



Ministério da Educação – Brasil
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
Minas Gerais – Brasil
Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas
ISSN: 2238-6424
QUALIS/CAPES – LATINDEX
Nº. 24 – Ano XII – 10/2023
<http://www.ufvjm.edu.br/vozes>

Regionalização das Vazões Mínimas da Bacia Hidrográfica do Rio Mucuri pelo método da Curva Adimensional

Thiago Ferreira de Araújo
Mestrando em Tecnologia, Ambiente e Sociedade - UFVJM
<http://lattes.cnpq.br/0542703024393790>
E-mail: thiago.araujo@ufvjm.edu.br

Prof. Dr. Daniel Brasil Ferreira Pinto
Doutor em Engenharia de Água e Solo pela Universidade Federal de Lavras - UFLA
Docente da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri Minas Gerais-UFVJM-Brasil.
<http://lattes.cnpq.br/3334660549386178>
E-mail: daniel.brasil@ufvjm.edu.br

Hiago Félix Santos
Mestrando em Tecnologia, Ambiente e Sociedade – UFVJM
<http://lattes.cnpq.br/2675933209018519>
E-mail: hiago.felix@ufvjm.edu.br

Resumo: Este artigo aborda a regionalização das vazões mínimas na Bacia Hidrográfica do Rio Mucuri, na região nordeste de Minas Gerais, utilizando o método da Curva Adimensional para isso foi-se utilizado o Sistema Computacional para Regionalização de Vazões (SisCorv 1.0), desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa, que utiliza dados hidrográficos da Agência Nacional de Águas para regionalizar as vazões mínimas, máximas e médias, além das curvas de regularização e permanência. Os métodos utilizados no estudo incluem a delimitação da bacia hidrográfica, o levantamento de dados fluviométricos e a regionalização das vazões pelo método da Curva Adimensional. Os resultados da

regionalização são apresentados, incluindo a comparação entre os valores observados e estimados de vazão para diferentes modelos de regressão, como linear, potencial, exponencial e logarítmico. As equações de regionalização para a vazão de referência Q7,10 são fornecidas, com ênfase no modelo logarítmico, que demonstrou melhor ajuste aos dados observados.

Palavras-chave: Rio Mucuri. Regionalização de Vazões. Vazões Mínimas. Curva Adimensional.

Introdução

A ação humana no uso dos recursos hídricos causa impactos ambientais significativos, os quais devem ser estudados de forma a serem mitigados ou eliminados em determinadas situações. Para alcançar esse objetivo, é essencial obter conhecimento sobre o regime fluvial específico da região em questão. No entanto, um dos principais desafios na gestão dos recursos hídricos reside na falta de dados necessários para calcular as vazões de referência, as quais são indispensáveis para preservar as funções ecológicas de um determinado curso d'água. Uma rede hidrométrica dificilmente cobre todos os locais de interesse necessários ao gerenciamento dos recursos hídricos de uma região. Sempre existirão lacunas temporais e espaciais que deverão ser preenchidas com base em metodologias apropriadas (BAENA et al., 2004).

Tucci (2009) argumenta que diante dos elevados custos envolvidos na implantação, operação e manutenção de uma rede hidrométrica, torna-se crucial buscar maneiras de otimizar as informações disponíveis. Nesse sentido, a regionalização de vazões surge como um conjunto de ferramentas que busca aproveitar ao máximo os dados existentes, visando estimar as variáveis hidrológicas em regiões sem informações ou com dados insuficientes.

O Sistema Computacional para Regionalização de Vazões (SisCorv 1.0) é um software desenvolvido pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos (GPRH) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) que usa a base de dados hidrográfica otocodificada da ANA, através do SNIRH (Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos) e possibilita a regionalização das vazões mínimas, máximas e médias e das curvas de regularização e de permanência. Esse modelo computacional utiliza três métodos para realizar a regionalização: método tradicional, curva adimensional e conservação de massas (BOF et al., 2009).

Com base na importância da gestão dos recursos hídricos possibilitando os usos múltiplos da água e na falta de dados fluviométricos abrangentes para a área estudada, objetivou-se com este estudo realizar uma regionalização das médias das vazões mínimas de sete dias consecutivos com um período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) na Bacia Hidrográfica do Rio Mucuri (BHRM), localizada na parte nordeste do estado de Minas Gerais. Para isso, utilizou-se o Sistema Computacional para Regionalização de Vazões (SisCorv 1.0).

