

## **XII-042 - ANÁLISE MORFOMÉTRICA COM SUPORTE DE GEOTECNOLOGIA APLICADA À BACIA DO RIO MACHADINHO - RO**

**Vinicius Alexandre Sikora de Souza<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia. Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela FASA. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Doutorando em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro.

**Otto Corrêa Rottuno Filho**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Doutor em Engenharia Civil pela University of Waterloo. Professor associado da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

**Marcos Leandro Alves Nunes**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Professor da Universidade Federal de Rondônia.

**Claudia Daza Andrade**

Engenheira Civil pela Universidade Autónoma Juan Misael Saracho. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Professora da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Doutoranda em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro.

**Vitor Paiva Alcoforado Rebello**

Agrônomo pela Universidade Federal de Viçosa. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Doutorando em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Universidade Federal do Rio de Janeiro, Campus Ilha do Fundão – Cidade Universitária, Caixa Postal 68540, CEP 21.945-970 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil - Tel: (21) 3938-9600- e-mail: vass1000@gmail.com

### **RESUMO**

Este trabalho visa realizar a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Machadinho com apoio de sistema de informação geográfica e da tecnologia de sensoriamento remoto. Mais especificamente, empregou-se a base de dados imagens de satélite ASTER para estimar informações físicas associadas com a bacia de estudo, como área, perímetro, fator de forma, coeficiente de compactidade, índice de circularidade, elevação, declividade da bacia, declividade do curso de água principal, densidade de drenagem e ordem dos cursos de água. Constatou-se que a bacia hidrográfica do rio Machadinho, em função do formato retangular e alongado, apresenta, em condições normais, pouca propensão a enchentes, mas seus canais podem ser altamente impactados pelo transporte de sedimentos. Nesse sentido, evidencia-se que ações antrópicas devem ser avaliadas com maior rigor tendo em vista a potencial geração de processos erosivos que podem comprometer a qualidade da água produzida nessa bacia, o que requer especial atenção às modificações na cobertura e uso do solo da região.

**PALAVRAS-CHAVE:** Processos Hidrológicos, Indicadores morfométricos de bacia hidrográfica, Sensoriamento Remoto.

### **INTRODUÇÃO**

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características geomorfológicas, como, por exemplo, forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem e solo, e do tipo da cobertura vegetal. Desse modo, as características físicas e bióticas de uma bacia possuem importante papel nos processos do ciclo hidrológico, influenciando, dentre outros processos, a infiltração, a quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração e os escoamentos superficial, subsuperficial e subterrâneo. (TONELLO et al., 2006).

Assim, a análise morfométrica de bacias hidrográficas é definida como um conjunto de procedimentos que tem, como orientação, a investigação e a compreensão científica dos componentes naturais de uma bacia hidrográfica. Os estudos relacionados aos cursos fluviais, por meio de métodos sistêmicos e racionais como parâmetros quantitativos, podem levar ao esclarecimento de várias questões acerca da morfogênese e da morfodinâmica da paisagem, tendo em vista que a rede de drenagem assume papel de destaque na compartimentação do relevo.

As análises dos aspectos relacionados à drenagem, ao relevo e à geologia facilitam a compreensão de diversas indagações associadas à dinâmica ambiental local, sendo as informações obtidas, nesses estudos, fundamentais para a elaboração de projetos de engenharia, uma vez que a tomada de decisão é facilitada, e os parâmetros de planejamento podem ser modificados mediante os resultados obtidos (SILVA, 2011).

