

AVALIAÇÃO DA FISIOGRAFIA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DE CAXIAS DO SUL, RS

Nathália Vieceli^{1}; Taison Anderson Bortolin²; Ludmilson Abritta Mendes³; Gisele Bacarin⁴; Gisele Cemin⁵ & Vania Elisabete Schneider⁶*

Resumo – As características morfológicas das bacias hidrográficas apresentam um importante papel no seu comportamento hidrológico, sendo que o conhecimento das condições naturais destas unidades pode garantir uma maior eficiência de intervenções que venham a ser realizadas nas mesmas. Portanto, o planejamento ambiental deve considerar elementos como a caracterização das bacias hidrográficas, sendo necessária uma expressão quantitativa destas características para compreender suas inter-relações. Assim, o principal objetivo deste trabalho foi estudar as características físicas das bacias hidrográficas dos arroios Tega, Maestra, Faxinal, Belo, Pinhal e Piaí, localizadas no município de Caxias do Sul - RS. Os principais resultados obtidos indicam condições de drenagem moderada nestas bacias, o que pode estar associado à moderada transmissibilidade do terreno e também moderada suscetibilidade à erosão. Além disso, os resultados indicam elevados coeficientes de manutenção e bacias alongadas, ao que se pode atribuir uma boa capacidade de recarga hídrica. Espera-se por fim que este trabalho possa auxiliar futuros estudos nestas áreas, além de subsidiar o planejamento e gestão das bacias.

Palavras-Chave – Fisiografia, planejamento, bacia hidrográfica.

PHYSIOGRAPHY ASSESSMENT OF WATERSHEDS OF CAXIAS DO SUL, RS

Abstract – The morphological characteristics of watersheds have an important role on its hydrological behavior. In this way, the knowledge of the natural conditions of the watershed can ensure a greater efficiency of interventions that may be performed, therefore, the environmental planning should consider elements such as characterization of these units, being necessary a quantitative expression of these factors to the understanding of its interrelationships. Thus, the main objective of this work was to study the physical characteristics of the watersheds of the rivers Tega, Maestra, Faxinal, Belo, Pinhal and Piaí, located in Caxias do Sul – RS. The main results indicate moderate drainage conditions in these watersheds, which might be associated to the moderate transmissibility of the soil and also moderate susceptibility to erosion. Furthermore, the results indicate high coefficients of maintenance and elongated shape, to which can be attributed a good capacity of water recharge. Finally, it is hoped that this work will help future studies in these areas, besides supporting the planning and management of watersheds.

Keywords – Physiography, planning, watershed.

^{1*} Instituto de Saneamento Ambiental, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS, ncvieceli@ucs.br.

² Instituto de Saneamento Ambiental, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS, taisonbortolin@yahoo.com.br.

³ Instituto de Saneamento Ambiental, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS, ludmilsonmendes@yahoo.com.br.

⁴ Instituto de Saneamento Ambiental, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS, gbacarin@ucs.br.

⁵ Instituto de Saneamento Ambiental, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS, gcemin3@ucs.br.

⁶ Instituto de Saneamento Ambiental, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS, veschnei@ucs.br.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a bacia hidrográfica é reconhecida legalmente como unidade de planejamento desde 1986, devendo ser contemplada nos estudos de impacto ambiental, de acordo com a Resolução CONAMA 001, sendo posteriormente definida também como a unidade territorial para a implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída através da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro 1997. Segundo Périco *et al.* (2012), tal abordagem deve-se ao fato da bacia hidrográfica ser a unidade morfológica e ecossistêmica que melhor reflete os impactos das interferências antrópicas.

O conhecimento das condições naturais das bacias hidrográficas pode garantir uma maior eficiência das intervenções que venham a ser realizadas, e sob este contexto o planejamento ambiental deve considerar elementos importantes, como a caracterização destas unidades (CARELLI e LOPES, 2011).

