permite analisar qualitativamente os dados obtidos, verificando-se a necessidade de manutenção.

A manutenção do equipamento eletrônico é realmente um fator fundamental na escolha do equipamento. Além do tipo de equipamento, a localização do fabricante também pode causar atrasos no caso de se necessitar de peças de reposição.

Observe-se que a instalação do sensor de nível do linígrafo dentro de tubo galvanizado facilita também a operação, pois além de ficar protegido de vandalismo, está isento de interferência de materiais grosseiros que são arrastados pelas águas superficiais.

6. Levantamentos das curvas-chaves

Foram levantadas duas curvas-chaves correspondentes aos córregos do Gregório e do Monjolinho. A vazão total foi determinada pela somatória de vazões de cada subseção, através da medida de velocidade por molinete e área, como se segue.

$$(2) \quad Q_{total} = \sum Q_i = \sum A_i \cdot V_i$$

Na equação tem-se que a vazão total é Q_{total} , Q_i = vazão na seção i , A_i = área na seção i , V_i = velocidade na seção i .

6.1 Curva-chave do córrego do Monjolinho

A seção escolhida possui as vantagens de estar localizada em uma região de acesso fácil, ser próxima à saída da bacia hidrográfica e estar sob uma ponte de onde eram tomadas

as medidas de velocidades. Porém, esta apresenta irregularidades (pedras basálticas isoladas, vegetação marginal e arrastamento de detritos urbanos) que afetam a distribuição de velocidades. A fim de minimizar estes problemas foi feita a divisão em 4 subseções. Foi realizada a batimetria da seção em estudo, sendo a seção dividida em 4 subseções, distanciadas a 3,0 m; 4,5 m; 6,0m e 7,5 m da margem direita.

As velocidades foram medidas superficialmente, em vista da impossibilidade de se fazer as medidas à profundidades maiores devido a força de arraste provocada pelas cheias. A fim de se estabelecer uma relação entre as velocidades médias e superficiais, foram feitas medições de velocidade a 0,6 m de profundidade, como representativa da velocidade média, superficiais e ainda a lâmina. A tabela 4 mostra esta relação para as seções a 3,0; 4,5; 6,0 e 7,5 m medidos da margem direita do córrego.

A relação entre velocidades (a 0,6 da profundidade e superficial) varia com a profundidade e foi ajustada a equações lineares obtidas para cada ponto da seção transversal, como se segue.

Para o ponto distante 7,5 m:

$$R = 0,92533 - 0,11584 * \text{lâmina} \quad (3)$$

Para o ponto distante 6,0 m:

$$R = 0,83 - 0,0113 * \text{lâmina} \quad (4)$$

Para o ponto distante 4,5 m:

$$R = 0,897 - 0,01196 * \text{lâmina} \quad (5)$$

Para o ponto distante 3,0 m:

$$R = 0,483 + 0,59545 * \text{lâmina} \quad (6)$$

Tabela 4 - Relação entre velocidades e lâmina para subseções do córrego do Monjolinho distanciadas da margem direita

| 3,0 m | | | 4,5 m | | | 6,0 m | | | 7,5 m | | |
|---------|------------|---------------------|---------|------------|---------------------|---------|------------|---------------------|---------|------------|---------------------|
| medição | lâmina (m) | $V_{0,6} / V_{sud}$ | medição | lâmina (m) | $V_{0,6} / V_{sud}$ | medição | lâmina (m) | $V_{0,6} / V_{sud}$ | medição | lâmina (m) | $V_{0,6} / V_{sud}$ |
| 1 | 0.392 | 0.678 | 1 | 0.613 | 0.651 | 1 | 0.613 | 0.651 | 1 | 0.725 | 0.744 |
| 2 | 0.455 | 0.830 | 2 | 0.562 | 0.909 | 2 | 0.562 | 0.909 | 2 | .075 | 0.96 |
| 3 | 1.147 | 1.073 | 3 | 0.747 | 1.014 | 3 | 0.747 | 1.014 | 3 | 1.018 | 0.78 |
| 4 | 1.647 | 1.587 | 4 | 0.870 | 0.757 | 4 | 0.870 | 0.757 | 4 | 1.864 | 0.703 |
| 5 | 1.647 | 1.388 | 5 | 1.421 | 0.840 | 5 | 1.421 | 0.840 | 5 | 2.086 | 0.69 |
| | | | 6 | 1.498 | 0.594 | 6 | 1.498 | 0.594 | | | |
| | | | 7 | 1.698 | 0.943 | 7 | 1.698 | 0.943 | | | |
| | | | 8 | 1.920 | 0.827 | 8 | 1.920 | 0.827 | | | |

