



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E
AMBIENTAL
– MESTRADO –**

**O USO DO IVDN NO ESTUDO DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DE
BACIAS HIDROGRÁFICAS DO LITORAL SUL DO ESTADO DA
PARAÍBA**

Por

Alysson Pereira de Lucena

*Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba
para obtenção do grau de Mestre*

João Pessoa – Paraíba

Março de 2014



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E
AMBIENTAL
– MESTRADO –**

**O USO DO IVDN NO ESTUDO DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DE
BACIAS HIDROGRÁFICAS DO LITORAL SUL DO ESTADO DA
PARAÍBA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

Alysson Pereira de Lucena

Orientador: Prof. Dr. Hamilcar José Almeida Filgueira

João Pessoa – Paraíba

Março de 2014

L935u Lucena, Alysson Pereira de.

*O uso do IVDN no estudo da degradação ambiental de
bacias hidrográficas do litoral sul do estado da Paraíba /
Alysson Pereira de Lucena.- João Pessoa, 2014.*

105f. : il.

Orientador: Hamilcar José Almeida Filgueira

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT

*1. Engenharia urbana e ambiental. 2. Bacias
hidrográficas. 3. IVDN. 4. Degradação ambiental.*

UFPB/BC

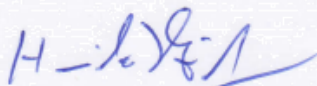
CDU: 62:711(043)

*"O USO DO IVDN NO ESTUDO DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DE BACIAS
HIDROGRÁFICAS DO LITORAL SUL DO ESTADO DA PARAÍBA."*

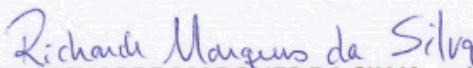
ALYSSON PEREIRA DE LUCENA

Dissertação aprovada em 27 de março de 2014

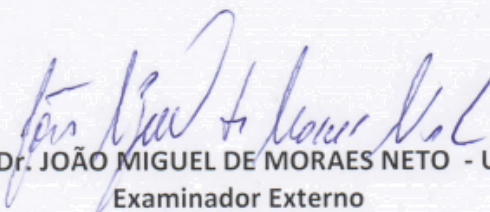
Período Letivo: 2013.2



Prof. Dr. HAMILCAR JOSÉ ALMEIDA FILGUEIRA – UFPB
Orientador



Prof. Dr. RICHARDE MARQUES DA SILVA – UFPB
Examinador Interno



Prof. Dr. JOÃO MIGUEL DE MORAES NETO - UFCG
Examinador Externo

João Pessoa/PB
2014

A todos que me amam, e ajudaram na
minha formação como pessoa, em
especial ao meu pai, em memória,
minha mãe, minha avó, minha esposa
e meu filho.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

A caminhada até aqui não foi fácil, muitas dificuldades, momentos cansativos, noites mal dormidas, momentos de angústia, desespero e de vontade de jogar tudo para o alto, contudo posso afirmar que essa conquista não é apenas minha, pois sem a participação direta e indireta das pessoas que me amam e me apoiam, seja pessoalmente, academicamente ou profissionalmente, com palavras de fé, alegria, companheirismo, apoio, força, compreensão e exemplos de vida, este sonho não teria se concretizado.

Por isso divido esse trabalho com essas pessoas essenciais na minha vida e utilizo este espaço para fazer uma simplória homenagem e prestar meus mais sinceros, profundos e eternos agradecimentos. Desde já, peço desculpas caso esqueça de citar alguém, pois as pessoas a quem me refiro não são apenas as que estiveram ao meu lado nestes 30 meses, e sim, as que se fizeram presente em toda minha vida e participaram da minha formação como pessoa.

Primeiramente agradeço a Deus, o mestre maior detentor de toda a sabedoria e, a Nossa Senhora que tem intercedido por mim junto a ele, em todos os momentos que necessitei, pelas oportunidades que tem colocado em meu caminho, pois sem este apoio e consentimento não chegaria a lugar algum.

Agradeço a minha família, base da minha educação, da minha maneira de ser e de viver, aos meus pais, minha avó, minhas irmãs, minha esposa e meu filho.

Ao meu pai, Benevides de Oliveira Lucena (em memória), pelo amor, carinho, companheirismo e ensinamentos de caráter, personalidade, hombridade e por sempre pensar no nosso futuro. Esse que lá do céu, me deu muita força nessa trajetória e certamente está muito orgulhoso do seu filho.

A minha mãe e amiga, Maria de Fátima Pereira Lucena, pelo empenho infinito em nos dar a melhor educação, independente do obstáculo que fosse necessário ultrapassar, pelo amor, carinho, companheirismo, apoio, compreensão e ainda pelo orgulho e admiração que demonstra por mim, a despeito da qual tento ser merecedor, embora este merecimento nunca chegue ao tamanho do seu sentimento. Tenho certeza que ela é a pessoa que mais se orgulha dessa conquista.

A minha avó tão amada, Maria Rodrigues Pereira, que ajudou a nos criar e educar, nos mostrou o caminho e os ensinamentos de fé, pelo amor e a admiração incondicional e por está ao meu lado, até mesmo, nos momentos que não merecia.

As minhas irmãs pelo amor, companheirismo, compreensão nos momentos de estresse, principalmente a Alyne Lucena Cavalcante, mestre formada neste programa de pós-graduação, a quem eu tenho uma enorme admiração e sigo os passos, exemplo de mulher, de vida, de força e de perseverança.

A minha esposa, Rafaella Guimarães Ribeiro, que norteia minha vida e me mostrou que a família é o maior bem que podemos ter, pelo amor, carinho, pelas palavras de apoio e conforto, pela paciência e compreensão nos momentos de estresse, nos fins de semana e feriados trancados em casa.

Ao meu filho, Antony Guimarães Lucena, gerado e nascido durante o mestrado, que é a pessoa mais importante da minha vida, a quem eu dedico um amor incondicional e de quem recebo forças pra lutar e ultrapassar qualquer barreira. Que me fala palavras que nem sei qual é a língua, mas me conforta, me faz esquecer os problemas e achar a vida maravilhosa, sempre me dá forças para seguir em frente e mostra que todo empenho vale a pena.

Agradeço a todos da UFPB (Universidade Federal da Paraíba) e do LARHENA (Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental), aos docentes, que ministraram as disciplinas do mestrado, pelos ensinamentos que levarei por toda vida, em especial ao meu orientador, Hamilcar José Almeida Filgueira, pelos ensinamentos e pela paciência, apoio, companheirismo e compreensão, principalmente nos momentos difíceis que passei no decorrer do mestrado.