De acordo com Santana (2003), ao analisar-se a arquitetura de uma bacia de drenagem, pode-se observar que alterações significativas na composição ambiental de certa porção da mesma poderão afetar outras áreas situadas à jusante, indicando que os efeitos hidrológicos e geomorfológicos de processos naturais ou antrópicos vão refletir-se em um determinado ponto de saída da bacia, podendo ainda propagar-se; devendo assim tais aspectos serem considerados no planejamento das formas de intervenção humana.

Segundo Lima (2008), o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características morfológicas, ou seja, área, forma, topografia, geologia, solo, cobertura vegetal, entre outros; sendo que para se entender as inter-relações existentes entre estes fatores de forma, torna-se necessário expressar estas características de modo quantitativo.

Desta forma, estas características possuem importante papel nos processos do ciclo hidrológico, influenciando a infiltração, a quantidade de água produzida no deflúvio, a evapotranspiração e os escoamentos superficial e subsuperficial, entre outros (MOREIRA *et al.*, 2011).

Além disso, é importante ressaltar que nas últimas décadas as ações antrópicas, com destaque para a expansão urbana, têm acelerado e potencializado alterações nas características fisiográficas das bacias, através de canalizações e retificação de cursos fluviais, terraplenagem, impermeabilização do solo, entre outros (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

Assim, o principal objetivo deste trabalho foi estudar as características físicas de bacias hidrográficas de Caxias do Sul-RS, compreendendo as bacias dos arroios Tega, Maestra, Faxinal, Belo, Pinhal e Piaí. A avaliação destas bacias está associada ao fato de as mesmas abrangerem a área urbana de Caxias do Sul, tendo assim suas características físicas e hidrológicas maior influência antrópica. Além disso, este trabalho pode auxiliar futuros estudos nestas áreas, além de subsidiar o planejamento e gestão das bacias.

ÁREA DE ESTUDO

Na Figura 1 é possível se observar um mapa de localização das bacias hidrográficas avaliadas neste estudo. Como se pode verificar, os municípios que estão inseridos no limite geográfico das bacias hidrográficas em estudo, de modo parcial ou total, são: Caxias do Sul, São Francisco de Paula, Flores da Cunha, Nova Pádua e Farroupilha.

Além disso, também é possível se observar que as nascentes destas bacias ocorrem no interior do perímetro urbano do município de Caxias do Sul, RS.

MATERIAIS E MÉTODOS

A delimitação das bacias hidrográficas foi realizada com o auxílio do software ArcGis 10.0®/ArcMap, com base no Modelo Digital de Elevação (MDE) do Rio Grande do Sul adaptado do modelo digital de elevação do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) por Weber, Hasenack e Ferreira (2004). Através do mesmo *software* foram determinados os seguintes índices fisiográficos:

- Número total de segmentos de drenagem (Nt): expressa o número total de cursos d'água na bacia hidrográfica.
- Comprimento total da rede de drenagem (Lt): representa a soma de todos os comprimentos de rios da bacia hidrográfica, em km.
- Área da bacia (A): corresponde a toda área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetado em plano horizontal (CHRISTOFOLETTI, 1980), dada em km².
- Perímetro da bacia hidrográfica (P): representa o comprimento da linha imaginária ao longo do divisor de águas que delimita a área da bacia hidrográfica, sendo expresso em km (OLIVEIRA, 2011).
- Densidade de drenagem (Dd): correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento (Lt) com a área da bacia hidrográfica (A), sendo expresso em km/km², e obtido através da Equação 1.