Caracterização da Área de Estudo

Segundo Felipe et al. (2009) a BHRM drena dezessete municípios nos estados de Minas Gerais (16) e Bahia (1). É formada pela confluência do rio Mucuri do Norte, com nascentes no município de Ladainha, e do rio Mucuri do Sul, com nascentes no município de Malacacheta.

No território de Minas Gerais, a BHRM localiza na região nordeste do estado e possui em sua área 16 municípios, sendo que 12 possuem sede na bacia: Águas Formosas, Caraí, Carlos Chagas, Catuji, Crisólita, Fronteira dos Vales, Itaipé, Ladainha, Malacacheta, Nanuque, Novo Oriente de Minas, Pavão, Poté, Serra dos Aimorés, Teófilo Otoni, Umburatiba. Possui uma área de aproximadamente 14.500 km², concentrando uma população residente, estimada em 2021, de 318.415 mil habitantes, sendo 219.962 mil na área urbana (69,1%) e 98.453 mil na área rural (30,9%) (IGAM, 2022).

A Figura 1 indica a localização da BHRM, com seção de controle no município de Nanuque na estação fluviométrica de código 55699998, em relação ao Brasil e América do Sul.

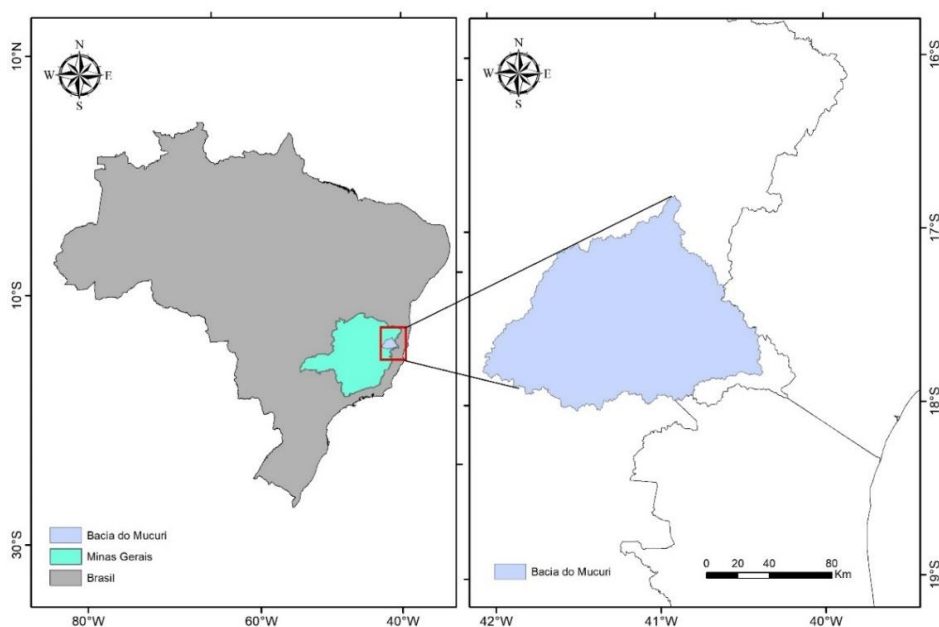


Figura 1: Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Mucuri

Materiais e Métodos

Delimitação da Bacia Hidrográfica

A delimitação da área de drenagem da bacia foi feita através de um MDEHC (Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente), que foi gerado a partir de imagens de satélite com resolução espacial de trinta metros, disponíveis no site SRTM DATA. O primeiro procedimento feito foi transformar as coordenadas de geográficas para planas (o sistema de coordenadas das imagens SRTM adota o sistema geográfico com coordenadas em graus decimais e utiliza o Datum WGS84), pois para o cálculo da área é necessário que as coordenadas estejam em unidades métricas, o Datum de saída utilizado foi o Sirgas 2000 com UTM Zone 24 S. Em seguida, empregando a função Flow Direction, foi determinada a direção do escoamento na região e o cálculo de um acumulador de fluxo (Flow Accumulation) para identificar os canais principais de drenagem (SILVA e MOURA, 2013).