Ao técnico Edilson pela ajuda incansável durante os trabalhos de campo, ao bolsista André Lucena Pires, que me ajudou muito em todas as etapas desta pesquisa, mesmo quando a bolsa já havia terminado. A todos os companheiros de Curso, em especial aos que me ajudaram na pesquisa e aos mais próximos durante esta trajetória Alexandre, Érika, Antônio Henrique, Eudes e Alzira, pela amizade, troca de conhecimentos, cumplicidade e companheirismo.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro que viabilizou a pesquisa.

Enfim esta é uma conquista muito sonhada e suada, que não teria alcançado sozinho, portanto, tenho que agradecer a todos os que fazem e fizeram parte da minha vida, desde os amigos de infância e professoras da educação infantil.

RESUMO

Esse trabalho teve como objetivo a aplicação do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) no estudo da degradação ambiental das bacias hidrográficas do rio Gramame e dos rios Abiai-Papocas, ambas situadas no litoral sul do Estado da Paraíba. A pesquisa foi realizada a partir de imagens do satélite Landsat 5 TM, dos anos de 1989, 2001 e 2006. Inicialmente foram realizadas correções atmosférica e radiométrica. A partir das imagens corrigidas extraiu-se e confeccionou-se os mapas temáticos de faixas do IVDN, que destacaram a densidade da cobertura vegetal. Em seguida foram realizadas visitas *in loco*, nas quais foram coletados pontos amostrais, adotados como representativos na classificação supervisionada por regiões, das imagens de satélite, que resultou na confecção dos mapas temáticos de uso do solo. Com informações topográficas do Modelo Digital de Elevação (MDE) de imagens *The Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) foram confeccionados os mapas temáticos da descrição do terreno a partir da altura de cada pixel em relação rede de drenagem, utilizou-se o algoritmo *Height Above the Nearest Drainage* (HAND). Em seguida, foram realizados cruzamentos dos dados do IVDN com os de uso do solo e com os do HAND, objetivando justificar as repostas do IVDN, assim como, avaliar a relação deste com os usos do solo e com o desnível em relação à rede de drenagem. A partir do cruzamento do IVDN com o HAND foi verificada a presença de vegetação com maior biomassa nas regiões mais baixas. Com o cruzamento dos mapas do uso do solo e do IVDN observou-se que grande parte das áreas com solos expostos apresentaram valores de IVDN na faixa de -0,25 a 0,15. Quanto à degradação da vegetação nas bacias hidrográficas, houve uma diminuição dos valores de IVDN de 1989 para 2001 e uma regeneração de 2001 para 2006. Observou-se um aumento da convergência da vegetação natural em terras agrícolas e em expansões urbanas sem planejamento; e que grande parte das áreas degradadas são proveniente da prática da mineração e da agricultura sem a utilização de técnicas conservacionistas do solo. Verificou-se ainda, que dados obtidos na pesquisa possibilitou a geração de informações que poderão ser utilizadas em outras pesquisas, no auxílio a tomadores de decisão e na formulação de políticas públicas voltadas para a minimização da degradação ambiental nas bacias hidrográficas estudadas.

PALAVRAS-CHAVE: Bacias hidrográficas, IVDN, Degradação ambiental

ABSTRACT

This work aims the implementation of the Index Normalized Difference Vegetation (NDVI) in the study of environmental degradation of watersheds of rivers and river Gramame Abiai-Papocas, both located on the south coast of Paraíba state. The survey was conducted from images of Landsat 5 TM satellite, the years 1989, 2001 and 2006. Initially Atmospheric and radiometric corrections were performed. From the corrected images extracted and it was made thematic maps tracks the NDVI, which highlighted the density of vegetation cover. Then on-site visits, in which sampling points chosen as representative in supervised classification by regions, satellite images, which resulted in the preparation of thematic maps of land use were collected were performed. Topographic information from the Digital Elevation Model (DEM) images The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) thematic maps describing the ground from the height of each pixel in the drainage network relationship were made using the algorithm Height Above the Neareast Drainage (HAND). Then crosses the NDVI data with land use and with the HAND were carried out to justify the responses of NDVI, as well as evaluating its relationship with the land uses and the gap compared the drainage network. From the intersection of NDVI with HAND verified the presence of vegetation with greater biomass in the lower regions. With the crossing of the maps of land use and NDVI was observed that a large number of areas with exposed soils showed NDVI values in the range of -0.25 to 0.15. As for vegetation degradation in river basins, there was a decrease in NDVI values for 2001 and 1989 regeneration 2001 for 2006 observed an increasing convergence of natural vegetation in farmland and urban expansion without planning.; and that much of the degradation are derived from the practice of mining and farming without the use of soil conservation techniques. It was also found that data obtained in research enabled the generation of information that can be used in other research and aid decision makers in formulating geared to minimizing the environmental degradation in the watersheds studied public policy.

KEYWORDS: River basins, NDVI, Environmental Degradation

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS.....	21
2.1	Objetivo Geral.....	21
2.2	Objetivos Específicos	21
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
3.1	Bacias Hidrográficas	22
3.2	Sensoriamento Remoto e SIG como Ferramenta de Gestão	25
3.3	IVDN no Estudo da Degradação Ambiental.....	27
3.4	Estudos de Caso	29
3.4.1	Geotecnologias e Bacias Hidrográficas	29
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	34
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
5.1	Pré-processamento das imagens de satélite	39
5.2	Obtenção do IVDN	39
5.3	Atividades de campo.....	40
5.4	Mapeamento do uso do solo	40
5.5	Obtenção do HAND.....	41
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
6.1	Correções das imagens utilizadas neste estudo.....	42
6.2	Obtenção do IVDN	44
6.3	Resultado das atividades de campo	54
6.4	Mapeamento do uso do solo	58
6.5	Obtenção do HAND.....	67

6.6	Cruzamentos de Dados	72
6.6.1	IVDN e uso do solo	73
6.6.2	IVDN e HAND	80
7	CONCLUSÕES	88
8	RECOMENDAÇÕES	90
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
	APÊNDICE A	98
	APÊNDICE B.....	101
	APÊNDICE C	104