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (1)$$

- Extensão média do escoamento superficial (Les): representa um indicativo da distância média que a água da chuva teria que percorrer até atingir o curso de água mais próximo, sendo expresso, em km, pela Equação 2.

$$Les = \frac{A}{4 Lt} \quad (2)$$

- Densidade de rios (Dr): relaciona o número total de segmentos (Nt) e a área da bacia hidrográfica (A), sendo determinado através da Equação 3.

$$Dr = \frac{Nt}{A} \quad (3)$$

- Coeficiente de compactidade (Kc): relaciona o perímetro da bacia com o perímetro de um círculo de mesma área, sendo que quanto mais próximo o valor de 1 mais compacta é a bacia e maior é a sua tendência em produzir escoamentos rápidos (PÉRICO *et al.*, 2012), sendo um número adimensional, determinado através da Equação 4.

$$Kc = 0,28 \cdot \left(\frac{P}{\sqrt{A}}\right) \quad (4)$$

- Índice de circularidade (Ic): tal como o coeficiente de compactidade, o Ic tende à unidade à medida que a forma da bacia se aproxima da circularidade, diminuindo ao passo que se aproxima de formas alongadas, sendo expresso através da Equação 5.

$$Ic = \frac{4\pi \cdot A}{P^2} \quad (5)$$

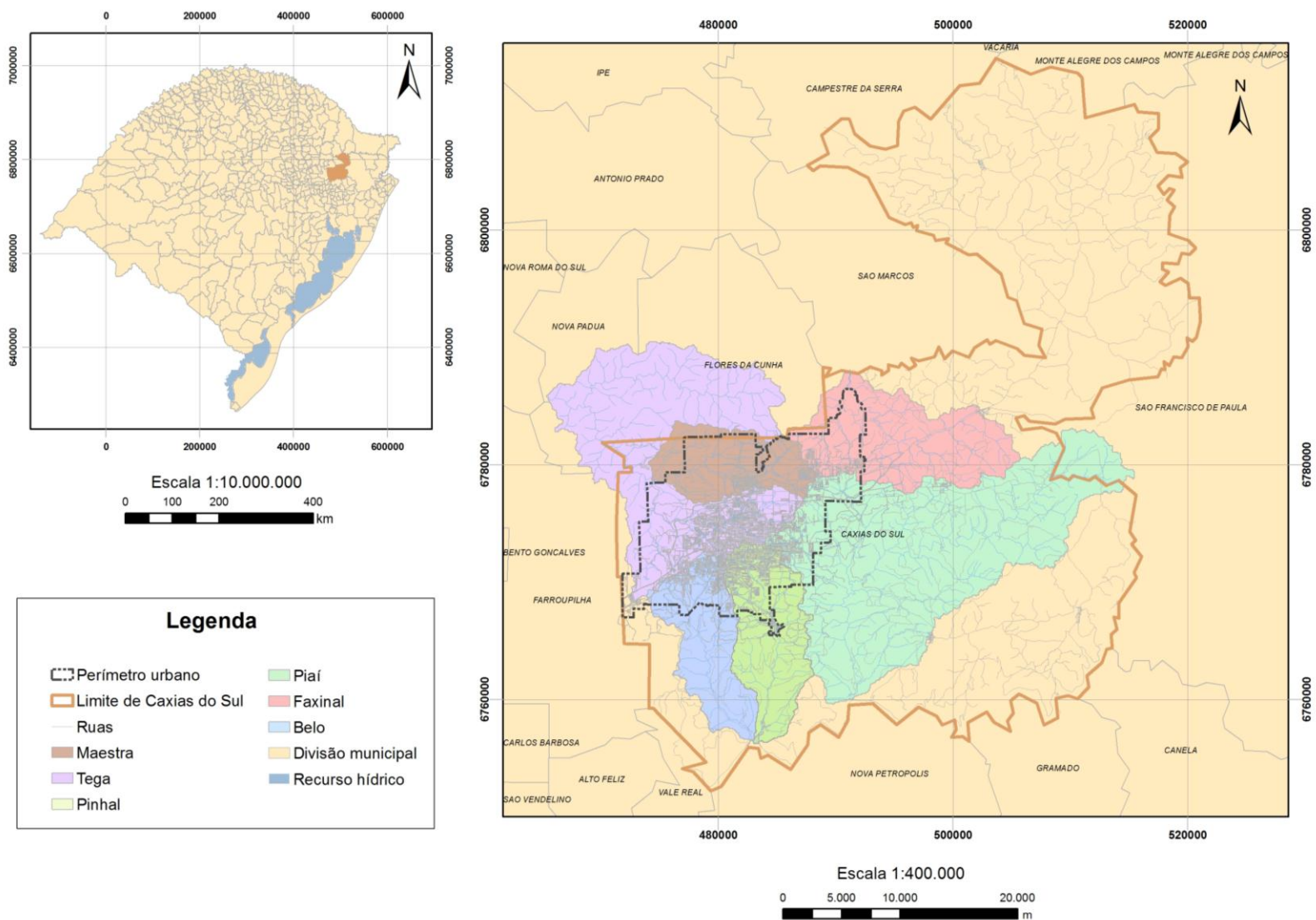


Figura 1 - Mapa de localização das bacias hidrográficas em estudo (Fonte: Autores, 2013).

- Coeficiente de manutenção (C_m): esse índice tem a finalidade de fornecer a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento. De acordo com S. A. Schumm (1956) apud Christofolletti (1980), este é um dos valores numéricos mais importantes para a caracterização do sistema de drenagem, sendo expresso, em km^2/km , através da Equação 6.

$$C_m = \frac{1}{D_d} \quad (6)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 é possível se observar os resultados dos índices fisiográficos avaliados para cada uma das bacias hidrográficas contempladas neste estudo.

Tabela 1 - Índices fisiográficos das bacias

Indicador fisiográfico	Símbolo	Unidade	Bacias					
			Faxinal	Tega	Maestra	Piaí	Belo	Pinhal
Área de drenagem	A	km^2	119,467	294,766	66,609	331,506	75,105	85,856
