

TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO NA ANÁLISE DE RISCOS DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS

Utaiguara da Nóbrega Borges¹
Admilson da Penha Pacheco²
Eduardo Rodrigues Viana de Lima³

¹Departamento de Geologia e Programa de Pós-graduação em Geociências – UFPE – utaiguara@yahoo.com.br;

²Departamento de Engenharia Cartográfica e Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas – UFPE - pacheco3p@gmail.com;

³Departamento de Geociências e Programa de Pós-graduação em Geografia – UFPB – eduvianalima@gmail.com

RESUMO

Este trabalho propõe avaliar os riscos potenciais de degradação ambiental em uma bacia hidrográfica urbana utilizando geotecnologias de baixo custo, considerando os aspectos físicos, o uso do solo, o desenvolvimento humano e os problemas sanitários. Os materiais utilizados foram mapas na escala 1:25.000, imagem do satélite CBERS, sensor CCD, e dados do censo demográfico 2000 (IBGE). Os aspectos físicos e o uso do solo foram avaliados em toda a área da bacia tomando por base o cenário geotécnico, e a classificação da imagem. As condições de desenvolvimento humano e os problemas sanitários foram avaliados em todos os setores censitários da área, através dos índices IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) e ISA (Índice de Saneamento Ambiental). A aplicação do índice IDH apresentou resultados coerentes com o IDH-M para todos os setores. O índice ISA apresentou resultados relativamente homogêneos nas áreas centrais da bacia com valores mais elevados, enquanto tornou evidentes os problemas sanitários em áreas periféricas como na região marginal da bacia. Constatou-se também a predominância das áreas de ocupação irregular na região urbanizada da bacia e a influência dos fatores sócio-econômicos na ocupação destas áreas através dos índices IDH e ISA. Com relação às áreas de fragilidade geotécnica, a área de estudo apresenta uma instabilidade bastante acentuada no que diz respeito ao processo de uso e ocupação do solo.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica, Planejamento Ambiental, SIG, Sensoriamento Remoto, Cartografia.

ABSTRACT

This work intends to evaluate the potential risks of environmental degradation in a basin urban watershed using low cost geotechnology, considering the physical aspects, the use of the soil, the human development and the sanitary problems. The materials used in the research were maps in the scale 1:25.000, an image of the CBERS satellite, CCD sensor, and data of the demographic census 2000 (IBGE). The physical aspects and soil use were appraised in the whole watershed area taking for parameter the geotechnic scenery, and the image classification. The human development conditions and sanitary problems were appraised in all of the area's census sections, through the IDH (Index of Human Development) and ISA (Index of Environmental Sanitation) indexes. The application of IDH index presented coherent results with IDH-M for all

the sections. The ISA index showed relatively homogeneous results in the watershed central areas with higher values, while sanitary problems in outlying areas and marginal areas of the watershed were shown. It was also verified the predominance of irregular occupation in the watershed urbanized area and the socioeconomic factors influence in these areas occupation through the observance of IDH and ISA indexes. About the areas that show geotechnic fragility, the study area presents quite accentuated instability on what concerns to the process of soil's use and occupation.

Keywords: Watershed, Environmental Planning, GIS, Remote Sensing, Cartography.

INTRODUÇÃO

O avanço da expansão cada vez mais acelerada e desordenada nas grandes cidades seja em decorrência do natural crescimento populacional, ou também, pelo fluxo migratório do homem do campo para as cidades em desenvolvimento, vem ocasionando uma série de transtornos urbanos que devem ser equacionados a partir da contribuição de especialistas comprometidos com esse assunto em conjunto com planejadores territoriais vinculados à administração pública.

Um diagnóstico detalhado do meio físico torna-se relevante antes de qualquer planejamento de uso e ocupação da superfície terrestre. O meio físico é considerado em alguns casos, inadequado para a população desfrutar das condições básicas de moradia.

Quando as limitações do meio físico não são devidamente consideradas, normalmente aparecem implicações significativas, como por exemplo, assentamentos em áreas de risco, contaminação dos recursos hídricos, colapso habitacional em áreas densamente urbanizadas, entre outros graves problemas característicos da maioria dos grandes centros urbanos do Brasil.

O uso da bacia hidrográfica como unidade de planejamento contribui para o entendimento dos comportamentos e transformações do meio físico,

provocadas pela ocupação humana desordenada, e busca estabelecer o equacionamento e a resolução dos problemas sociais e ambientais decorrentes da inter-relação entre a urbanização e o meio físico.

No Brasil, a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e organiza o setor de planejamento e gestão na área, adota a bacia hidrográfica como unidade básica de gerenciamento, por conseguinte, buscase cada vez mais um maior conhecimento a cerca das bacias hidrográficas e dos processos dinâmicos que nelas ocorrem.

Dessa forma, o gerenciamento de bacias hidrográficas pode ser caracterizado como um instrumento orientador das ações do poder público e da sociedade no controle do uso dos recursos ambientais pelo homem, na área de abrangência, com vistas ao desenvolvimento sustentável. No entanto, é importante atentar para o fato de que o gerenciamento de bacias hidrográficas é apenas uma das esferas contempladas pelo gerenciamento de recursos hídricos.

Neste contexto, este estudo teve o objetivo de contribuir com a pesquisa aplicada ao mapear e analisar as áreas de risco potenciais em uma bacia hidrográfica urbana, tomando como área geográfica, a Bacia do Rio Jaguaribe, utilizando-se das tecnologias

proporcionadas pelo Sensoriamento Remoto e Sistemas de Geoinformação, identificando as possíveis interações entre os meios físico e sócio-econômico e espacializando as ocorrências deste fenômeno ambiental de causas antrópicas.

Objetivou-se, então, avaliar o potencial destas ferramentas tecnológicas para tais finalidades, através de dados multiespectrais, imagens de satélite, combinadas com mapas digitais e dados descritivos dos indicadores sócio-econômicos. No transcorrer da pesquisa, pretendeu-se estabelecer um estudo para espacializar, cartograficamente, e, consequentemente, identificar as áreas de riscos para a população e áreas que oferecem danos para os recursos hídricos.