Levantamento de Dados Fluviométricos

As coordenadas geográficas das estações fluviométricas foram extraídas da plataforma Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA) e inseridas no software ArcGIS afim de determinar os pontos de controle da bacia hidrográfica, que é geralmente o ponto de confluência dos canais principais de drenagem. Com os

pontos de exutório definidos, foi utilizado a ferramenta "Watershed" no ArcGIS para delimitar a bacia hidrográfica final (MOREIRA, 2022). Essa ferramenta utilizou o ponto de controle como referência e calculou a área de captação de água correspondente. Pode-se observar na Tabela 1 as estações utilizadas.

Tabela 1: Estações Fluviométricas da BHRM

Código	Latitude	Longitude	Município	Área (Km ²)
55520001	-17°35'46"	-41°29'29"	Teófilo Otoni	2068,24
55560000	-17°29'11"	-41°14'55"	Teófilo Otoni	5073,34
55610000	-17°44'17"	-41°07'15"	Carlos Chagas	1857,55
55630000	-17°42'15"	-40°45'42"	Carlos Chagas	9146,89
55660000	-17°19'14"	-40°40'35"	Umburatiba	1946,36
55699998	-17°50'31"	-40°22'56"	Nanuque	13671,2

O conjunto de dados coletados das séries históricas foi processado pelo software SisCAH e exportado para o SisCORV, cada estação possui um período distinto de dados que estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2: Séries Históricas das estações Fluviométricas

Código da Estação	Ano Inicial	Ano Final	Tamanho da Série (anos)
55520001	1968	2020	52
55560000	1969	2021	52
55610000	1945	2021	76
55630000	1940	2020	80
55660000	1954	2020	66
55699998	1980	2021	41

Pode-se observar na Figura 2 a localização das estações fluviométricas utilizadas neste estudo e como essas estão dispostas na BHRM.

