

## Indicadores Ambientais Aplicados ao Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos: um estudo de caso para a Região Metropolitana de Goiânia, Goiás

Joildes Brasil dos Santos  
Manuel Eduardo Ferreira

Universidade Federal de Goiás - UFG, Instituto de Estudos Socioambientais - IESA,  
Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento – LAPIG, Campus  
Samambaia, CEP 74001-970, Goiânia, Goiás, Brasil.  
joildesgeo@gmail.com; mferreira.geo@gmail.com

**Abstract.** In the last decade of the twenty-first century there is an effort in the sphere of society in general regarding environmental issues. In this scenario, the use of environmental indicators as tools to support the decision for natural resources, especially for water resources, is highlighted, given the interface that this theme has with the other components of the landscape. In this sense, this article aims to discuss the use of the Geographic System Information - GIS and Remote Sensing products in the formulation of environmental indicators, and how they can contribute to the management and planning of water resources. This analysis will be carried out through two Environmental Indicators - AI: AI 1 (Conflict of Use in APPs) and AI 2 (Areas with High Vulnerability). As a research area, the Metropolitan Region of Goiânia - RMG was selected, due to characteristics such as rapid population growth associated to future scenarios of water scarcity. The relevance of pasture use in APPs and in areas with fragile soils was observed in both indicators, which may directly affect the environmental quality of these two environments, and consequently, further impact the water reserves that supply this region.

**Palavras-chave:** GIS, Environmenta Indicators, ~~APPs~~, Fragile Soils, SIG, Indicadores Ambientais, Solos Frágeis.

### 1. Introdução

A década de 70 do século XX foi marcada pelo início das discussões no meio acadêmico sobre os diversos aspectos relacionados ao meio ambiente e quanto às formas de apropriação dos recursos naturais. Mas, só a partir de 1980, alguns conceitos passam a ser amplamente debatidos pela comunidade científica, a exemplo do conceito de desenvolvimento sustentável, conforme estabelecido no relatório de Brundtland (1987).

No tocante ao desenvolvimento sustentável, deve-se entender este “como um grau de evolução de uma determinada sociedade ou território” (Leal e Peixe, 2009, p. 677). Esta evolução, por sua vez, deve compreender a tríade das dimensões econômica-ambiental-social. Ainda que exista certa utopia dentro do discusso do desenvolvimento sustentável, diante uma sociedade capitalista-liberal, é preciso que haja um esforço contínuo por parte da comunidade científica e dos tomadores de decisão, para criar estratégias de planejamento e gestão, as quais sejam economicamente viáveis, ambientalmente corretas e socialmente justas.

Com o objetivo de poder mensurar o grau de sustentabilidade ambiental, os indicadores passam, então, a ser um instrumento eficaz na análise da paisagem e nos estudos ambientais. Como o próprio nome sugere, um indicador tem como finalidade indicar, apontar, descobrir e/ou estimar algo sobre um fenômeno estudado. Ou seja, um indicador deve quantificar e explicar um determinado fenômeno, por meio de parâmetros específicos, permitindo ao final a compreensão de realidades complexas (Castro et al., 2014).

Um indicador ambiental é resultado da análise integrada de dados, informações e conhecimentos, sobre os aspectos naturais e antrópicos de determinado fenômeno urbano/ambiental. Por tanto, este deve representar, de forma simples e objetiva, as características particulares do fenômeno analisado (situação, magnitude e evolução) e os

impactos da sua ocorrência (importância socio-ambiental), servindo como instrumento de análise aos tomadores de decisão e à sociedade em geral (Carrizosa, 1982).

No presente artigo, optou-se por trabalhar com indicadores ambientais para recursos hídricos, haja vista a interface que esse tema tem com as outras componentes da paisagem. Os indicadores, vistos como instrumentos multicritério de apoio à decisão, podem contribuir positivamente na política dos recursos hídricos e responder as questões envolvidas no âmbito da problemática ambiental. No contexto da Ciência da Informação Geográfica, chama-se atenção o papel dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e dos produtos do Sensoriamento Remoto, os quais tornaram-se indispensáveis nos estudos ambientais, como suporte para construção e processamento dos mais diversos bancos de dados espaciais.

