

Classificação automática do uso do solo como instrumento de apoio à gestão das águas subterrâneas na bacia sedimentar costeira da Paraíba

Douglas Freitas de Almeida Filho ^{1,2}

Rony Lopes Lunguinho ^{1,3}

Iana Alexandra Alves Rufino ^{1,4}

¹ Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

Av. Aprígio Veloso s/n, 58100-900 Campina Grande - PB, Brasil

²douglasalmeid@hotmail.com; ³lopes.rony@gmail.com; ⁴iana_alex@uol.com.br

Abstract. This paper presents techniques for remote sensing and GIS in supporting the activities of a larger research project (ASUB / MCT / CT-HIDRO) which is developing criteria for granting of groundwater aquifers and framework for recovery by use of groundwater, using as a study area portion of the coastal sedimentary basin of the state of Paraíba. For supporting this Groundwater Management project it has been used several techniques related to Remote Sensing and Geographical Information Systems. Some of this activities are presented in this paper.

Palavras-chave: Groundwater management, GIS, Remote Sensing, Land Use, Sensoriamento Remoto, águas subterrâneas, uso do solo.

1. Introdução

No Brasil, a Lei Federal nº. 9.433/97, que dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos, tem como objetivo assegurar às gerações – atuais e futuras – a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos promovendo a utilização racional e integrada dos recursos hídricos. Para atingir os objetivos propostos pela supracitada lei foram instituídos cinco instrumentos de gestão de recursos hídricos, a saber: planos de recursos hídricos, enquadramento de corpos d'água, outorga de direito de uso da água, cobrança pelo uso da água e sistema de informações em recursos hídricos.

Neste contexto, no estado da Paraíba, está em desenvolvimento um projeto financiado pela MCT/FINEP/CT-HIDRO intitulado “ASUB - Integração dos instrumentos de outorga, enquadramento e cobrança para a gestão das águas subterrâneas”. Na equipe, há vários pesquisadores de diversas universidades envolvidos, atuando nas diversas dimensões do projeto. Uma destas dimensões é o uso de geotecnologias como o Sensoriamento Remoto no apoio às atividades de Gestão.

No gerenciamento de recursos naturais, em especial dos recursos hídricos, os SIG's podem ser utilizados como ferramenta de inventário além de permitir um melhoramento do gerenciamento desses recursos, da proteção contra o desenvolvimento especulativo e a modelagem da complexa interação entre o fenômeno e a tomada de decisões. Silva (2007). Isso porque a espacialidade das informações é fundamental para a recomendação de soluções para a maioria dos problemas de gestão de recursos hídricos. Visualizar o conhecimento em planos de informação espaciais facilita a compreensão de alguns aspectos dos problemas a serem solucionados. A visualização das soluções (resultados) também é importante, pois, em se tratando de problemas relacionados com a gestão de uma porção do território (seja ele urbano ou regional), uma visualização de resultados pode ser entendida como uma simulação das intervenções a serem realizadas e, portanto, podem aumentar a confiabilidade destes resultados, dando suporte de forma muito mais segura a uma tomada de decisão.

Além disso, as atuais possibilidades do Sensoriamento Remoto com a alta disponibilidade de imagens de satélite, softwares e técnicas de processamento digital podem auxiliar na obtenção de informações fundamentais em um processo de gestão de recursos hídricos como é o caso do uso do solo de uma área.

1.1 Área de estudo

A área de estudo do projeto ASUB está inserida na região do baixo curso do rio Paraíba sendo à porção da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba inserida na região do baixo curso do rio Paraíba (Figura 1). Apresenta uma superfície total da ordem de 1.173,19 km², abrangendo 11 municípios, total ou parcialmente englobados. Está compreendido entre as coordenadas 6°53'40,25" e 7°16'01,45" Sul e longitudes 34°48'33" e 35°21'29" Oeste.