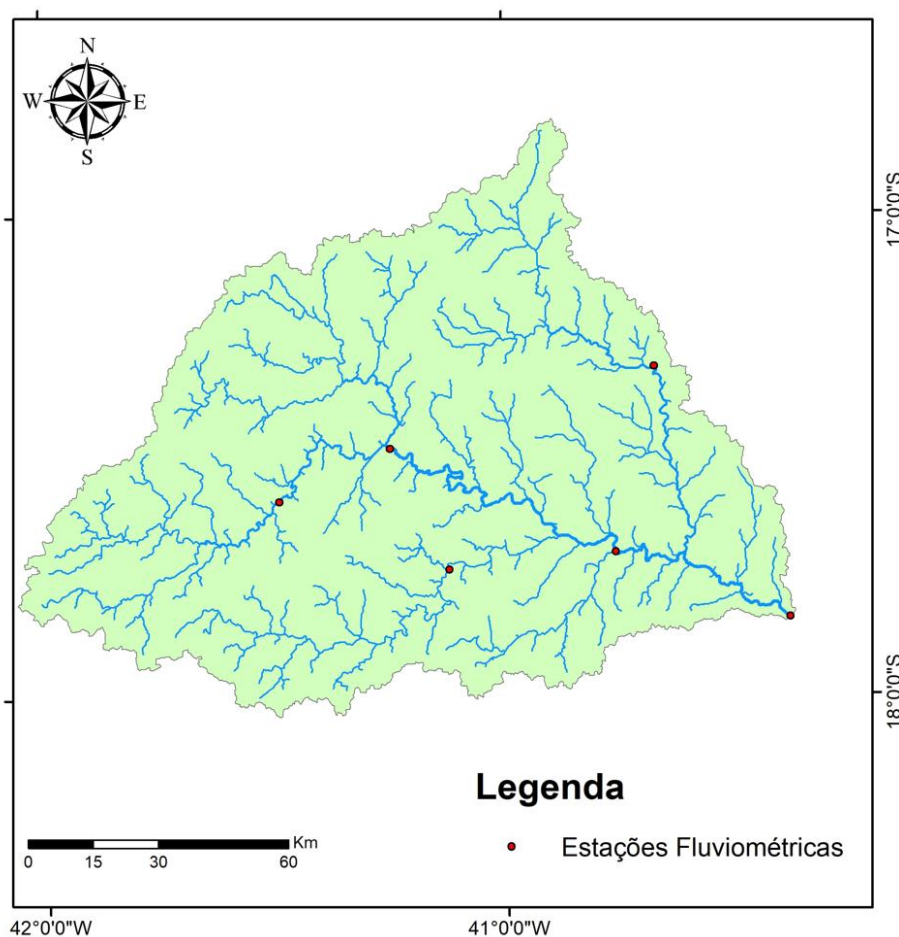


Figura 2: Localização das Estações Fluviométricas da BHRM

Regionalização de Vazões pelo Método da Curva adimensional

A regionalização das vazões da bacia do rio mucuri foi feita com o uso do software SisCORV 1.0. Foi utilizado como variável independente a área de drenagem da bacia, com isso foi possível calcular a equação da vazão de referência $Q_{7,10}$ pelo método da curva adimensional com base na distribuição de Weibull, usado para vazões mínimas (TUCCI, 2009).

De acordo com Bof et al. (2009) o procedimento de regionalização de vazões realizado pelo SisCORV segue o seguinte método:

Os dados obtidos são ordenados de forma crescente, em seguida, é calculada a série de fatores adimensionais, utilizando a Equação 1:

$$f_i = \frac{Q_i}{Q_m} \quad (\text{Eq. 1})$$

em que:

f_i = i-ésimo fator adimensional;

Q_i = i-ésimo valor de vazão em m³/s; e

Q_m = média dos valores do conjunto de dados em m³/s.

Calcula-se então a probabilidade dos eventos utilizando a equação de Weibull (Equação 2) (BOF et al., 2009).

$$P_i = \frac{i}{N-1} \quad (\text{Eq. 2})$$

em que:

P_i = probabilidade da vazão de ordem i não ser superada.

i = ordem do evento; e

N = número de eventos.

Calcula-se a variável reduzida utilizando a Equação 3 abaixo.

$$y_i = -\ln(-\ln(P_i)) \quad (\text{Eq. 3})$$

em que:

y_i = i-ésima variável reduzida; e

P_i = probabilidade da vazão de ordem i não ser superada.

Calcula-se o tempo de retorno associado à variável reduzida e consequentemente à probabilidade utilizando a Equação 4 a seguir.

$$T_r = \frac{1}{1 - \exp(-\exp(-y))} \quad (\text{Eq. 4})$$

Plota-se os valores dos fatores em adimensionais na ordenada e dos valores dos tempos de retorno na abscissa ajustando uma regressão linear entre os fatores adimensionais e a variável reduzida, e dessa forma obtendo a Equação 5:

$$\frac{Q}{Q_m} = a + by \quad (\text{Eq. 5})$$

em que a e b são os coeficientes da regressão linear.

Realiza-se os mesmos procedimentos para cada uma das estações fluviométricas utilizadas na regionalização.

Selecionam-se as estações que compõem a região hidrologicamente homogênea para plotar os valores dos fatores adimensionais em relação aos tempos de retorno em um único gráfico de probabilidade. Isso é feito com o objetivo de obter uma única equação de regressão linear.

Determina-se o valor do fator integrante para um determinado tempo de retorno, a fim de utilizá-lo no método da curva adimensional. Esse método inclui a utilização de variáveis independentes no modelo, permitindo assim o cálculo da vazão desejada conforme a Equação 6:

$$\left(\frac{Q}{Q_m}\right)_t Q_m = Q \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que:

$$\left(\frac{Q}{Q_m}\right)_t = \text{Fator adimensional para tempo de retorno } t;$$

Q_m = média das vazões mínimas regionalizadas pelo método tradicional; e

Q = vazão regionalizada.

A função matemática que relaciona as variáveis é expressa na Equação 7:

$$Q = F(X_1, X_2, X_3, X_4, \dots, X_n) \quad (\text{Eq. 7})$$

Em que:

Q = vazão estimada;

X = variável independente; e

n = número de variáveis independentes.

De acordo com Caprara (2020) é possível utilizar diversos modelos de regressão com o conjunto de dados. No SisCoRV 1.0, estão disponíveis os seguintes modelos:

$$\text{Modelo Linear: } Q = B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + \dots + B_n \cdot X_n \quad (\text{Eq. 8})$$

$$\text{Modelo Potencial: } Q = B_0 \cdot X_1^{B_1} \cdot X_2^{B_2} \cdot \dots \cdot X_n^{B_n} \quad (\text{Eq. 9})$$

$$\text{Modelo Exponencial: } Q = e^{(B_0 + X_1 B_1 + X_2 B_2 + \dots + X_n B_n)} \quad (\text{Eq. 10})$$

$$\text{Modelo Logarítmico: } Q = B_0 + B_1 \cdot \ln(X_1) + B_2 \cdot \ln(X_2) + \dots + B_\mu \cdot \ln(X_\mu) \quad (\text{Eq. 11})$$

Os coeficientes da regressão, representados por B_0 a B_n , são valores numéricos constantes obtidos a partir do processo de regionalização (CAPRARA, 2020).