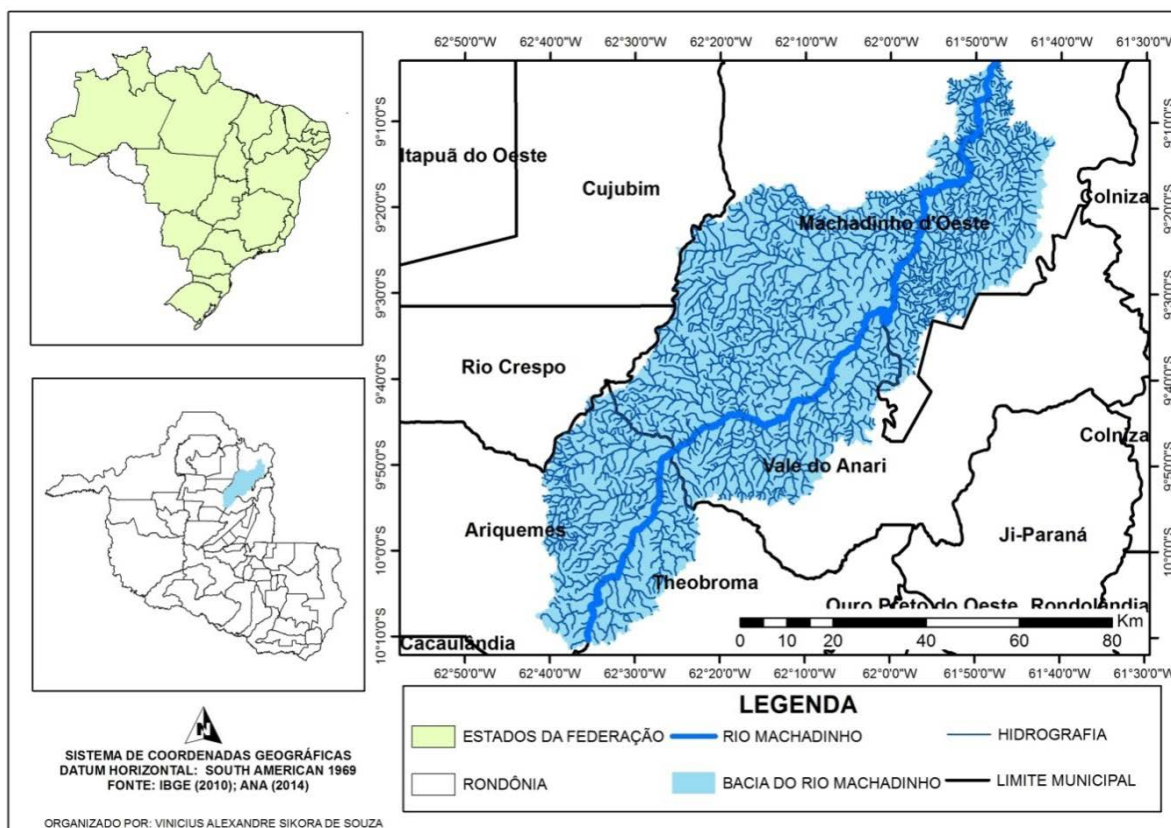
Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi realizar a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Machadinho a partir do levantamento de algumas informações fisiográficas, a saber: área, perímetro, fator de forma, coeficiente de compacidade, índice de circularidade, elevação, declividade da bacia, declividade do curso de água principal, densidade de drenagem e ordem dos cursos de água.

## ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Machadinho (Figura 1) encontra-se inserida totalmente no estado de Rondônia e integra o grupo das principais bacias do estado. Essa bacia localiza-se na Amazônia Ocidental, entre os paralelos de 09° 01' e 10° 12' de latitude sul e entre os meridianos de 61° 39' e 62° 49' de longitude oeste. A importância dessa bacia é significativa, pois é responsável pelo abastecimento de água da sede do município de Machadinho D'Oeste.

Ela se encontra na porção centro-leste de Rondônia, abrangendo uma área com extensão de 5.485,41 km<sup>2</sup>, inserida no domínio de quatro municípios, sendo eles Machadinho d'Oeste, Vale do Anari, Ariquemes e Theobroma.

O principal rio dessa bacia é o Machadinho, que possui uma extensão de aproximadamente 3.268 km, tendo sua nascente localizada na junção dos municípios de Ariquemes e Theobroma e sua foz no município de Machadinho d'Oeste. Deságua no rio Machado, que, por sua vez, tem sua foz no rio Madeira, o qual é um dos principais contribuintes do rio Amazonas.



