

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

VIKTOR BOYADJIAN PEREIRA

**PROTOCOLO PARA DESENVOLVIMENTO DE ANÁLISE DE
PRECIPITAÇÕES MÉDIAS HISTÓRICAS E DECENAIS PARA
DETERMINAÇÃO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**

Ilha Solteira
2023

PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL
EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS –
PROFÁGUA

VIKTOR BOYADJIAN PEREIRA

PROTOCOLO PARA DESENVOLVIMENTO DE ANÁLISE DE
PRECIPITAÇÕES MÉDIAS HISTÓRICAS E DECENAIS PARA
DETERMINAÇÃO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Produto elaborado com fundamentação no trabalho de Dissertação apresentado à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre na Especialidade de Gestão e Regulação em Recursos Hídricos – Prof Água.

Prof. Dr. Felipe André dos Santos

Orientador

1. Introdução

O presente Protocolo foi desenvolvido visando ao cumprimento da Resolução Prof-Água nº 004/2017, que “*regulamenta aspectos relativos ao Exame de Qualificação e a Avaliação do Trabalho de Conclusão do Curso no Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua*”, constituindo-se em um material de apoio para orientação e condução de análises de precipitações de séries históricas e de períodos decenais a serem desenvolvidos com a finalidade de determinação de disponibilidade hídrica de uma bacia ou sub-bacia hidrográfica de interesse, mediante a construção de múltiplos cenários de estudo.

Este produto é derivado da dissertação intitulada “Análise de precipitações médias históricas e decenais para determinação de disponibilidade hídrica, com foco na gestão do abastecimento público de água”, que foi desenvolvida como estudo de caso para o município de Bragança Paulista, situado no Estado de São Paulo.

A finalidade da metodologia proposta é identificar a ocorrência de redução no índice de precipitações médias anuais em períodos decenais mais recentes e, caso identificado, aplicar esse menor índice média na apuração de vazões características (e de referência) para determinação da disponibilidade hídrica de uma área de estudo, em substituição à tradicional metodologia de aplicação do índice de precipitação média anual de uma série histórica.

Observa-se que, não obstante o foco do trabalho original tenha sido dirigido ao serviço de abastecimento público de água, a metodologia ora apresentada pode ser aplicada a qualquer natureza de uso consuntivo de água, conforme a necessidade/interesse de aplicação do usuário deste produto.

Ressalva-se que a presente metodologia **não** deve ser aplicada em estudos hidrológicos dirigidos à concepção de sistemas de drenagem urbana ou de barramentos e represas, cuja infraestrutura deve ser dimensionada considerando eventos de precipitações extremas, de longos períodos de retorno.

Por fim, observa-se que o presente protocolo será objetivo na apresentação das etapas a serem desenvolvidas para construção da análise de precipitações históricas e decenais, conforme foi desenvolvido na dissertação mencionada, devendo essa ser objeto de consulta complementar, se necessário.

2. Justificativa e contexto

Considerando que a água é um bem de domínio público, a sua captação em coleções superficiais ou subterrâneas por diversas naturezas de atividades, assim como, seu uso para fins de diluição de cargas remanescentes de efluentes tratados gerados em decorrência do uso da água, dependem de autorização pelo Poder Público, mediante a emissão de outorga de direito de uso, conforme regramento estabelecido pela Lei Federal 9.433/1997, complementada pelas leis estaduais que versam sobre a gestão dos recursos hídricos.

Para que possa ser efetivado o uso de água de um corpo hídrico é necessário conhecer três aspectos, quais sejam:

- A disponibilidade hídrica no ponto de interesse para o uso pretendido, sem que sejam prejudicados os usuários existentes a jusante, devendo ainda ser mantida de vazão mínima para atender às condições ecossistêmicas do manancial;
- A vazão demandada por diversos usuários da bacia ou sub-bacia hidrográfica objeto de estudo, a montante e a jusante do ponto estudado, identificando-se captações superficiais e subterrâneas e lançamentos superficiais;
- As condições em que se parâmetros de qualidade do manancial, isto é, se esses atendem aos padrões estabelecidos para seu enquadramento e finalidade de usos preponderantes.

