UTILIZAÇÃO DO COEFICIENTE DE RUNNOFF COMO VARIÁVEL INDEPENDENTE NA REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES DO RIO ITAPEMIRIM, ES

Edilson Sarter Braum[1]; Antônio Sérgio Ferreira Mendonça[2]; José Antônio Tosta dos Reis[3] & Sidney Sara Zanetti[4]

Palavras-Chave: Bacias hidrográficas; Uso e cobertura do solo; Regressão múltipla.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, um número crescente de estudos tem evidenciado o aumento na frequência e severidade de eventos extremos de enchentes e de seca, associados às mudanças climáticas e ao aquecimento global (NOAA, 2025). Com o aumento do estresse hídrico, crescem também os riscos de conflitos locais ou regionais. A gestão sustentável e equitativa dos recursos hídricos é reconhecida como um fator estruturante para a estabilidade socioeconômica e a redução de conflitos, sendo a água um insumo fundamental para a subsistência (UNESCO, 2024).

A outorga de direito de uso dos recursos hídricos constitui um instrumento fundamental da gestão das águas, pois permite controlar quantitativa e qualitativamente os usos, assegurando o acesso equitativo aos diferentes usuários e prevenindo conflitos em situações de escassez (BRASIL, 1997). A concessão de outorga depende de uma vazão de referência, que são valores estimados para situações específicas, geralmente a partir das séries hidrológicas (SILVA, 2015).

O processo de desenvolvimento de uma região ou país depende basicamente das informações disponíveis sobre os seus recursos naturais, incluindo os recursos hídricos (GARCEZ; ALVAREZ, 1988); entretanto, sempre existirão lacunas espaciais e temporais nos dados, que precisam ser preenchidas com base em metodologias robustas. A regionalização tem sido utilizada em Hidrologia para denominar a transferência de informações de um local para outro dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante (TUCCI, 2002).

O uso do solo influencia diretamente na geração e a distribuição dos escoamentos em uma bacia hidrográfica, ainda que não constitua variável independente comumente utilizada nos estudos de regionalização. Desse modo, sua inclusão em modelos de regionalização de vazões pode permitir uma melhor representação dos processos hidrológicos, complementando as informações fornecidas pelas características fisiográficas tradicionais. Sendo assim, têm-se a hipótese que inserir o uso do solo como variável independente na regionalização de vazões pode melhorar a estimativa dos valores. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do tipo e do uso do solo na regionalização de vazões para a bacia do Rio Itapemirim, ES.

METODOLOGIA

A bacia hidrográfica do Rio Itapemirim está localizada na região sul do Estado do Espírito Santo. Possui uma área de drenagem em torno de 6.181 km² e abrange 17 municípios em sua totalidade, e parcialmente 08 municípios, além de uma pequena porção do município mineiro de Lajinha (AGERH, 2026).

Os dados de vazão utilizados neste estudo foram obtidos por meio do sistema HidroWeb, disponibilizado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), conforme Quadro 01.

1) Doutorando. *M. Sc.* Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: edilsonsarter@gmail.com
2) Professor. *Ph.D* Engenharia de Recursos Hídricos. Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: anserfm@terra.com.br
3) Professor. *D. Sc.* Engenharia de Recursos Hídricos. Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: jatreis@gmail.com
4) Professor. *D. Sc.* Engenharia Agronômica. Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: sidney.zanetti@ufes.br

Quadro 01: Postos fluviométricos utilizados no presente estudo.

Código	*Estação*	*Curso d'água*	*Município*	*Estado*	*Latitude*	*Longitude*
57350000	Usina Fortaleza	Rio Braço Norte Esquerdo	Muniz Freire	ES	-20,3714	-41,4069
57360000	Iúna	Rio Pardo	Iúna	ES	-20,3522	-41,5328
57370000	Terra Corrida	Rio Pardo	Muniz Freire	ES	-20,4303	-41,5028
57400000	Itaici	Rio Braço Norte Esquerdo	Muniz Freire	ES	-20,5283	-41,5114
57420000	Ibitirama	Rio Braço Norte Direito	Alegre	ES	-20,5406	-41,6656
57450000	Rive	Rio Itapemirim	Alegre	ES	-20,7469	-41,4661
57490000	Castelo	Rio Castelo	Castelo	ES	-20,6061	-41,1997
57550000	Usina São Miguel	Rio Castelo	Cachoeiro de Itapemirim	ES	-20,7025	-41,1736
57555000	Coutinho	Rio Itapemirim	Cachoeiro de Itapemirim	ES	-20,7583	-41,1736

Fonte: autoria própria.

As vazões máximas associadas ao período de retorno de 100 anos foram estimadas por meio da distribuição de probabilidades de Gumbel, enquanto as vazões de permanência Q_{90} foram determinadas a partir da análise de frequência das séries históricas de vazão. Para a obtenção dessas vazões foi utilizado o software Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (SisCAH).