Assim, o presente artigo tem por objetivo discutir a utilização do SIG na formulação de indicadores ambientais, e como estes podem contribuir na gestão e planejamento dos recursos hídricos. Como recorte espacial, foi selecionada a Região Metropolitana de Goiânia – RMG (uma área com 7.312,96 km<sup>2</sup>, distribuída por 20 municípios) para avaliação dos indicadores ambientais, a partir da análise dos conflitos de uso e cobertura da terra em Áreas de Preservação Permanente – APPs. A conservação destas, por sua vez, pode refletir diretamente na qualidade dos corpos d'água e conseqüentemente na manutenção dos cursos hidrográficos. Também avaliou-se a ocupação em áreas com solos frágeis, afim de se indicar as áreas com maior vulnerabilidade neste sistema solo-vegetação-água.

## 2. Materiais e Método

### 2.1 Área de estudo

A Região Metropolitana de Goiânia (RMG) é formada por 20 municípios (Figura 1), ocupando uma área de 7.312,96 km<sup>2</sup>, formada por uma população de 2,2 milhões de habitantes, ou 39,3% da população total do Estado de Goiás. No tocante aos aspectos hídricos, as bacias hidrográficas que compõem a RMG fazem parte da região hidrográfica da Bacia do rio Parnaíba, a qual ocupa 65% da área do Estado, com destaque para as bacias dos rios Meia Ponte e Ribeirão João Leite.

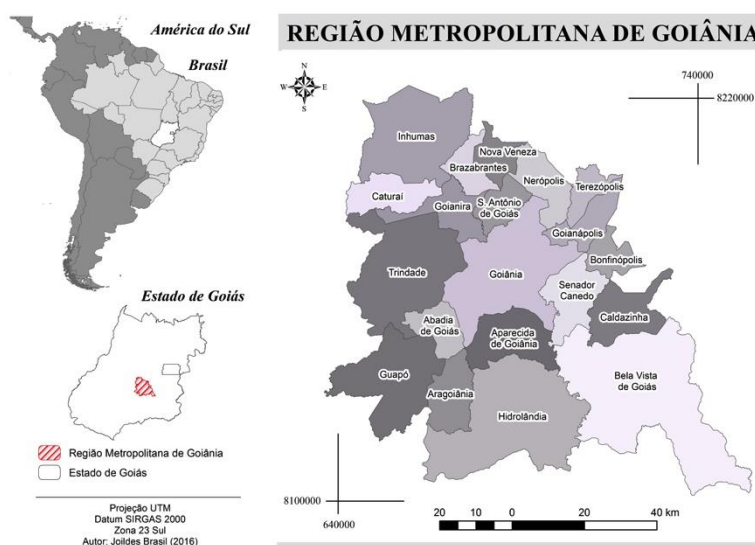


Figura 1. Mapa de localização da Região Metropolitana de Goiânia, com os seus 20 municípios.

O sistema de abastecimento de água para os municípios da RMG são realizados através de sistemas produtores com captações superficiais e subterrâneas, totalizando 35 pontos de captação (SANEAGO, 2016). De acordo com dados do Atlas de Abastecimento Urbano de Água (ANA, 2010), nem todos os municípios da RMG apresentam situação de abastecimento satisfatório, o que em longo prazo pode gerar problemas de escassez. Segundo Pasqualetto et al., (2004), a disponibilidade hídrica dessa região é restrita, já apresentando cenários negativos de abastecimento por volta de 2030, caso não haja alterações na atual gestão e planejamento das reservas hídricas. Cunha e Borges (2014) enfatizam esse possível problema de desabastecimento de água e destacam a necessidade de implementações e adequações dos sistemas produtores (adutoras e Estações de Tratamento de Água – ETAs), associadas às políticas de conscientização e proteção dos mananciais.

## 2.2 Bases de dados e procedimentos de análise

As ferramentas de Geotecnologias, incluindo o próprio Sensoriamento Remoto, são fundamentais na produção cartográfica em geral, bem como aos estudos ambientais, por oferecerem maior celeridade, padronização dos dados gerados, menor custo e maior acurácia. Nesse sentido, na sequência são apresentadas as etapas metodológicas envolvidas na geração do banco de dados georreferenciados e na elaboração dos indicadores ambientais para os recursos hídricos.