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Bacia hidrográfica: limites e processos. FONTE: Nascimento e Villaça (2008)	23
Figura 2 - Mapa de localização das bacias hidrográficas dos rios Gramame e do Abiaí-Papocas.	35
Figura 3- Principais cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Gramame. FONTE: PARAÍBA, 2000a.	36
Figura 4- Uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame. Fonte: Coelho, 2011.	37
Figura 5: Imagem Landsat 5 TM das bacias hidrográficas do Gramame e do Abiaí-Papocas, do ano de 2001 (R3, G2, B1).	43
Figura 6: Imagem Landsat 5 TM das bacias hidrográficas do Gramame e do Abiaí-Papocas, do ano de 2001, corrigidas (R3, G2, B1).	43
Figura 7: Mapa de IVDN da bacia hidrográfica do rio Gramame, do ano de 1989.	44
Figura 8: Mapa de IVDN da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, do ano de 1989..	46
Figura 9: Mapa de IVDN da bacia hidrográfica do rio Gramame, do ano de 2001.	47
Figura 10: Mapa de IVDN da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, do ano de 2001.	49
Figura 11: Mapa de IVDN da bacia hidrográfica do rio Gramame, do ano de 2006.	50
Figura 12: Mapa de IVDN da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, do ano de 2006.	52
Figura 13- Mapa com os pontos coletados nas atividades de campo.	54
Figura 14- Classe temática – Recursos hídricos: A – Rio Gramame (34° 52'43,438" e 07° 13' 06,026"); B – Barragem Gramame/Mamuaba (34° 57' 36,336" e 07° 17' 12,514"). Fotos: do autor, 2012.	55
Figura 15- Classe temática – Área urbana/solo exposto: A – Erosão do solo (34° 57' 33,923" e 07° 17'05,310"); B – Comunidade Gurugi (34° 50' 51,325" e 07° 16' 02,995"). Fotos: do autor, 2012.	55
Figura 16- Classe temática – Vegetação nativa: A – Mata do Toco (35° 05'16,604" e 07° 13' 30,579"); B – Reserva São João (34° 56' 29,231" e 07° 12' 51,119"). Fotos: do autor, 2012.	56
Figura 17- Classe temática – Cana-de-açúcar: A – Cultura em diferentes fases (34° 52'38,944" e 07° 14' 49,613"); B – Preparo do solo para o plantio (34° 57' 47,143" e 07° 20' 10,975"). Fotos: do autor, 2012.	56
Figura 18- Classe temática – Abacaxi: A cultura do abacaxi em desenvolvimento – A e B (35° 03' 54,215" e 07° 14' 05,386"). Fotos: do autor, 2012.	57
Figura 19- Classe temática – Outros cultivos: A – Mandioca (34° 57' 28,250" e 07° 19' 21,815"); B – Inhame, feijão e milho (35° 05' 24,789" e 07° 20' 26,842"). FOTOS: do autor, 2012.	57
Figura 20: Mapa de uso do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame, do ano de 1989..	59
Figura 21: Mapa de uso do solo das bacias hidrográficas dos rios Abiaí-Papocas, do ano de	

1989.	60
Figura 22: Mapa de uso do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame, do ano de 2001. .	62
Figura 23: Mapa de uso do solo das bacias hidrográficas dos rios Abiai-Papocas, do ano de 2001.	63
Figura 24: Mapa de uso do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame, do ano de 2006. .	65
Figura 25: Mapa de uso do solo das bacias hidrográficas dos rios Abiai-Papocas, do ano de 2006.	66
Figura 26: Mapa do HAND da bacia hidrográfica do rio Gramame.	68
Figura 27: Mapa do HAND da bacia hidrográfica dos rios Abiai-Papocas.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabulação cruzada proporcional IVDN com uso do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame, para o ano de 1989.....	73
Tabela 2: Tabulação cruzada proporcional IVDN com uso do solo da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, para o ano de 1989	74
Tabela 3: Tabulação cruzada proporcional IVDN com uso do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame, para o ano de 2001.....	75
Tabela 4: Tabulação cruzada proporcional IVDN com uso do solo da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, para o ano de 2001	76
Tabela 5: Tabulação cruzada proporcional IVDN com uso do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame, para o ano de 2006.....	77
Tabela 6: Tabulação cruzada proporcional IVDN com uso do solo da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, para o ano de 2006.....	79
Tabela 7: Tabulação cruzada proporcional IVDN com HAND da bacia hidrográfica do rio Gramame, para o ano de 1989.....	81
Tabela 8: Tabulação cruzada proporcional IVDN com HAND da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, para o ano de 1989	82
Tabela 9: Tabulação cruzada proporcional IVDN com HAND da bacia hidrográfica do rio Gramame, para o ano de 2001	83
Tabela 10: Tabulação cruzada proporcional IVDN com HAND da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, para o ano de 2001	84
Tabela 11: Tabulação cruzada proporcional IVDN com HAND da bacia hidrográfica do rio Gramame, para o ano de 2006.....	85
Tabela 12: Tabulação cruzada proporcional IVDN com HAND da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas para o ano de 2006	86
Tabela 13- Área em Km ² das categorias de IVDN da bacia hidrográfica do rio Gramame para o ano de 1989.....	99
Tabela 14- Área em Km ² das categorias de IVDN da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas para o ano de 1989.....	99
Tabela 15- Área em Km ² das categorias de IVDN da bacia hidrográfica do rio Gramame para o ano de 2001.....	99
Tabela 16- Área em Km ² das categorias de IVDN da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas para o ano de 2001.....	100
Tabela 17- Área em Km ² das categorias de IVDN da bacia hidrográfica do rio Gramame para o ano de 2006.....	100
Tabela 18- Área em Km ² das categorias de IVDN da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas para o ano de 2006.....	100
Tabela 19- Área em Km ² das categorias do uso do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame para o ano de 1989.....	102

Tabela 20- Área em Km ² das categorias do uso do solo da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas para o ano de 1989.	102
Tabela 21- Área em Km ² das categorias do uso do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame para o ano de 2001.	102
Tabela 22- Área em Km ² das categorias do uso do solo da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas para o ano de 2001.	103
Tabela 23- Área em Km ² das categorias do uso do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame para o ano de 2006.	103
Tabela 24- Área em Km ² das categorias do uso do solo da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas para o ano de 2006.	103
Tabela 25- Área em Km ² das classes com os dados de HAND da bacia hidrográfica do Rio Gramame	105
Tabela 26- Área em Km ² das classes com os dados de HAND da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas.	105