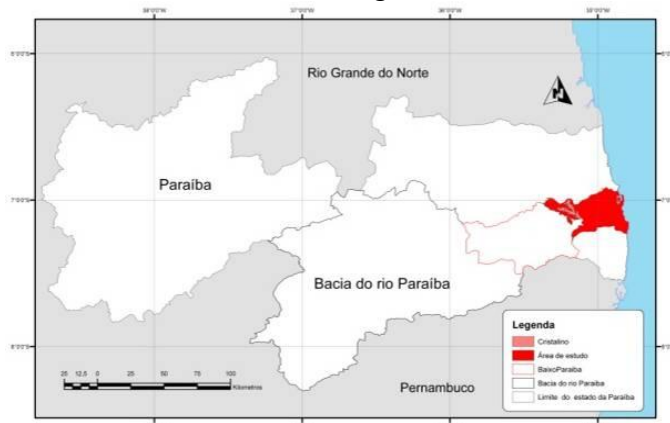


Figura 1: Mapa de Localização da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba é um dos sistemas hidrográficos mais importantes do semiárido nordestino e é a segunda maior bacia do estado da Paraíba (a maior nele totalmente contida), compreendendo cerca de 38% do território estadual, drenando uma área de 20.127,17 km² (AESAs, 2006).

2. Materiais e métodos

2.1. Levantamento e aquisição de informações espacializadas

A disponibilidade gratuita de produtos de Sensoriamento Remoto e de softwares de geoprocessamento torna possível atualmente a qualquer pessoa ou instituição produzir dados de qualidade a um custo muito baixo. Imagens de diversos satélites e sensores (CBERS-2, TM-landsat5 e 7, ASTER, etc.) podem ser adquiridas via web de diferentes datas de aquisição, demandando um esforço apenas de construção de um banco de informações que possa ser utilizadas na pesquisa. Além disso, várias informações advindas de diferentes órgãos como as agências de água (Nacional e Estadual), são utilizadas neste trabalho.

2.2. Zoneamento

A partir de uma metodologia desenvolvida pela equipe do projeto ASUB foram definidas m zonas de gestão, nas quais os critérios de outorga, cobrança e enquadramento podem variar. A caracterização se baseou em um novo mapa geológico e em conceitos e definições mais adequados e abrangentes sobre a água subterrânea, seus aquíferos e a sua relação com o ciclo hidrológico, particularmente com as águas fluviais, ASUB-PB (2010). (Figura 2).

Essa subdivisão foi realizada através do cruzamento de informações disponíveis em meio digital e pelo estudo dos pesquisados do projeto. A divisão foi feita baseando-se ora na delimitação das bacias hidrográficas superficiais, ora nas falhas tectônicas, além de considerar critérios de uso do solo, dentre outros.

A definição das zonas de gerenciamento foi realizada a partir da delimitação automática das bacias hidrográficas e com o auxílio dos conhecimentos dos pesquisadores envolvidos no projeto ASUB. Sendo determinantes alguns fatores na delimitação, dentre eles:

- O mapa hidrogeológico: tendo em consideração a Formação Barreiras, Formação Gramame, Formação Beberibe Inferior e Formação Beberibe Superior.

- Delimitação das bacias: através do SIG (utilizando o software ArcGIS foi possível a delimitação automática das bacias, utilizando imagens STRM)
- Quantidade de poços e nível de interferência da sua exploração: destacando-se região urbana da cidade de João Pessoa que neste zoneamento refere-se à zona 7, como pode ser observado na Figura 3, em que há uma grande quantidade de poços.
- Número de fontes poluidoras: regiões com pontos prováveis de poluição, destacando-se outra vez a zona 7, onde se encontra a região metropolitana de João Pessoa.
- Uso do solo de cada região.