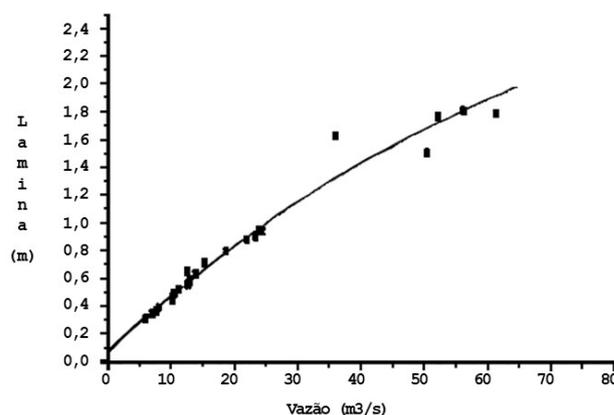
Fonte: Elaborado pelo autor (1997).

As relações de conversão passaram então a ser as equações lineares, que são função da lâmina, e então aplicadas às velocidades superficiais medidas. A curva-chave foi obtida e traçada com 25 pontos medidos. Sua representação foi ajustada por polinômio de terceiro grau. A equação 7 e figura 1 mostram o ajuste.

$$(7) Q = 2.84837 x^3 - 2,18232 x^2 + 26,46865 x - 2,36634$$

O parâmetro x representa a lâmina referenciada ao sensor. O coeficiente de correlação é 0,981.

Figura 1 - Curva-chave de seção do córrego do Monjolinho



Fonte: Elaborado pelo autor (1997).

6.2 Curva-chave do córrego do Gregório

A seção também é próxima à saída da bacia hidrográfica, além de ser regular, pois existe um vertedor com fundo horizontal e contração lateral. Não existem maiores irregularidades, porém o vertedor se localiza num trecho

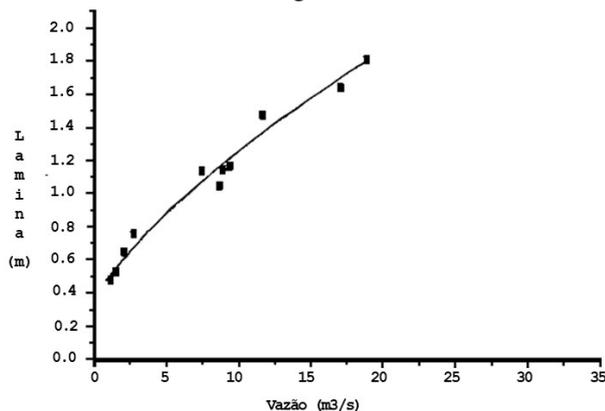
curvo, ocasionando zonas de refluxo próximo às margens. Foi realizado o levantamento da seção em estudo, sendo esta seção dividida de modo análogo ao executado no córrego do Monjolinho.

A equação 8 representa o ajuste dos 11 pontos medidos à curva traçada a partir do polinômio de terceiro, ilustrados pela figura 2.

$$(8) Q = -0.42899x^3 + 4.7692x^2 + 4.42613x - 2.34509$$

O parâmetro x representa a lâmina referenciada ao sensor. O coeficiente de correlação é 0,98803.

Figura 2 - Curva-chave da seção do córrego do Gregório.



Fonte: Elaborado pelo autor (1997).

7. Conclusões e recomendações

Os resultados mostrados ilustram apenas o comportamento de um tipo de pluviógrafo e linígrafo eletrônicos. Foram, de fato, conduzidos numerosos testes de campo e de laboratório, e, mesmo assim, não se conhecem completamente os aparelhos.

Não se deseja, através deste artigo, defender as virtudes dos equipamentos eletrônicos em detrimento dos mecânicos. Os usuários dos dados hidrológicos, normalmente não preocupam-se, suficientemente, com a qualidade dos registros. Geralmente os fabricantes, informam que o equipamento tem uma precisão na medição da altura pluviométrica e outra na medição do tempo, sendo estes os parâmetros observados quanto à qualidade da medida.

Tem-se, entretanto, que ter constante preocupação quanto aos dados registrados. Para isso são necessários testes dos equipamentos em laboratório, cuidados com as condições de exposição, no caso de pluviógrafos, e treinamento do técnico observador.

Os linígrafos totalmente eletrônicos, como os que foram empregados neste trabalho, mostram uma precisão bastante aceitável, pois os maiores erros se dão quando as lâminas são pequenas. O aspecto importante é a praticidade da instalação que não exige maiores obras, e de manutenção, pois são facilmente instalados e tornam-se bem protegidos.