Além disso, uma proposta metodológica foi formulada no sentido de integrar diversas tecnologias de

tratamento da informação espacial com o objetivo de contribuir para os estudos de bacias hidrográficas urbanas utilizando tecnologias de baixo custo. Trata-se de um tema atual e em constante evolução no meio acadêmico que desperta um profundo interesse não apenas para os órgãos governamentais, como também para todas as áreas que lidam com o problema.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A Bacia do Rio Jaguaribe está localizada no litoral sul do Estado da Paraíba, no município de João Pessoa, entre as coordenadas (UTM) 9216000mN/299000E e 9206000mN/287000E. Limita-se a leste com o Oceano Atlântico, a oeste com a Bacia do Rio Marés, ao norte com a Bacia do Rio Mandacaru e Bacia do Rio Sanhauá e ao sul com as Bacias dos Rios Cuiá, Gramame e Cabelo (Fig. 1).



Figura 1 – Mapa de Localização da Bacia do Rio Jaguaribe

TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO ESPACIAL

Quando se fala em Geoprocessamento, diversas são as referências errôneas ao seu significado. Vários são os casos em que é atribuída a

sua função à confecção de mapas. Etimologicamente pode-se analisar o termo geoprocessamento da seguinte forma: Geo = terra, processamento = relacionado ao tratamento da informação automatizada, utilizando ferramentas computacionais. Ou seja, o

seu significado estaria atrelado ao processamento automatizado das informações geográficas utilizando elementos computacionais.

Segundo MOURA (2003), O termo Geografia que, no latim é *geographia*, vem do grego *gewgrafia*, que é o somatório de *gew* – Terra e *grafia* – grafia, ou seja, a grafia, a representação da Terra. Vem também dos gregos o pensamento geográfico sistematizado, objetivando a localização dos lugares, ainda muito ligada à matemática e à geometria. Já o sufixo “processamento”, de Geoprocessamento, vem de processo, que é do latim *processus*, que significa “andar avante”, “progresso”. Os vocábulos latinos *processus* e *progressus* têm o mesmo significado, que é “andar avante”, “avançar”.

Assim, pode se acreditar que o termo Geoprocessamento, surgindo do sentido de processamento de dados georreferenciados, significa implantar um processo que traga um progresso, um andar avante, na grafia ou representação da Terra. Não é somente representar, mas é associar a esse ato um novo olhar sobre o espaço, um ganho de conhecimento, que é a informação (MOURA, 2003).

Não existindo na literatura atual uma definição exata deste termo, tendo cada autor, de acordo com os seus níveis de conhecimento e formação, criado uma definição, segue abaixo algumas definições de tal nomenclatura:

Segundo CARVALHO (2000), o geoprocessamento é um termo amplo, que engloba diversas tecnologias de tratamento e manipulação de dados geográficos, através de programas computacionais.

Para ROCHA (2000), o geoprocessamento é definido como sendo uma tecnologia transdisciplinar, que, através da axiomática da localização e do processamento de dados geográficos, integra várias

disciplinas, equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologias e pessoas para coleta, tratamento, análise e apresentação de informações, associadas a mapas digitais georreferenciados.

Pode-se observar que, quando é levantada qualquer argumentação condizente ao geoprocessamento, em aplicações tanto na área social como na ambiental, a mesma está se referindo a um conjunto de etapas envolvendo a coleta, o armazenamento, o tratamento, e o uso integrado dos dados geográficos. Vale ressaltar que, esses dados, obrigatoriamente, precisam estar georreferenciados, ou seja, com as coordenadas espaciais que os localizem na superfície terrestre.

BACIAS HIDROGRÁFICAS – CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE

No Brasil, a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e organiza o setor de planejamento e gestão na área, adota a bacia hidrográfica como unidade básica de gerenciamento, por conseguinte, buscase cada vez mais um maior conhecimento a cerca das bacias hidrográficas e dos processos dinâmicos que nelas ocorrem. Torna-se então essencial conceituar e interpretar os mecanismos de funcionamento desses sistemas naturais constituídos pelas bacias de drenagem.

O conceito de bacia hidrográfica pode ser aplicado a cada rio do sistema hídrico, e sua abrangência é determinada em função da extensão do leito principal, de seus afluentes, e do comportamento do relevo do terreno. Define-se como sendo uma área topográfica, drenada por um curso d'água ou um sistema conectado de cursos d'água de forma que toda a vazão efluente seja descarregada através de uma simples saída. Para a ciência

ambiental, a bacia hidrográfica contém o conceito de integração. Seu uso e aplicação para estudos de problemas ambientais são fundamentais, pois também contém informações físicas, biológicas e sócio-econômicas (VILLELA & MATTOS, 1975 *apud* MUÑOZ, 2000).

O estudo em bacias hidrográficas possibilita a integração dos fatores que condicionam a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos, com os seus reais condicionantes físicos e antrópicos. Essa escala também se mostra compatível para as ações políticas relacionadas à conservação do solo e à gestão dos recursos hídricos. A determinação das disponibilidades dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica apresenta uma grande complexidade, em função das interações existentes entre os diferentes fatores condicionantes do ciclo hidrológico, notadamente, os fatores físicos. A compreensão dos mecanismos hidrológicos envolvidos entre os diferentes fatores pode possibilitar condições suficientes para a avaliação da dinâmica desses recursos. Infelizmente, de forma geral a ocupação das terras no país se faz de maneira inadequada que conduz invariavelmente a condições de instabilidade ambiental, como a erosão acelerada do solo.

De acordo com SETTI *et al* (2000), a unidade básica de gestão dos recursos hídricos deve ser a bacia hidrográfica, pois através da rede de drenagem fluvial, integra-se grande parte das relações causa-efeito que devem ser tratadas na gestão. Embora existam outras unidades político-administrativas a serem consideradas, como os municípios, Estados, regiões e países, essas unidades não apresentam necessariamente o caráter integrador da bacia hidrográfica, o que poderia tornar a gestão parcial e ineficiente caso fossem adotadas.

Portanto, o planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas devem seguir os seguintes princípios: A – Incorporar todos os recursos ambientais da área da drenagem e não apenas o hídrico; B – Adotar uma abordagem de integração dos aspectos ambientais, sociais, econômicos e políticos, com ênfase nos primeiros e; C – Incluir os objetivos de qualidade ambiental para a utilização dos recursos, procurando aumentar a produtividade dos mesmos e, ao mesmo tempo, diminuir os impactos e riscos ambientais da bacia de drenagem.