**Figura 1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Machado.**

## MATERIAIS E MÉTODOS

A morfometria da bacia hidrográfica do rio Machado foi aferida para visualizar comportamentos típicos que tal unidade pode apresentar dado seu formato e conformação de seus rios. Essa ação também possibilitou confirmar os pressupostos apresentados, por exemplo, nos estudos de Collares (2000) e de Teodoro et al. (2007) onde destacam que, por essa análise, é possível elucidar as várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional, além de revelar indicadores físicos específicos para uma determinada porção da região, de forma a melhor qualificar as alterações ambientais.

Os índices morfométricos estimados encontram-se sumarizados na Tabela 1. As fórmulas para obtenção desses índices estão expostas no trabalho de VILLELA e MATTOS (1975).

Para a aplicação das fórmulas, tornou-se necessário delimitar a bacia e a hidrografia, utilizando, para tanto, o modelo digital do terreno obtido através de imagens ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) com resolução de 30 metros na versão 2, disponíveis no sítio da NASA (National Aeronautics and Space Administration), sendo que as imagens são do ano de 2011. Posteriormente, por meio dessas mesmas imagens, aferiu-se a declividade da região ao realizar o processamento de sua superfície na função declividade (slope) do código computacional ArcGIS 9.3.

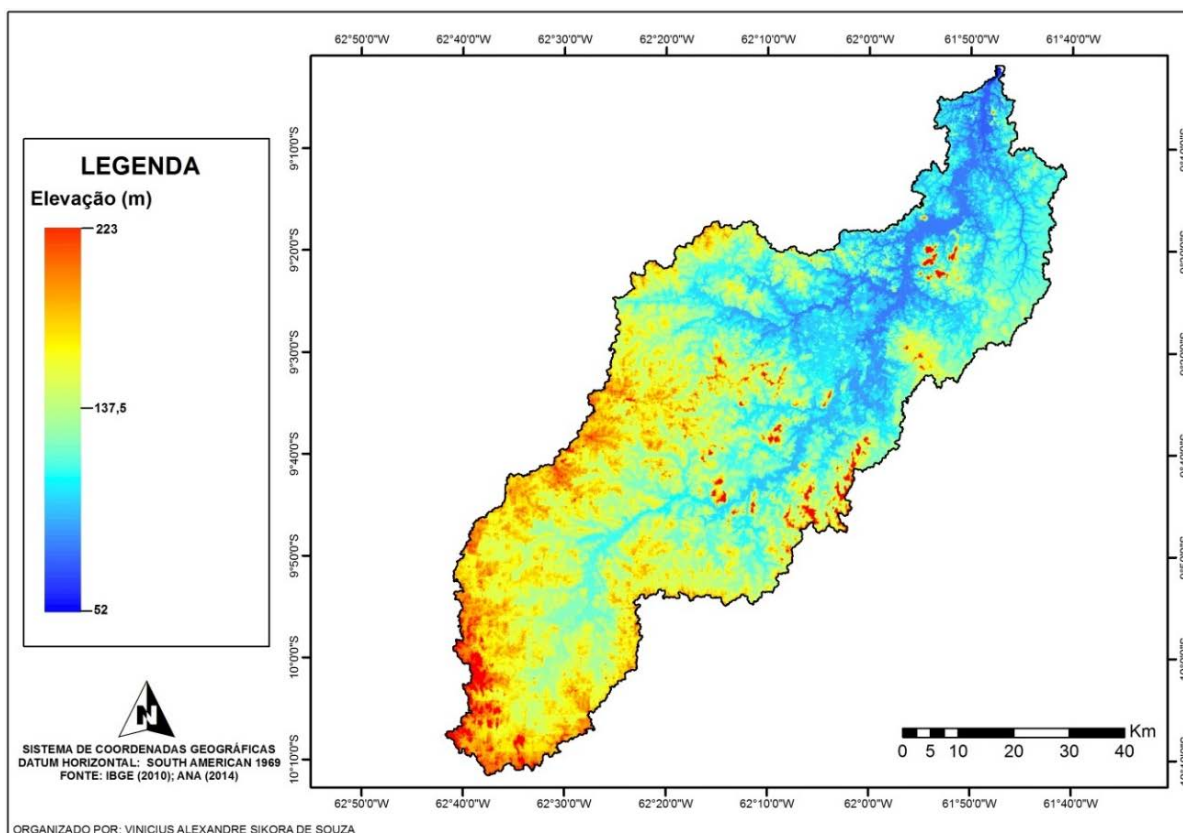
**Tabela 1: Índices morfométricos analisados.**