Resultados e Discussão

A Tabela 3 apresenta os valores observados e os valores estimados de vazão (em m^3/s) para cada uma das estações fluviométricas utilizando dois modelos de regressão: Linear e Potencial e indicando o erro percentual para cada posto fluviométrico utilizado na regionalização.

Tabela 3: Vazão Observada x Erro Percentual.

Estação	Observada			Potencial		
	(m^3/s)	Linear (m^3/s)	Erro (%)	(m^3/s)	Erro (%)	
55520001	5,01	5,12	2,3	4,15	-17,2	
55560000	12,98	10,39	-20,0	10,29	-20,7	
55610000	2,72	4,75	74,8	3,72	36,7	
55630000	21,49	17,52	-18,5	18,69	-13,0	
55660000	3,90	4,91	26,0	3,90	0,1	
55699998	20,52	23,92	16,5	26,26	28,0	

A diferença entre a vazão estimada e a observada é subestimada quando o resultado do erro percentual é negativo e superestimada quando o valor é positivo, entre os modelos potencial e linear pode-se observar que a menor diferença se dá na estação 55660000 em que o valor da vazão observada e a estimada para o

modelo potencial é de 0,1%, já a maior discrepância é no posto fluviométrico 55610000 em que a vazão para o modelo linear é superestimada em 74,8%.

Na Tabela 4 são exibidos os valores observados e estimados de vazão (m^3/s) para cada estação fluviométrica usando os outros dois modelos utilizados na regionalização das vazões mínimas da BHRM: Exponencial e Logarítmica, além de apresentar o erro percentual correspondente para cada posto fluviométrico utilizado na regionalização.

Tabela 4: Vazão Observada x Erro Percentual.

Estação	Observada (m^3/s)	Exponencial (m^3/s)	Erro (%)	Logarítmica (m^3/s)	Erro (%)
55520001	5,01	4,50	-10,2	4,50	-10,1
55560000	12,98	7,63	-41,2	13,30	2,5
55610000	2,72	4,33	59,3	3,45	26,8
55630000	21,49	15,62	-27,3	19,08	-11,2
55660000	3,90	4,40	13,0	3,91	0,3
55699998	20,52	29,70	44,7	22,37	9,0

Em relação aos modelos Exponencial e Logarítmico pode-se perceber que o erro percentual observado é significativamente menor no logarítmico em comparação aos demais. A vazão estimada para o modelo exponencial é a que possui maior variação em relação à vazão observada, fato este que corrobora os valores de R^2 calculados para as regressões.

Os maiores erros percentuais encontrados foram em estações fluviométricas com menor área de drenagem, como no caso da 55610000, o que se deve ao fato de que provavelmente o tempo de ocorrência entre a precipitação e seu efeito na seção do rio principal é muito menor do que em postos com maior área de contribuição (PEREIRA et al. 2015).

Pode-se observar na Tabela 5 as equações obtidas para a regionalização da bacia do Rio Mucuri na porção do Estado de Minas Gerais. Esses valores se referem ao intervalo de 1857 a 13671 Km^2 que correspondem ao menor e maior valor das áreas de drenagem das estações fluviométricas, respectivamente.

Tabela 5: Equações das Vazões $Q_{7,10}$ em função da Área de Drenagem.

Regressão	Equação Obtida	R ²
Potencial	$Q_{7,10} = 0,000321 * Ad^{1,0127}$	0,93
Linear	$Q_{7,10} = 0,26473 + 0,0003087 * Ad$	0,89
Exponencial	$Q_{7,10} = 0,55102 * e^{Ad*0,0001759}$	0,81
Logarítmica	$Q_{7,10} = -70,3417 + 1,72826 * \ln Ad$	0,97

Pereira et al. (2015) fazendo a regionalização da Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai considerou que o modelo potencial possuía resultados satisfatórios considerando valores de R² acima de 0,9 para regressão potencial. O modelo exponencial é o que possui menor valor de R² enquanto o modelo que mais se aproxima dos valores observados é o logarítmico.

