

Aplicação do Conceito de Geoindicadores na Avaliação da Disponibilidade Hídrica em Bacias Hidrográficas – Uma Abordagem Introdutória

Paulo Valladares Soares e Sueli Yoshinaga Pereira

Instituto de Geociências/UNICAMP

Pusoares1@yahoo.com.br, sueliyos@ige.unicamp.br

Silvio Jorge C. Simões e George de Paula Bernardes

Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá/UNESP

simoes@feg.unesp.br; gpb@feg.unesp.br

Recebido: 19/05/04 revisado: 14/04/05 aceito: 01/02/06

RESUMO

Este trabalho procura discutir os conceitos de indicadores e geoindicadores ambientais com ênfase em suas aplicações aos recursos hídricos. Desta forma são considerados, de maneira integrada, elementos das disciplinas de Geologia, Geotecnia e Hidrologia procurando assim, enfatizar os processos de infiltração como os responsáveis para a manutenção do solo como um reservatório dinâmico de produção e transferência de água. Nesta abordagem introdutória, é sugerido o desenvolvimento de geoindicadores que estejam relacionados às vazões mínimas, a redução do nível freático e o grau de evolução dos processos erosivos. Espera-se que o desenvolvimento destes geoindicadores contribua para o aprimoramento de ações que levem a sustentabilidade hídrica de bacias hidrográficas em diferentes escalas.

Palavras Chave: *Geoindicadores; processos de infiltração; sustentabilidade hídrica.*

INTRODUÇÃO

Os processos de infiltração são responsáveis pela manutenção do solo como reservatório dinâmico de produção e transferência de água, assim como pela manutenção do escoamento básico de rios o que garante a mínima disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica, principalmente na época de estiagem. Apesar disto, os processos de infiltração têm sido negligenciados na análise dos sistemas hídricos para fins de gerenciamento. Em parte, isto se deve à complexidade e às dificuldades de se quantificar os movimentos de percolação da água no interior do solo e também devido a sua elevada heterogeneidade (Viessman & Lewis, 1995).

Este trabalho tem como foco principal subsidiar as investigações dos fatores que influenciam a capacidade de infiltração das águas de uma bacia hidrográfica dentro de um enfoque de interação entre os processos hidrológicos e demais processos do meio físico. Um dos principais objetivos desta abordagem é considerar a água não apenas como um recurso, mas uma parte essencial de um sistema ambiental, através de um enfoque

espacial e temporal que considere os reservatórios e os fluxos de conexão na interação entre águas superficiais e águas subterrâneas.

Um aspecto a ser enfatizado é que embora um sistema ambiental tenha um número ilimitado de elementos de análise e inter-relações, ele é controlado por um número relativamente pequeno de processos fundamentais e que podem ser passíveis de análise. A definição de geoindicadores se constitui uma alternativa para reduzir esta complexidade, pois possibilita identificar um conjunto reduzido de parâmetros que descrevem um sistema dinâmico e que poderia representar todos os processos que estão inter-relacionados.

Neste trabalho pretende-se inicialmente discutir o conceito de indicadores e geoindicadores para, em seguida, propor geoindicadores relacionados aos recursos hídricos tendo como elemento de referência fundamental os processos de infiltração.

Esta abordagem metodológica começa a ser aplicada em uma bacia de afluente do rio Paraíba do Sul, no caso a bacia do ribeirão Guaratinguetá. Esta bacia, com cerca de 165 km², possui uma

grande complexidade do meio físico com vários domínios geológicos-geomorfológicos e uma grande diversidade quanto ao uso da terra. Em face de sua diversidade, esta bacia seria adequada para implementar a proposta metodológica sugerida.

Diante deste quadro, o estabelecimento de geoindicadores de sustentabilidade hídrica relacionados aos processos de infiltração se constitui uma ferramenta imprescindível para o gerenciamento dos recursos hídricos e para subsidiar as futuras ações no âmbito dos comitês de bacias local e regional. O conceito de “sustentabilidade” é aqui entendido como a disponibilidade de um recurso natural frente às diferentes formas de demandas.