IMPORTÂNCIA DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

A adoção do conceito de bacias hidrográficas para monitoramentos de riscos ambientais está relacionada à possibilidade de avaliar, em uma determinada área geográfica, os aspectos físicos e sociais, determinando a melhor forma de ocupação do espaço, com o mínimo de impacto ambiental. Na prática, a utilização do conceito de bacia hidrográfica consiste na determinação de um espaço físico e funcional, sobre o qual devem ser desenvolvidos mecanismos de gerenciamento ambiental na perspectiva de desenvolvimento ambientalmente sustentável.

Neste contexto, o geoprocessamento como ferramenta de análise espacial permite que sejam elaborados modelos simplificados do ambiente da bacia hidrográfica onde podem ser analisados os diferentes fatores que repercutem nos riscos ambientais ali existentes. Outra característica importante desta tecnologia é a capacidade de processamento de um grande volume de dados, o que é particularmente útil

quando os estudos envolvem dados ambientais.

Entre as metodologias de geoprocessamento voltadas à gestão de bacias hidrográficas estão aquelas que empregam o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e a análise de imagens orbitais para auxiliar na determinação de medidas de manejo ambiental. Os SIGs têm sido muito utilizados devido à sua flexibilidade e disponibilidade, consistindo de sistemas computadorizados que permitem sobrepor diversas informações espaciais da bacia hidrográfica. A informação é armazenada digitalmente e apresentada visual ou graficamente, permitindo a comparação e a correlação entre informações. A utilização dos SIGs para o monitoramento ambiental de bacias envolve muitas outras atividades, além da elaboração e manutenção de um banco de dados (alfanumérico e cartográfico), de onde são retiradas as diversas informações estatísticas sobre as características da área de estudo (tipos de solo, vegetação, geologia, geomorfologia, hidrografia, etc). Este banco de dados georreferenciados auxilia a elaboração de modelos para entendimento da dinâmica ambiental da bacia; na previsão de riscos associados à qualidade dos componentes ambientais (água, solo, ar, etc); de riscos inerentes aos processos de uso e ocupação do solo.

O uso de metodologias associadas ao geoprocessamento oferece a possibilidade de executar modelos para prever acidentes com relação aos possíveis cenários decorrentes do tipo de ocupação/uso dos recursos naturais; possibilita também auxiliar os tomadores de decisão na definição de diretrizes a respeito de uso e ocupação do solo.

O estudo de bacias hidrográficas utilizando geoprocessamento pode fornecer importantes subsídios nas atividades de monitoramento de riscos

ambientais, possibilitando a implementação de medidas mitigadoras no processo de planejamento integrado de bacias hidrográficas, disponibilizando resultados com um bom nível de confiabilidade, economicamente viáveis em um espaço de tempo adequado às demandas ambientais.

Além disto, é importante considerar a evolução constante dessas tecnologias, através do desenvolvimento dos instrumentos de extração da informação, avanços na área de hardware e software e novas metodologias de tratamento e conversão de dados, facilitando seu emprego e permitindo que os benefícios dessas tecnologias possam atingir um número muito maior de pessoas.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho propõe uma avaliação que toma por base a cartografia em escala 1:25.000, dados censitários, dados de uso do solo obtidos a partir de uma imagem orbital com resolução espacial compatível com a escala de trabalho, portanto pretende ser um método de resposta rápida e de baixo custo.

O método constitui-se de uma série de etapas desde o preparo da base e o tratamento da imagem até os cruzamentos dos planos de informação e análise dos dados, não exigindo hardware de alto desempenho ou software de alto custo e pode ser aplicado para bacias hidrográficas em áreas urbanas como aporte ao gerenciamento de recursos hídricos e planejamento ambiental nos municípios.

Materiais

Dados

Inicialmente, uma vez identificada, caracterizada e localizada

especialmente a área de estudo, foi realizado um levantamento dos dados bibliográficos, cartográficos e fotográficos.

Uma vez conhecidas as coordenadas geográficas da área de estudo, que delimitam a poligonal da bacia hidrográfica, foi realizada uma pesquisa no banco de dados de imagens CBERS do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE, com o objetivo de localizar a melhor imagem que abrangesse toda a área de estudo.

No final da pesquisa foi identificada a imagem órbita/ponto 146/108, do ano de 2005, com 05% de cobertura de nuvens, como melhor produto para o processamento, uma vez que o percentual de nuvens e as bandas espectrais disponíveis atenderam as exigências da pesquisa.

Posteriormente foi realizado um inventário de todo material cartográfico existente da área. Os dados encontrados foram cartas topográficas da SUDENE na escala de 1:25.000, teses e dissertações com mapas do meio físico também na escala de 1:25.000.

Com relação aos dados alfanuméricos, foram utilizados os dados do censo fornecidos pelo IBGE.

Softwares

Para o tratamento dos dados e para o processamento vetorial e matricial, foi utilizado o programa computacional SPRING (Sistema para Processamento de Informações Georeferenciadas), desenvolvido pelo INPE. O SPRING “é um banco de dados geográficos de 2a. geração”, com distribuição gratuita pela Internet. Segundo o INPE (2007), suas principais características, indispensáveis para os objetivos desta pesquisa, são: Opera como um banco de dados geográfico sem fronteiras e suporta grande volume de dados (sem limitações de escala, projeção e fuso), mantendo a identidade

dos objetos geográficos ao longo de todo banco; Administra tanto dados vetoriais como dados matriciais (“raster”), e realiza a integração de dados de Sensoriamento Remoto num SIG; Provê um ambiente de trabalho amigável e poderoso, através da combinação de menus e janelas com uma linguagem espacial facilmente programável pelo usuário (LEGAL - Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra); Consegue escalonabilidade completa, ou seja, é capaz de operar com toda sua funcionalidade em ambientes que variem desde micro-computadores a estações de trabalho RISC de alto desempenho.

Métodos

Na avaliação dos fatores de riscos potenciais de degradação ambiental da Bacia do Jaguaribe, o presente trabalho propõe considerar os aspectos físicos e o uso do solo em toda a área da bacia e as condições de desenvolvimento humano e saneamento nas áreas onde se encontra a maior parte da população. Estes dados serão analisados separadamente e também de forma conjunta através do cruzamento das informações utilizando o potencial da ferramenta SIG para avaliar os desdobramentos de alguns fatores de risco. As etapas executadas encontram-se detalhadas e justificadas a seguir.