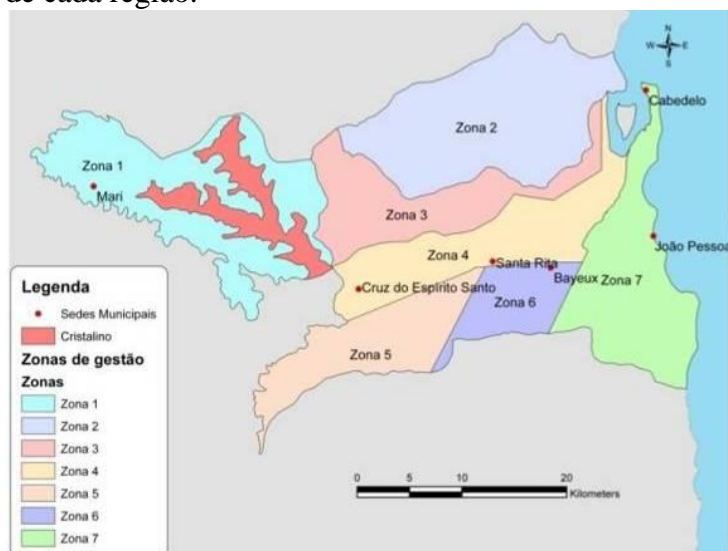


Figura 2: Mapa com a definição das zonas de gerenciamento do projeto ASUB

2.3. Espacialização dos poços existentes cadastrados

Com os cadastros de poços existentes na Paraíba, dentre eles, os poços cadastrados e gerenciados pelo sistema de informações de águas subterrâneas (SIAGAS/CPRM), e cadastros realizados pela agência estadual de águas (AES/A), ou ainda, aos cadastros realizados pelos pesquisadores do projeto ASUB, através das visitas aos locais, foi possível realizar consultas e em ambiente SIG e visualizar a disposição espacial destes poços na área de estudo (Figura 3).

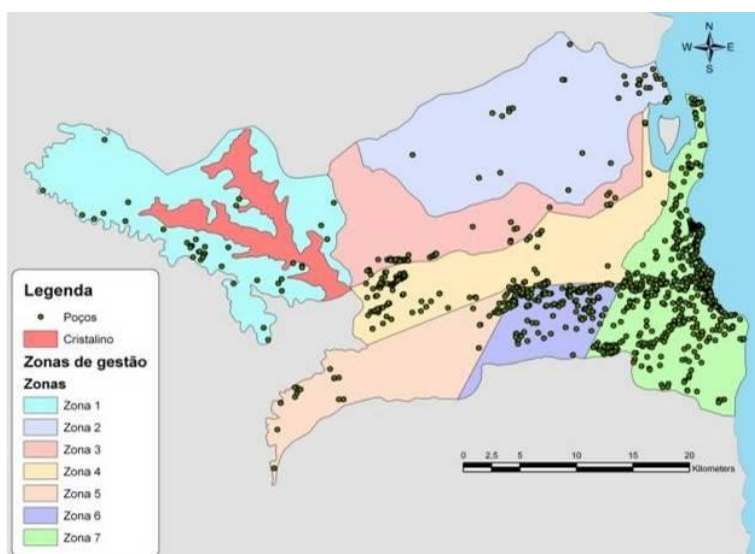


Figura 3: Mapa com espacialização de todos os poços cadastrados no projeto ASUB.

2.4. Quantificações das áreas municipais

Através do mapa político da Paraíba IBGE (2000) e com as delimitações da bacia sedimentar (área de estudo do projeto ASUB), foi possível realizar um recorte dos municípios inseridos na área da bacia sedimentar (Figura 4).

Ainda com recursos do SIG, realizou-se o cálculo das áreas municipais, possibilitando uma quantificação percentual da área de cada município inserido na área de estudo, ou em cada zona de gestão (Figura 4). Sendo estes dados de suma importância para a gestão e outorga das águas subterrâneas, já que estas atividades são de responsabilidade do poder público municipal.