Considerações Finais

Neste estudo, buscou-se regionalizar as médias das vazões mínimas de sete dias consecutivos com um período de retorno de 10 anos (Q_{7,10}) na bacia do Rio Mucuri, localizada na região nordeste do estado de Minas Gerais. Utilizando o Sistema Computacional para Regionalização de Vazões (SisCorv 1.0), foram aplicados métodos de regionalização, como o método da curva adimensional, baseado na distribuição de Weibull.

Os resultados obtidos demonstraram um bom ajuste dos dados. A utilização da distribuição de Weibull e a consideração da área de drenagem como variável independente permitiram estimar as vazões de referência, mesmo em regiões com dados limitados ou ausentes.

O melhor modelo calculado foi o logarítmico sendo este o que se indica para aplicação em uma estimativa de vazões, para outorga ou outro uso, desde que se respeite o intervalo (área de drenagem) em que esta regionalização é válida.

No entanto, é importante ressaltar que a regionalização de vazões é um processo complexo e depende da disponibilidade de dados confiáveis e representativos. A continuidade do monitoramento hidrológico e a atualização das séries históricas são essenciais para melhorar a precisão das estimativas e fortalecer a gestão dos recursos hídricos.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da UFVJM, com o provimento de bolsa de mestrado.

Referências

BAENA, LUIZ G. N.; DA SILVA, DEMETRIUS D.; PRUSKI, FERNANDO F.; CALIJURI, MARIA L. *Regionalização de Vazões com base em Modelo Digital de Elevação para a Bacia do Rio Paraíba do Sul*. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 24, ed. 3, p. 612-624, set/dez 2004.

BOF, Luiz Henrique Nobre; SOUSA, Heber Tormentino de; PRUSKI, Fernando Falco Pruski; SOUZA, João Felipe. *Sistema Computacional para Regionalização de Vazões*. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande, nov 2009.

CAPRARA, Luca Bonaspetti et al. *Regionalização de vazões máximas na região oeste de santa catarina através dos métodos tradicional e da curva adimensional de probabilidade*. 2020

FELLIPE, Miguel Fernandes; BUENO, Justine; COSTA, Alfredo. *Desmatamento na Bacia do Rio Mucuri (MG, Brasil) no período de 1989 a 2008: uso de imagens Cbers e Landsat na espacialização dos remanescentes florestais*. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, p. 2713-2720, 2009.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (Minas Gerais). *Plano Diretor de Recursos Hídricos, Enquadramentos dos Corpos de Água Superficiais, Bacia Hidrográfica do Rio Mucuri - MU1: Relatório do Plano de Ação*. In: INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM) (Minas Gerais). Repositório Institucional. Minas Gerais, mai 2022. Disponível em: <http://www.repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/jspui/handle/123456789/4021>. Acesso em: 25 maio 2023.

MOREIRA, Vanessa Ohana Gomes. *Uso de ferramentas do software ArcGIS na delimitação da bacia hidrográfica do Rio Curu-CE*. Revista Tecnologia, v. 43, p. 10-10, 2022.

PEREIRA, Luis Adriel et al. *Regionalização de vazões de permanência: estudo aplicado na região hidrográfica do Uruguai*. 2015.

SILVA, Jairo Rodrigues; MOURA, Ana Clara Mourão. *Delimitação automática de sub-bacias hidrográficas no município de Ouro Preto-MG*. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, Brasil, v. 13, p. 4496-4502, 2013.

SRTM 90m DEM *Digital Elevation Database*. 22 jun. 2023. Disponível em: <https://srtm.csi.cgiar.org>. Acesso em: 22 jun. 2023

TUCCI, Carlos E. M. *Regionalização de Vazões*. In: TUCCI, Carlos E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009. v. 1, cap. 15, p. 573-619. ISBN 978-85-7025-924-0.

Processo de Avaliação por Pares: (*Blind Review* - Análise do Texto Anônimo)

Revista Científica Vozes dos Vales - UFVJM - Minas Gerais - Brasil

www.ufvjm.edu.br/vozes

QUALIS/CAPES - LATINDEX: 22524

ISSN: 2238-6424