Os dados fisiográficos foram obtidos junto ao Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo (GEOBASES, 2015) e Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN, 2021). Foi utilizado um arquivo matricial com resolução de 2 metros, contendo informações de elevação e um arquivo vetorial contendo as informações de uso e ocupação do solo.

As etapas de geoprocessamento foram realizadas no software QGIS. Inicialmente, o Modelo Digital de Elevação (MDE) foi submetido ao algoritmo *Fill Sinks (Wang & Liu)*, com o objetivo de preencher depressões espúrias e corrigir inconsistências topográficas que poderiam comprometer a representação do escoamento superficial. Em seguida, foi utilizada a ferramenta *Channel Network and Drainage Basins* para a geração da rede de drenagem e definição dos canais de escoamento. Por fim, a ferramenta *Upslope Area* foi empregada para delimitar as áreas de contribuição das estações de monitoramento, permitindo a obtenção das bacias hidrográficas associadas a cada ponto de análise. O comando *maximum flow path lentgth* foi utilizado para calcular o comprimento do canal principal da bacia hidrográfica de contribuição. O uso do solo foi representado pela média ponderada de cada classe com seu respectivo coeficiente de escoamento superficial (C).

A regionalização das vazões foi realizada por meio de regressão múltipla, utilizando como variáveis independentes as características físicas e de uso do solo das bacias hidrográficas. As variáveis foram submetidas à transformação logarítmica natural (ln) para linearização dos modelos potenciais. Após o ajuste, o intercepto foi reconvertido à escala original pela aplicação de $\exp(b_0)$, obtendo-se as equações utilizadas para estimar as vazões nas estações. O desempenho dos modelos foi avaliado pela comparação entre as vazões observadas e estimadas, utilizando o coeficiente de determinação (R^2), o erro padrão da estimativa (EPE) e a raiz do quadrado médio do erro (RQME).

RESULTADOS

As estações fluviométricas apresentaram ampla variabilidade quanto às características fisiográficas das bacias hidrográficas de contribuição e às vazões analisadas, conforme Quadro 02. As áreas de drenagem (A) variaram de 195,9 km² a 4.597,7 km², enquanto os comprimentos dos cursos d'água principais (L) variaram entre 28,3 km e 143,6 km. A declividade média (I) e o coeficiente de escoamento superficial (C) apresentaram baixa variabilidade entre as bacias analisadas, com valores compreendidos entre 0,328 a 0,402 para I e 0,434 a 0,482 para C. Essa pequena amplitude sugere

relativa homogeneidade quanto às condições de relevo e de uso e cobertura do solo na área de estudo. Em função da reduzida amplitude observada para o coeficiente C, espera-se que sua contribuição para a explicação da variabilidade das vazões seja limitada quando comparada às variáveis fisiográficas tradicionalmente empregadas em estudos de regionalização. Em relação às variáveis hidrológicas, as vazões máximas associadas ao período de retorno de 100 anos variaram de 104,85 $m^3 s^{-1}$ a 1.154,16 $m^3 s^{-1}$. As vazões de permanência Q_{90} variaram entre 1,44 $m^3 s^{-1}$ e 24,06 $m^3 s^{-1}$.

Quadro 02: Características físicas e hidrológicas das bacias de contribuição.

Código	*Q max [m³/s]*	*Q_{90} [m³/s]*	*L [km]*	*I [m m^{-1}]*	*A [km²]*	*C [adm]*
57350000	104,9	1,44	28,3	0,368	195,9	0,434
57360000	137,6	3,41	33,7	0,335	432,9	0,449
57370000	265,8	4,12	47,8	0,328	587,9	0,451
57400000	279,7	6,61	64,3	0,359	1045,4	0,459
57420000	375,4	2,79	42,1	0,402	340,7	0,438
57450000	991,9	14,41	101,8	0,372	2216,5	0,482
57490000	311,4	4,88	34,8	0,385	972,2	0,448
57550000	533,5	8,24	72,2	0,373	1452,1	0,442
57555000	1154,2	24,06	143,6	0,370	4597,7	0,477

Fonte: autoria própria.

Os modelos ajustados apresentaram valores de R^2 variando entre 0,90 e 0,96. De modo geral, verificou-se que a inclusão das variáveis fisiográficas L, I e A contribuiu para a melhoria do ajuste dos modelos. A inclusão do coeficiente C resultou em pequenas variações nos indicadores estatísticos, porém, devido à reduzida amplitude dos valores de C observada entre as bacias analisadas, não é possível atribuir os ganhos obtidos exclusivamente à consideração do uso e cobertura do solo, conforme Quadro 03.

Quadro 03: Parâmetros das regressões múltiplas realizadas para estimar a vazão máxima.

