

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA BÁSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA ARAGUAIA VISANDO DETERMINAR SUSCEPTIBILIDADE A ENCHENTES¹

Murilo Raphael Dias Cardoso
Graduando em Geografia, Instituto de Estudos Sócio-Ambientais – Universidade Federal de Goiás
muriloshinobi@gmail.com

Francisco Fernando Noronha Marcuzzo
Engº, Doutor, Pesquisador em Geociências / Engenharia Hidrológica
fmarcuzzo@cpqm.gov.br

Ricardo de Faria Pinto Filho
Geógrafo, Instituto de Estudos Sócio-Ambientais – Universidade Federal de Goiás
pintofilho.rf@gmail.com

INTRODUÇÃO

O Rio Araguaia é o décimo terceiro de maior extensão do Brasil, totalizando 2.114 km de talvegue, e, junto com o rio Tocantins, faz parte de uma das principais bacias hidrográficas do país, a bacia Tocantins-Araguaia. A conservação e manejo sustentável dessa bacia, e de outras, faz-se necessária por sua hidrografia abundante. Dentro desse contexto, é muito importante o estudo da caracterização física da bacia para poder-se tomar medidas de prevenção no que diz respeito a enchentes e erosões.

A busca por formas sustentáveis de desenvolvimento econômico implica na implantação de novos métodos de manejo e uso do solo, principalmente no que diz respeito à conservação dos recursos hídricos. Segundo Maalouf (2000), baseado na definição da WCED, o Conselho de Alimentos e Organização Agrícola das Nações Unidas, o desenvolvimento agrícola sustentável é o gerenciamento e conservação das bases dos recursos naturais e a orientação da mudança tecnológica e institucional, assegurando a realização e satisfação continuada das necessidades humanas para gerações presentes e futuras. Esse desenvolvimento sustentando conserva os recursos genéticos da terra, água, vegetação e animal, não degradam o meio ambiente, é apropriado tecnicamente, viável economicamente e aceitável socialmente.

Com o avanço dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o desenvolvimento de novas técnicas de processamento e tratamento de imagens de satélite, tal como da disponibilidade desses produtos de forma gratuita e cada vez mais abundante, esse tipo de recurso de torna muito

¹ Artigo elaborado a partir do projeto: Análise Fisiográfica de Bacias e Sub-Bacias Hidrográficas de Interesse em Estudos de Chuvas Intensas no Brasil.

viável para o estudo de bacias hidrográficas. Segundo Ferreira et al. (2004), os programas de aplicação em SIG têm a capacidade de manipular, armazenar e analisar dados geográficos. É diferente dos demais (aplicáveis em cartografia digital) por possuir estruturas que permitem definir as relações espaciais e estatísticas entre todos os elementos dos dados (geo-objetos). Esta convenção, conhecida como topologia dos dados, vai além da mera descrição da localização e geometria cartográfica, por permitirem fazer cruzamentos de dados e desenvolver cenários, daí sua importância na utilização do planejamento territorial e gestão do meio ambiente, particularmente gestão de bacias hidrográficas.

O processamento de imagens de radar e seu alto potencial no desenvolvimento de Modelos Digitais de Elevação (MDE) viabiliza a delimitação e estudo das bacias hidrográficas. Porém, um dos principais empecilhos ao uso dos MDE na grande maioria dos estudos hidrológicos é a discordância entre o traçado da hidrografia mapeada e o trajeto de escoamento superficial derivado numericamente. Adicionalmente, encontram-se, com frequência, depressões espúrias ao longo da drenagem numérica, que impedem o escoamento contínuo até o ponto de deságüe da bacia analisada. Tais fatos inviabilizam a correta delimitação da área de contribuição à montante do ponto de interesse, comprometendo todas as demais etapas do estudo.