A sequência de atividades realizadas no desenvolvimento deste estudo está dividida em três etapas: (a) levantamento bibliográfico e construção do banco de dados espaciais; (b) tratamento e sistematização das informações; (c) definição e avaliação dos indicadores ambientais.

Para a construção do banco de dados espaciais, foram coletados dados sobre a área de pesquisa, disponíveis nos portais do Instituto Mauro Borges – IMB (<http://www.sieg.go.gov.br/>) e do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento – LAPIG/UFG (<http://maps.lapig.iesa.ufg.br/lapig.html>), no tocante às variáveis físico-ambientais (solos, hipsometria, declividade, hidrografia e vegetação). Posteriormente, foi realizado um tratamento dessas informações, com objetivo de refinar a escala dos dados. Na figura 2, são apresentados os procedimentos realizados nessa etapa.

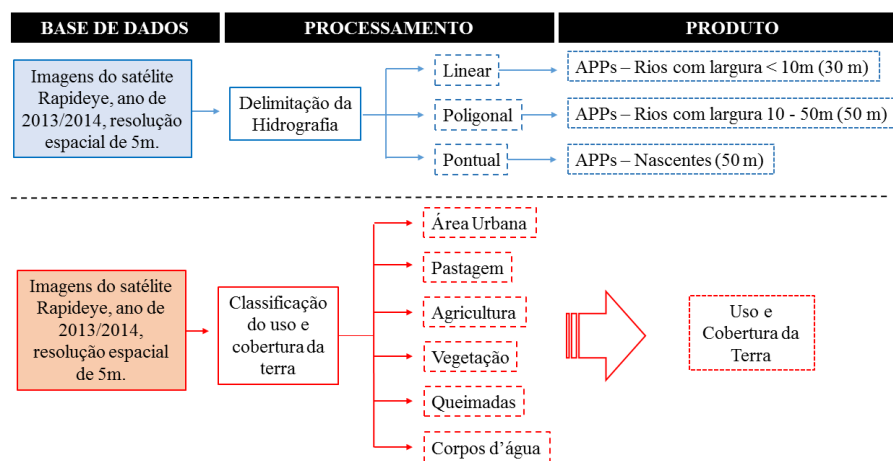


Figura 2. Fluxograma com as bases de dados e etapas para elaboração do banco de dados georreferenciado.

Em ambiente SIG, com auxílio do programa ArcGis 10, foi construído um banco de dados espaciais para posterior tratamento e refinamento. Com a colaboração da equipe do

LAPIG/UFG, foi realizada a delimitação manual da hidrografia da RMG, utilizando como base as imagens do satélite *Rapideye*, com resolução de 5 m, referentes aos anos de 2013 e 2014. Foram gerados três formatos de *shapefiles* da hidrografia: linear (rios e cursos d'água de até 10 m de largura), poligonal (para rios com largura superior a 10 m) e pontual (para delimitação das nascentes), gerando ao final APPs com 30 e 50 metros (incluindo aqui o contorno de nascentes), segundo o que é previsto na atual legislação (Lei nº 12.651/2012). As imagens *Rapideye* também foram utilizadas para o mapeamento do uso e cobertura da terra, com identificação de seis classes: área urbana, pastagem, agricultura, vegetação, queimada e corpos d'água. As APPs para topo de morros e encostas (acima de 45° de declividade) não foram mapeadas para a RMG, haja vista que estas representam menos de 1% da área de estudo.

A partir da sistematização dos dados gerados, foi realizado um cruzamento de informações (parâmetros físico-ambientais) para geração dos indicadores ambientais gerreferenciados, conforme apresentado na figura 3 e na tabela 1. No estudo são discutidos dois indicadores ambientais (IAs), denominados de IA 1 e IA 2. O IA 1 refere-se ao cruzamento das APPs (cursos d'água e nascentes) com o uso e cobertura da terra, resultando num mapa de conflito de uso em APPs. O IA 2 corresponde ao cruzamento dos dados pedológicos (solos frágeis) com o uso e cobertura, onde podem ser identificadas áreas de alta vulnerabilidade ambiental.