Equação	*a*	*b1*	*b2*	*b3*	*b4*	*r²*	*EPE*	*RQME*
Q = a * L^b1	1,60	1,34				0,90	123,21	110,66
Q = a * L^b1* I^b2	59,74	1,30	3,43			0,94	99,81	88,26
Q = a * L^b1* I^b2* A^b3	55,15	0,86	3,39	0,26		0,93	107,37	94,73
Q = a * L^b1* C^b2	0,76	1,38	-0,75			0,90	125,84	113,28
Q = a * L^b1* I^b2* C^b3	2253,96	1,12	3,78	3,22		0,96	85,98	76,14
Q = a * L^b1* I^b2* A^b3* C^b4	317,35	0,82	3,56	0,23	1,54	0,94	98,09	86,65

Fonte: autoria própria.

Para a regionalização da vazão Q_{90}, os valores de R^2 variaram entre 0,97 e 0,99. O modelo contendo o maior número de variáveis apresentou o melhor ajuste à amostra, com menores valores de EPE e RQME. Entretanto, modelos contendo o coeficiente C associado a outras variáveis não apresentaram melhorias consistentes, não sendo possível atribuir o melhor ajuste à inclusão de C. Parte dessa melhoria pode estar associada à inclusão simultânea das demais variáveis fisiográficas, conforme Quadro 04.

Quadro 04: Parâmetros das regressões múltiplas realizadas para estimar a Q_{90}.

Equação	*a*	*b1*	*b2*	*b3*	*b4*	*r²*	*EPE*	*RQME*
Q = a * L^b1	0,0143	1,49				0,98	0,95	0,88
Q = a * L^b1* I^b2	0,0099	1,49	-0,34			0,98	0,96	0,89
Q = a * L^b1* I^b2* A^b3	0,0081	0,39	-0,43	0,66		0,99	0,58	0,51
Q = a * L^b1* C^b2	7,8500	1,14	6,25			0,97	1,38	1,22
Q = a* L^b1* I^b2* C^b3	17,640	1,12	0,37	6,64		0,97	1,44	1,27
Q = a * L^b1* I^b2* A^b3* C^b4	0,0963	0,33	-0,19	0,63	2,18	0,99	0,27	0,28

Fonte: autoria própria.

CONCLUSÕES

Os modelos de regionalização desenvolvidos apresentaram elevados valores de R^2 e reduzidos erros de ajuste para a estimativa das vazões máximas associadas ao período de retorno de 100 anos e das vazões Q_{90}. As variáveis fisiográficas, especialmente o comprimento do canal principal, a declividade média e a área de drenagem, contribuíram para explicar a variabilidade espacial das vazões. Embora os melhores modelos ajustados tenham incluído o coeficiente de escoamento superficial (C), os resultados não permitem afirmar, de maneira conclusiva, que sua utilização tenha sido a principal responsável pelos ganhos observados. A baixa variabilidade dos valores de C entre as bacias sugere que a influência do uso do solo foi limitada, dificultando a identificação de sua contribuição individual para a melhoria dos ajustes. Dessa forma, os resultados indicam que, para regiões com características semelhantes de uso e ocupação do solo, a incorporação de variáveis relacionadas ao uso da terra tende a produzir ganhos marginais na regionalização de vazões. Estudos futuros envolvendo bacias com maior heterogeneidade de cobertura poderão contribuir para uma avaliação mais robusta da influência do uso do solo nos modelos de regionalização. Adicionalmente, o reduzido número de estações utilizadas constitui uma limitação do estudo, sendo recomendada a avaliação da capacidade preditiva dos modelos por procedimentos de validação independente.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. *Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim (CBH Itapemirim)*. Vitória: AGERH, [s.d.]. Disponível em: https://agerh.es.gov.br/cbh-itapemirim. Acesso em: 11 jun. 2026.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. *Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos; cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 9 jan. 1997.

GARCEZ, L. N. ALVAREZ, G. A. *Hidrologia*. 2 ed. São Paulo, Blucher, 1988.

GEOBASES, SISTEMA INTEGRADO DE BASES GEOESPACIAIS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. *Modelo digital do terreno para o Estado do Espírito Santo*. Vitória: GEOBASES, 2015. Arquivo de imagem raster. Intervalo de tempo 2012-2015. Escala 1.25.000.

IJSN, *Instituto Jones dos Santos Neves*, Mapas: arquivos shapefile.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). *Recent triple-dip La Niña upends current understanding of ENSO*. 2025.

ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO). *Water crises threaten world peace*: tensions over water are exacerbating conflicts worldwide. 2024.

SILVA, L. P. *Hidrologia*: engenharia e meio ambiente. 1 ed. Rio de Janeiro. Elsevier, 2015.

TUCCI, C. E. M. Regionalização de vazões. Porto Alegre. Editora da UFRGS, 2002.