Os pluviógrafos eletrônicos (com registro de alturas pluviométricas também eletrônicas) analisados neste trabalho, mostraram produzir erros aceitáveis, como mostrados nas tabelas 1 e 2. Os valores acumulados através de longos períodos podem ter erros introduzidos pela ocorrência de auto-drenos que devem ser melhor avaliados.

Observe-se que o intervalo entre medidas afeta a precisão, apesar do registro do tempo ser exato. Isto porque se o intervalo for pequeno, mesmo uma precipitação alta, produz uma pequena altura pluviométrica, caindo na faixa de maior erro.

A medição de vazões para o traçado da curva-chave, só pôde ser feito através da medição de velocidade superficial. Isto deveu-se à velocidade ser bastante alta, provocando forte arrasto sobre o molinete e haste. Dificultou também o trabalho, a presença de material grosseiro em suspensão e a rapidez da passagem da cheia. A relação entre velocidades a 0,6 da profundidade e superficial mostrou-se bastante variável em relação à lâmina no ponto de medida e também em relação à distância da margem. Preferiu-se o ajuste polinomial, ao tradicional exponencial, por ser este último bastante conservador para profundidades mais altas.

As condições de instalação propostas para os equipamentos empregados foram bastante eficientes, pois os linígrafos foram facilmente instalados e os pluviógrafos funcionaram protegidos em lugares onde seria quase impossível o funcionamento. A autonomia flexibiliza visitas para inspeção e recuperação dos dados armazenados. A operação e manutenção exigem

preparo do técnico, e possibilidade de reposição de peças dentro de período de tempo razoável, o que sugere fabricação e assistência nacionais.