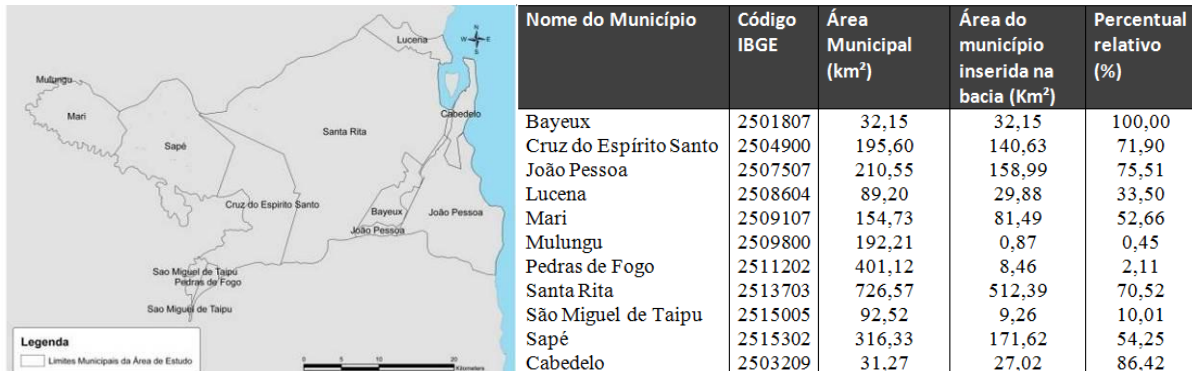


Figura 4: Mapa com as divisões política dos municípios inseridos na bacia sedimentar e cálculo das áreas.

2.5. Classes de Solo

Com a disponibilização de arquivos, mapas e informações sobre a pedologia do estado da Paraíba foi possível a obtenção do mapa temático de solos da área de estudo (Figura 5). Como todos os estudos de gestão estão sendo particularizados para as zonas, é de suma importância a quantificação de características físicas de cada zona. Assim o mapa de solos também pode ser compartimentado por zona para uma caracterização detalhada que poderá, inclusive, ser utilizada como dado de entrada em modelos matemáticos de simulação do fluxo subterrâneo (Figura 5b).

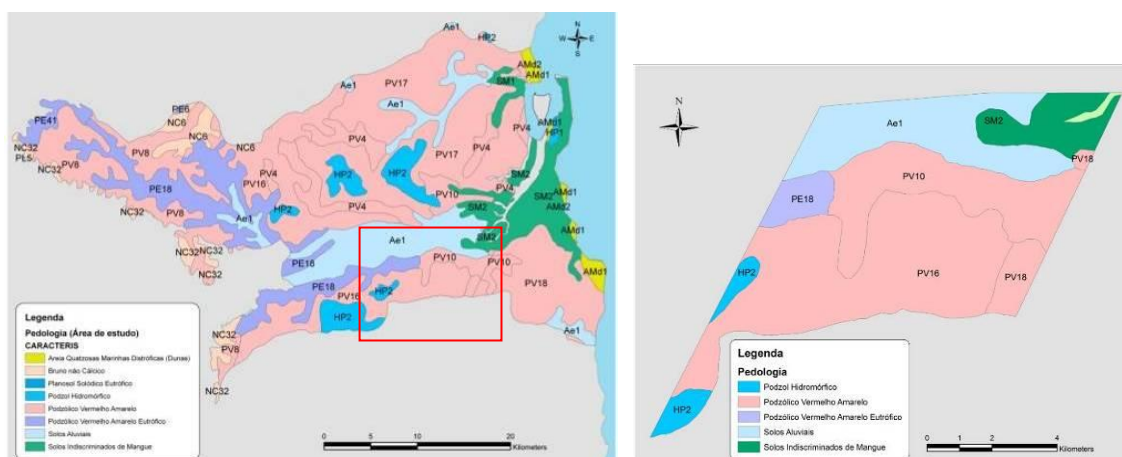


Figura 5: (a) Mapa do solo da área de estudo do ASUB. (b) Detalhe das classes de solo da Zona de gestão 6

