

FISIOGRAFIA DE DUAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DISTINTAS DO RIO GRANDE DO SUL E A SUA ASSOCIAÇÃO À DINÂMICA FLUVIAL¹

PHYSIOGRAPHY OF TWO RIVER BASINS IN RIO GRANDE DO SUL AND THEIR CONNECTION TO THE FLUVIAL DYNAMIC

**André Gonçalves Panziera², João Francisco Piovezan³,
Marcelo Righi³, José Basso³ e Alexandre Swarowsky⁴**

RESUMO

Objetivou-se, no presente trabalho, comparar duas sub-bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul, associando estas à dinâmica fluvial, a partir de suas características fisiográficas. Selecionaram-se as sub-bacias hidrográficas do Arroio do Salso e do Rio Toropi para o estudo. Para elaborar os mapas das bacias, utilizou-se uma cena do Shuttle Radar Topography Mission para o Arroio do Salso, e uma carta topográfica digitalizada da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército para o Rio Toropi. As variáveis levantadas foram área, perímetro, rede drenagem, densidade de drenagem, índice de compacidade, fator de forma, extensão média do escoamento superficial e sinuosidade. Assim, nota-se claramente que a bacia hidrográfica do Arroio do Salso contém uma forma estreita e alongada, o que resulta em uma disposição para um hidrograma mais suave, com menor propensão a enchentes. A bacia hidrográfica do Rio Toropi, por outro lado, é bastante influenciada pelo índice de compacidade, atribuindo a este grande potencial de geração de picos de vazão a jusante. Portanto, assim, apresentam-se dois grandes exemplos de bacias hidrográficas para fins comparativos.

Palavras-chave: caracterização fisiográfica, fisiografia, recursos hídricos.

ABSTRACT

The objective of this work was to compare two sub-basins of the state of Rio Grande do Sul in connection to the fluvial dynamics, from their physiographic characteristics. The two sub-basins selected were Salso Stream and Toropi River for the study. To draw up the maps of the basins, we used a scene by the Shuttle Radar Topography Mission for the Salso Stream, and a digitized topographic map of the Directorate of Army Geographical Service for Toropi River. The features considered were area, perimeter, drainage network, drainage density, compactness index, form factor, average length runoff and sinuous. Salso Stream contains a narrow and elongated shape, with great sinuous and well distributed drainage network. The Toropi River is heavily influenced by compactness index, attributing to this a great potential for generating downstream flow peaks.

Keywords: *physiographic characterization, flow, water resources.*

¹ Pesquisa científica desenvolvida durante o Mestrado.

² Mestrando no Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola - Universidade Federal de Santa Maria. E-mail: andregpanziera@gmail.com

³ Acadêmicos do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária - Centro Universitário Franciscano. E-mail: xicopiovezan@gmail.com, marcelorighi@gmail.com, josebasso@gmail.com

⁴ Orientador - Centro Universitário Franciscano. E-mail: aleswar@gmail.com

INTRODUÇÃO

Os eventos meteorológicos extremos são fenômenos que comumente afetam a dinâmica de água, especialmente pela irregular distribuição de chuvas. No Rio Grande do Sul, os eventos meteorológicos extremos têm frequentemente gerado desastres naturais, muitas vezes vinculados a eventos de precipitações pluviométricas intensas. De 1991 a 2010, registraram-se 832 inundações bruscas distribuídas em 68,7% dos municípios do estado, comprometendo a qualidade econômica e social (ANA, 2010; UFSC, 2011; CASSOL; BOHNER, 2012; RODRIGUES; FACHEL; PASSUELLO, 2012). É possível que esses problemas possam ser mitigados a partir de um melhor entendimento sobre como a dinâmica de água funciona. Para isso, torna-se necessário enfatizar estudos e soluções sistêmicas em nível de sub-bacia hidrográfica.

Para praticar essa escala de gestão de recursos hídricos, é fundamental entender como se comportam as estruturas hidrológicas de sub-bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul. Com formas distintas e grandes planícies de inundação, é possível que a fisiografia de sub-bacias do estado regule de forma única a dinâmica de água.