De posse das informações relacionadas à disponibilidade hídrica (vazões de referência) e demandas de uso, são realizados cálculos de balanço hídrico, para apuração da viabilidade em se captar a vazão pretendida, ou para se diluir a carga remanescente de poluentes tratados. Complementarmente, pode ser determinado o índice de estresse hídrico da bacia no ponto de estudo.

Havendo vazão suficiente para o uso pretendido, avalia-se a condições qualitativas do manancial para posteriormente requisitar a autorização junto ao órgão gestor competente.

Considerando que a disponibilidade hídrica depende das precipitações anuais ocorridas em uma bacia hidrográfica, a metodologia a seguir apresentada orientará as etapas de construção da análise comparativa entre precipitações médias anuais de

séries históricas em relação às precipitações médias de décadas recentes, sendo que, uma vez apurada redução das precipitações nas duas últimas décadas, o menor índice deverá ser adotado para determinação das vazões de referência que representarão a disponibilidade hídrica.

3. Metodologia

Estabelecido o ponto de interesse de estudo, para determinação da disponibilidade hídrica, considerando ainda as vazões demandadas por diversos usuários, devem ser seguidas as seguintes etapas:

3.1. Determinação das precipitações médias anuais por períodos

Para determinação das precipitações médias anuais por períodos histórico e decenal, inicialmente sugere-se à consulta ao endereço eletrônico <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>, assim como, órgãos gestores de recursos hídricos dos Estados e outras instituições, para identificar a localização dos postos pluviométricos próximos à bacia ou sub-bacia hidrográfica objeto de estudo, assim como, coletar os registros de precipitação diária e mensal.

Considerando-se que para este protocolo a determinação da precipitação média deverá ser realizada por intermédio do traçado dos Polígonos de Thiessen, a distância entre os postos pluviométricos não poderá ser superior a 50 Km, assim como, esta metodologia não poderá ser aplicada em regiões de incidência de chuvas orográficas.

Coletados os registros de precipitações diárias e mensais dos postos identificados, deve-se proceder com a verificação de existência de erros grosseiros, assim como, apurar eventuais falhas de preenchimento.

Os registros de erros grosseiros devem ser desconsiderados e substituídos, e o preenchimento de falhas deve ser realizado mediante uma das seguintes alternativas identificadas na literatura técnico-científica: método da ponderação regional, método da regressão linear, método da dupla massa, ou ainda eventuais ferramentas computacionais e programas específicos disponíveis no mercado.

Concluído o processo de tratamento de erros grosseiros e falhas, determina-se, para cada posto pluviométrico, a precipitação média anual da série histórica, resultante da somatória das médias mensais do período.

Complementarmente ao passo anterior, procede-se do mesmo modo para cada década contida na série histórica estudada, por exemplo: para uma série histórica

compreendida entre 1970 e 2019, deverão ser somadas as médias mensais para cada década a saber: 1970-1979; 1980-1989; 1990-1999; 2000-2009 e 2010-2019.

3.2. Determinação da precipitação média da bacia ou sub-bacia hidrográfica

Concluída a determinação das precipitações médias anuais da série histórica e para cada período decenal deve ser determinada a precipitação média da área de estudo tendo como alternativas programas computacionais, a elaboração de curvas isoietas ou o traçado dos polígonos de Thiessen.

No trabalho de dissertação que originou este protocolo, foi utilizado o último método mencionado, na qual, o traçado gráfico é feito da seguinte forma: ligam-se as estações adjacentes por retas (formando triângulos), e pelo meio dos segmentos assim obtidos traçam-se normais aos mesmos. As mediatrizes traçadas vão formar, então, um polígono em torno de cada estação. Admite-se que a altura pluviométrica seja constante em toda área do polígono assim definido. (GARCEZ e ALVAREZ, 1998)

Identificadas as áreas de incidência de cada posto pluviométrico, determinam-se as precipitações médias anuais da série histórica e de cada década, mediante o cálculo da média ponderada, conforme segue:

$$P_m = \frac{A_1 \times P_{m1} + A_2 \times P_{m2} + \dots + A_n \times P_{mn}}{\text{Área total da bacia}}$$

Na qual:

P_m – precipitação média anual da área de estudo;

$A_{1, 2, n}$ – área de incidência de determinado posto pluviométrico

$P_{m1, 2, n}$ – precipitação média do posto pluviométrico respectivo a determinada área de incidência.