Se deve ressaltar que não se pretende neste trabalho apresentar resultados, mas sim, discutir as possibilidades de se desenvolver geo-indicadores relacionados aos recursos hídricos com base na experiência de uma equipe com formação inter/multidisciplinar.

INDICADORES AMBIENTAIS

As primeiras discussões sobre os indicadores ambientais ocorreram na década de 70, mas foi somente a partir da realização da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento de 1992, no Rio de Janeiro, que a construção de indicadores e índices ambientais tomou uma maior evidência no cenário internacional incluindo a informação ambiental no processo de tomada de decisões (Lenz *et al.*, 2000).

Conforme ressalta Serra (2002), “firmou-se um compromisso, no âmbito das Nações Unidas, para identificar conjuntos de indicadores, descrever metodologias, definir estruturas para organizá-los, testá-los no contexto nacional e promover treinamentos relativos ao seu uso”. Ainda segundo Serra (2002) diversos organismos internacionais, nacionais e ONGs, vêm trabalhando neste sentido tais como: United Nations Development Program (UNDP), United Nations Environment Program (UNEP) e World Resources Institute (WRI).

Em face dos objetivos específicos e funções que se desejam alcançar, o conceito de indicadores ambientais possui distintos significados para diferentes autores e organismos. Neste trabalho define-se indicadores ambientais como “a medida da integridade, estabilidade e sustentabilidade do ambiente físico e biótico” (Berger & Ian, 1996). Tem-se, portanto, uma definição pautada nos

indicadores do meio físico antes que em indicadores de outra natureza como os sócio-econômicos.

Uma forma de entender a noção de indicadores é através da “pirâmide de informação” apresentada por Serra (2002), no sentido de organizar e posicionar as informações em diferentes níveis hierárquicos (figura 1).

Quando se caminha da base para o ápice, se vai à direção de níveis crescentes de agregação de dados. As camadas mostradas na figura 1 seriam categorias interdependentes onde, para se subir um determinado nível, necessitaria um aumento no conteúdo da informação. Os níveis de agregação dos dados na “pirâmide de informação” possibilitam uma ampla visão e ajudam a compreender a importância de se estabelecer indicadores a partir de uma determinada base preliminar de dados.



Figura 1 - Pirâmide de Informação (Serra, 2002).

Na porção inferior da pirâmide se situariam os *dados primários*, os quais necessitam serem consistentes para não comprometerem a proposição do(s) geoindicador(es). No nível hierárquico seguinte se teriam os *dados analisados*, sobre os quais deveriam ser utilizadas técnicas mais aprimoradas considerando, sempre que possível, os princípios da aleatoriedade e da incerteza que acompanham a análise dos dados ambientais. Em face destes dados normalmente apresentarem significativa heterogeneidade espacial e temporal é fortemente recomendado à utilização de abordagens de cunho espacial – via sistemas de informação geográfica – e o tratamento estatístico aplicado. No nível superior acima, se teria a formulação dos *indicadores ambientais* reduzindo o ruído da informação e propondo aqueles que poderiam ser, potencialmente, avaliados quali/quantitativamente.

Finalmente, no nível hierárquico mais superior, ter-se-ia a construção de *índices*, com um enfoque exclusivamente quantitativo. Os índices podem representar um quadro simplificado do estado do ambiente e, em face desta simplificação, serem mais adequados para tomadas de decisões e na orientação das ações de planejamento.

Os indicadores e índices representam, portanto, a forma mais sintética de agrupamento de dados primários derivados de programas de monitoramento e análises de dados. Conforme ressalta Serra (2002), a pirâmide de informações pode ser pensada como um funil invertido, cuja base comporta uma grande quantidade de dados que devem ser comprimidos para gerar, no topo, um índice. Se a análise dos dados segue uma sistematização técnico-científica adequada, a construção dos indicadores e índices vai depender da base de dados que tanto pode ser excessiva como deficitária.