A partir de técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas (SIG) é possível obter a fisiografia do relevo. Por meio da distribuição espacial de dados numéricos de sua altitude e superfície, interpolação de curvas de níveis, gera-se o modelo digital de elevação (MDE), de onde obtêm-se índices matemáticos da bacia (OLIVEIRA et al., 2010; CARELLI; LOPES, 2011; PÉRICO et al., 2011; BERNARDI et al., 2013).

Para compreender as potencialidades da bacia hidrográfica, seus fatores fisiográficos podem ser associados à dinâmica de água local, como a geração de vazão e potenciais inundações. Além disso, torna-se possível alinhar o planejamento de infraestrutura e de recursos hídricos com a bacia hidrográfica como unidade de gestão ambiental (ARAI et al., 2012; BERNARDI et al., 2012). Nesse sentido, objetivou-se comparar duas sub-bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul, associando estas à dinâmica fluvial, a partir de suas características fisiográficas.

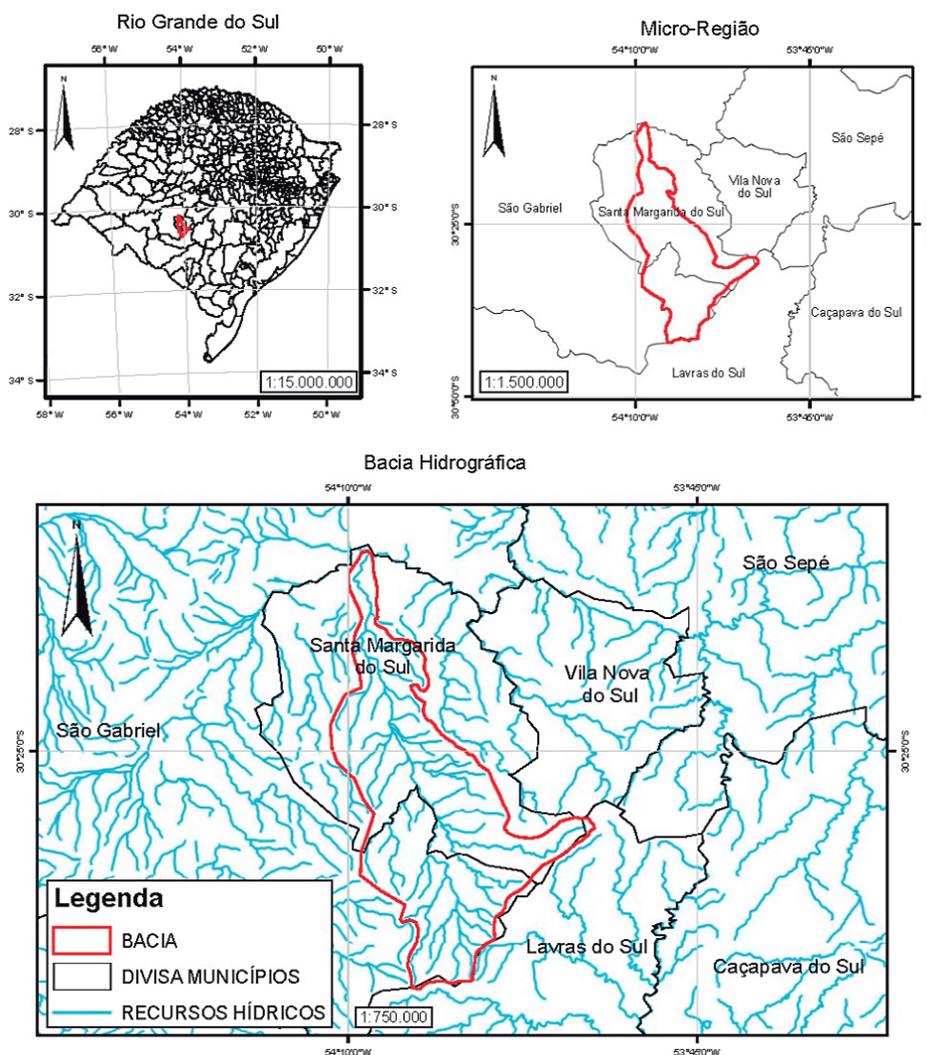
MATERIAL E MÉTODOS

ÁREAS DE ESTUDO

A primeira etapa do estudo consistiu em selecionar as sub-bacias de estudo. Como critério de seleção das sub-bacias hidrográficas, considerou-se: a) Relevos com grandes áreas de platô, entremeados em coxilhas, contendo encostas; b) Contribuições aos seus rios principais, em eventos intensos de

precipitação pluvial, frente a suas características fisiográficas. A região central do Rio Grande do Sul foi selecionada por abranger melhor os critérios do estudo. Na figura 1, está a localização da primeira área de estudo, sendo esta a sub-bacia do Arroio do Salso, tributário do rio Vacacaí, que faz parte da região hidrográfica do Guaíba.

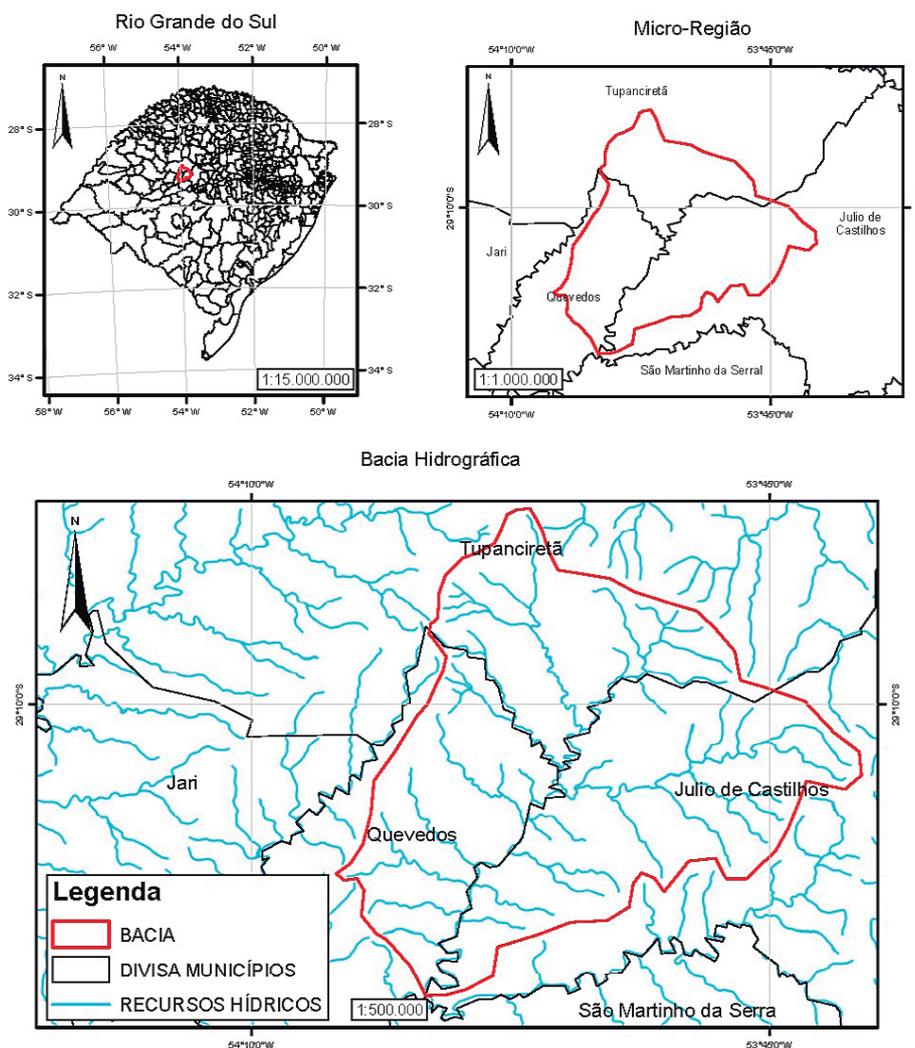
Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do Arroio do Salso/ RS.