Devido à importância eminente do estudo de bacias hidrográficas, a fim de se desenvolver ações conservacionistas e o incentivo ao uso sustentável, esse estudo propõe-se a delimitar as sub-bacias do Rio Araguaia através de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento utilizando imagens de radar ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer). Com base na literatura acima descrita conclui-se que, estudos referentes à caracterização fisiográfica em bacias hidrográficas susceptíveis a eventos extremos de chuvas, como a região do Araguaia, apresentam um papel fundamental no ordenamento e gerenciamento do uso e ocupação do solo em áreas com acentuado declive.

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar parâmetros físicos da bacia da região do Rio Araguaia, nos estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Tocantins e Pará, com a finalidade de classificar sua concepção morfológica e a sua susceptibilidade a eventos extremos de chuva, além de subsidiar estudos futuros na região e auxiliar o planejamento do uso e ocupação do solo na área.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA

Caracterização da bacia hidrográfica de estudo

A bacia do Rio Araguaia está localizada entre cinco estados dentro do território brasileiro, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pará e Tocantins (Figura 1). Sendo que, 24,2% em Goiás, 35,2% no Mato Grosso, 0,005% no Mato grosso do Sul, 13,2% no Pará e 27,3% no Tocantins. Sua altitude varia de 17 m a 2211 m. O comprimento total de todos os seus cursos

d'água é de aproximadamente 70376,2 km (Figura 1). Sua área total é de 385044,13 km² com perímetro de 5184,15 km. A bacia do Araguaia possui 297625,3 km² (77%) de sua área no bioma do Cerrado e 87418,7 km² (23%) no bioma amazônico. O maior território municipal da bacia hidrográfica em estudo pertence ao município de Cocalinho/MT (área de 19423,4 km² e perímetro de 1119,4 km) e o menor ao município de Carmolândia/TO (área de 351,3 km² e perímetro de 83,2 km). Segundo dados do IBGE (2010), toda a população residente nos municípios da bacia somam 1962331 pessoas, sendo que a maior população esta no município de Araguaina/TO, com 105019 habitantes, e a menor população esta no município de Oliveira de Fátima/TO, com 754 habitantes. A maior densidade populacional pertence ao município de Axixá do Tocantins/TO, com 92,9 habitantes.(km²)⁻¹ e a menor fica com o município de Santa Rita do Tocantins/TO com 0,2 habitantes.(km²)⁻¹ (Figura 1).