<b>Índice</b>	<b>Equação</b>	<b>Descrição</b>
Densidade de drenagem (Dd)	$Dd = Lb/A$	É a relação entre o comprimento dos canais ( $Lb$ ) e a área da bacia hidrográfica ( $A$ ).
Densidade hidrográfica (Dh)	$Dh = N/A$	A densidade hidrográfica é definida como o número de canais ( $N$ ) por unidade de área ( $A$ ).
Coefficiente de manutenção (Cm)	$Cm = 1000/Dd$	É o inverso da densidade de drenagem ( $Dd$ ).
Relação de relevo (Rr)	$Rr = \Delta a/L_t$	Esse parâmetro estabelece a relação entre a diferença de altitudes máxima e mínima na bacia ( $\Delta a$ ) e o comprimento total do canal principal ( $L_t$ ).
Gradiente do canal principal (Gc)	$Gc = a_{max}/L$	É a relação entre a cota máxima ( $a_{max}$ ) e o comprimento do canal principal ( $L$ ) expresso em porcentagem.
Índice de circularidade (Ic)	$Ic = 12,57(A/P_e^2)$	Representa a relação entre a área total da bacia e a área de um círculo de perímetro igual ao da área total da bacia.
Índice de sinuosidade (Is)	$Is = L_t/dv$	Relaciona o comprimento verdadeiro do canal (projeção ortogonal) ( $L_t$ ) com a distância vetorial (comprimento em linha reta) ( $dv$ ) entre os dois pontos extremos do canal principal.
Ordem da bacia	—	Determina o grau de ramificação ou bifurcação de uma bacia. A ordem da bacia será determinada pelo canal de ordem maior.
Índice de Compacidade (Kc)	$Kc = 0,28(P_e/\sqrt{A})$	O coeficiente de compacidade ( $Kc$ ) é a relação entre o perímetro da bacia ( $P_e$ ) e a circunferência de área ( $A$ ) igual à da bacia.
Fator de Forma (Ff)	$Ff = A/L_t^2$	É a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia hidrográfica.
Extensão do Percurso Superficial ( $E_{ps}$ )	$E_{ps} = 1/(2.Dd)$	Revela a evolução dos sistemas de drenagem.

## RESULTADOS

Devido à grande capacidade de tamponamento das águas que abastecem a estação, os diagramas de coagulação do sulfato de alumínio e de cloreto férrico ficaram restritos a uma faixa de pH de coagulação, praticamente inalterado, na região da varredura, pois a adição de coagulante, com ou sem acidulante, não promoveu diminuição do pH da água bruta. Em vista disso, não se julgou necessário a apresentação dos diagramas. Na tabela 2 estão contidos as melhores dosagens, o pH apropriado para coagulação e a melhor remoção de turbidez para cada coagulante primário em cada tipo de água.

O mapa altimétrico ou hipsométrico da bacia do rio Machadinho (Figura 2) revela que a altitude na bacia varia de 223 m a 52 m, com média de 92,11 m. As maiores altitudes ocorrem nas proximidades das nascentes dos principais rios, ao sul da bacia, em uma região de agrupamentos de morros e colinas. Já o ponto mais baixo localiza-se no exutório da bacia.