Fonte: elaborada pelos autores.

Na figura 2, está a localizada a segunda sub-bacia hidrográfica estudada, a do Rio Toropi, afluente do rio Ibicuí, que faz parte da região hidrográfica do Uruguai. O clima de ambas as áreas de estudo, conforme a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, ou seja, subtropical úmido, sem estação seca definida e com verões quentes (MORENO, 1961; CARDOSO, 2005).

Figura 2 - Localização da bacia hidrográfica do Rio Toropi/RS.



Fonte: elaborada pelos autores.

MAPEAMENTO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

A segunda etapa do estudo foi a confecção dos mapas das sub-bacias hidrográficas. Utilizou-se a projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), zona 22, meridiano central 57°. Para o Arroio do Salso, foi empregada uma imagem de radar do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), do sítio da EMBRAPA, cena com nomenclatura SH.21-Z-B-III-4. Para a bacia hidrográfica do Rio Toropi, foi utilizada uma carta topográfica digitalizada da Diretoria de Serviços Geográfico (DSG) do Exército, em escala 1:50.000, cuja nomenclatura da folha é SH.21-X-D-VI-1. Processou-se a unificação e mosaicagem das imagens para cada uma das sub-bacias com o uso do *Software ArcGis 10.3*. Para obter a área e o perímetro das bacias, foi utilizado o plugin do ArcGIS X-tools Pro.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Foram calculadas, também por meio do *Software* ArcGis 10.3, as características mais determinantes das bacias, como área e perímetro da bacia, rede de drenagem, índices de compacidade (Kc), sinuosidade (Is), fator de forma (Kf), densidade de drenagem (Dd) e extensão média do escoamento superficial. Para determinar a ordem dos canais das bacias hidrográficas utilizou-se a metodologia proposta por Strahler (1957). O índice de compacidade (Equação 1) é uma relação entre o perímetro (P) da bacia com o perímetro de um círculo de mesma área (A).

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

em que P é o perímetro (km) e A, a área de drenagem (km²).

A equação 2 refere-se ao fator de forma, que consiste na distância do exutório até a cabeceira mais distante (VILLELA; MATTOS, 1975).

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

em que A é a área de drenagem (km²) e L, o comprimento do eixo da bacia (km).

A sinuosidade da bacia é dada pela relação entre o comprimento do rio principal e o comprimento do talvegue (Equação 3). A sinuosidade é um fator que controla a velocidade de escoamento.

$$Is = \frac{L}{L_t} \quad (3)$$

em que L é o comprimento do rio principal (km) e L_t, o comprimento do talvegue (km).

A densidade de drenagem é uma relação entre o somatório dos comprimentos dos cursos hídricos e a área da bacia hidrográfica, apresentada pela equação 4 (HORTON, 1945).

$$Dd = \frac{L}{A} (km \cdot km^{-2}) \quad (4)$$

em que L é o comprimento total dos cursos d'água (km) e A, a área de drenagem (km²).

Finalmente, a extensão média do escoamento superficial, equação 5, determina a distância que a água da chuva teria que escoar sobre o território da bacia, caso o escoamento percorresse uma linha reta do ponto em que a chuva caiu até o ponto mais próximo do leito de um curso de água.