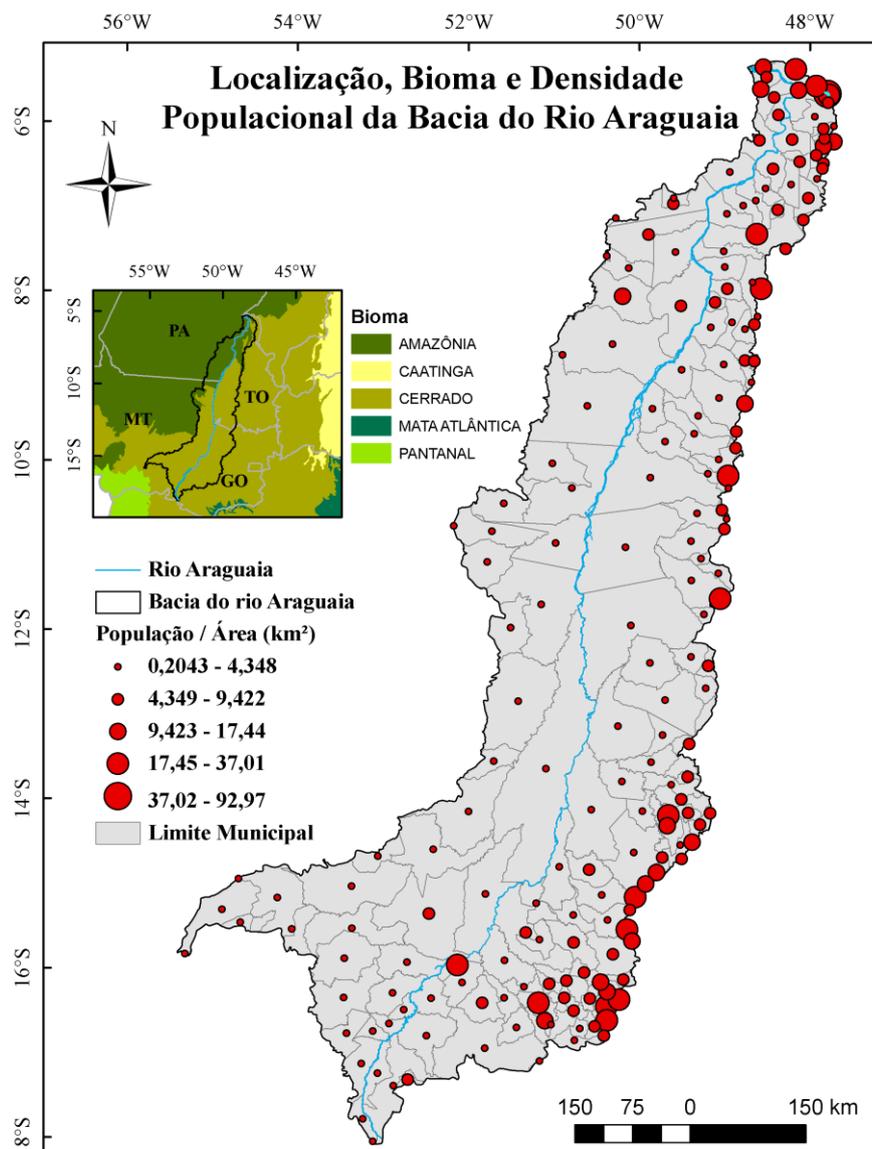


Figura 1. Localização geográfica, municípios e massa hidrográfica da bacia em estudo.

Vegetação, uso do solo, hipsometria e clima da bacia em estudo

As regiões de maior altitude da bacia do Rio Araguaia estão localizadas na região sul da bacia com valores máximos chegando a 1058 metros e as regiões de menor altitude localizadas ao norte com os valores mínimos chegando até 55 metros de altitude (Figura 2a). O clima da região, segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw, o que significa um clima tropical com estação seca no inverno.

O uso do solo na região é caracterizado por apresentar extensas regiões de pastagem, com ocorrências ao longo de toda a bacia, agricultura, localizadas mais ao sul da bacia próximas as principais nascentes, e remanescentes de Cerrado representado, principalmente, pelas matas siliars ao longo do curso do Rio Araguaia (Figura 2b).