A diversidade de procedimentos e o grau de evolução dos dados em diferentes regiões do planeta leva freqüentemente a uma falta de consenso no sentido de determinar quais indicadores seriam os mais apropriados para a construção de uma base comum.

Todo o processo de formulação de indicadores tem ocorrido em graus bastante diferentes de país para país sendo este dependente, fundamentalmente, da base de dados disponível e do tempo de operação das redes de monitoramento. No caso dos países periféricos existe uma descontinuidade muito grande na obtenção de dados primários o que compromete a qualidade da construção de indicadores e índices. Portanto, estabelecer redes de monitoramento modernas e operantes é um passo fundamental para que o princípio da pirâmide da informação possa ser bem empregado.

GEOINDICADORES AMBIENTAIS

Nas últimas décadas, têm surgido esforços para congrega e estabelecer bioindicadores (Jeffrey & Madden, 1991), indicadores para os solos (Fedoroff & Courty, 1989), indicadores para as condições das florestas (Riitters *et al.*, 1992) e indicadores para o clima (relatórios periódicos do *Intergovernmental Panel Climate Change - IPCC*). De uma maneira um pouco tardia têm surgido esforço para a criação de geoindicadores, principalmente a partir da publicação do livro de Berger & Ian (1996).

Uma mobilização da comunidade de geocientistas tem surgido, em diversas partes do mundo, no sentido de criar ações relacionadas aos geoindicadores. Uma das ações mais importantes são as reuniões do *Cogeoenvironment* organizado pelo USGS, sendo a última delas realizada no Japão em 2002 com a presença de representante brasileiro.

Tabela 1- Suscetibilidade natural vs. humana sobre os geoindicadores considerando um período de tempo inferior a 100 anos. ■ forte suscetibilidade; ▲ baixa suscetibilidade (Berger & Ian, 1996, simplificado)

Geoindicadores	Suscetibilidade à processos naturais	Suscetibilidade à processos antrópicos
Águas de superfície	▲	■
Águas subterrâneas – nível do lençol freático	▲	■
Água Subterrânea - qualidade	▲	■
Água subterrânea - química da zona não-saturada	■	■
Áreas úmidas extensas, estrutura, hidrologia	■	■
Ambientes fluviais - morfologia	■	■
Ambientes fluviais - escoamento	■	■
Movimentos de massa	■	■
Sedimentação – composição	■	■
Sedimentação – transporte e armazenamento nos rios	■	■
Solos – erosão e sedimentação	■	■
Solos – qualidade	▲	■
Sub-superfície – Soerguimentos e subsidências	■	▲

Pela definição do *Cogeoenvironment*, geoindicadores são “medidas de processos geológicos e fenômenos ocorrendo perto, ou na superfície terrestre, e sujeitas a variações significantes para o monitoramento ambiental em períodos igual ou inferior a 100 anos”. A ênfase é

dirigida para processos abióticos ocorrendo em diferentes escalas (áreas variando de 0.1 a 100 km²) considerando eventos graduais ou catastróficos. Os geoindicadores podem ter origem natural ou antrópica embora haja um elevado grau de incertezas para distinguir os processos naturais dos processos decorrentes da ação do homem (tabela 1).

Apesar dos geoindicadores se constituírem uma importante ferramenta no planejamento geo-ambiental são poucos os trabalhos de pesquisa e divulgação dos geoindicadores no Brasil. Entre estes trabalhos se pode citar os de Coltrinari (1996), Bitar *et al.*, (1996), Simões (1999), Serra (2002).

Porém isto não é privilégio do Brasil. Os relatórios de caráter regional e nacional referentes à situação ambiental de alguns países dão maior importância aos parâmetros biológicos e químicos relacionados à poluição. Poucos tratam com parâmetros relacionados à dinâmica do meio físico e como estes processos influenciam nas mudanças da paisagem e na intensificação de fenômenos tais como erosão acelerada, assoreamento, inundação e variação no nível do lençol freático.