Aspectos do Meio Físico da Bacia

O objetivo de inventariar as informações dos aspectos naturais da bacia é essencialmente transferir todas as informações existentes sobre o meio físico (Materiais inconsolidados, Movimento de massa, Potencial á erosão, Rede de drenagem, e Topografia) para um documento cartográfico que possa ser cruzado com

as variáveis de uso e ocupação e das leis ambientais.

Como o objetivo principal desse trabalho é identificar áreas de riscos potenciais de degradação ambiental da bacia hidrográfica e, conseqüentemente, as áreas de riscos para a população que ocupam as mais diversas áreas da bacia, o presente trabalho procurou abordar algumas variáveis do meio físico pertinentes ao mapeamento geotécnico.

Uso e Ocupação do Solo da Bacia

O principal objetivo desta avaliação é identificar na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe “áreas de conflito de uso”, ou seja, áreas de preservação permanente relacionadas aos recursos hídricos de acordo com a legislação federal, mas que atualmente encontram-se ocupadas. As áreas de “conflito de uso” foram identificadas através de operações de análise espacial nas quais efetuou-se o cruzamento das áreas de preservação permanente definidas com as classes de uso do solo identificadas através da classificação da imagem.

Inicialmente foram definidas as áreas de preservação permanente tomando por base os parâmetros estabelecidos na legislação - LEI Nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 – Código Florestal, e a LEI Nº 7.803, de 18 de julho de 1989 – altera o Código Florestal, e definem as áreas de preservação permanente. Em seguida após efetuou-se o cruzamento das informações destas áreas com as classes de uso do solo: área urbana, vegetação, e água. Desta forma foi possível identificar as áreas irregularmente ocupadas e o tipo de uso do solo nestas áreas. Com base nessa legislação vigente, foram adotadas as faixas de 30 e 50 metros ao longo dos rios, dependendo de sua largura, para delimitar as áreas de preservação permanente.

Condições de Desenvolvimento Humano

A avaliação da condição de desenvolvimento humano envolve a adaptação do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDH-M do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD aos dados obtidos junto ao IBGE referentes aos resultados do Censo Demográfico 2000 (questionário universal). Para o cálculo do índice adaptado do IDH-M aqui simplesmente chamado de IDH é necessário ter presentes alguns conceitos importantes a respeito dos dados retirados do Censo Demográfico 2000 conforme segue:

a) Unidade territorial de coleta (setor censitário): É a unidade de controle cadastral formada por área contínua, situada em um único quadro urbano ou rural, com dimensão e número de domicílios ou de estabelecimentos que permitam levantamento das informações por um único agente credenciado, segundo cronograma estabelecido.

b) Alfabetização: Considerou-se como alfabetizada a pessoa capaz de ler e escrever um bilhete simples no idioma que conhecia. Aquela que aprendeu a ler e escrever, mas esqueceu, e a que apenas assinava o próprio nome foi considerada analfabeta.

c) Idade: A consulta nos dados do censo da idade da pessoa foi feita da seguinte forma: Pela pesquisa: do mês e ano do nascimento; e Pela declaração da idade que tinha em 31 de julho de 2000, somente para quem respondeu o mês e ano do nascimento; nesse caso, foi pesquisado o número de anos ou meses completos, respectivamente, para as pessoas com idades superiores ou

inferiores a um ano; para o recém-nascido, com menos de um mês de vida, considerou-se a idade zero; e pela idade presumida para a pessoa que não sabia o mês ou o ano do nascimento.

De acordo com os dados do Censo Demográfico 2000 (IBGE) os setores censitários que fazem parte da bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe totalizam aproximadamente 293.000 habitantes e 75.000 domicílios particulares permanentes.

Condições de Saneamento

Com o objetivo de avaliar as condições de saneamento foi elaborado um índice específico: o Índice de Saneamento Ambiental – ISA que foi gerado, a exemplo do IDH, com os dados do Censo Demográfico 2000. A criação deste índice deve-se a importância de que o saneamento representa questão relacionada aos recursos hídricos, mais notadamente em áreas densamente urbanizadas. Com relação ao saneamento também existem alguns conceitos importantes no que se refere à coleta de dados do censo, os quais são abaixo apresentados:

a) Domicílio particular permanente: domicílio que foi construído para servir exclusivamente à habitação e, na data de referência, tinha finalidade de servir de moradia a uma ou mais pessoas; sendo considerados também domicílios localizados em estabelecimentos institucionais como hospitais, leprosários, asilos, mosteiros, quartéis, escolas, prisões e assemelhados ocupados por seus empregados ou por militares.

b) Forma de abastecimento de água: as formas de abastecimento de água dos domicílios foram assim classificadas:

b.1) Rede geral: quando o domicílio, ou estabelecimento, propriedade em que

estava localizado, estava ligado à rede geral de abastecimento de água; **b.2) Poço ou nascente:** quando o domicílio era servido por água de poço ou nascente, localizado no terreno ou propriedade em que estava construído o domicílio; **b.3) Outra:** quando o domicílio era servido por água de poço ou nascente localizado fora do terreno ou da propriedade em que estava construído ou quando o domicílio era servido de água de reservatório, abastecido com água das chuvas, por carro-pipa ou, ainda, por poço ou nascentes localizados fora do terreno ou da propriedade em que estava construído.

c) Banheiro: o cômodo do domicílio particular permanente que, na data de referência, dispunha de chuveiro ou banheira e aparelho sanitário, e era de uso exclusivo dos moradores do domicílio.

d) Sanitário: o local, no terreno ou na propriedade onde se localizava o domicílio, limitado por paredes de qualquer material, coberto ou não por um teto, que dispunha de aparelho sanitário ou de buraco para dejeções.

e) Tipo de esgotamento sanitário: os tipos de esgotamento sanitário dos domicílios com banheiro ou sanitário foram assim classificados: **e.1) Rede geral de esgoto ou pluvial:** quando a canalização das águas servidas e dos dejetos do banheiro ou sanitário estava ligada a um sistema de coleta que o conduzia a um escoadouro geral da área, região ou município, mesmo sem estação de tratamento de esgoto; **e.2) Fossa séptica:** quando a canalização do banheiro ou sanitário estava ligada a uma fossa séptica, sendo ou não a parte líquida conduzida a um desaguadouro geral; **e.3) Fossa rudimentar:** quando o banheiro ou sanitário estava ligado a uma fossa rústica; **e.4) Vala:** quando o

banheiro ou sanitário estava ligado diretamente a uma vala a céu aberto; **e.5) Rio, lago ou mar:** quando o banheiro ou sanitário estava ligado diretamente a um rio, lago ou mar; **e.6) Outro escoadouro:** quando o escoadouro dos dejetos provenientes do banheiro ou sanitário fosse diferente dos descritos acima.

f) Destino do lixo: o destino do lixo proveniente do domicílio particular permanente foi classificado como: **f.1) Coletado:** coletado por serviço de limpeza ou em caçamba de serviço de limpeza; **f.2) Não coletado:** queimado na propriedade, enterrado na propriedade, jogado em terreno baldio ou logradouro, jogado em rio, lago ou mar, ou outro destino que não os anteriores.