Perímetro	P	km	75,895	116,768	52,902	139,973	63,059	62,391
Número total de segmentos de drenagem	N_t	segmento	132	336	69	322	82	83
Comprimento total da rede de drenagem	L_t	km	143,231	350,750	77,621	369,839	87,082	90,396
Coeficiente de compacidade	K_c	adimensional	1,944	1,904	1,815	2,153	2,037	1,885
Índice de circularidade	I_c	adimensional	0,261	0,272	0,299	0,213	0,237	0,277
Densidade de drenagem	D_d	km/km^2	1,199	1,190	1,165	1,116	1,159	1,53
Densidade de rios	D_r	segmento/ km^2	1,105	1,140	1,036	0,971	1,092	0,967
Extensão média de escoamento	L_{es}	km	0,209	0,210	0,215	0,224	0,216	0,237
Coeficiente de manutenção	C_m	km^2/km	0,834	0,840	0,858	0,896	0,862	0,950

Fonte: Autores, 2013.

Dentre as bacias analisadas, as bacias dos rios Piaí e Tega são as que apresentam maior área – da ordem de 300 km^2 – e maior rede de drenagem, evidenciada pelo seu número de segmentos de rios e seu comprimento total de drenagem. As bacias com menor área de contribuição são as dos arroios Maestra, Belo e Pinhal, todas inferiores a 100 km^2 .

A densidade de drenagem apresentou pequena variação entre as bacias avaliadas. De acordo com Zorzal *et al.* (2005), os valores de parâmetro para este índice variam entre $0,5 \text{ km}/\text{km}^2$ para bacias com drenagem pobre e $3,5 \text{ km}/\text{km}^2$ para drenagem excelente. Desta forma, verifica-se que as bacias avaliadas apresentam drenagem moderada, com valores entre $1,116 \text{ km}/\text{km}^2$ na bacia do Piaí a $1,199 \text{ km}/\text{km}^2$ na bacia do Faxinal.

Além disso, segundo Milani e Canali (2000), uma densidade de drenagem elevada reflete a propriedade de transmissibilidade do terreno e por consequência a suscetibilidade a erosão. Ainda,

de acordo Christofolletti (1980), em um ambiente climático, o comportamento hidrológico das rochas repercute na densidade de drenagem, sendo que onde a infiltração encontra maiores dificuldade, há melhores condições para o escoamento superficial, esculturação de canais e consequentemente, aumento da densidade de drenagem.