2.6. Uso do solo

Para definir melhor a gestão das águas subterrâneas nas zonas estabelecidas, um dos principais critérios é o uso do solo da área em estudo. Para a bacia sedimentar costeira foram utilizadas imagens de diferentes datas e satélites:

- Uma cena do satélite LANDSAT 7, (órbita 214, ponto 65) com data de passagem de 04 de agosto de 2001;
- Uma cena do satélite CBERS2B e sensor CCD, (órbita 146, ponto 108) com data de passagem de 30 de junho de 2009

A escolha destas imagens deu-se pelo fato destas cenas apresentarem baixa cobertura de nuvens na área de estudo, o que para esta região é bastante raro. A área litorânea da Paraíba, onde se encontra a área de estudo, possui uma intensa cobertura de nuvens o que dificulta para encontrar imagens adequadas para a elaboração dos mapas de uso do solo. Na zona de gestão 6, entretanto, percebeu-se uma menor porcentagem de nuvens, permitindo uma comparação mais eficiente do que em outras zonas

Os mapas produzidos são considerados foto-interpretativos, baseados no conhecimento de campo da equipe do projeto que há três anos tem realizado várias campanhas de medição de qualidade de água na região.

O método utilizado para a geração destes mapas foi a classificação supervisionada pela técnica de *treinamento* (uso de amostras). O software utilizado foi o SPRING desenvolvido pelo INPE.

“Classificação automática dos pixels de uma imagem envolve a associação de cada pixel da imagem com um nome que descreve um objeto real”, IBGE (2001). No processo de classificação escolhido recomenda-se que sejam feitas várias tentativas e validações dos resultados baseadas em conhecimento da área de estudo. Com a imagem inserida no SPRING, adotando R→Banda 5 G→Banda 4 B→Banda 3 como composição colorida e usando o processo de crescimento de regiões realizou-se então a segmentação da imagem em que foi usado o valor “15” como limite de similaridade e o valor “15” como tamanho mínimo de área, em pixels, de cada região.

Ao final do processo de segmentação, inicia-se a classificação da imagem propriamente dita. Realizando o treinamento onde foram coletadas amostras, regiões segmentadas para cada classe a ser definida, são elas: agricultura, água, área urbana, vegetação densa e vegetação semi-densa. A classificação da imagem foi dada através do classificador por regiões segmentadas Bhattacharya que utilizam as informações espectrais de cada pixel e relaciona com os pixels ao redor.

Por fim, a classificação da imagem para o mapa de uso do solo, se fez com a vetorização dos dados que estavam em matriz, e daí exportado como arquivo shape para a elaboração do mapa de uso do solo da área de estudo do projeto ASUB. Todas as áreas mapeadas são quantificadas e podem ser utilizadas sobrepostas ou combinadas com outros planos de informação nas análises espaciais subsequentes.

Utilizando a ferramenta de recorte de plano de informação, foi obtido o mapa de uso do solo da zona 6, determinada pelos pesquisadores do projeto ASUB, em que foi realizado uma comparação entre o mapa da imagem de 2001 (Figura 7) e da imagem de 2009 (Figura 8).

O mapa de uso do solo do ano de 2009 da zona 6 (Figura 8) do projeto ASUB apresenta um impacto humano considerável onde pode ser descrito por uma concentração maior de zonas urbanas e agricultura, duas classes que apresentam um total de impacto antrópico proveniente de ocupação urbana e utilização destas áreas para plantio.