As precipitações médias histórica e decenais devem ser tabeladas e caso seja constatado que as precipitações médias anuais mais recentes sejam inferiores à média histórica, essa deverá ser adotada para a determinação da disponibilidade hídrica, com cenário mais restritivo e conservador.

3.3. Determinação das vazões características ($Q_{7,10}$, $Q_{95\%}$ e Q_{mit})

Para determinação das vazões características sugere-se consulta aos órgãos gestores de recursos hídricos de cada Estado quanto a disponibilidade de eventual ferramenta para determinação ou fonte de consulta.

No caso do estudo originalmente desenvolvido, foi utilizado o Programa de Regionalização Hidrológica do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), disponível no sítio eletrônico do referido órgão, mediante o qual, alimentadas as coordenadas geográficas do ponto de interesse e sua bacia de contribuição, o sistema indica, por intermédio de curvas isoietas, a precipitação média anual do ponto indicado e as vazões características.

Porém, o referido programa admite que sejam alimentados outros índices de precipitação anual, o que favorece a determinação das vazões características a partir das precipitações médias decenais apuradas por intermédio do traçado dos Polígonos de Thiessen, permitindo a construção de múltiplos cenários.

Das vazões características disponibilizadas pelo Programa de Regionalização Hidrológica as vazões $Q_{7,10}$, $Q_{95\%}$ são adotadas como vazão de disponibilidade hídrica em dois cenários, e a vazão média de longo termo (Q_{mit}) é utilizada para determinação do índice de estresse hídrico, mediante a relação entre o total de vazões captadas por usos e a metade da vazão de longo termo, sendo a outra metade dessa vazão destinada à vazão ecológica.

3.4. Determinação das vazões demandadas na bacia hidrográfica de interesse (captações e lançamentos)

As vazões demandadas de captações superficiais e subterrâneas e os lançamentos superficiais devem ser consultados junto ao banco de dados dos órgãos gestores de recursos hídricos dos Estados, ou, quando se tratar de uma bacia hidrográfica federal, os usos existentes deverão ser consultados junto à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

A identificação dos usos de captações e lançamentos deverão ser realizados com apoio de carta topográfica para identificação da denominação dos cursos d'água que compõem a área de estudo, de modo a relacionar tal informação à identificação dos usos outorgados nesses mananciais.

Deverão ser identificados usos existentes a jusante no próprio curso d'água onde se pretende implantar o novo uso, de modo a verificar se a vazão remanescente do balanço hídrico atenderá a esses usos.

Quanto às captações subterrâneas, recomenda-se identificar algumas coordenadas geográficas que delimitam a bacia hidrográfica estudada, de modo a

identificar os usos contidos nesse limite. Importante observar que para as captações subterrâneas deverão ser consideradas aquelas praticadas no aquífero freático, que compõe o fluxo de base que alimenta os corpos d'água superficiais, contudo, no caso de aquíferos profundos, esses somente poderão ser considerados para fins de balanço hídrico quando sua recarga for na própria região, ou seja, no caso de aquíferos confinados em que a área de recarga não seja a própria bacia estudada, as captações subterrâneas não deverão ser computadas no balanço hídrico.

Considerando que as outorgas são concedidas indicando a vazão em m³/h e o período de exploração/exploração em h/dia, recomenda-se que tanto a disponibilidade hídrica (vazão de referência) como as vazões demandadas sejam convertidas para vazões diárias (m³/dia) e posteriormente para L/s.

Vale lembrar que a captação subterrânea somente pode ser operada até 20 h/dia, conforme estabelecido em legislação específica, de modo a permitir a recuperação do nível do aquífero.