A densidade de rios também não apresentou grande variabilidade entre as bacias avaliadas – de 0,967 segmentos/km² na bacia do Pinhal a 1,14 segmentos/km² na bacia do Tega. Esses valores corroboram os resultados obtidos para a densidade de drenagem. A densidade de rios permite comparar a frequência ou quantidade de cursos d'água em uma área de tamanho padrão (CHRISTOFOLETTI, 1980). Este índice permite uma avaliação mais clara sobre os processos de desenvolvimento da rede hidrográfica, sejam eles naturais ou antrópicos, já que, ao serem prolongados os canais de modo artificial, aumenta-se a área da bacia e o comprimento total dos canais, mas não o número dos mesmos. Em redes de canais naturais, sem controle estrutural devido à intervenção antrópica, este índice é sempre superior ao de densidade de drenagem (MILANI; CANALI, 2000), não sendo observada esta condição em nenhuma das seis bacias avaliadas.

A partir dos valores obtidos para os índices de compacidade (K_c) e circularidade (I_c), pode-se concluir que as seis bacias avaliadas não apresentam forma circular, visto que os valores dos índices afastaram-se da unidade, tendendo assim a uma forma mais alongada, como pode ser observado também na Figura 1. Uma bacia será mais suscetível a enchentes mais acentuadas quando seu K_c for mais próximo da unidade (CARDOSO *et al.*, 2006), já que será maior a possibilidade de toda a área estar contribuindo de uma vez (BORSATO e MARTONI, 2004).

Segundo Périco (2012), uma bacia estreita e longa, com índice de compacidade maior que a unidade e índice de circularidade menor que a unidade, apresenta uma menor chance de ocorrências de chuvas intensas cobrindo toda a sua área, diminuindo assim a possibilidade de inundações. Ressalta-se, no entanto, que essa tendência a inundações em pequenas bacias é afetada por outros fatores além da área de abrangência da chuva intensa, como, por exemplo, a duração da tormenta, o uso e ocupação do solo, o tipo de solo e a declividade do terreno.

Também com relação à extensão média de escoamento superficial, os índices obtidos não apresentaram grande variabilidade. A distância média pela qual a água da chuva teria que escoar sobre a superfície da bacia, dando-se o escoamento em linha reta, desde o ponto no qual a chuva caiu até o leito de um curso d'água qualquer, varia de 209 metros na bacia do Faxinal a 237 metros na bacia do Pinhal. De acordo com Olszewski *et al.* (2011), extensões de escoamento pequenas, na ordem de 100 metros, podem provocar alagamentos em dias de chuvas intensas, em função da menor possibilidade de infiltração de água no solo. Assim, os valores encontrados podem estar associados também à condição de transmissibilidade moderada do solo já referida.

O coeficiente de manutenção mais representativo foi o da bacia do arroio Pinhal, na qual seriam necessários 0,95 km² de área de contribuição para a sustentação de um quilômetro linear de canal. Para as demais bacias, os coeficientes de manutenção variaram de 0,834 a 0,896 km²/km. De acordo com Stipp *et al.* (2010), estes coeficientes são altos, podendo-se atribuir aos mesmos uma boa capacidade de recarga hídrica, além dos mesmos serem compatíveis com os índices de compacidade, que sugerem bacias pouco sujeitas a inundações.

CONCLUSÕES

A partir da caracterização fisiográfica das bacias urbanas de Caxias do Sul, pode-se concluir que:

- As bacias apresentam uma drenagem moderada, variando de 1,11 a 1,52 km/km², o que pode refletir uma condição de moderada transmissibilidade do terreno, e conseqüentemente moderada suscetibilidade à erosão;
- A densidade de rios obtida corrobora os resultados da densidade de drenagem obtidos, variando de 0,96 a 1,14 segmentos/km², contudo, embora as nascentes das bacias estejam localizadas na área urbana de Caxias do Sul, não foi possível inferir sobre a influência antrópica sobre este índice.
- As bacias apresentam forma alongada, com K_c maior que a unidade e I_c menor que a unidade, o que pode indicar menor possibilidade de picos de enchente pronunciados e inundação, embora esta tendência em pequenas bacias seja afetada por outros fatores.
- A extensão média de escoamento superficial não apresentou grande variação entre as bacias, sendo o mais longo percurso de 237 metros, podendo também este índice estar associado à moderada transmissibilidade do solo, infiltração e menor possibilidade de alagamentos em dias de precipitação intensa.
- O coeficiente de manutenção das bacias é alto, podendo-se atribuir aos mesmos uma boa capacidade de recarga hídrica, compatível com os índices de compacidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo apoio concedido à realização do projeto.

REFERÊNCIAS

- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. (1986). Resolução CONAMA n° 001, de 23 de janeiro de 1986. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em 28 abr. 2013.
- BORSATO, F. H.; MARTONI, A. M. (2004). Estudo da Fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná. *Acta Scientiarum. Human and Social Sciences*, Maringá, v. 26, n. 2, pp. 273-285.
- BRASIL. (1997). Lei Ordinária n° 9.433, de 8 de janeiro 1997. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Legislativo, Brasília, DF, 09 jan. 1997, p. 470.
- CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. (2006). Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. *Revista Árvore*, v. 30, n. 2, pp. 241-248.
- CARELLI, L.; LOPES, P. P. (2011). Caracterização fisiográfica da bacia Olhos D'Água em Feira de Santana/BA. Geoprocessamento aplicado à análise ambiental. *B. goiano. Geogr.* Goiânia, v. 31, n. 2, pp. 43-54.
- CHISTOFOLETTI, A. (2008). *Geomorfologia*. 3ª ed. São Paulo: Edgard Blüchler, 1980, 149p.
- LIMA, W.P. Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Departamento de Ciências Florestais Piracicaba-SP.
- MILANI, J. R.; CANALI, N. E. (2000). O sistema hidrográfico do rio Matinhos: uma análise morfométrica. *R. RA'EGA*, Curitiba: Editora da UFPR, n. 4, pp. 139-152.

- MOREIRA, A. A. C.; COSTA, C. T. F.; TAVARES, P. R. L.; MENDONÇA, L. A. R. (2011). Caracterização morfométrica e hidrologia da bacia hidrográfica do rio Salamanca, Barbalha, CE. In *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Maceió.
- OLIVEIRA, E. D. DE; OLIVEIRA, E. D.; CRESTANI, A. (2011). Caracterização Fisiográfica da bacia de drenagem do córrego Jandaia, Jandaia do Sul/PR. *Acta Geográfica*, Boa Vista, v. 5, n. 10.
- OLSZEWSKI, N.; FILHO, E. I. F.; COSTA, L. M. DA.; SCHAEFER, C. E. G. R, SOUZA, E. DE.; COSTA, O. D. V. (2011). Morfologia e aspectos hidrológicos da bacia hidrográfica do rio Preto, divisa dos estados do Rio de Janeiro e de Minas Gerais. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 35, n. 3, pp. 485-492.
- PÉRICO, E.; CEMIN, G.; MOHR, L. R. S. (2012). Fisiografia da bacia hidrográfica do rio Forqueta, RS, sul do Brasil. *Scientia Plena*, v. 8, n. 9.
- SANTANA, D. P. (2003). *Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, Documentos, 30.
- STIPP, N. A. F.; CAMPOS, R. A.; CAVIGLIONE, J. H. (2010). Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Taquara – Uma contribuição para o estudo das ciências ambientais. *Portal da Cartografia*, Londrina, v. 3, n. 1.
- WEBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C.J.S. (2004). Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação. Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia. ISBN 978-85-63843-02-9. Disponível em <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>.
- ZORZAL, F. M. B ELIAS, ELIAS, J. L.; ELIAS, J. V. V.; JACHIC, J.; MEDINA, A. S. (2005). Caracterização da bacia hidrográfica do rio Barigui. Curitiba/PR. In: *Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Campo Grande/MS. VI 026.