RESULTADOS

Imagem Classificada

Como resultado da segmentação e classificação da imagem CBERS foi gerado o mapa temático do uso e ocupação do solo de toda a área da bacia hidrográfica. No processo de aplicação segmentação da imagem foram definidos os seguintes parâmetros para posteriormente aplicar a classificação supervisionada: **Número de Classes:** 03; **Similaridade:** 25; **Área em pixel:** 10; **Método:** Crescimento por Regiões.

Mapas Temáticos e Análise Dos Cruzamentos

Com os resultados dos mapas vetorizados foi gerado uma série de temas que formaram a base de dados do meio físico e social da área de estudo. Vale salientar que os temas aqui elaborados estão direcionados para atender os interesses do objetivo do trabalho, a análise dos riscos potenciais

de degradação ambiental da bacia. Foram levados em consideração os mapas geotécnicos e os indicadores sociais do censo de 2000. Segue a listagem das temáticas e os respectivos mapas: APP's (Áreas de Proteção Permanente); Curvas de Nível; Declividade; Setores Censitários; IDH (Índice de Desenvolvimento Humano); ISA (Índice de Salubridade); Materiais Inconsolidados; Movimentos de Massa; Potencial à Erosão.

Conflito de Uso (APP x Área Urbanizada)

O resultado das operações de análise espacial referentes a identificação de áreas de conflito de uso, ou seja, áreas de preservação permanente irregularmente ocupadas, apresentou os seguintes valores: Áreas de preservação permanente: 3,03 km²; Áreas de conflito de uso: 0,91 km²; Percentual de áreas irregularmente ocupadas em relação ao total de áreas de preservação permanente: em torno de 30,03 %. As áreas de conflito de uso identificadas distribuem-se ao longo de toda a bacia. Estas áreas referem-se principalmente às faixas de 30 m e 50m nas margens dos rios destinadas a manutenção da mata ciliar e ao redor dos lagos.

A ocupação das áreas de nascentes, o que é altamente comprometedor do ponto de vista ambiental e especificamente na questão de qualidade da água. No mapa gerado (APP x Área Urbanizada) observa-se que grande parte apresenta conflito de uso com relação as áreas de preservação permanente. Percebe-se ainda algumas áreas isoladas na região onde encontram-se as falésias mortas que são aquelas com declividades superiores a 45%, contudo a maioria das áreas de conflito de uso identificadas estão situadas às margens dos cursos de água.

Áreas de Risco I (Declividade x Área Urbanizada)

A declividade expressa à medida de inclinação do relevo com relação ao plano horizontal do terreno, portanto tal atributo é de grande importância para a análise das limitações do meio físico decorrente das variadas formas de ocupação. O relevo da área da bacia é caracterizado por áreas de planícies costeiras, onde predomina as superfícies horizontais ou pouco inclinadas, com declividades inferiores a 5% e os terrenos representados pelos Tabuleiros

do Terciário que apresentam altitudes na ordem de 50m.

Procurando analisar as áreas de riscos decorrentes do processo de ocupação desordenada em áreas impróprias para habitação, foi gerado o mapa de Áreas de Risco I com o objetivo de analisar as áreas com declividade superior a 20%, que estão sendo ocupadas de forma irregular. Através da avaliação desse material cartográfico foi possível constatar que 0,72 km² da bacia, ou seja, 1,49% - encontra-se ocupada em áreas classificadas como inadequadas para este tipo de uso, de acordo com os critérios adotados inicialmente (Fig 2).

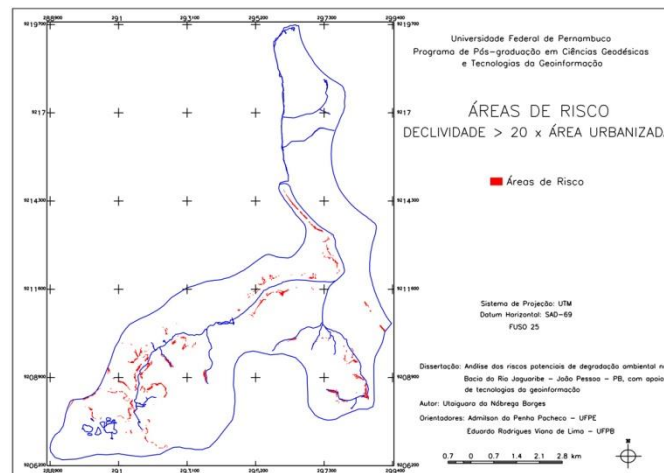


Figura 2 – Mapa de Risco I (Declividade x Área Urbanizada)

Risco Sócio-Ambiental (ISA + IDH)

O índice de desenvolvimento humano é aplicado tomando como base o número de habitantes por setor censitário. Foi possível constatar que as áreas de risco com relação ao IDH encontra-se nas áreas onde predomina a população de baixa renda, na sua grande maioria população pertencentes às comunidades subnormais.

O cálculo do índice de saneamento ambiental é efetuado tomando por base o número de domicílios particulares permanentes por setor censitário, a partir desse valor são consideradas as condições mínimas com relação ao saneamento: situação do abastecimento de água, esgotamento sanitário e coleta de lixo. Observa-se que as áreas que oferecem riscos ambientais encontram-se, assim como o IDH, nas áreas de população de baixa

renda mais especificamente nas populações dos aglomerados subnormais.