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Categorias do IVDN em porcentagem para a bacia hidrográfica do rio Gramame, do ano de 1989	45
Gráfico 2: Categorias do IVDN em porcentagem para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, do ano de 1989	46
Gráfico 3: Categorias do IVDN em porcentagem para a bacia hidrográfica do rio Gramame, do ano de 2001	48
Gráfico 4: Categorias do IVDN em porcentagem para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, do ano de 2001	49
Gráfico 5: Categorias do IVDN em porcentagem para a bacia hidrográfica do rio Gramame, do ano de 2006.....	51
Gráfico 6: Categorias do IVDN em porcentagem para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, do ano de 2006	52
Gráfico 7: Categorias do uso do solo em porcentagem para a bacia hidrográfica do rio Gramame, do ano de 1989.....	59
Gráfico 8: Categorias do uso do solo em porcentagem para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, do ano de 1989	60
Gráfico 9: Categorias do uso do solo em porcentagem para a bacia hidrográfica do rio Gramame, do ano de 2001	62
Gráfico 10: Categorias do uso do solo em porcentagem para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, do ano de 2001	64
Gráfico 11: Categorias do uso do solo em porcentagem para a bacia hidrográfica do rio Gramame, do ano de 2006.....	65
Gráfico 12: Categorias do uso do solo em porcentagem para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, do ano de 2006	67
Gráfico 13: Categorias do HAND em porcentagem para a bacia hidrográfica do rio Gramame	69
Gráfico 14: Categorias do HAND em porcentagem para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas	71

1 INTRODUÇÃO

Muitas transformações realizadas pelo homem, para atender suas necessidades, acontecem sem considerar as características do meio ambiente, essas transformações alteram as estruturas dos recursos naturais disponíveis, causando, muitas vezes, a degradação de reservas de água doce. São exemplos dessas transformações: o desmatamento desenfreado no campo para a prática da agricultura e da pecuária, a retirada das matas ciliares, o uso não controlado de agrotóxico, a expansão das zonas urbanas sem planejamento, o uso inadequado do solo, o lançamento de efluentes e a disposição final de resíduos sólidos em ambientes impróprios.

As degradações dos recursos naturais das bacias hidrográficas vêm causando além de impactos ambientais, consequências socioeconômicas, tais como, o comprometimento da produção de alimentos, o alto custo de recuperação da capacidade produtiva das áreas agrícolas e a extinção de espécies nativas, associada a tudo isso, essas degradações causam, ainda, a falta de oportunidades que leva a população a migrar para as cidades, o que tende a agravar os problemas de infraestrutura, pobreza, injustiça social, desemprego e violência existentes nessas áreas.

Nas últimas décadas, a humanidade começou a perceber que os recursos naturais são finitos, principalmente, devido aos danos causados pela escassez da água, por exemplo, ao meio ambiente e a sociedade. Nesta perspectiva, para conservação das espécies e dos ecossistemas, o problema da degradação ambiental deve ser entendido de forma holística e integrada.

Várias conferências, como a de Estocolmo 72, ECO 92 e Rio + 10 vêm alertando sobre o perigo que a humanidade corre se não houver uma mudança no modelo de desenvolvimento. Essas conferências apontaram para um modelo de gestão sustentável dos recursos naturais, necessário para garantir o sustento e a existência da população.

Assim, os governantes enfrentam o desafio de integrar o desenvolvimento socioeconômico e a preservação ambiental. Esforços vêm sendo aplicados para preservar o ambiente e planejar a administração, trazendo importantes efeitos para os sistemas ecológicos e a qualidade de vida da população. Esses esforços são obtidos, principalmente, a partir da criação de sistemas de gestão ambiental, dentre os quais destacam-se os de recursos hídricos.

No Brasil, a gestão de recursos hídricos tendo a bacia hidrográfica como base de planejamento, começou a ser difundida na década de 70 e, como resultado de um processo de discussão e evolução, foi sancionada a Lei n.º 9.433/97 que estabeleceu os objetivos e instrumentos regulatórios e econômicos que norteiam a gestão hídrica brasileira, tendo como premissa, a sustentabilidade dos recursos hídricos (BRASIL, 2002).

De acordo com as legislações ambientais em vigor no Brasil, uma bacia hidrográfica consiste em uma unidade ambiental de gerenciamento territorial e de estudos e conservação de seus recursos naturais, visando o desenvolvimento sustentável de uma região. Embora seja previsto por lei uma obrigatoriedade da conservação da bacia hidrográfica, muitas delas apresentam indícios de problemas ambientais quanto ao uso inadequado dos seus recursos naturais, a exemplo das bacias hidrográficas do rio Gramame e dos rios Abiaí-Papocas, ambas situadas no Estado da Paraíba, nas quais os ecossistemas sofrem diversas pressões antrópicas.

A bacia hidrográfica do rio Gramame, localizada no litoral sul do Estado da Paraíba, é considerada representativa dentre as bacias hidrográficas litorâneas do Nordeste oriental, pois é responsável por cerca de 70% do abastecimento de água da grande João Pessoa, além de abastecer as cidades de Pedras de Fogo e do Conde. Esta representatividade se traduz em uma necessidade de um alto nível de exigência, com relação à proteção e controle da água, visando garantir a saúde da população por meio do fornecimento de água com qualidade adequada para consumo.

É uma região composta por vários assentamentos rurais, promovidos pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), de pequenos agricultores com características de exploração agrícola familiar. Essa bacia vem sendo foco de sérios problemas ambientais, devido ao uso inadequado do solo, a devastação da vegetação nativa, a qual foi efetuada para atender a exploração agrícola, principalmente, para a cultura da cana-de-açúcar em larga escala, de forma a atender parte da demanda das indústrias sucroalcooleiras instaladas na região; com pequenas lavouras de: batata doce, mandioca, inhame, abacaxi, entre outras; industrial, com a instalação de panificadoras, mineradoras e olarias; além da expansão urbana inadequada no seu entorno com a implantação de loteamentos e estruturas viárias.

A bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, também situada no litoral sul do Estado da Paraíba, teve quase toda vegetação natural indiscriminadamente retirada para o

plantio de culturas intensivas e extensivas como: cana-de-açúcar, abacaxi, mandioca, entre outras, restando alguns resquícios de mata atlântica e seus ecossistemas. Essa bacia hidrográfica está em processo de transposição de suas águas, para complementação do sistema de abastecimento de água da grande João Pessoa.

Diante desses fatos, verifica-se que as degradações ambientais provocam consequências socioambientais, que devem ser estudadas de forma integrada, sendo necessário adotar medidas que visem dar suporte às ações de restauração ambiental, considerando as diversas formas de uso dos solos e as necessidades das comunidades. Para tanto, é necessário conhecimento científico que subsidiem a gestão ambiental, apoiada em informações condizentes com a realidade.