Um dos motivos que os geoindicadores vêm sendo negligenciados em diversos programas ambientais é certamente devido ao fato dos fenômenos geológicos freqüentemente envolverem enormes períodos de tempo (escala de milhões de anos) o que é aparentemente incompatível com a curta escala de tempo da civilização humana. Porém, a recente ênfase que muitos pesquisadores têm dado para o período Quaternário, particularmente o Holoceno (últimos 10.000 anos), tem demonstrado que fenômenos geológicos de origem natural podem acontecer em curtíssimos períodos de tempo, ou seja, dentro da escala do Homem.

Como exemplo, atividade erosiva acelerada pode deslocar volumes imensos de solo em poucas décadas a partir de mudanças de origem natural ou antropogênica (Descroix & Gautier, 2002; Viles & Goudie, 2003).

Por outro lado, o conceito de geoindicadores não deve ser confundido com a noção de processo físico. Enquanto o conceito de “processos do meio físico” tem uma conotação mais ampla, os indicadores devem traduzir as alterações impostas sobre o meio físico e orientar na definição dos parâmetros de medição que deverão ser estabelecidos em seguida. A tabela 2 mostra um exemplo da maneira como os geoindicadores se relacionam com os processos físicos.

Tabela 2 – Indicadores relacionados a um exemplo de processo do meio físico e alguns parâmetros de medição (Bittar *et. al.*, 1996, modificado)

Processo do Meio Físico	Geoindicadores	Parâmetros
Erosão pela água	Feições erosivas de pequeno porte (sulcos e ravinas)	Comprimento e profundidade (m) Área afetada pela erosão(m). Aporte do escoamento das águas superficiais(m ³ /s)
	Feições erosivas de grande porte (ravinas e boçorocas)	Parâmetros idênticos ao anterior acrescentado da posição do nível de água subterrânea

INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE E RECURSOS HÍDRICOS

Tradicionalmente, os indicadores de sustentabilidade relacionados aos recursos hídricos têm sido fortemente direcionados para o controle de qualidade da água e dos ambientes aquáticos. Como exemplo se podem citar os indicadores de sustentabilidade hídrica propostos pela agência de proteção ambiental canadense (Berger & Ian, 1996) e pela agência de proteção ambiental americana (EPA). Indicadores relacionados à disponibilidade hídrica são mais raramente estabelecidos e normalmente associam disponibilidade hídrica com projeções populacionais ou de consumo. Utilizando a noção de geoindicadores, Osterkamp & Schumm (1996) e Edmunds (1996) propuseram que descargas líquidas, nível piezométrico e parâmetros físicos dos solos poderiam constituir-se em geoindicadores ambientais relacionados aos recursos hídricos. Entretanto, estes poderiam ser considerados geoindicadores “gerais” que necessitariam ser melhor aprofundados para que possam ser mais adequadamente quantificados e aplicados em bacias de pequeno e médio portes.

No caso do Brasil, a construção dos indicadores também tem sido direcionada para a qualidade da água com prioridades para o setor de saúde pública e também para os indicadores de disponibilidade com prioridade para os setores de energia, de irrigação e de abastecimento (Magalhães

Jr. *et al.*, 2003). Uma outra utilização de indicadores foi proposta por Castro *et al.* (2004) para a avaliação de sistemas de drenagem urbana por meio de técnicas de multicritério.

Indicadores de disponibilidade hídrica mais voltados para a gestão de bacias hidrográficas de pequeno e médio porte são mais raramente estabelecidos. A formulação de indicadores com este objetivo deve levar fortemente em consideração a integração dos elementos e dos processos do meio físico - natural e modificado - e as interações entre água superficial e água subterrânea.

Um elemento de referência fundamental são os processos de infiltração que podem ser o responsável para a manutenção do solo como reservatório dinâmico de produção de água. Do ponto de vista natural, para se avaliar as condições de infiltração de uma determinada região, se necessita conhecer como funciona o sistema solo - água e as interações entre a drenagem superficial e a dinâmica do fluxo subterrâneo nas zonas saturadas e não-saturadas dos solos e rochas (Sophocleous, 2002).