Com o objetivo de fazer uma análise mais acurada dos riscos potenciais, com relação aos indicadores supracitados, foi gerado o mapa de Risco Sócio-Ambiental com a aplicação da álgebra de mapas, realizado com o cruzamento dos planos de informações do IDH + ISA. Esse mapa apresenta a síntese dos indicadores analisados anteriormente mostrando as áreas onde predominam os riscos sócio-ambientais na bacia hidrográfica. O total da área que oferece risco potencial com relação a esses indicadores é de 5,94 Km² correspondendo, com relação a área total da bacia de 48,25 Km², um percentual de 12,31.

Riscos Geotécnicos

Os mapas geotécnicos contribuem para o entendimento dos comportamentos e transformações do meio físico provocadas pela ocupação humana desordenada, e busca estabelecer o equacionamento e a

resolução dos problemas sociais e ambientais decorrentes da inter-relação entre a urbanização e o meio físico. Com os mapas geotécnicos torna-se possível organizar o processo de ocupação urbana no que diz respeito às áreas que são propícias para urbanização. Procurando avaliar as áreas de riscos potenciais na bacia hidrográfica foi elaborado o material com os dados Geotécnicos, levando em consideração os temas: Materiais Inconsolidados, Movimentos de Massa e Potencial à Erosão. Esses temas são de grande valia uma vez que evidenciam as áreas de terrenos instáveis para ocupação.

Analisando o mapa gerado observa-se que as áreas que apresentam riscos de ocupação estão localizadas ao longo da planície de inundação do rio, áreas estas bastante ocupadas por populações de baixa renda, e toda parte da planície costeira que está inserida no contexto da bacia, área onde predomina populações de renda média e alta. A área que oferecem risco potencial com relação à geotecnia da área é de 20,23 Km², correspondendo a 41,93% da área total da bacia (Fig. 3).

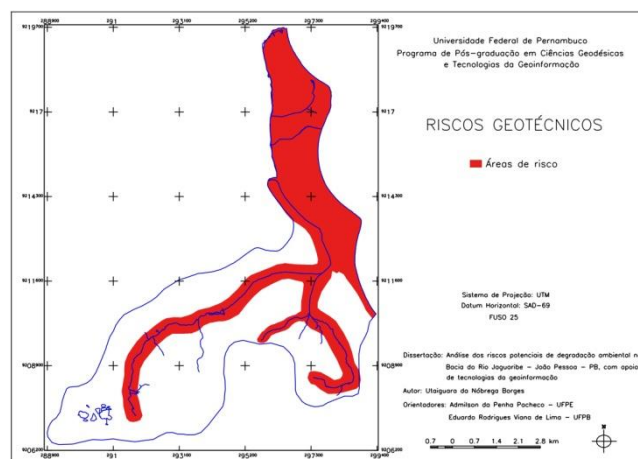


Figura 03 – Mapa de Riscos Geotécnicos

Áreas de Riscos II (Riscos Geotécnicos x Área Urbanizada)

Procurando identificar as áreas onde estão localizadas as populações que estão ocupando áreas de risco geotécnica, foi gerado o segundo mapa de áreas de risco com o cruzamento dos mapas de risco geotécnico e área urbanizada. Observa-se que as áreas que estão sendo ocupadas pela população

estão, na sua grande maioria, na planície costeira, e a menor parte ao longo da planície de inundação do rio Jaguaribe. Essas áreas correspondem a 12,46 Km², ou seja, 25,82% do total da bacia apresenta riscos relacionados a movimento de massa, construções realizadas em terrenos frágeis, e locais com alto potencial de erodibilidade (Fig. 4).

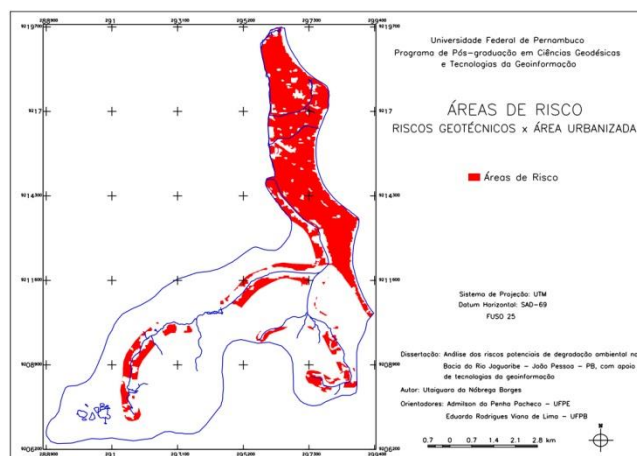


Figura 4 – Mapa de Área de Risco II (Risco Geotécnico x Área Urbanizada)

Risco Potencial

O mapeamento das áreas de risco potencial no âmbito da bacia foi gerado considerando todos os mapas anteriormente mencionados (Conflito de Uso; Áreas de Risco I e II; Risco Sócio-Ambiental e Riscos Geotécnicos). A produção desse material teve como objetivo sintetizar, em um único documento cartográfico, as áreas que oferecem riscos potenciais para população e os recursos hídricos da

bacia hidrográfica. Como foi mencionada anteriormente a área da bacia é de 48,25 Km². A área total de risco potencial da bacia é de 17,57 Km², ou seja, corresponde a 36,41% do total. Ao analisar o mapa de risco potencial pode-se observar que as áreas que oferecem riscos da bacia estão localizadas na planície costeira, ao longo da planície de inundação, nas áreas de falésias mortas e nas nascentes dos rios (Fig. 5).