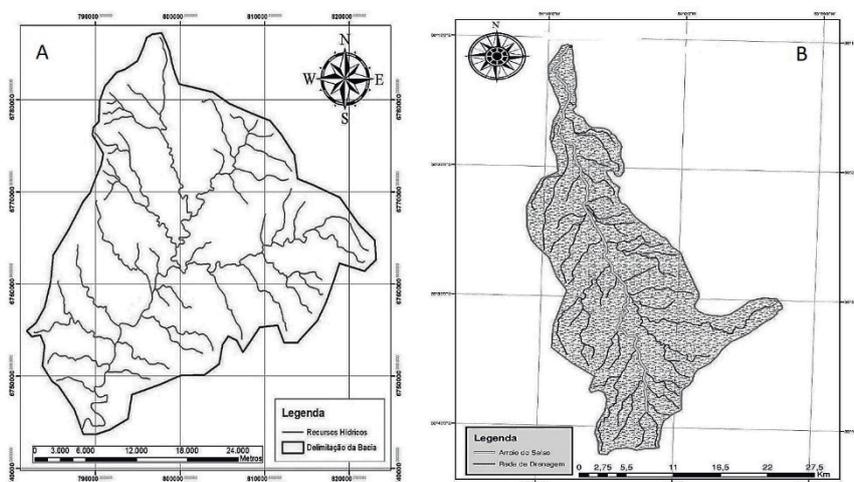
$$L = \frac{A}{4.L} (km) \quad (5)$$

em que L é o comprimento total dos cursos d'água (km) e A, a área de drenagem (km²).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Constatou-se que as derivações do Rio Toropi atingem a 5ª ordem de drenagem em 934,80km² de área e 141,74km de perímetro (Figura 3), tendo suas nascentes em altitudes de até 530m. O Arroio do Salso é de 3ª ordem com respectivos 632,84km² e 162,19km. Isso demonstra que a rede de drenagem do Arroio do Salso é mais longilínea e menor que o Rio Toropi, embora seu perímetro seja 20,45km superior. O Rio Toropi e o Arroio do Salso apresentaram escoamento predominante para oeste e leste, respectivamente.

Figura 3 - Bacia hidrográfica do rio Toropi/RS (A) e Arroio do Salso/RS (B).



Fonte: elaborada pelos autores.

Constatou-se que o valor encontrado para o coeficiente de compacidade do Arroio do Salso está distinto em 80% da unidade, ao passo que no Rio Toropi essa diferença cai para 30% (Tabela 1). Quanto mais irregular for a bacia, maior será o índice de compacidade, sendo que um coeficiente próximo da unidade representa uma bacia circular (CARDOSO et al., 2006; MIGUEZ; VEROL; REZENDE, 2016).

Tabela 1 - Características físicas das bacias hidrográficas do Arroio do Salso e do Rio Toropi/RS.

Características	Arroio do Salso	Rio Toropi
Comprimento do Talvegue Principal (km)	17,02	22,50
Índice de Compacidade	1,80	1,30
Fator de Forma	0,44	0,65
Rede de Drenagem (km)	380,14	386,37
Densidade de Drenagem (km.km ⁻²)	0,61	0,41
Extensão média do escoamento superficial (km)	0,41	0,60
Índice de sinuosidade	2,22	1,68

Fonte: elaborada pelos autores.

Os resultados indicam que a bacia hidrográfica do Arroio do Salso contém formato mais alongado e mais irregular que a bacia do Rio Toropi. Em estudo de caracterização morfométrica do

Rio Vacacaí, valores de Kc aproximaram-se dos obtidos para o Arroio do Salso, mas diferenciando-se do Rio Toropi, perfazendo 1,36 (GEORGIN; OLIVEIRA; ROSA, 2015). Isso está de acordo com a assertiva de que o Arroio do Salso possui um pico de vazão menor e mais distribuído ao longo do tempo, quando comparado ao Rio Toropi, pela análise fisiográfica das bacias. Com partes da bacia onde a água leva mais tempo para atingir seu exutório, pode-se afirmar que o Arroio do Salso é menos susceptível a inundações bruscas.

O valor de Kc de 1,80 demonstrou que, em todas as partes do Rio Toropi, a água dos tributários tende a confluir, de uma única vez, para o rio principal e níveis mais baixos da bacia. Nesse caso, o Rio Toropi funciona como uma estrutura hidrológica de extravasamento mais intenso que o Arroio do Salso, podendo gerar maiores picos de vazões. Isso implica que o conteúdo de água de precipitação pluviométrica em sua área tende a gerar intensas vazões efluentes, em especial ao Rio Ibicuí. Logo, a bacia do Rio Toropi tem mais capacidade que o Arroio do Salso de produzir inundações bruscas a jusante de sua área, decorrente de seu Kc ser superior, principalmente durante eventos intensos de precipitação pluvial.