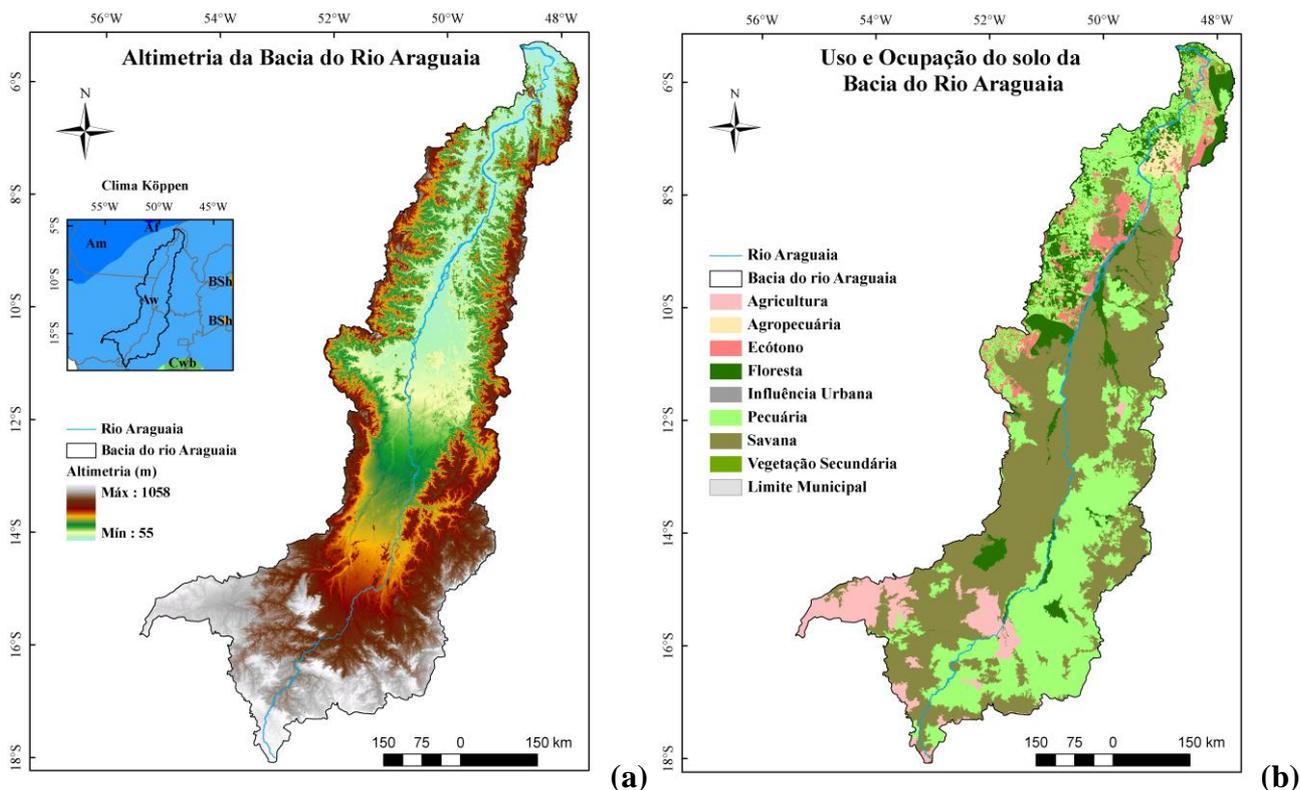


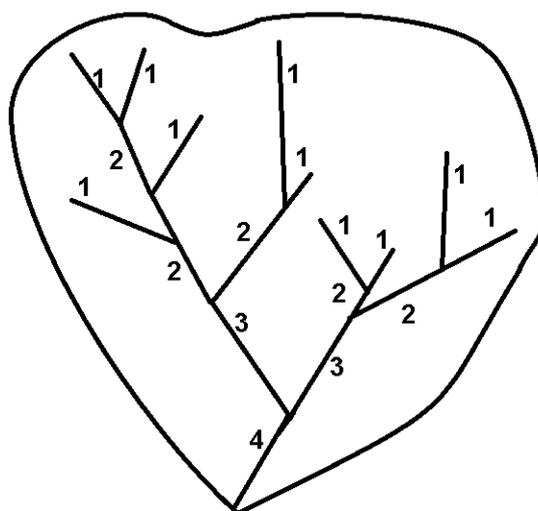
Figura 2. Altimetria, clima e uso e ocupação do solo na bacia do Rio Araguaia.

Processamento das imagens ASTER e caracterização da hierarquia fluvial

Nesse trabalho foram utilizadas 60 imagens de radar ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) com resolução de 30 metros baixados gratuitamente do site da NASA. Essas imagens foram mosaicadas e depois recortadas com o limite da bacia do Rio Araguaia.

Com o MDE delimitado pela bacia do Rio Araguaia deu-se inicio a delimitação das suas sub-bacias através de um SIG. O primeiro passo foi extrair a drenagem. Em seguida, foi aplicado ao MDE valores maior que 100000 para se obter um número de feições de drenagem compatíveis com a escala do trabalho, quanto maior o valor escolhido menor o número de feições e vice-versa.