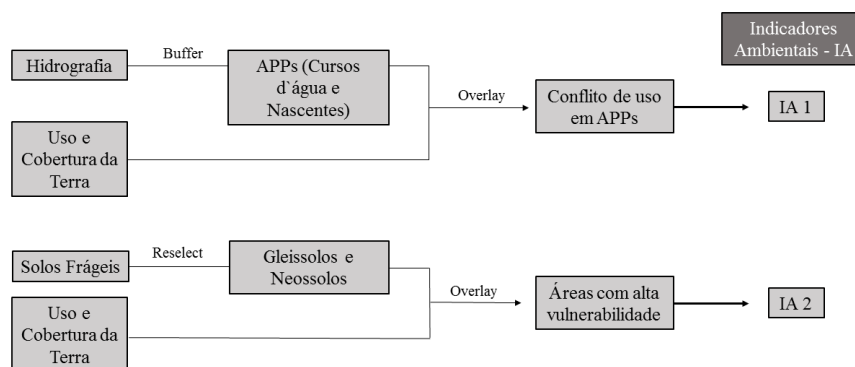


Figura 3. Fluxograma dos processamentos para construção dos indicadores ambientais.

Tabela 1. Síntese dos indicadores ambientais gerreferenciados.

SÍNTESE DOS INDICADORES		
Indicadores	Sigla	Função
Conflito de Uso em APPs	IA 1	Avaliar a situação da preservação da biodiversidade e cobertura vegetal, podendo inferir quanto ao estado atual dos corpos d'água.
Áreas com Alta Vulnerabilidade	IA 2	Avaliar o tipo de ocupação e possíveis impactos em áreas com solos frágeis.

De acordo com Albuquerque (2011 apud Castro e Hernani, 2015), solos frágeis são solos com elevado potencial de degradação, que normalmente apresentam elevados teores de areia, como no caso dos Neossolos. Os Gleissolos, por sua vez, apesar de apresentarem baixa suscetibilidade à erosão, em função da elevada disponibilidade de água, são considerados nesta pesquisa também como solos frágeis por serem, assim como os Neossolos, considerados solos jovens e pouco desenvolvidos, com grau máximo de vulnerabilidade ambiental (Ross, 1994; Valle et al., 2015).

Após o cruzamento dos dados e definição dos indicadores, foi realizada uma avaliação preliminar da RMG, no tocante a situação das APPs e dos solos frágeis (Gleissolos e Neossolos) em relação ao uso e cobertura da terra. Os resultados alcançados são aqui

apresentados na forma de mapas e tabelas, na busca da otimização e compreensão dos indicadores ambientais gerreferenciados.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Avaliação dos Indicadores

O mapeamento das APPs foi realizado a partir do refinamento da rede hidrográfica, por meio de interpretação visual de imagens *Rapideye*. A partir desse processo de classificação foi gerado um arquivo da hidrografia na escala de 1:10.000, que serviu de base para extração das APPs. Conforme pode ser observado na tabela 2, constatou-se que, do total da área da RMG, 499,37 km<sup>2</sup> (6,83%) são enquadrados como APPs (Figura 4). Também foram selecionadas como indicadores ambientais as classes de solos frágeis, representados pelos Gleissolos e Neossolos. Ambos ocupam 6,62% e 1,23% da área de estudo, respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2. Critérios para definição dos indicadores ambientais e seus percentuais na RMG.