Para o uso sustentável dos recursos naturais é essencial um monitoramento e planejamento adequado do desenvolvimento regional/urbano. Faz-se necessária a identificação dos tipos de áreas ecologicamente importantes, sua orientação para o crescimento futuro e contemplar zonas ambientalmente protegidas. Informações oportunas e precisas sobre parâmetros relacionados ao uso do solo e a cobertura vegetal, suas alterações ao longo do tempo e a distribuição espacial, é um pré-requisito para o planejamento de políticas e programas de desenvolvimento.

Nesse contexto, estudos geoambientais possibilitam análises articuladas das dimensões que compõem o espaço, apoiados em geotecnologias esses estudos podem integrar informações, além de permitir análises e simulações sobre uma série de temas que compõem a dinâmica ambiental. Os estudos citados geram respostas com alto grau de confiabilidade que possibilitam avanços no desenvolvimento de pesquisas, em ações de planejamento e em processos de gestão e manejo do espaço geográfico.

Uma técnica de coleta de dados bastante apropriada para o gerenciamento e monitoramento ambiental é o sensoriamento remoto, pois pode cobrir uma grande extensão territorial, permitindo a identificação da cobertura vegetal e dos diversos usos do solo. O seu aspecto multitemporal permite ainda, o estudo das alterações ocorridas na área de interesse ao longo do tempo. Essa tecnologia aliada a um Sistema de Informações Geográficas (SIG) possibilita análises relacionadas ao estudo ambiental, gerando resultados que apoiarão a tomada de decisão para melhorar o disciplinamento do uso do solo.

Tendo em vista que o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características geomorfológicas e da cobertura vegetal, muitas pesquisas vêm sendo realizadas para o estudo do estado da vegetação a partir de sensoriamento remoto. Esses estudos têm gerado diversos índices de vegetação, que são índices de razão de bandas espectrais, como, por exemplo, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), que podem proporcionar mais consistência espacial e critérios temporais para as condições de vegetação e, conseqüentemente, do estado de degradação ambiental da área de estudo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Aplicar o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) no estudo da degradação ambiental das bacias hidrográficas dos rios Gramame e Abiai-Papocas.

2.2 Objetivos Específicos

Para o conhecimento do comportamento hidrológico das bacias em estudo e dos fatores que influenciam no IVDN, os objetivos específicos são:

- a) Realizar o pré-processamento das imagens de satélite;
- b) Avaliar a densidade e as alterações da cobertura vegetal, por meio do IVDN;
- c) Analisar a dinâmica da ocupação do solo no período de 1989; 2001 e 2006;
- d) Obter o desnível em relação à rede de drenagem, a partir do *Height Above the Neareast Drainage* (HAND).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Bacias Hidrográficas

Bacia hidrográfica é uma unidade biogeofisiográfica que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para o exutório do canal fluvial. Tem seu limite em um divisor de águas e interliga unidades da superfície terrestre como encostas, topos ou cristas e fundos de vales, canais, corpos de água subterrânea, sistemas de drenagem urbanos e áreas irrigadas (GUERRA; CUNHA, 1998; TUNDISI et al. 2008).

Para Nascimento e Villaça (2008) numa bacia hidrográfica os processos de circulação de matéria e de energia que nela se operam, não envolvem apenas os canais fluviais e planícies de inundação, mas incluem as vertentes, nas quais os processos internos são de suma importância. Para reconhecer os limites espaciais de bacias hidrográficas é necessário considerar, em primeiro lugar, a distribuição espacial do conjunto dos processos envolvidos em todos os subsistemas.

A Figura 1 demonstra os diversos níveis por onde a água poderá entrar, permanecer ou circular numa bacia hidrográfica, destacando os subsistemas: copas, folhas, caules, tronco e raízes da cobertura vegetal, além da serrapilheira, de diversos horizontes pedológicos, rochas, superfície das vertentes e suas depressões, até os canais fluviais e planícies de inundação.