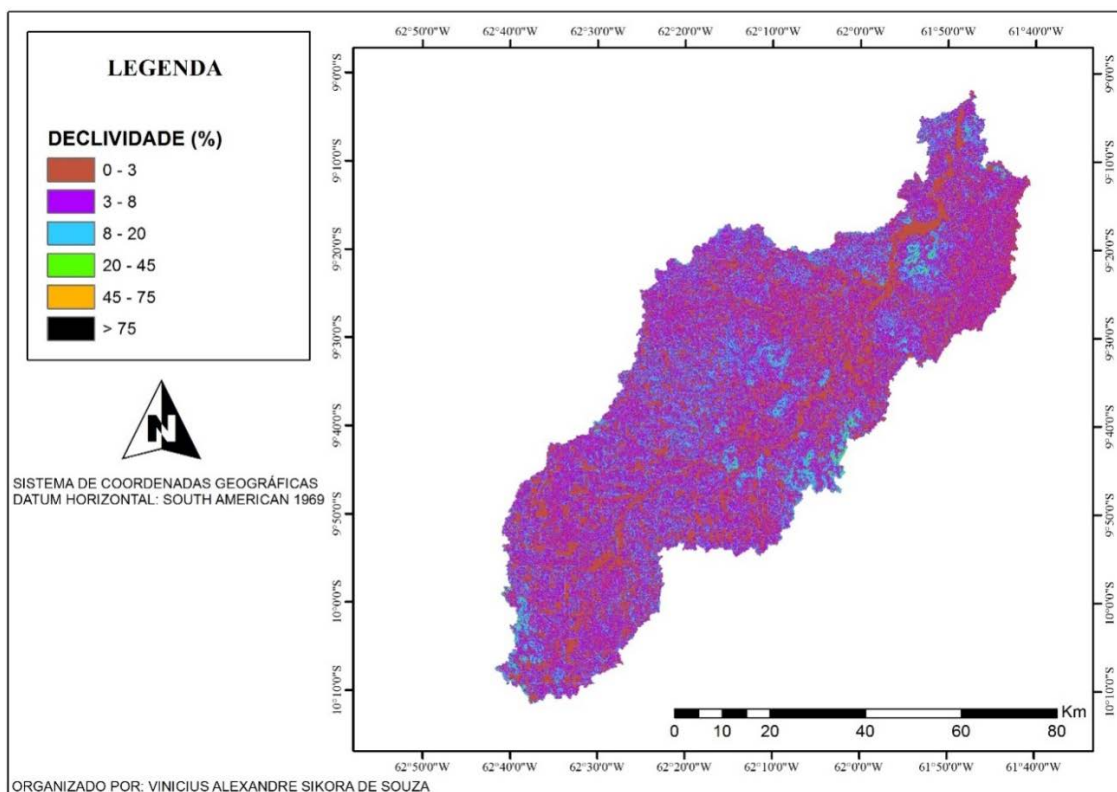
**Figura 2: Mapa altimétrico da bacia do rio Machado.**

No mapa altimétrico da região, possibilita-se a identificação dos pontos elevados que sofrem processos erosivos e regiões planas que recebem os sedimentos. Os pontos mais pronunciados são suscetíveis aos processos de aplainamento, vindo a formar as unidades geomorfológicas denudacionais. Por outro lado, as planícies fluviais recebem os sedimentos desprendidos e transportados dos pontos mais elevados.

O mapa clinográfico da bacia é apresentado na Figura 3. Verifica-se que grande parte da bacia apresenta valores de declividade inferiores a 8%, constando-se, assim, que o relevo da região varia de plano a suavemente ondulado em cerca de 89,3% da área da bacia. Os valores mais baixos encontram-se nas vertentes próximas aos cursos de água. Verificou-se que o valor máximo de declividade observado na bacia foi de 94,24%, enquanto o valor médio foi de 4,62%. Portanto, observa-se que, na área de estudo, há o predomínio de declividades baixas típicas de planícies.