3.5. Balanço hídrico – Disponibilidade hídrica x Demandas

O balanço hídrico da área de estudo, deverá ser desenvolvido considerando a seguinte equação:

$$Q_{rem} = Q_{Dh} - Q_{capsup} - Q_{capsub} + Q_{lansup} - 50\% Q_{Dh} \quad (\text{m}^3/\text{dia ou L/s})$$

Na qual,

Q_{rem} - vazão remanescente para jusante;

Q_{Dh} - vazão de disponibilidade hídrica ($Q_{7,10}$ ou $Q_{95\%}$);

Q_{capsup} - vazão de captações superficiais;

Q_{capsub} - vazão de captações subterrâneas;

Q_{lansup} - vazão de lançamentos superficiais;

50% Q_{Dh} - vazão ecológica

As vazões de disponibilidade hídrica a serem consideradas para $Q_{7,10}$ ou $Q_{95\%}$ serão aquelas determinadas por intermédio da precipitação média anual da última década caso essa seja, pelo menos, $\geq 5\%$ inferior à precipitação média da série histórica.

Caso a vazão remanescente não seja suficiente para atender às vazões existentes e autorizadas a jusante, a vazão demandada deverá ser reduzida e outro ponto para uso deverá ser estudado.

3.6. Índice de Estresse Hídrico adaptado - $Q_{7,10}$ ou $Q_{95\%}$

O índice em questão refere-se a uma maneira de verificar a pressão da demanda de captações de água em relação à disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica estudada, sendo esse indicador relacionado ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 6 - Água potável e Saneamento.

Originalmente, a relação das demandas é realizada em relação à metade da vazão de referência, que no caso é a Q_{mit} , sendo que a metade dessa vazão é estabelecida para garantir as condições ecológicas do manancial.

Contudo, à título de um exercício de análise, recomenda-se realizar essa relação entre as vazões demandadas e a metade das vazões $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$, de modo individual, uma vez que essas são efetivamente consideradas como limite para concessão de usos. O resultado deverá ser multiplicado por cem para transformar o resultado de decimal para percentual.

Considerando que no denominador figurará a metade da vazão de referência, se o valor resultante for superior à 100% isso indicará que a bacia é crítica uma vez que o total de demandas de captação supera o teto de 50% da vazão de referência.

3.7. Qualidade da água bruta

Concluídos os estudos de disponibilidade hídrica e verificando-se a viabilidade de captação ou lançamento no ponto de interesse, deverá ser coletada amostra de água do manancial de interesse em períodos de chuva e de estiagem, de modo determinar as medidas de tratamento que serão necessárias para adequação ao uso que se destinará a água captada.

Caso a destinação do uso seja o lançamento de cargas de efluentes tratados, de igual modo, deverão ser captadas amostras de modo a avaliar o nível de tratamento que deverá ser realizado de modo a não causar o desenquadramento dos padrões de qualidade do manancial.

Se houver postos de monitoramento de órgãos ambientais na região de estudo, ou de outras instituições, esses dados poderão ser utilizados como parâmetro de análise.

Além de coleta de amostras no próprio curso d'água, recomenda-se um estudo em relação a forma de uso e ocupação do solo da região estudada, visando identificar as atividades antrópicas desenvolvidas e os potenciais poluentes que poderão ser carreados ao curso d'água em decorrência da prática dessas atividades.

3.8. Conclusão

Uma vez aplicadas as etapas propostas neste protocolo o produto resultante terá sido a realização de uma análise conservadora para determinação de disponibilidade hídrica para análise de viabilidade de implantação de novos usos em bacias hidrográficas, considerando um cenário de precipitações pluviométricas mais próximo da realidade presente, principalmente em face da potencial ocorrência de eventos de secas extremas decorrentes das mudanças climáticas.

3.9. Referências bibliográficas

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%209.433%2C%20DE%208%20DE%20JANEIRO%20DE%201997.&text=Institui%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de,o%20inciso%20XIX%20do%20art.&text=1%C2%BA%20da%20Lei%20n%C2%BA%208.001,28%20de%20dezembro%20de%201989. Acesso em: 07 de fevereiro de 2021.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. ODS 6 no Brasil: visão da ANA sobre os indicadores/Agência Nacional de Águas – Brasília: ANA, 2019.

COLLISCHONN W.; DORNELLES. F. Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais. ABRH. Porto Alegre. 2003.