Logo depois, as sub-bacias do Rio Araguaia foram definidas pela sua ordem hierárquica com base na classificação proposta por Strahler (1957). O sistema proposto por Strahler consiste em classificar como de primeira ordem os cursos d'água em que não há rios que deságüem nele, ou seja, os que se originam diretamente de sua nascente e deságuam em outro curso d'água. Esse outro curso d'água subsequente será denominado de segunda ordem. Os cursos d'água onde os rios de segunda ordem deságuam serão chamados de terceira ordem e assim sucessivamente (Figura 3).



Ordenamento de Strahler

Figura 3. Ordenamento dos cursos d'água proposto por Strahler.

Caracterização fisiográfica visando a determinar a susceptibilidade a enchentes

A determinação da área de drenagem da bacia hidrográfica, fator de forma, coeficiente de compacidade, sistema de drenagem, ordem dos canais, densidade de drenagem e extensão média do escoamento superficial, servem para a sua caracterização fisiográfica, visando classificar sua susceptibilidade a enchentes na ocorrência de eventos extremos de chuva. A seguir, mostra-se detalhadamente as características fisiográficas que são trabalhadas neste estudo.

Perímetro (P) e Área de drenagem (A)

Para se calcular a área de drenagem de cada sub-bacia da sub-bacia 17 foi utilizado o programa de SIG ArcGIS. Nessa delimitação, você aponta para o programa onde se localiza o exutório do rio do qual quer delimitar a respectiva bacia e o programa gera toda a área de influência do rio, delimitando assim, sua bacia hidrográfica. O cálculo de perímetro também é semi-automático, onde o programa calcula o perímetro através das suas coordenadas. Assim vai traçando um caminho ponto a ponto, enquanto calcula o perímetro até chegar no ponto da coordenada inicial.

Sistema de drenagem (Sd)

O sistema de drenagem de uma bacia hidrográfica é composto pelo seu canal principal e por seus tributários (afluentes que deságuam no canal principal). Um estudo detalhado do sistema de drenagem permite a resolução sobre o maior ou menor tempo que a água demora a abandonar uma bacia hidrográfica. Existem fatores básicos no estudo do sistema de drenagem, entre eles destacam-se: Ordem dos Canais, Densidade de Drenagem e Extensão média do Escoamento Superficial.

Ordem dos canais (Oc)

O estudo sobre as Ordens dos Canais se faz referência a uma classificação sobre o grau de ramificações e/ou bifurcações existentes em uma bacia hidrográfica. A classificação de ordenamento dos cursos mais utilizada é a proposta por Horton (1945) e modificada por Strahler (1957).

Coeficiente de compacidade (Kc)

Esse fator relaciona o perímetro de uma bacia e a circunferência de área igual presente na respectiva bacia, quanto mais irregular a forma da bacia hidrográfica, maior será esse índice (Horton, 1945). Seu cálculo utiliza a seguinte expressão:

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

em que, Kc - coeficiente de compacidade (adimensional); P - perímetro (km); A - área da bacia (km^2).

Fator forma (Kf)

O Fator Forma (Kf) é determinado através da razão entre a largura média da bacia e o comprimento axial da mesma. Horton. (1945) complementam que esse fator é obtido com a medição do comprimento desde a desembocadura até a cabeceira da bacia. O cálculo desse fator é determinado pela equação:

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

em que, Kf - fator de forma da bacia (adimensional); A - área da bacia (km^2); L - comprimento do eixo principal (km).

Densidade de drenagem (Dd)

. Cardoso et al. (2006) afirmam que o fator densidade de drenagem é extremamente importante, pois os valores obtidos auxiliam o planejamento do manejo das bacias. A densidade de drenagem (Dd), que foi obtida pela razão entre o comprimento da rede de drenagem da bacia e a sua área. Sua determinação versa sobre uma relação entre o comprimento total dos cursos d'água e a área de drenagem e é obtido pela seguinte equação:

$$Dd = \frac{Rd}{A} \quad (4)$$

em que, Dd - densidade de drenagem (km.(km²)⁻¹); Rd - rede de drenagem (km); A - área da bacia (km²).