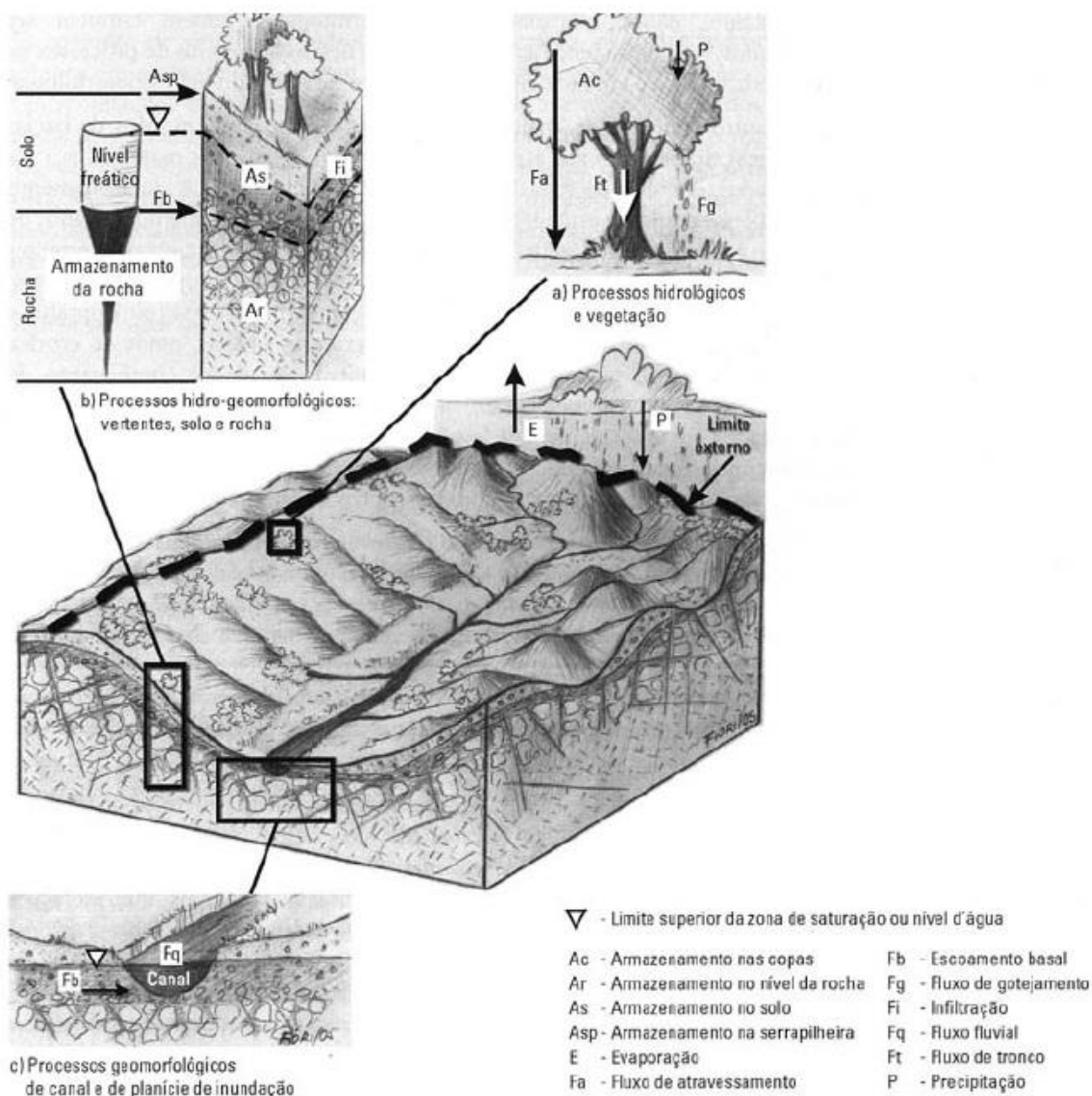


Figura 1- Bacia hidrográfica: limites e processos. FONTE: Nascimento e Villaça (2008)

Estudiosos sobre Recursos Hídricos definiram a bacia hidrográfica como unidade de análise, planejamento e gerenciamento mais eficaz para caracterizar e combater os impactos ambientais. Segundo Tundisi et al. (2008), este conceito resulta da evolução iniciada com a implementação do conceito de carga por Vollenweider (1968) e consolidada com os estudos de Likens (1984, 1992) demonstrando os experimentos e o trabalho de longa duração no Hubbard-Brook, uma pequena bacia hidrográfica situada nos Estados Unidos.

Atualmente esse conceito está consolidado, representando um grande processo de descentralização da gestão baseada em pesquisa e inovação aplicada a cada bacia hidrográfica, sendo, portanto, fundamental considerar escalas espaciais e temporais. De acordo com as legislações ambientais em vigor no Brasil, uma bacia hidrográfica consiste em uma unidade ambiental de gerenciamento territorial, de estudos e conservação de seus recursos naturais, visando o desenvolvimento sustentável de uma região. (BRASÍLIA, 2004).

Uma degradação ambiental em uma bacia hidrográfica pode ser associada a uma série de causas como: a pressão demográfica que, conseqüentemente, torna necessária a obtenção de recursos naturais, o manejo inadequado do solo, dentre outras. Entretanto, segundo Brasília (2004) os processos antrópicos associados ao uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica, alteram diretamente a qualidade da água a partir de atividades industriais, de mineração, lançamento de esgotos, uso de agrotóxicos, práticas de manejo do solo na agricultura, atividades pecuárias; devido à interligação entre as bacias, os impactos destas alterações de aspectos hidrológicos e geomorfológicos podem se propagar à jusante.

Segundo Schimdt & Morrison (2012), na década de 1960 a poluição e a degradação dos cursos de água, em particular os urbanos, chegaram a níveis elevados, tendo em vista que a água é um recurso natural limitado e necessário em quantidade e qualidade para a manutenção da vida e para garantir o desenvolvimento socioeconômico da população, tornaram-se necessárias, por parte do Estado e da comunidade, iniciativas de planejamento e gestão de bacias hidrográficas, principalmente de captação urbana e em áreas em rápida urbanização.

Devido às exigências de ações por parte da comunidade, em convergência com estudos ambientais, e à necessidade de planejamento e gestão das bacias ações começaram a ser tomadas no sentido de estudar a bacia hidrográfica de maneira holística, considerando as relações existentes entre esta, o seu ecossistema e a sociedade (SCHIMDT; MORRISON, 2012).

Nesse contexto, surge a gestão integrada de captação aplicada, como por exemplo, a que ocorreu na Austrália, que foi um desenvolvimento importante na política ambiental, com o modelo de gestão por divisor de águas. Segundo Leach (2006) é um

modelo de gestão ambiental que está centralmente preocupado com a integração de terra e gestão da água com base nas bacias hidrográficas.

Contudo, o planejamento das intervenções a serem realizadas em uma bacia hidrográfica deve considerá-la como uma unidade de entendimento dos processos hidrológicos e geomorfológicos das ligações espaciais entre áreas distintas (GUERRA; CUNHA, 1998). Ou seja, deve-se tratar a bacia como unidade de pesquisa, gerenciamento e aplicação das informações básicas. Conceito que segundo Tundisi et al. (2008), foi consolidado com os estudos de Likens (1984, 1992), demonstrando os experimentos no Hubbard-Brook, uma pequena bacia hidrográfica situada nos Estados Unidos.

De acordo com Ferreira et al. (2011), estudos ambientais em bacias hidrográficas são fundamentais para o entendimento do uso dos recursos naturais e, dos problemas relacionados à ocupação do espaço.

3.2 Sensoriamento Remoto e SIG como Ferramenta de Gestão

As mudanças nos usos do solo são influenciadas por fatores espaciais e temporais (sejam eles climáticos ou pela ação do homem) que interagem com os recursos das bacias hidrográficas, portanto analisar essas mudanças torna-se fundamental para avaliar os padrões de uso do solo e seus impactos, que ocorrem principalmente em bacias urbanas, onde a morfologia dos corpos hídricos é modelada em virtude das necessidades humanas (TIMOTHY; OLGA, 2011).

Nas regiões tropicais, a exploração indiscriminada dos recursos naturais é cada vez maior. Estima-se que aproximadamente 17 milhões de hectares/ano sejam convertidos de suas formas naturais para outros usos. No Brasil, de acordo com levantamentos da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), realizado em 2000, a cobertura florestal representava 64,5% do território, sendo distribuída em 544 milhões de hectares de florestas nativas e 5 milhões de hectares de florestas plantadas. As demais áreas foram convertidas em usos para a agricultura, pecuária e instalações de infraestrutura (PNUMA/MMA, 2002).