Na zona *vadosa* ou não saturada, é fundamental conhecer a dinâmica de fluxo descendente (infiltração), do fluxo ascendente (evaporação) e da água armazenada. Este controle pode ser monitorado através da medição da distribuição da sucção mátrica. Na zona saturada, o acompanhamento sazonal do nível piezométrico é um dos elementos fundamentais para se estabelecer um programa de monitoramento levando-se em conta determinados objetivos específicos. Caracterizações pontuais de parâmetros físicos dos solos (textura, densidade, taxa de infiltração, permeabilidade, condutividade hidráulica) complementam as variáveis e parâmetros necessários para se conhecer as condições de infiltração.

Com base nas considerações acima se pode estabelecer um número relativamente pequeno de parâmetros que poderiam ser definidos como “indicadores da sustentabilidade hídrica na inter-relação águas superficiais - águas subterrâneas”. Em um primeiro momento, foram considerados os seguintes conjuntos de indicadores:

- a) **Vazões mínimas** – a caracterização das vazões mínimas tem um papel fundamental na sustentabilidade hídrica de uma bacia. Pelo seu papel na manutenção de ecossistemas são também designadas “vazões ecológicas”. No Brasil, a vazão mínima de referência $Q_{7,10}$ tem sido a mais utilizada em projetos e estudos relacionados à gestão

dos recursos hídricos. Entretanto, hoje esta disponível diversas metodologias para determinar vazões mínimas a partir de abordagens tanto qualitativas quanto quantitativas (Silveira & Tucci, 1998; Benetti *et al.*, 2003; Silveira *et al.*, 2005). Em face da dificuldade de se obter séries longas de vazão, as abordagens que utilizam métodos alternativos são as mais adequadas para serem utilizadas como geo-indicadores. As informações relacionadas à geologia, geomorfologia e a pedologia compõem os “indicadores do meio físico” ou “indicadores fisiográficos” os quais devem ser fortemente levados em consideração nas estimativas de vazões mínimas.

- b) **Rebaixamento do nível freático** – o nível freático pode ser apresentado como resultado de um processo de infiltração da água que se iniciou da superfície do solo atravessando a zona não saturada e que se estocou na zona saturada. O processo de infiltração está relacionado à capacidade de infiltração do solo, que por sua vez é função de permeabilidade, do grau de umidade (sucção) e de condições como presença de vegetação, por exemplo, que favoreça este processo. O nível freático varia sazonalmente e sua oscilação pode representar a variação na capacidade de estocagem de água durante um período em uma bacia hidrográfica. Esta variação de estocagem interferirá na maior ou menor descarga nos rios durante a estiagem (considerando um rio efluente). O rebaixamento constante do nível freático pode indicar que não há armazenamento suficiente no sistema que descarregue na drenagem, que há favorecimento e predominância do escoamento superficial; ou, do contrário, drenagens intermitentes (rio influentes) podem indicar que não houve armazenamento suficiente do aquífero freático, logo não há escoamento básico nestes corpos de água. Os resultados do monitoramento do nível freático, acompanhados da observação das transformações físico-ambientais em uma bacia hidrográfica, podem indicar modificações ocorrentes nos processos de recarga e descarga do aquífero, e conseqüentemente revelar que a disponibilidade hídrica da bacia pode estar

sendo afetada por essas transformações. Assim como nas vazões mínimas, a espacialização da superfície freática é importante, pois possibilita a visualização do comportamento desta superfície com a sazonalidade e possíveis mudanças de comportamento em relação às suas áreas de descarga e de recarga.