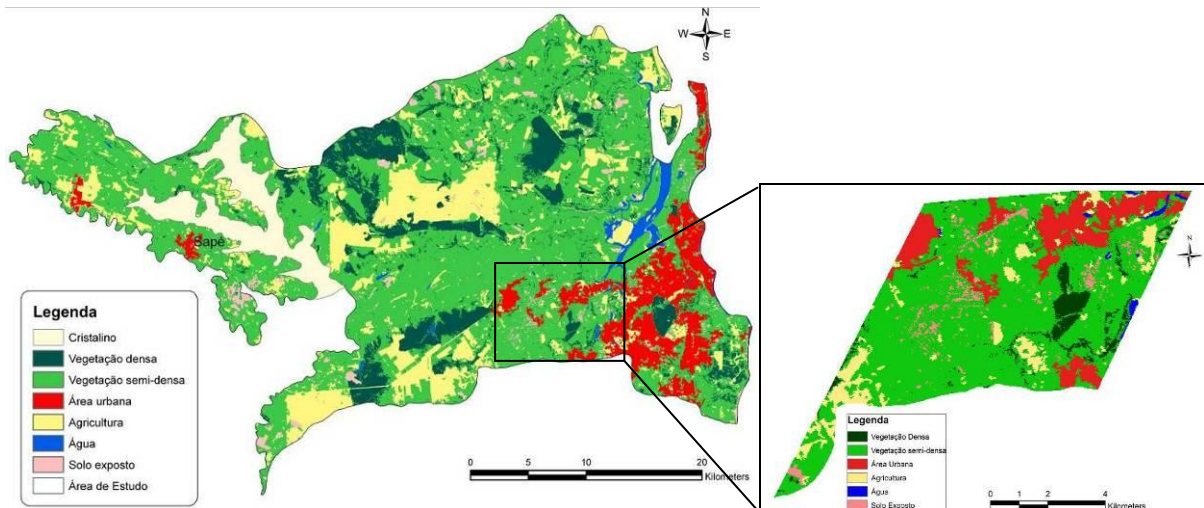


Figura 7: Mapa foto-interpretativo de uso do solo da área de estudo: imagem LANDSAT 7 (2001). Uso do solo da zona 6.

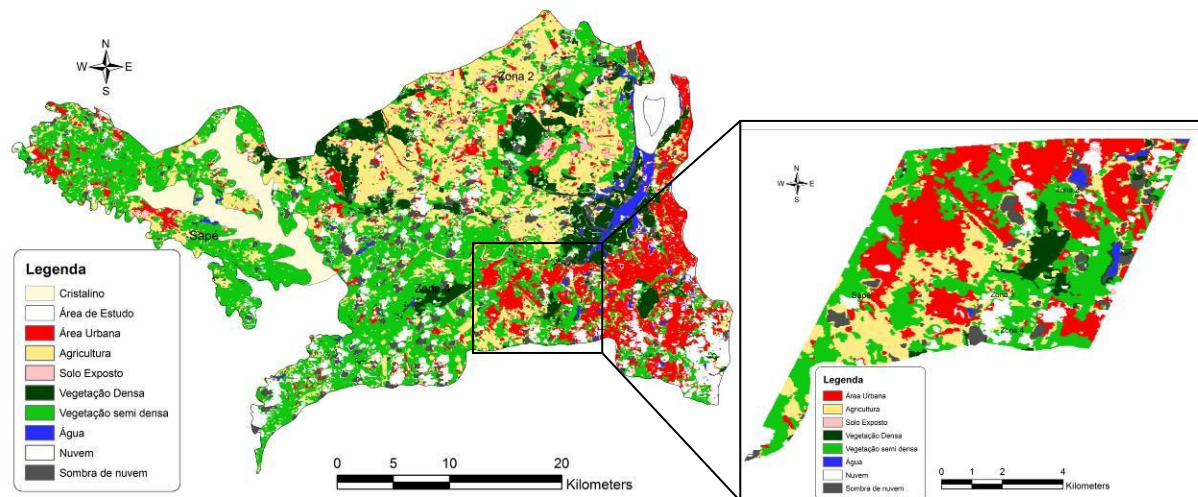


Figura 8: Mapa foto-interpretativo de uso do solo da área de estudo: imagem CBERS 2B (2009). Uso do solo da zona 6.