Portanto, para o planejamento do desenvolvimento regional/urbano é necessário um bom conhecimento sobre o terreno e suas características, tais como: solos e seus usos, acidentes geográficos e a identificação dos tipos de áreas ecologicamente

importantes, para com isso, planejar uma melhor orientação do crescimento futuro, que é fundamental para o equilíbrio do uso do solo, além de promover zonas ambientalmente protegidas e outras formas de uso do solo frágil.

Segundo o Laboratório de Informações Geo-Referenciadas da Universidade Federal de Juiz de Fora, com o advento da informática na automação de processos, surgiram ferramentas para a captura, armazenamento, processamento e apresentação de informações espaciais georreferenciadas, propiciando o desenvolvimento do Geoprocessamento que para Rocha (2007) é 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 associados a mapas digitais georreferenciados.

Informações obtidas por meio de sensoriamento remoto, a tecnologia de obtenção de imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, a partir da energia refletida ou emitida pela superfície, são de grande importância para a recuperação de áreas degradadas, conservação do solo, bem como para o planejamento e seleção de áreas prioritárias (DEB; TALUKDAR, 2011).

A década de 80 do século passado foi marcada pela explosão tecnológica dos processadores digitais e uma queda acentuada nos custos. Em consequência, os sistemas especializados no processamento de imagens de sensoriamento remoto ficaram mais acessíveis, atingindo uma comunidade maior de usuários. A partir desta década, muitos esforços foram dedicados no emprego de dados coletados através de técnicas de sensoriamento remoto para a utilização em diversas áreas (CRÓSTA, 1992).

No Brasil, essa ciência tomou impulso na década de 1960, com o desenvolvimento do projeto RADAMBRASIL, que objetivava a realização de um levantamento integrado dos recursos naturais no país, proporcionando o treinamento e especialização de diversos técnicos brasileiros que, até o momento, só tinham conhecimento de fotografias aéreas (ROSA, 1990).

Atualmente, as geotecnologias estão cada vez mais presentes nos diversos órgãos, sejam eles públicos ou privados, com o objetivo de auxiliarem na tarefa de planejamento e gerenciamento rural, urbano e ambiental. O uso de técnicas de análises ambientais apoiadas em ferramentas de geoprocessamento possibilitam, a partir de ferramentas como o

Sensoriamento Remoto e SIG, análises e simulações em nível espacial e taxonômico, sobre uma série de temas que compõem o quadro ambiental da área de estudo, trazendo como retorno, respostas com alto grau de confiabilidade, que proporcionam o conhecimento dos impactos ambientais das diversas atividades do meio e são capazes de apoiar, de forma significativa, a tomada de decisões. O aspecto multitemporal das imagens de satélite permite ainda realizar o monitoramento sistemático mostrando os ambientes, suas transformações e os impactos causados pelo uso e ocupação do espaço para possibilitar um melhor disciplinamento do uso do solo. (BACKES, 2010).

Dados provenientes de sensores remotos, auxiliados por SIGs, que para Burrough (1986) e Aronoff (1989) é uma estrutura computacional baseada na manipulação de dados geográficos georreferenciados capaz de armazenar, tratar, integrar, processar, recuperar, transformar, manipular, modelar, atualizar, analisar e exibir informações digitais georreferenciadas topologicamente estruturadas, tem sido muito utilizados para o mapeamento, monitoramento, caracterização, estudo da evolução do uso do solo, gerenciamento de propriedades, gestão ambiental, dentre outras atividades ambientais, fornecem informações periódicas de extensas áreas e com menor custo do que as metodologias tradicionais, além de o SIG possibilitar a manipulação e interpretação de grandes conjuntos de dados obtidos de forma diversificada.

Para Mendes & Cirilo (2001) um dos grandes ganhos da integração do SIG na gestão ambiental e de recursos hídricos diz respeito ao suporte que o mesmo proporciona na obtenção e análise de informações espaciais, suprimento de dados para modelos de simulação e sistemas de suporte à decisão, retornando informações mais confiáveis, precisas e com uma enorme redução do trabalho de aquisição, organização e processamento de dados.

3.3 IVDN no Estudo da Degradação Ambiental

Segundo Hwang et al. (2011), produtos de sensoriamento remoto fornecem informações espaciais valiosas, entretanto, as imagens obtidas a partir de sensores remotos, geralmente, são fornecidas com resoluções grosseiras, restringindo heterogeneidades espaciais importantes do terreno e da cobertura do solo. Essas imagens devem ser tratadas e interpretadas para se tornarem dados confiáveis, entre as formas de tratamento e

interpretação de imagens estão os índices de vegetação, que podem proporcionar mais consistência espacial e critérios temporais para a análise das condições da vegetação e, conseqüentemente, do estado de degradação ambiental da área de estudo.

Os índices de vegetação, que são índices de razão de bandas espectrais que anulam grande parte do ruído multiplicativo, atribuído às diferenças de iluminação, sombras de nuvens, variações topográficas e condições atmosféricas possibilitando análises espaciais e temporais da vegetação, facilitando, assim, o monitoramento sazonal, interanual e variações de longo prazo. (HUETE et al. 2002).

Dentre esses índices, destaca-se o IVDN que foi proposto por Rouse Júnior et al. (1973), e se trata de um modelo resultante da uma relação normalizada entre os níveis de reflectância, da superfície, nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo. Bandas estas que estão diretamente relacionadas com os parâmetros biofísicos da vegetação.

O cálculo do IVDN é dado pela equação proposta por Rouse Júnior et al. (1973):

$$\text{IVDN} = (\text{ivp} - v) / (\text{ivp} + v) \quad (1)$$

Sendo: IVDN o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada; ivp é a banda do infravermelho próximo (faixa espectral 841 – 876 μm); e v é a banda do vermelho (faixa espectral 620 – 670 μm).

O resultado da aplicação da Equação 1 são imagens com valores de IVDN para o intervalo de -1 a +1.

De acordo com Moreira (2003), a região espectral do visível, a qual se insere a banda 3, tanto a refletância quanto a transmissão das folhas são menores do que 15%, já na região do infravermelho a evidencia do mecanismo de reflexão interna nas folhas é muito forte.

Embora numericamente os valores do IVDN possam variar no intervalo de -1 a +1, a vegetação está associada aos valores positivos. Segundo Ponzoni & Shimabukuro (2007), o limite superior aproxima-se de 0,80 que, de acordo com Silva *et. al.*, (2007), está associado à vegetação vigorosa, materiais que refletem mais intensamente na porção do vermelho em comparação com o infravermelho próximo (nuvens, água, neve), apresentam

valores negativos, solos descobertos e rochas refletem nos dois comprimentos de onda em intensidade semelhante, logo, o valor de IVDN aproxima-se de zero (RIZZI, 2004).