- c) **Grau de evolução dos processos erosivos** – a avaliação do potencial erosivo em encostas pode ser executada a partir de diversas propostas de abordagem; entre estas destacam-se as abordagens geomorfológica e geotécnica. Na abordagem geomorfológica, são considerados os elementos morfométricos relacionados à dinâmica da paisagem e a sua fragilidade aos processos naturais; na abordagem geotécnica, a ênfase é direcionada para os ensaios quantitativos. Entre os ensaios para se avaliar, quantitativamente, a erosão destacam-se os ensaios de desagregação conhecidos como “interbitzem” e “pinhole” (Araújo, 2000). Outros ensaios são baseados em correlações com as características dos solos, principalmente através da granulometria, sucção, gênese e capacidade de sorção. Um novo método para quantificar os processos erosivos é através da resistência à tração do solo com base no ensaio de compressão diametral conhecido por “Ensaio Brasileiro”.

Tabela 3 - Geoindicadores e formas de medição

Conjunto de indicadores	Geoindicadores de medida	Principais formas de medição
Vazão mínima	Métodos com base em parâmetros do meio físico	Medições de vazão Mapas topográficos e temáticos
Rebaixamento do nível freático	Variação intra-anual e inter-anual de nível	Ensaio de campo (piezômetros)
Processos erosivos	Elementos morfométricos, Ensaio de desagregação e de tração	Dados cartográficos Ensaio de campo (“interbitzem” e “pinhole”).

A tabela 3 mostra de forma sucinta, a relação entre os conjuntos de indicadores, os indicadores de medida e as principais formas de medição.

CONCLUSÕES

Em diversas regiões brasileiras, para o entendimento da escassez dos recursos hídricos, se necessita entender toda a dinâmica das variáveis do ciclo hidrológico. A análise dos processos de infiltração, através da caracterização de geoindicadores, se constitui um caminho para ajudar a compreender as relações de interação entre águas de superfície e águas subterrâneas, e por conseguinte, a disponibilidade hídrica destes recursos.

A análise de um conjunto de geoindicadores relacionados às vazões mínimas, ao rebaixamento do nível freático e a evolução dos processos erosivos possibilita avaliar, no seu conjunto, as condições de infiltração de uma bacia e, por conseguinte, a sua disponibilidade hídrica.

Como próximas ações, pretende-se realizar o detalhamento destes parâmetros através de enfoques quantitativos aplicados em uma bacia de afluente do rio Paraíba do Sul.

Neste sentido, espera-se que o desenvolvimento e a aplicação do conceito de geoindicadores contribua para o aprimoramento de ações que levem à sustentabilidade hídrica de bacias hidrográficas em diferentes escalas.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP pelo apoio recebido através do Programa de Políticas Públicas (Processo 2000/13714-1).

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, R.C. - Estudo da erodibilidade de um solo da Formação Barreiras, dissertação de mestrado, Depto. de Engenharia Civil, PUC-Rio, 147p. 2000.
- BENETTI, A.D.; LANNA, E.A.; COBALCHINI, M.S. - Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, pp 149-160, vol. 8, n. 2. Porto Alegre. 2003.
- BERGER, A.R. & IAM, W.J.- Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems. Rotterdam, A. A. Balkema. 464p. 1996.
- BITTAR, O.Y; FORNISSARI FILHO, N.; CONSONI, A.J.; BRAGA, T.O.; GALVES, M.L.; VASCONCELOS, M.M.T. - A abordagem do meio físico em EIA através do estudo de