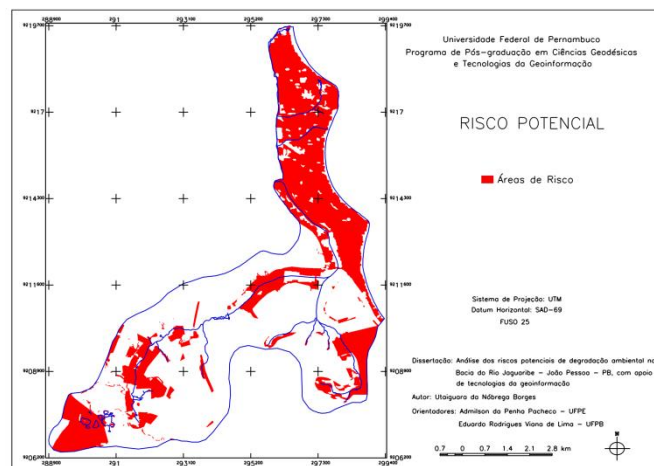


Figura 5 – Mapa de Risco Potencial com relação ao uso e ocupação do solo na área da bacia

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos propostos neste trabalho para a avaliação dos riscos potenciais de degradação ambiental na Bacia do Rio Jaguaribe, João Pessoa – PB, mostraram-se ricos em possibilidades e adequados para utilização em bacias hidrográficas situadas em áreas urbanas, sobretudo quando não se dispõe de dados em quantidade e qualidade suficientes para conferir consistência a estudos mais aprofundados. Todas as avaliações foram efetuadas com informações extraídas da cartografia de fácil acesso, de uma imagem orbital de custo zero e de dados do Censo Demográfico 2000. Os dados foram convenientemente organizados em planos de informação e incorporados a um Sistema de Informações Geográficas (SIG) gratuito, o que possibilitou o cruzamento das informações obtendo importantes indicativos de risco e demonstrando o potencial das técnicas de SIG e Sensoriamento Remoto quando utilizadas de forma integrada.

Os programas computacionais e as imagens de satélite gratuitas e de domínio público, mostraram serem

eficientes para obtenção dos resultados pretendidos neste trabalho. Isso demonstra que vários estudos podem ser realizados em bacias hidrográficas localizadas em áreas urbanas sem a necessidade de programas, equipamentos e imagens aéreas ou orbitais de alto custo. Com essa pesquisa foi possível executar uma aplicação real dos produtos de Sensoriamento Remoto e SIG disponibilizados gratuitamente, demonstrando uma redução significativa no custo da execução de projetos.

De uma forma geral foi possível identificar a eficiência do SPRING no que diz respeito ao processamento dos dados geográficos. Esse sistema deixa a desejar apenas no que diz respeito a sua manipulação por usuários que tenham pouca experiência com o manuseio de sistemas de informações geográficas.

Com relação às imagens CBERS, foi possível verificar que as mesmas favorecem o estudo de bacias em áreas urbanas. Essas imagens se adequam perfeitamente à interpretação visual e a classificação automática, apresentando poucas restrições para a geração de mapas temáticos de uso e ocupação do

solo. O único agravante foi a não disponibilização de imagens com datas atualizadas. Entretanto, em função dos resultados, recomenda-se o uso dessas imagens para o estudo de bacias hidrográficas intra-urbanas.

Com a digitalização da base cartográfica via tela do computador, pôde-se ter em formato digital todos os mapas temáticos necessários para cobrir toda a área de estudo. Esta etapa mostrou-se ser a mais trabalhosa e demorada, por exigir uma série de cuidados durante o processo de escanização dos documentos, com o intuito de gerar arquivos de boa qualidade.

Um outro fato bastante salutar com relação a geração dos mapas temáticos e o processamento da imagem, diz respeito a incompatibilidade de sistemas e bases cartográficas. Foi verificada a incompatibilidade da base cartográfica com a imagem de satélite, uma vez que não houve uma sobreposição correta dos dados. Esse processo de compatibilização geodésica é de grande importância uma vez que no desenvolvimento de um sistema para análise de dados geográficos, todas as bases devem se sobrepor com o objetivo de formar um conjunto de temas com alta correlação espacial.

No que dizem respeito aos dados do IBGE, os mesmos mostraram-se ser bastante úteis no que concerne ao acesso e a qualidade dos dados, apresentando ótimos resultados na espacialização dos indicadores.

Com relação ao cenário da bacia hidrográfica, a mesma apresenta uma densidade ocupacional bastante elevada, uma grande concentração de áreas que oferecem riscos potenciais de degradação ambiental em todo o seu contexto.

Avaliando os resultados obtidos considera-se que o trabalho atingiu plenamente seus objetivos,

demonstrando como as técnicas de SIG e Sensoriamento Remoto podem auxiliar no diagnóstico de problemas ambientais, possibilitando formas de análise que forneçam resposta rápida e de baixo custo. O trabalho possibilita ainda a exploração de outras variáveis que podem influenciar na degradação da bacia como, por exemplo, o desenvolvimento de atividades produtivas, o mapeamento de áreas de equipamentos potencialmente poluidores ou mesmo considerações a respeito da distribuição da vegetação na área da bacia. Este tipo de análise poderia ser empregado como aporte de ações de recuperação de áreas degradadas e como um indicativo da necessidade de implantação de equipamentos urbanos em áreas carentes dos municípios, melhorando a qualidade de vida da população e auxiliando na preservação dos recursos naturais.

Agradecimentos – Os autores agradecem aos revisores do Estudos Geológicos que em muito contribuíram para a melhoria deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, J., 1995, *Risk: the policy implications of risk compensation and plural rationalities*. London, UCL Press.
- BORGES, M. P.C., 2000, *Utilização de Sistema de Informação Geográficas na Análise Espacial de Dados Oficiais de Saúde Pública do Estado da Paraíba*. Dissertação de mestrado apresentada no mestrado em Engenharia Biomédica, CCS/UFPB, 153p.
- CARDONA, O.D. *Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo: elementos para el ordenamiento y la planeación del desarrollo*. In: MASKREY, A.