CONCLUSÕES

A maior parte dos resultados foram obtidos por meio de equações numéricas descritas na fundamentação teórica-metodológica deste trabalho, e, a outra parte em um programa de Sistema de Informação Geográfica. Os resultados foram posteriormente descritos e transpostos em documentos cartográficos (Tabelas e Figuras - Mapas) visando um melhor entendimento e facilidade de visualização do estudo realizado.

Hierarquia fluvial e ordem dos canais da bacia em estudo

Strahler (1952) propõe uma ordenação que elimina o conceito de que o rio principal deve ter o mesmo número de ordem em toda a extensão e a necessidade de se refazer a numeração a cada confluência. Segundo a classificação de Strahler (1952) o Rio Araguaia compreende uma canal de ordem. A Tabela 1 descreve a quantidade de canais de 1^a, 2^a, 3^a, 4^a, 5^a e 6^a ordens e os seus respectivos comprimentos (km).

Tabela 1. Ordem dos canais, quantidade de canais e o comprimento linear do canais por ordem na bacia do Rio Araguaia.

	Ordem dos Canais						Total
	1	2	3	4	5	6	
Quantidade	3901	1469	805	29	11	2	6668
km	42704,8	12238,6	6717	2332,6	1011,1	5371,9	70376,2

Coefficiente de compacidade (Kc)

De acordo com Oliveira (1997), os resultados obtidos para o coeficiente de compacidade (Kc) demonstram se uma bacia é suscetível ou não a enchentes. Segundo o autor, os valores variam de

< 1,2 (totalmente sujeito a enchente), entre 1,2 a 1,5 (parcialmente sujeito a enchentes) e a > 1,5 (não sujeito a enchentes).

A bacia do Rio Araguaia pode ser classificada como não sujeita a enchentes, já que o valor do K_c determinado foi de 2,4.

Ainda com a obtenção do coeficiente de compacidade (K_c), concluiu-se que a sub-bacia apresenta um formato alongado, pois, quanto mais distante de 1, menos circular são as bacias. Segundo Vilella & Matos (1975) bacias com formatos alongados, apresentam menores concentrações de deflúvio, isto é, são pouco suscetíveis à enchentes.

Índice fator forma (K_f)

Para o índice fator forma (K_f), Wisler & Brater (1964) afirmam que bacias que apresentam valores baixos para esse parâmetro são pouco propensas a enchentes. Pois quanto menor for o K_f , mais longa será a bacia e menos sujeita a enchentes. O valor determinado na bacia do Rio Araguaia foi de 0,18, o qual contribui para o entendimento da baixa suscetibilidade a enchentes na região. Isso, levando em consideração toda a área da bacia, aja vista que são necessários estudos de escala local para determinar se alguma região da bacia do Rio Araguaia foje a essa regra de baixa suscetibilidade à erosão.

Densidade de drenagem (D_d)

Para o fator densidade de drenagem, a sub-bacia estudada apresentou um valor de 0,18 $\text{km} \cdot (\text{km}^2)^{-1}$. Segundo Vilella & Mattos (1975), esse valor obtido demonstra que a área de estudo apresenta uma drenagem pobre, pois, esse fator, varia de 0 $\text{km} \cdot (\text{km}^2)^{-1}$ em bacias com uma drenagem pobre a 3,5 $\text{km} \cdot (\text{km}^2)^{-1}$, ou superior, em bacias consideradas bem drenadas. Nesse caso, podemos afirmar que a bacia do Rio Araguaia possui baixa densidade de drenagem. Tonello et al. (2006) consideram que valores baixos para esse fator, estão associados a regiões com a presença de rochas permeáveis e precipitações de baixa intensidade como é o caso da bacia do Rio Araguaia que está localizada em uma região que passa por um longo período de estiagem. Cardoso et al. (2006) afirmam que o fator densidade de drenagem é extremamente importante, pois os valores obtidos auxiliam o planejamento do manejo das bacias.