Sigla	Parâmetros	Critério de Delimitação	Extensão da APP	Área (km <sup>2</sup> )	% na RMG
		Largura do Rio (m)	Largura da faixa marginal (m)		
APPs	Rios e cursos d'água	< 10m	30m	418,31	5,72
		10 - 50m	50m	52,27	0,71
	Nascentes	Raio de 50 m ao redor da nascente		28,79	0,39
Solos Frágeis	Gleissolos			484,12	6,62
	Neossolos			89,96	1,23

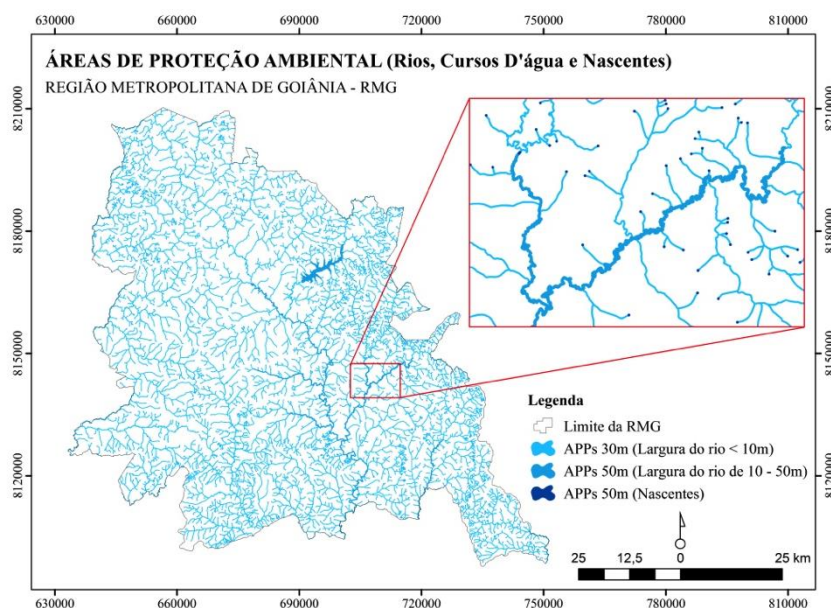


Figura 4. Mapa de APPs para a área de estudo.

O primeiro indicador ambiental (IA 1) corresponde às áreas com conflito de uso em APPs (Figura 5). A função básica da APP é proteger a faixa mínima exigida por lei (Brasil, 2012), que em tese deve estar coberta por vegetação nativa, representada principalmente pelas matas ciliares. Todavia, como mostra a tabela 3, dos 499,37 km<sup>2</sup> de APPs da RMG, apenas 314,50 km<sup>2</sup> (62,98%) estão devidamente protegidos. Entre os usos mais impactantes, chama atenção as áreas com pastagem, que representa 27,87% do uso e cobertura das APPs. A retirada da vegetação para plantação de pastagens, associadas ao pisoteio constante do gado,

podem gerar impactos ambientais diretamente relacionados às condições do solo e dos recursos hídricos, comprometendo o equilíbrio desses ambientes.

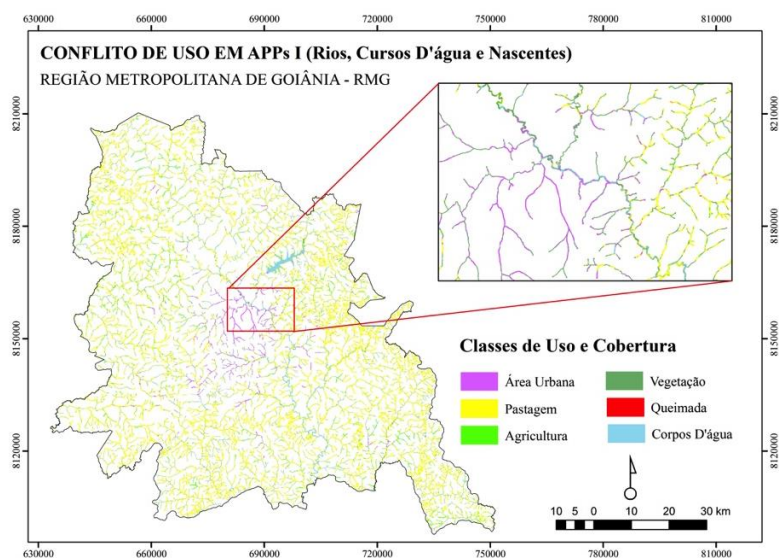


Figura 5. Indicador ambiental gerreferenciado 1 (Conflito de uso em APPs).

Tabela 3. Distribuição dos tipos de uso e cobertura nos indicadores ambientais.