Na região da zona 6 está inserida a cidade de Bayeux que se constitui na quinta maior população do estado com um grande aglomerado urbano próximo de João Pessoa e Santa Rita. A cidade de Bayeux e Santa Rita tem grande impacto agrícola com plantações de cana de açúcar, como pode ser comprovado na imagem da Figura 9, bem como pela tabela de quantificação das classes (Tabela 1).

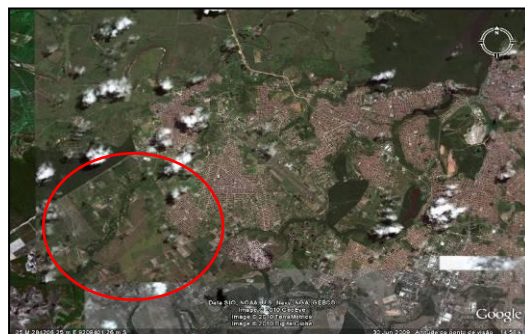


Figura 9: Imagem retirada do Google Earth da cidade de Bayeux

Tabela 1: Medidas das classes de uso do solo da zona 6 de 2001 e 2009

Classes	Área (Km ²) 2001	Área (Km ²) 2009
Área Urbana	9.134	19.054
Vegetação Densa	3.545	2.978
Vegetação Semi Densa	45.753	22.346
Solo Exposto	2.589	0.451
Agricultura	5.534	12.720

3. Considerações finais

O geoprocessamento se tornou uma ferramenta indispensável para o auxílio dos pesquisadores do ASUB, atendendo as demandas de elaboração de mapas diversos, espacialização de poços, ajustes nas delimitações entre outras atividades, melhorando sua caracterização, como também nas quantificações de áreas e gerando resultados visuais na aplicação dos critérios desenvolvidos pelo projeto. Com a espacialização dos poços, foram realizadas análises espaciais de contingência e pertinência para quantitativos importantes nos estudos, por exemplo: quantidade de poços por município, ou por zonas de gerenciamento. Além disso, a espacialização desta informação é importante para facilitar a identificação de fontes poluidoras próximas aos poços.

Uma das finalidades do estudo de uso do solo é identificar áreas de atividades antrópicas mais intensivas e neste caso específico foram identificados o uso urbano e a agricultura.

O fato das áreas urbanas identificadas nas imagens de satélite se confundirem com as de solos expostos, dificultou a separação das mesmas, como se percebe na tabela 1, tendo um aumento considerável de 2001 para 2009. Com relação às áreas urbanas recomenda-se uma segmentação mais adequada para que suas áreas estejam próximas das reais, este processo pode ser obtido através de imagens de resoluções menores ou alguma técnica que possa separar os pixels de forma mais homóloga, como por exemplo, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN).

O mapeamento do uso do solo é um mapa inicial que ainda pode ser refinado através de estudos de campo. Por exemplo, para áreas de agricultura, torna-se bastante complicada a identificação específica e detalhada da atividade agrícola na resolução espacial utilizada, sendo a agricultura relacionada com vegetação semi-densa.

5. Agradecimentos

Ao grupo de pesquisadores do projeto ASUB/MCT/FINEP/CT-HIDRO da UFCG. À Finep pelo apoio financeiro do projeto. Ao CNPq pela disponibilização de bolsas.