Neste trabalho, analisou-se o Índice de Compacidade, Fator da Forma, Densidade de Drenagem e a Hierarquia Fluvial, bem como sua Extensão Total. Concluí-se, com os resultados obtidos, que a bacia hidrográfica da região de Araguaia está pouco sujeita a processos de enchentes devido ao seu acentuado gradiente altimétrico, sua forma de drenagem e, principalmente, aos fatores relacionados com Coeficiente de Compacidade de 2,4 e ao Fator Forma de 0,18.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CPRM/SGB (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil) pelo fomento que viabilizou o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cardoso, C.A.; Dias, H.C.T.; Boechat, C.P. 2006. Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo/RJ. Revista *Árvore*, v 30, n 2, 241-248.

Checchia, T.; Kobiyama, M.; Silva, R.V.; Alves, A. Análise preliminar da evolução dos deslizamentos no vale do Rio Caeté, Alfredo Wagner, SC. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 5., 2004, Santa Maria. Anais... Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2004. 1 CD-ROM

Checchia, T.; Vestena, L. R.; Kobiyama, M.; Schröder, P. H. Interação entre climatologia, geologia e geomorfologia na bacia hidrográfica do Caeté, município de Alfredo Wagner, SC. In: XV Semana de Geografia, 4., 2006, Guarapuava. Anais... Guarapuava: Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2006. p. 121-133.

Ferreira, M. M.; Alves, E. de O.; Menezes, J. M. de, Macieira, M. B.; Silva, H. A. da. Aplicação de SIG como instrumento de apoio para a tomada de decisões no processo de gestão compartilhada de bacias hidrográficas urbanas- O Caso do Igarapé Belmont - Porto Velho-RO. Trabalho de PIBIC. Universidade Federal de Rondônia. Porto Velho, 2004.

Fontes, M.P.; Oliveira, A.S.; Santos, D.E.; Conceição, J.A.; Pinto, L.A.; Lisboa, V.A.C.; Mello Junior, A.V. 2008. Análise comparativa das características hidrológicas de duas sub-bacias de Sergipe com uso de técnicas de geoprocessamento. In: IV Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, Aracaju, 2008.

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

Macedo, F.L.; Pedra, W.N.; Mello Junior, A.V. 169 *Cooperação Econômica e Técnica no Brasil*. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A. 484p.

Maalouf, W. D.; Recursos humanos e desenvolvimento agrícola sustentando. São Paulo: Fundação Salim Farah Maluf. p. 47. 2000.

Oliveira, J.N. 1997. Classificação de características fisiográficas. Texto básico para a disciplina "Hidrologia Básica". Ilha Solteira, SP: UNESP, 5p.

Rodrigues, F.M.; Pissara, T.C.T.; Campos, S. 2008. Caracterização Morfométrica da Microbacia Hidrográfica do Córrego da Fazenda Glória, Município de Taquaritinga, SP. *Revista Irriga*, 13, 3, 310-322.

Strahler, A. N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transactions. American Geophysical Union, v38, p.913-920.

Tonello, K.C.; Dias, H.C.T.; Souza, A.L. de.; Ribeiro, C.A.A.S.; Leite, F.P. 2006. Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães – MG. Revista Árvore, 30, 5, 849-857.

Vestena, Leandro Redin. Mapeamento da Susceptibilidade a Deslizamentos na Bacia Hidrográfica do Caeté, Alfredo Wagner/SC. Mercator - v. 9, n. 19, 2010: mai./ago. p. 175 a 190.

Villela, S. M.; Mattos, A. Hidrologia Aplicada. São Paulo, McGraw-Hill, 1975. 245p.

Wisler, C.O.; Brater, E.F. 1964. Hidrologia. Tradução e publicação de Missão Norte-Americana pela Revista Brasileira de Geografia Física v. 03, n. 02 2010 p. 163-169