O fator de forma diferencia-se do índice de compactidade por relacionar o comprimento axial da bacia. Valores próximos da unidade indicam uma bacia hidrográfica mais quadrática, com maior tendência a propiciar enchentes (CHRISTOFOLETTI, 1980). Por outro lado, valores menores conferem à bacia um aspecto mais afunilado, em que a água movimenta-se gradualmente até o exutório.

O Kf no valor de 0,65 demonstrou que a bacia hidrográfica do Arroio do Salso é mais estreita e elíptica que o Rio Toropi. Assim, é menor a possibilidade de eventos intensos de precipitação pluvial atingirem, simultaneamente, toda a extensão do rio principal do Arroio do Salso em comparação ao Rio Toropi. Logo, em função do Kf, mesmo com um comprimento do talvegue principal 5,48km menor, o Arroio do Salso tende a produzir apenas inundações graduais a jusante.

A densidade de drenagem é um importante parâmetro para que se conheça o potencial escoamento de água (SUCUPIRA; PINHEIRO; ROSA, 2006; LIMA, 2010). Valores desse parâmetro próximos de 0,5 km.km⁻² indicam bacias com baixa drenagem, e acima de 3,5km.km⁻², bacias bem drenadas (VILLELA; MATOS, 1975). A Dd encontrada para a bacia do Arroio do Salso foi de 0,61 km.km⁻², enquanto que no Rio Toropi esse valor foi de 0,41. Em análise do relevo do Rio Itu, adjacente ao Rio Toropi e também dentro da região hidrográfica do Uruguai, constatou-se densidade de drenagem no valor de 2,12km km⁻² (TRENTIN; ROBAINA, 2005). Isso confirmou que ambas as bacias estudadas têm densidade de drenagem classificada como baixa (VILLELA; MATOS, 1975).

A extensão média de escoamento superficial do Arroio do Salso foi de 0,41km, enquanto que no Rio Toropi esse valor eleva-se para 0,61km. Relacionando esses resultados à Dd, constatou-se que as contribuições dos tributários do Arroio do Salso ao seu rio principal são mais intensas que a derivações do Rio Toropi. Numa condição de precipitação pluvial, a rede de drenagem da Bacia do Arroio do Salso estaria mais bem difundida ao longo de sua própria área, em relação ao Rio Toropi.

Ainda, em qualquer ponto que chover na referida bacia, a água precisará de menor movimentação para atingir qualquer ramificação.

Os referidos parâmetros podem ser influenciados por elementos naturais, como topografia, transmissibilidade, capacidade de infiltração do solo (STIPP; CAMPOS; CAVIGLIONE, 2010; VIECELI et al., 2013). 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 (OLSZEVSKI et al., 2011). Logo, os valores obtidos de Dd e L para o Rio Toropi podem ser atenuadores de escoamentos intensos e consequentes grandes deflúvios.

Com índice de sinuosidade no valor de 2,22, a rede de drenagem do Arroio do Salso é muito mais curvilínea que o Rio Toropi, cujo valor é de 1,68. Valores acima de 2,00 configuram intensa sinuosidade (MANSIKKANIEMI, 1970; STIPP; CAMPOS; CAVIGLIONE, 2010). Sendo assim, a tendência do movimento das águas do Arroio do Salso é ser mais lenta que no Rio Toropi. Isso porque as curvas de um rio oferecem intensificada resistência ao movimento das águas. Logo, o deflúvio do Rio Toropi é pelas poucas curvas que neste existem, agindo como incremento na geração de vazão.

CONCLUSÃO

O índice de compacidade do Rio Toropi é o atributo que mais influencia para gerar grandes picos de vazão. O índice de sinuosidade do Arroio do Salso é determinante para moderar as contribuições decorrentes de sua densidade de drenagem e extensão média de escoamento. Os resultados permitem a ampliação do entendimento inicial das potencialidades de sub-bacias em termos geração de vazão.

REFERÊNCIAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. SGH - Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. **Dados pluviométricos de 1991 a 2010**. Brasília: ANA, 2010.

ARAI, F. K. et al. Caracterização hidromorfométrica da bacia do Dourados localizada no centro-sul do Mato Grosso do Sul. **Revista Agrarian**, v. 5, n. 17, p. 270-280, 2012.

BERNARDI, E. C. S. et al. Bacia hidrográfica como unidade de gestão ambiental. *Disciplinarum Scientia*. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, v. 13, n. 2, p. 159-168, 2012.

BERNARDI, E. C. S. et al. Caracterização Fisiográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19, 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: ABRH, 2013. p. 5-8.

CARDOSO, C. D. V. **Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica nos solos da região central do estado do Rio Grande do Sul**. 2005. 186f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

CARDOSO, C. A et al. Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 241-248. 2006.

CARELLI, L.; LOPES, P. P. Caracterização fisiográfica da bacia Olhos d'Água em Feira de Santana: Geoprocessamento aplicado à análise ambiental. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 31, n. 2, p. 43-54, 2011.

CASSOL, P. B.; BOHNER, T. O. L. Cheia, enchente, inundação e a minimização dos seus aspectos sob o olhar ambiental. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 5, n. 5, p. 648-652, 2012.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blüchler, 1980. 313 p.

GEORGIN, J.; OLIVEIRA, G. A.; ROSA, A. L. D da. Estudo comparativo de índices morfométricos relacionado com cheias nas bacias hidrográficas do alto Jacuí e Vacacaí-Vacacaí Mirim - RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1357-1364, 2015.

HORTON, R. E. Erosional development of streams their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 56, n. 1, p. 275-370. 1945.

LIMA, L. M. M. **Mapeamento da susceptibilidade à inundação na bacia hidrográfica do Arroio do Salso, Porto Alegre-RS**. 2010. 175f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

MANSIKKANIEMI, H. The sinuosity of rivers in northern Finland. **Instituti Geographici Universitatis Turkuensis**, v. 52, n. 1, p. 16-32, 1970.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem Urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. p. 1-13

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 46 p.

OLIVEIRA, P. T. S. de et al. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 8, p. 819-825, 2010.

OLSZEWSKI, N. et al. Morfologia e aspectos hidrológicos da bacia hidrográfica do rio Preto, divisa dos estados do Rio de Janeiro e de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 485-492, 2011.

PÉRICO, E. et al. Análise fisiográfica da bacia hidrográfica do rio Forqueta, RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2013, Curitiba. **Anais...** Curitiba, INPE, 2011.

RODRIGUES, A.; FACHEL, J. M. G.; PASSUELLO, A. C. Estatística espacial e análise de cluster em dados de desastres naturais: mapeamento das inundações no Rio Grande do Sul entre 2003 e 2009. **Revista Iniciação Científica**, v. 10, n. 1, p. 48-67, 2012.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions, American Geophysical Union**, v. 38, n. 6, p. 913-920, 1957.

STIPP, N. A. F.; CAMPOS, R. A.; CAVIGLIONE, J. H. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Taquara - uma contribuição para o estudo das ciências ambientais. **Portal da Cartografia**, v. 3, n. 1, p. 105-124, 2010.

SUCUPIRA, P. A. P.; PINHEIRO, L da S.; ROSA, M. de F. Caracterização morfométrica do médio e baixo curso do rio Aracaú - Ceará - Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA/ REGIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 6, 2006, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UECE, 2006. p. 1-8.

TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S. Análise do relevo no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Itu, RS. **Interface**, v. 2, n. 2, p. 146-155, 2005.

UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. CEPED - Centro Universitário de Estudos sobre Desastres. **Atlas Brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010**: volume Rio Grande do Sul. Florianópolis: CEPED, UFSC, 2011. p. 38-42.

VIECELI, N. et al. Análise da fisiografia de bacias hidrográficas de Caxias do Sul, RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20, 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: ABRH, 2013. p. 6-8.

VILLELA, S. M., MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975. 245 p.