Os índices morfométricos da bacia do rio Machado, por sua vez, são apresentados na Tabela 2.





**Figura 3: Mapa clinográfico da bacia do rio Machado.**

**Tabela 1: Principais índices físicos da bacia do rio Machado.**

Índice	Valor
Perímetro (km)	860,23
Área (km²)	5.485,41
Comprimento total dos cursos de água (km)	4613,90
Comprimento do curso de água principal (km)	230,60
Densidade de drenagem (Dd)	0,84
Densidade hidrográfica (Dh)	0,44
Coefficiente de manutenção (Cm)	1188,89
Relação de relevo (Rr)	$7,42 \cdot 10^{-4}$
Gradiente do canal principal (Gc)	$9,67 \cdot 10^{-2}$
Índice de circularidade (Ic)	0,09
Índice de sinuosidade (Is)	1,50
Índice de Compacidade (KC)	3,25
Fator de Forma (Ff)	0,10
Ordem	7,00
Extensão do Percurso Superficial	0,60

Pode-se observar que o perímetro e área da bacia do rio Machado são 860.235,78 km e 5.485,41 km², respectivamente. O comprimento do seu canal principal, por sua vez, é de 230,6 km, com ordem atribuída de grau 7.

O parâmetro densidade hidrográfica considera a média da quantidade de canais por quilômetro quadrado de uma bacia, demonstrando sua capacidade hídrica e competência na formação de novos canais fluviais; dessa forma, o valor encontrado 0,44 canais/km<sup>2</sup> revela que, em função de seus atributos físicos, como geológicos e topográficos, a área tem grande dificuldade para formação de novos canais fluviais (SANTOS e MORAIS, 2012).

A relação de relevo encontrada com aplicação do parâmetro foi de  $7,42 \cdot 10^{-4}$ , indicando que a bacia tem uma baixa relação de relevo entre os componentes horizontais (alongamento) e verticais (baixa amplitude altimétrica).

Analizando o fator de forma da bacia (0,10), evidencia-se que o mesmo é próximo de zero (0), indicando, assim, uma menor propensão a enchentes por possuir uma forma mais alongada. O índice de circularidade de 0,09 também mostra algo semelhante, visto que a forma da área de drenagem dista significativamente da forma de um círculo; logo, o hidrograma da bacia em estudo possui pico pouco acentuado, com baixo risco de cheias e um elevado tempo de concentração quando comparado a outras bacias mais circulares.

Complementando as constatações anteriores, o índice de compacidade obtido foi 3,25, indicando que a bacia possui formato próximo ao retangular, denotando, assim, uma menor potencialidade de enchentes (PORTO et al., 1999).

Como o índice de sinuosidade mostrou-se acima de 2,0, o sistema drenante caracteriza-se por redes de drenagem sinuosas, podendo haver acúmulos de sedimentos, o que pode ser agravado pela ação antrópica (STIPP et al., 2010).

O gradiente de inclinação do canal principal da bacia foi de aproximadamente 0,01%, mostrando, assim, segundo STIPP et al. (2010), que a área drenada por esse sistema fluvial naturalmente não sofre uma grande pressão pela erosão fluvial, denotando, no entanto, a grande importância dos processos erosivos nas vertentes na modelagem dessa rede de drenagem.

O valor de densidade de drenagem calculado para a bacia foi de 0,84 km/km<sup>2</sup>; esse fator qualifica a bacia em medianamente drenada, conforme os padrões de classificação adotados por BELTRAME (1994). Assim, a bacia do rio Machadinho não possui uma grande eficiência em seu sistema de drenagem, indicando que tem um fluxo mais lento no escoamento superficial, originado da chuva, para a sua chegada na saída da bacia (SILVA, 2011).