Uso e Cobertura da Terra	IA 1		IA 2	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
Área Urbana	9,35	1,87	19,05	3,31
Pastagem	139,17	27,87	229,21	39,92
Agricultura	10,26	2,05	47,1	8,20
Vegetação	314,50	62,98	260,54	45,38
Queimada	0	0,00	0	0,00
Corpos D'água	21,9	4,39	18,09	3,15
<b>TOTAL</b>	<b>499,37</b>	<b>100</b>	<b>574,08</b>	<b>100</b>

As áreas urbanas nas APPs se concentram principalmente na região central da RMG, onde está localizada a cidade de Goiânia-GO. Mesmo que seja um percentual baixo de ocupação (1,87%), os impactos antrópicos são relevantes no contexto da área urbana, em função da maior exploração dos recursos naturais e da substituição da cobertura vegetal por áreas urbanizadas/cimentadas. Durante os períodos de chuvas torrenciais, essas áreas podem se tornar ainda mais vulneráveis, estando sujeitas a enchentes, inundações e deslizamentos de terra (Figura 6).



Figura 6. APP ocupada por área urbana na cidade Goiânia-GA, na Avenida Marginal Botafogo, após episódio de chuva no último dia 30 de outubro de 2016.

Fonte: O Popular, 2016.

O indicador ambiental 2 refere-se ao uso e cobertura em áreas com solos frágeis (Figura 7), sendo possível a partir dele identificar áreas com alta vulnerabilidade ambiental. Os Gleissolos presentes na RMG são solos excessivamente drenados, localizados em áreas de planície de inundação, com altitudes que variam entre 550 - 840 m, formados em áreas com relevo plano a suave ondulado (< 8% de declividade), estando diretamente associados à presença de cursos d'água. Por sua vez, os Neossolos são caracterizados pela presença predominante da fração areia, com elevado potencial para processos erosivos, ocorrendo nas áreas com maiores altitudes (840 – 1100 m) da RMG, com ocorrência de relevo do tipo ondulado a forte ondulado (8 - 45% de declividade).

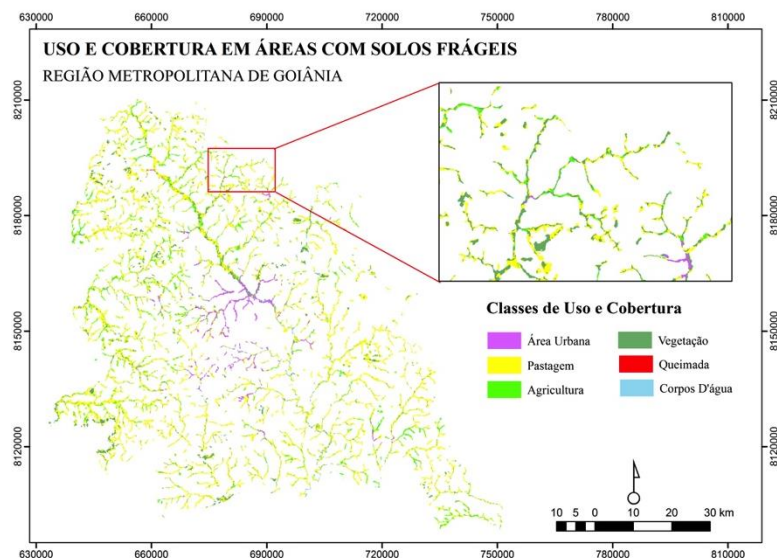


Figura 7. Indicador ambiental gerreferenciado 2 (Áreas com alta vulnerabilidade).

A partir da análise dos dados da tabela 3, observamos que os solos frágeis são ocupados principalmente por dois tipos de uso predominantes: vegetação (45,38%) e pastagem (39,92%). Mais uma vez, o uso com pastagem chama atenção quanto a sua representatividade. A ocupação antrópica nos Gleissolos e Neossolos é preocupante, tanto nas proximidades dos corpos d'água quanto do próprio solo. A alta erodibilidade dos Neossolos, associado ao relevo movimentado com ausência de vegetação nativa, pode desencadear processos como assoreamento e degradação de solos. Por sua vez, todo esse material transportado pelo escoamento superficial tem como destino natural as áreas de menor altitude, coincidindo com as planícies de inundação dos Gleissolos.