- (org.) Los desastres no son naturales. Bogotá: La Red. Disponível em: <http://www.lared.org.pe/publicaciones/libros/2042/cap.htm>. 1993. Acesso em: 17 out. 2007.
- CARVALHO, M. S.; PINA, M. F.; SANTOS, S. M., 2000, *Conceitos Básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia Aplicados à Saúde*. Brasília: Organização Panamericana da Saúde, Ministério da Saúde, 122p.
- CHRISTOFOLETTI, A., 2006, *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 5ª ed, 250 p.
- COUTO, J. C. V., 2005, *Ocupação em áreas de riscos na cidade de João Pessoa (O Caso da Comunidade São José)*. Pós-graduação do Prodem/Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Dissertação de Mestrado, 199 p.
- DUARTE, P. A., 2002, *Fundamentos de Cartografia* 2ed – Florianópolis: Ed. Da UFSC, 208p.
- EGLER, C. A. G., 1996, *Risco Ambiental como Critério de Gestão do Território*. Território, 1: 3, 1-41.
- FERREIRA, L. P., 2001, *Levantamento e classificação da Vegetação Nativa do Município de Patos – PB Através de Técnicas de Sensoriamento Remoto*. Dissertação de Mestrado apresentada no Mestrado em Manejo de Solo e Água – CCA/UFPB, Areia, 91p.
- FLORENZANO, T. C., 2002, *Imagens de Satélite para Estudos Ambientais*. São Paulo: Oficina de Textos, 97p.
- GODARD, O.; Henry, C.; Lagadec, P.; & Michel-Kerjan, E., 2002, ***Traité des Nouveaux Risques. Précaution, crise, assurance***. Gallimard, collection Folio-Actuel 620 p.
- GRIGIO, A. M., 2003, *Aplicação do Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica na Determinação da Vulnerabilidade Natural e Ambiental do Município de Guamaré (RN): simulação de risco às atividades da indústria petrolífera*. Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de pós-graduação em geodinâmica e geofísica. CCET/UFRN, Natal – RN, 222p.
- GUEDES, L. S., 2002, *Monitoramento Geoambiental do Estuário do Rio Paraíba do Norte – PB por meio da Cartografia Digital e de Produtos de Sensoriamento Remoto*. Dissertação de Mestrado apresentada na UFRN, 100p.
- HEWITT, K., 1997, *Regions of Risk. A Geographical Introduction to Disasters*. Essex. Longman, 389p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2003, *ESTATCART – Sistema de Recuperação de Informações Georreferenciadas – Versão 2.0*. Rio de Janeiro: IBGE. 1 CD-ROM
- _____, 2003. *Censo Demográfico 2000 Agregado por Setor Censitário dos resultados do universo – 2ª. Edição*. Rio de Janeiro: IBGE. 1 CD-ROM
- _____, 2003, *Base de Informações Municipais*. Rio de Janeiro: IBGE. 1 CD-ROM
- INPE., 2007, ***Tutorial do Spring***. São José dos Campos, SP: INPE. 305 p. (Apostila).
- KIRCHHOFF, D., 2004, *Avaliação de risco ambiental e o processo de licenciamento: o caso do gasoduto de distribuição gás brasileiro trecho São Carlos – Porto Ferreira*, dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos.
- KIRCHHOFF, D., 2004, *Avaliação de risco ambiental e o processo de licenciamento: o caso do*

- gasoduto de distribuição gás brasileiro trecho São Carlos – Porto Ferreira*, dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos.
- LAPARELLI, R. A. C., 2001, *Geoprocessamento e Agricultura de Precisão: fundamentos e aplicações*. Guaíba: Agropecuária, 118p
- LOCH, C., 2001, *A Interpretação de Imagens Aéreas: noções básicas e algumas aplicações nos campos profissionais*. 4ed. – Florianópolis: Ed. da UFSC, 118p.
- MELO, S. T.; HECKENDORFF, W. D.; Alves, E. L.; GUIMARÃES, M. M. M. 2001, *O Meio Ambiente Natural: componentes abióticos e bióticos*. In Projeto de pesquisa: Vale do Rio Jaguaribe. João Pessoa: UNIPÊ Editora, 31-94p.
- MELO, S. T.; RODRIGUEZ, J. L. 2003, *Paraíba: desenvolvimento econômico e a questão ambiental*. João Pessoa: GRAFSET, 164p.
- MOREIRA, M. A. 2007, *Fundamentos de Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação*. São José dos Campos: INPE, 350p.
- Moura, D., 2003, *Riqueza e Abundância de Abelhas em Diferentes Estágios de Degradação da Caatinga como Indicadores Ambientais no Entorno da Usina Hidrelétrica de Xingó*. Dissertação de Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais. Recife, PE: UFPE, Departamento de Geografia.
- MUÑOZ, H. R. (org.), 2000, *Interfaces da gestão de recursos hídricos: desafios da Lei de Águas de 1997*. 2. ed. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos.
- NETO, J.S.L., 2001, *Recursos Hídricos e as Bacias Hidrográficas Âncoras do Planejamento Ambiental*. Revista do Departamento de Geografia, N. 20, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, Humanistas.
- NÓBREGA, T. M. Q. 2002, *A Problemática da Drenagem em Áreas Urbanas Planas: o caso da planície costeira da cidade de João Pessoa – PB*. 126p. Dissertação de mestrado apresentada no programa de pós-graduação em desenvolvimento e meio ambiente, da Universidade Federal da Paraíba.
- OLIVEIRA, F. B. 2001, *Degradação do Meio Físico e Implicações Ambientais na Bacia do Jaguaribe*. 93p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco – Recife – PE.
- PMJP - *Sumário do Perfil de João Pessoa*. Estado da Paraíba, Prefeitura Municipal de João Pessoa, Secretaria do Planejamento. 15 de maio de 2003.
- GUEDES, L. S. 2002, *Monitoramento Geoambiental do Estuário do Rio Paraíba do Norte – PB Por Meio da Cartografia Temática Digital e de Produtos de Sensoriamento remoto*. Natal, 80p. (Mestrado em Geodinâmica) – Programa de pós-graduação em geodinâmica e geofísica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. (Orientador: Prof. Venerando Eustáquio Amaro).
- ROCHA, C. H. B. 2000, *Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar*. Juiz de Fora, MG: Ed. do Autor, 220p.
- ROMÃO, V. 2002, *Geodésia*. (Apostila). Recife, PE: UFPE.

- SALLES, I. H. F. 1997, *Conceitos de Geografia Física*. São Paulo: Ícone, 120p.
- SANTOS, J. A. 2004, *Análise Sociambiental em Áreas de Risco do Município de João Pessoa (PB): o caso dos aglomerados subnormais bairro São José e Timbó*. 78p. Monografia apresentada no curso de graduação em geografia, da Universidade Federal da Paraíba – João Pessoa – PB.
- SANTOS, A., 2001, *Geodésia Elementar: princípios de posicionamento global – GPS*. Recife, PE: Editora da UFPE.
- SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. de M.; PEREIRA, I. de C. 2000, *Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos*. 2ª ed. – Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas,.
- SILVA, J. X. 2001, *Geoprocessamento para Análise Ambiental*. Rio de Janeiro: J. Xavier da Silva, 228p.
- SILVA, L. P. 2002, *Análise espacial de riscos ambientais na bacia do Rio Cuia através de técnicas de geoprocessamento*. Monografia de Graduação – DGEOC/CCEN/UFPB, João Pessoa, 57p.