O valor encontrado para o coeficiente de manutenção de 1188,89 m<sup>2</sup>/m revela que cada canal da bacia possui essa magnitude em média para sua manutenção (área de recarga) e evolução da drenagem, denotando ter uma boa área de distribuição da rede hidrográfica. No entanto, o parâmetro densidade hidrográfica, que considera a média da quantidade de canais por quilômetro quadrado de uma bacia, conforme destacado previamente, contrasta com essa interpretação, uma vez que o valor de 0,44 canais/km<sup>2</sup> revela grande dificuldade para formação de novos canais fluviais.

A extensão do percurso superficial para a bacia em estudo foi 0,60; esse é o valor que representa a distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente (SILVA, 2011).

Ao analisar conjuntamente os índices físicos da bacia, depreende-se que essa área possui formato retangular e alongado e, como exposto anteriormente, em condições normais, apresenta pouca propensão a enchentes, mas seus canais podem ser altamente impactados pelo transporte de sedimentos. Logo, ações antrópicas na bacia devem receber especial atenção, pois estão, usualmente associadas à produção de processos erosivos que podem comprometer a qualidade da água nos corpos hídricos da bacia do rio Machadinho.

## CONCLUSÕES

O presente estudo mostrou a possibilidade de lançar mão de geotecnologias na perspectiva de integrar geoprocessamento e imagens de satélite com a determinação e avaliação de um sistema complexo como a bacia hidrográfica por meio de diversos índices, muitos deles construídos e expostos em uma literatura relativamente recente. Adicionalmente, o emprego de imagens de satélite permite o processo de monitoramento em bacias

pouco ou não monitorados, oferecendo condições de realizar diversos estudos de diagnóstico sobre o comportamento hidrológico-hidráulico de uma bacia hidrográfica.

Em especial, neste trabalho, a morfometria da bacia do rio Machadinho pôde ser caracterizada como de formato retangular e alongado. Nas atuais condições de ocupação da bacia, há pouca propensão para enchentes. No entanto, como foi destacado anteriormente, o diagnóstico é de que há potenciais condições para produção de sedimentos e impactos na qualidade de água em especial decorrentes da evolução da cobertura e uso do solo na região. Nesse sentido, recomendam-se oportunos estudos de avaliação e acompanhamento das modificações na cobertura e uso do solo na bacia de estudo.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são dirigidos às agências de fomento CAPES, FAPERJ, CNPq e FINEP, que, por meio de bolsa CNPq concedida ao primeiro autor, bem como suporte aos projetos FAPERJ – Pensa Rio – Edital 19/2011 (2012-2014) e Pensa Rio – Edital 34/2014 (2014-2017) – E-26/010.002980/2014, FAPERJ – Processo E-26/103.116/2011 (2012-2014) e CNPq Edital Universal No. 14/2013 – Processo 485136/2013-9, entre outros, estimulam o avanço científico-tecnológico brasileiro na temática que abrange o escopo desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BELTRAME, A. V. Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação. Florianópolis, UFSC, 1994.
2. COLLARES, E.G. Avaliação de alterações em redes de drenagem de sub-bacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas: aplicação na bacia hidrográfica do Rio Capivari-SP. Tese de Doutorado em Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2000.
3. PORTO, R. L.. Bacias hidrográficas . In: Escola politécnica da USP. 1999.
4. SANTOS, D. A. R.; MORAIS, F. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Lago Verde como subsídio à compartimentação do relevo da região de lagoa da Confusão – TO, Revista Geonorte, v. 3, n. 4, pp. 617-629, 2012.
5. SILVA, R. C. Análises morfométricas e hidrológicas das bacias hidrográficas do córrego Teixeira, ribeirão das Rosas e ribeirão Yung, afluentes do rio Paraibuna, município de Juiz de Fora/MG, Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização em Análise Ambiental, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011.
6. 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, Londrina, v. 3, n. 1, 2010.
7. TEODORO, V. L. I.; TEXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local, Revista Uniara, n. 20, 2007.
8. TONELLO, Kelly Cristina et al. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães - MG. Rev. Árvore, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006.
9. VILELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada, McGraw-Hill, São Paulo, 1975.