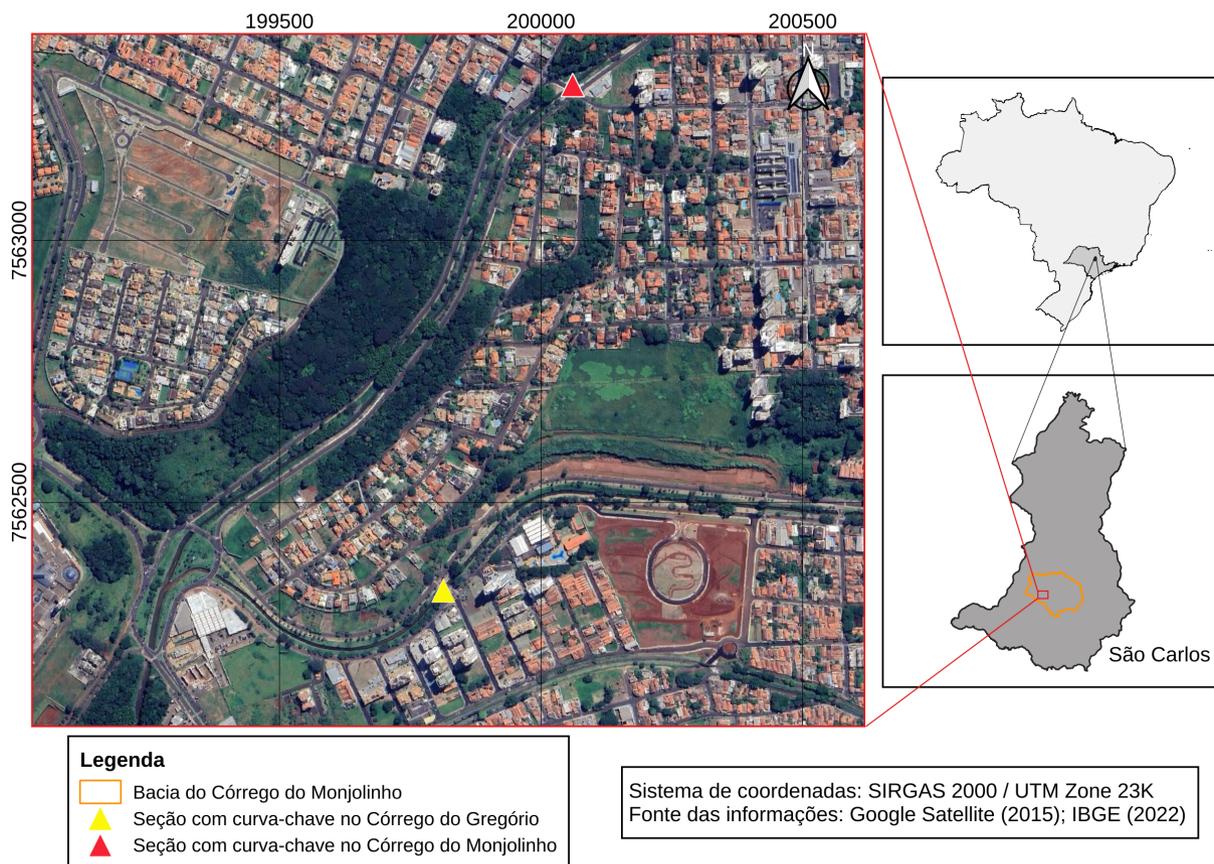
8. Informações complementares

A importância das curvas-chave para o estudo da hidrologia urbana é inquestionável. Entretanto, como já relatado neste artigo, o levantamento adequado dos dados necessários para a sua elaboração requer um esforço enorme, com idas a campo durante a tempestade e exposição ao risco de profissionais e equipamentos envolvidos na atividade. Neste sentido, e considerando as tentativas frustradas de contratação de uma empresa para levantamento de curvas-chave para São Carlos em 2024, esta seção apresenta informações complementares ao artigo original, que visam possibilitar ao leitor o

uso das curvas-chaves apresentadas, dadas as devidas considerações técnicas.

A localização das seções em que foram realizadas as medições de velocidades de escoamento para elaboração das curvas-chave é apresentada na figura 3. A seção do Córrego do Monjolinho situa-se à Avenida Francisco Pereira Lopes no cruzamento com as ruas Angelo Passeri e Doutor Serafim Viêira de Almeida. Os levantamentos de velocidade foram realizados a montante da ponte deste cruzamento e, para os cálculos, foi considerada a seção logo abaixo da ponte. A seção do Córrego do Gregório situa-se à Avenida Comendador Alfredo Maffei, na altura da Rua Salesianos do Brasil. As medições também foram realizadas próximo à ponte, mas, neste caso, a sua jusante.

Figura 3 - Localização das seções para as quais foram elaboradas curvas-chave.



Fonte: Aná Floriano Vasconcelos (2024).

As medições de velocidade foram realizadas em 1995. Ambas as seções encontram-se sob pontes, de modo que o seu corte transversal foi mais preservado. Neste sentido, são apresentadas nas figuras 4 e 5, as dimensões das seções, levantadas em 1995 e atualmente, além de fotos atuais. Observa-se que a seção do Córrego do Monjolinho encontra-se em trecho de canal natural, mas com a seção sob a ponte aparentemente preservada com

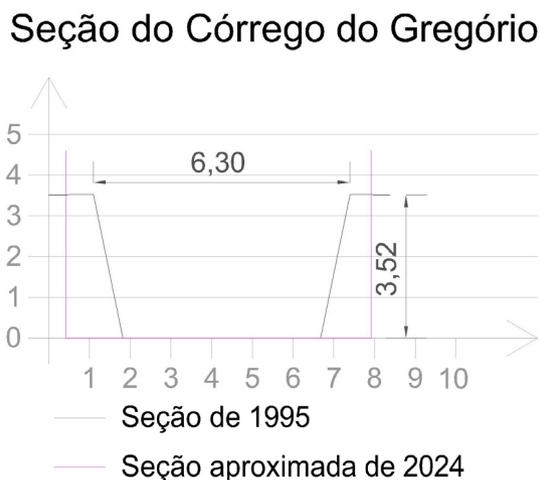
relação ao observado em 1995. No lado esquerdo da foto apresentada na figura 4 é possível observar que o poste onde foram instalados o datalogger e o pluviômetro e a tubulação de descida do medidor de nível no rio ainda se encontram instalados no local. Por outro lado, a seção do Córrego do Gregório passou por mais alterações ao longo deste período, de modo que observa-se um aumento significativo de sua largura de base.

Figura 4 - Detalhamento da seção do Córrego do Monjolinho para onde foi calculada a curva-chave.



Fonte: Anáí Floriano Vasconcelos (2024).

Figura 5 - Detalhamento da seção do Córrego do Gregório para onde foi calculada a curva-chave.



Fonte: Anáí Floriano Vasconcelos (2024).

Agradecimentos

Pelo apoio financeiro da FAPESP e CNPq, ao técnico José B. Rosa, e especialmente, à doutoranda Paula Britto Pugliese.

9. Bibliografia

BARBASSA, A. P. Simulação do efeito da urbanização sobre a drenagem pluvial na cidade de São Carlos - SP. 1991. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

BARBASSA, A.P., RIGHETTO, A.M. Cálculo Hidrodinâmico em Rede de Canais Urbanos, In: Simpósio de Recursos Hídricos do Cone Sul e X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1, Gramado, RS, Nov. 1993. ABRHidro, anais. vol.3 p.515-524.

BRASIL. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. Manual para serviços de hidrometria. São Paulo, 1977. 95p.

TUCCI, C.E.M. (org) et al. Hidrologia - Ciência e Aplicação, 1993, Porto Alegre: Ed. da UFRGS / ABRHidro, 1993, 943 p.