- processos: Um método recomendado para empreendimentos em ambientes tropicais. Avaliação de Impactos, pp 35-45, vol. 1, n. 2. Rio de Janeiro. 1996.
- CASTRO, L.M.A.; BAPTISTA, M.B.; NETTO, O.M.C. – Análise multicritério para a avaliação de sistemas de drenagem urbana. Proposição de indicadores e de sistemática de estudos. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, pp 5-19, vol. 9, n. 4. Porto Alegre. 2004.
- COLTRINARI, L. - Natural and anthropogenic interactions in the Brazilian tropics. In: A. R. Berger & W. J. Iams (eds.) Geoindicators. Assessing Rapid Environmental Changes in Earth Systems. Rotterdam, A.A. Balkema. p. 295-310. 1996.
- DESCROIX, L. & GUATIER, E. - Water erosion in the southern French alps: climatic and human mechanisms. Catena, pp 53-85, vol. 50. Orlando. 2002.
- EDMUNDS, M.- Indicators in the groundwater environment of rapid environmental Change. In: A. R. Berger & W. J. Iams (eds.) Geoindicators. Assessing Rapid Environmental Changes in Earth Systems. Rotterdam, A.A. Balkema. p. 135-150. 1996.
- FEDOROFF, N. & COURTY, M.A. - Indicateurs pédologiques d'aridification. Exemples du Sahara. Bulletin de la Société Géologique de France, pp 43-53, vol. 8, n.1. Paris. 1989.
- JEFFREY, D. W. & MADDEN, B. - Bioindicators and environmental management. London, Academic Press. 458p. 1991.
- LENZ, R.; MALINA-PYKH, J.G.; PIKH, Y. -- Introduction and overview. Ecological Modelling, pp. 1-11. vol. 130. Orlando. 2000.
- MAGALHÃES JUNIOR, A.P.; CORDEIRO NETTO, O.M.; NASCIMENTO, N. O. - Os indicadores como instrumentos potenciais de gestão das águas no atual contexto legal-institucional do Brasil – Resultados de um painel de especialistas. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, pp 49-67, vol. 8, n. 4. Porto Alegre. 2003.
- OSTERKAMP, W.R. & SCHUMM, S. A. - Geoindicators for river and river-valley. In: Berger & W.J. Iams (eds.) - Geoindicators: Assessing Rapid Environmental Changes in Earth Systems. Rotterdam, A.A. Balkema, p. 97-114. 1996.
- RIITERS, K.H.; LAW, B.E.; KUCERA, R.C.; GALLANT, A.L.; DE VELICE, R.L.; PALMER, C.J. - A selection of forest condition indicators for monitoring. Environmental Monitoring and Assessment, pp 21-33, vol. 20. Rotterdam. 1992.
- SERRA, A.L.R.C. – Indicadores de pressão para o córrego Piçarrão. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP. Campinas, 119p. 2002.
- SILVEIRA, G. L. & TUCCI, E.M. – Monitoramento em pequenas bacias para a estimativa da disponibilidade hídrica. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, pp 97-110, vol. 3, n. 3. Porto Alegre. 1998.
- SILVEIRA, G.L.; CRUZ, J.C.; SILVEIRA, A.L.L.; CRUZ, R.C. – Regionalização da depleção regional com dados primários de vazão. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, pp 43-51, vol. 10, n. 3. Porto Alegre. 2005.
- SIMÕES, S.J.C. – Geoindicadores ambientais: conceitos e aplicações. Geociências, pp 41-52, vol. 18, n. 1. Rio Claro. 1999.
- SOPHOCIEOUS, M. – Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. Hydrogeology Journal, pp 52-67, vol. 10. Rotterdam. 2002.
- VISSMAN, W.; LEWIS, G.L. – Introduction to hydrology. Glenview, Harper Collins. 760p. 1995.
- VILES, H. & GOUDIE, A.S. – Interannual, decadal and multidecadal scale climatic variability and geomorphology. Earth Sciences Reviews, pp 61-105, vol. 131. Orlando. 2003.

Application of the Geoinicator Concept to Evaluate Water Availability in Hydrographic Basins – An Introductory Approach

ABSTRACT

In this paper concepts of indicators and geoindicators and their relationships with water resources are presented. Integrated elements from Geology, Geotechnics and Hydrology/Hydrogeology could provide the basis for an interdisciplinary approach to establish “geoindicators of water resources sustainability”. Four geoinicator groups were selected for a first approach: minimum flows, baseflow recessions and evolution of erosion processes. In the future, high-resolution measures must be defined to contribute to the integrated management of water resources in regional and small hydrographic basins.

Key words: geoindicators; infiltration processes; water availability