#### 4. Considerações Finais

A partir da análise em Sistema de Informação Geográfica e indicadores ambientais gerreferenciados (obtidos por sensoriamento remoto), foi possível chegar ao atual diagnóstico da RMG. Essa primeira análise suscita alguns questionamentos e sugestões quanto à necessidade de mudanças emergenciais no sistema de abastecimento de água e na preservação das reservas hídricas desta região.

O uso dos indicadores ambientais de conflito de uso em APPs (IA1) e de solos frágeis (IA 2), tanto em áreas rurais quanto urbanas, demonstram ser importantes norteadores para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, indicando inicialmente o estado de conservação das APPs e a situação dos Solos Frágeis quanto ao uso e ocupação.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES, pela bolsa de doutorado concedida a primeira autora, e ao CNPq, pela bolsa de produtividade concedida ao segundo autor. Esta pesquisa se insere no âmbito do Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Goiânia (SECIMA/Governo do Estado de Goiás – UFG/IESA) e do projeto de pesquisa *Organização e disponibilização de bases de dados geográficas para a gestão territorial e ambiental do estado de Goiás* (FAPEG/Edital universal 05/2012, no. 201210267000966).

## Referências Bibliográficas

Agencia Nacional das Águas – ANA. **ATLAS Brasil** – Abastecimento Urbano de Água. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos – SPR, Brasília – DF, 2010.

Castro, S. S., Hernani, L. C. **Solos Frágeis**: Caracterização, Manejo e Sustentabilidade. Embrapa, 2015. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/146753/1/cap-4-LV-Solos-Frageis.pdf> >. Acessado em 05 de outubro de 2016.

Castro, L. I. S.; Campos, S.; Zimback, C. R. L.; Kaiser, I. M. Sistema de Informação Geográfica na Formulação de Indicadores Ambientais para Sustentabilidade dos Recursos Hídricos. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 4, p. 655-674, outubro-dezembro, 2014.

Carrizoza, J. Planificación Del Médio Ambiente. Cuadernos Del Centro Internacional de Formación em Ciências Ambientales, Madrid: CIFCA, n. 27, 1982. In: **Indicadores de Sustentabilidade Ambiental**. Bahia: SEI, 2006, p. 10.

Cunha, D. F., Borges, E. M. Urbanização Acelerada e o Risco de Desabastecimento de Água na Região Metropolitana de Goiânia: O Desafio do Sistema Produtor João Leite. In: **VI Congresso Iberoamericano de Estudios Territoriales y Ambientales**, 2014, São Paulo – SP, 20p.

Leal, C. T., Peixe, B. C. S. Estudo dos Indicadores de Sustentabilidade Ambiental no Paraná com Recorte para os Recursos Hídricos Utilizando o Geoprocessamento. In: PEIXE, C. T.; MULLER, C. C.; HILGEMBERG, C. A. A. T.; MELATTI, G. A.; BERTOLINI, G. R. F.; MACHADO, H. P. V.; DOLIVEIRA, S. L. D. (Org) **Formulação e Gestão de Políticas Públicas no Paraná**: Reflexões, Experiências e Contribuições. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – EDUNIOESTE, 2009. 820 p.

O Popular. Chuva forte causa alagamentos em vários bairros de Goiânia. Disponível em: <http://www.opopular.com.br/editorias/cidade/chuva-forte-causa-alagamentos-em-v%C3%A1rios-bairros-de-goi%C3%A2nia-1.1171794>. Acessado em 31 de outubro de 2016.

Pasqualetto, A., Alcantara, C. R., Ramos, F. P., Patricio, G. M. R., Silva, H. M. Escassez da Água como Limitador do Desenvolvimento da Região Metropolitana de Goiânia. **PUC/GO**. Goiânia, 2004.

Ross, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**. n.8, p.63-74. 1994.

Valle, I. C., Francelino, M. R., Pinheiro, H. S. K., Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. **Floresta e Ambiente**. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/loram/2016nahead/2179-8087-floram-2179-8087107714.pdf> >. Acessado em 07 de outubro de 2016.