6. Referências

- AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. (2006). Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba. Relatório Final. Disponível on-line em: <http://www.aesa.pb.gov.br/perh/> Acesso em: Março de 2010
- ASUB (2010). Integração dos instrumentos de outorga, enquadramento e cobrança para a Gestão das águas Subterrâneas. Relatório Técnico Parcial nº 1. Campina Grande. Universidade Federal de Campina Grande.
- ATECEL/UFCG/ASUB (2009). Integração dos Instrumentos de Outorga, Enquadramento e Cobrança para a Gestão das Águas Subterrâneas. Relatório Parcial I. Outubro de 2010.
- ATECEL/UFPA (1999), Associação Técnico-Científica Ernesto Luís de Oliveira Junior/ Universidade Federal da Paraíba. Estudo do Comportamento do Aquífero Freático no Bairro do Bessa e de sua Influência sobre a Drenagem Superficial. Relatório Final, SEPLAN/PMJP, João Pessoa.
- BRASIL. DNPM/CPRM. (1981). “Mapa hidrogeológico do Brasil: escala 1:250.000”, in Relatório final. Recife: CPRM. 2 v.
- CABRAL, J.J.S.P., PAIVA, A.L.R. (2004) “4 - Salinização de Aquíferos Costeiros: Investigação e Modelagem”, in Água Subterrânea: Aquíferos Costeiros e Aluviões, Vulnerabilidade e Aproveitamento. Org. por Cabral, CIABATTI, P.; LOBO FERREIRA, J.P.C. (1994). Desenvolvimento de um Inventário das Águas

- Subterrâneas de Portugal. Análise da Legislação sobre Zoneamento de Proteção de Captações de Águas Subterrâneas. Aplicação a Dois Casos de Estudo Portugueses. Lisboa, LNEC, Relatório 247/94 – GIAS.
- CREPANI, E. & MEDEIROS J.S. de - Imagens Fotográficas Derivadas de MNT do Projeto SRTM para Fotointerpretação na Geologia, Geomorfologia e Pedologia. São José dos Campos: INPE, ago. 2004. 40 p.(INPE-11238-RPQ/761).
- FLORENZANO, Teresa Gallotti. Imagens de Satélite para Estudos Ambientais. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.
- HAY, C. David. Princípios de Modelagem de Dados, Makrow Books, São Paulo, 1999.
- IBGE. Introdução ao processamento digital de imagens. Manuais técnicos em geociências, nº 9. Rio de Janeiro - RJ, 2001
- LEI FEDERAL Nº 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997. Política e Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
- LOUREIRO, M. C. B. Modelagem do Fluxo na Bacia Sedimentar Costeira do Baixo Curso do rio Paraíba. Dissertação de mestrado UFCG. Março de 2010
- MENDES, Carlos André B. & CIRILO, José Almir (2001). Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, Integração e Aplicação. Porto Alegre, ABRH.
- MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 2. ed. Viçosa: UFV, 2005. 307 p. in: MOREIRA, A. A.; Soares, V. P. ; GLERIANI, J. M.; Ribeiro, C. A. A. S.. Utilização de algoritmo de classificação para o mapeamento do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do ribeirão são Bartolomeu, Viçosa-MG, a partir de uma imagem do sensor Ikonos II. 2009
- RESOLUÇÃO Nº 15, DE 11 DE JANEIRO DE 2001. Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH. Estabelece diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas.
- RESOLUÇÃO Nº 16, DE 8 DE MAIO DE 2001. Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH. Estabelece critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos.
- RESOLUÇÃO Nº 21, DE 14 DE MARÇO DE 2002. Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH. Institui a Câmara Técnica Permanente de Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos.
- RESOLUÇÃO Nº 22, DE 24 DE MAIO DE 2002. Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH. Estabelece diretrizes para inserção das águas subterrâneas no instrumento Planos de Recursos Hídricos.
- RESOLUÇÃO No 48, DE 21 DE MARÇO DE 2005. Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH. Estabelece critérios gerais para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos.
- SILVA, T.C. da; PEDROSA FILHO, L. de A.; SILVA, A.C.S. (2001). Avaliação e Especialização das Características dos Poços do Município de João Pessoa – Paraíba. In anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Aracaju, Sergipe, novembro. 2001.
- SILVA, Reginaldo Macedônio da. Introdução ao Geoprocessamento: Conceitos, técnicas e aplicações. Editora feevale, 2007