Os índices de vegetação têm sido muito utilizados no monitoramento de áreas vegetadas, na determinação e estimativa do índice de área foliar, biomassa e da radiação fotossinteticamente ativa, pois permitem não só mapear a vegetação, mas também, medir a quantidade e a condição da mesma (BARBOSA et al. 2006; COSTA FILHO et al. 2007).

A consistência espaço-temporal do IVDN como um representante da dinâmica da vegetação pode fornecer importantes vantagens em relação à aplicação da metodologia de refletância de multiresolução, pois a partir do IVDN é possível verificar a densidade e o vigor da vegetação, bem como, se há alterações ambientais, naturais ou antrópicas em uma determinada área da superfície terrestre, como a de uma bacia hidrográfica. (RIZZI, 2004).

3.4 Estudos de Caso

3.4.1 Geotecnologias e Bacias Hidrográficas

Mutekanga et al. (2010), testaram uma ferramenta rápida para avaliar o risco de erosão e fornecer informações atualizadas para ajudar na política e tomada de decisões no contexto do desenvolvimento sustentável em Uganda. Os solos da bacia hidrográfica do Ngenge são derivados de aglomerados de cinzas vulcânicas e a agricultura é a principal fonte de meios de subsistência para a população nas áreas da bacia. Para a avaliação do risco de erosão atual e a avaliação do histórico de risco de erosão, a ferramenta foi testada pela sua capacidade de fornecer em tempo útil os dados adequados, por ser de baixo custo, pode ser usada para a política de desenvolvimento e apoio à decisão. O estudo avaliou a história da mudança da cobertura vegetal e sua influência na mudança de processos erosivos na bacia, para isso, utilizou-se dados multitemporais de satélite.

Nesse estudo, o risco de erosão corrente foi avaliado e os resultados foram validados em relação aos dados de campo, no qual, o risco de erosão foi associado à cobertura vegetal. O método utilizado para avaliar o risco de erosão atual foi desenvolvido por Vrieling (2007). O método utiliza estimativas de precipitação de radar para avaliar períodos de risco de erosão e combina a inclinação com imagens IVDN multitemporais

para fornecer mapas de risco de erosão do tempo-dependente. O SIG ILWIS 3.3 foi utilizado para as análises.

Os autores concluíram que as áreas que indicam um ambiente altamente susceptível à erosão necessitam de medidas adequadas de manejo da terra e, que este método de mapeamento de risco de erosão fornece uma rápida e simples identificação de áreas prioritárias para intervenções e gestão dos recursos hídricos.

Nascimento et al. (2008), compartimentaram a Sub-bacia do Baixo Piracicaba - SP em regiões fisiográficas homogêneas quanto ao grau de densidade de drenagem, definindo assim, áreas distintas quanto à vulnerabilidade à erosão através de técnicas de fotointerpretação, de processamento digital de imagens e de métodos geoestatísticos (krigagem ordinária). Como suporte a esta análise foram utilizadas informações complementares: tipos de rochas, de relevos, de solos, de classes de declividade, vegetação e uso da terra.

Os resultados mostraram que nas classes de alta e medianamente alta densidade de drenagem, os processos erosivos estão em estágios avançados, representados por ravina e boçorocas, facilmente verificadas em campo. Na classe medianamente baixa, as feições erosivas dominantes são os sulcos e raras ravinas e/ou pequenas boçorocas. A classe de baixa densidade de drenagem apresenta depósitos de sedimentos com feições erosivas que indicam um grande aporte de sedimentos, que são carregados para os canais fluviais, causando o assoreamento.

Os autores concluíram que os procedimentos de geotecnologias adotados (técnicas de sensoriamento remoto e geoestatística) mostraram-se eficientes na confecção do mapa de densidade de drenagem, evidenciando áreas distintas quanto à vulnerabilidade à erosão, os quais representam produtos que auxiliam no estabelecimento de diretrizes e prioridades de recuperação de áreas degradadas, como também, propor um nível de segurança adequado aos empreendimentos da agroindústria já estabelecidos na região e aos que venham a ser implementados, minimizando os processos erosivos e de assoreamento.

Gong & Liu (2011) estimaram quantitativamente a vegetação de acordo com a análise e comparação da dinâmica da cobertura vegetal, a macro ritmo de distribuição em uma região de clima temperado, para a manutenção do ambiente ecológico, planejamento de uso da terra, uso racional dos recursos, a proteção ecológica da alocação ótima e ecologia natural das bacias hidrográficas. Os autores utilizaram imagens Landsat TM+

1989, 1995 e 2001, sensoriamento remoto e tecnologia de sistemas de informação geográfica; além de IVDN do rio Songhuajiang, na China.

Para analisar as mudanças de cobertura vegetal ao longo do tempo, a cobertura vegetal foi sobreposta na escala de bacias hidrográficas com o apoio da análise espacial do ArcGIS 9.2. Os resultados mostraram que a cobertura vegetal da bacia hidrográfica em estudo, a partir da aplicação de dados de sensoriamento remoto, possui padrão espacial dinâmico baseado no ritmo de distribuição da cobertura vegetal natural.

Pereira et al. (2012), verificaram se há relação entre os valores de HAND e o IVDN no teor de umidade do solo através de imagens (MNT e satélite) da cidade de Brasília – DF, especificamente a região do Parque Nacional de Brasília, pelo fato de estar localizado numa área de proteção o que permite o estado de preservação em condições naturais do solo e florestas. Foram, em princípio, preparados os arquivos de entrada para o algoritmo de cálculo do HAND que foram gerados utilizando os softwares ARCGIS com suas ferramentas ARCHYDRO e o software IDRISI. A partir desses dados foi gerado o HAND com as diferenças de nível de cada pixel com relação à rede de drenagem. O cálculo do índice IVDN foi feito no software IDRISI. Os valores dele variam entre -1 e 1, sendo que os valores negativos indicam ausência da atividade fotossintética.

Os valores do HAND variam de 0 (rede de drenagem) até 245m (ponto mais afastado da rede em termos de diferença de nível e suposto de menor umidade), pelo contrário os menores valores de IVDN indicam nula ou pouca atividade fotossintética em concordância com a ocorrência de zonas menos úmidas (excluindo os espelhos de água ou reservatórios onde se tem atividade fotossintética nula e valores negativos de IVDN, embora esteja em presença de uma área úmida).

Os autores concluíram que o IVDN e o HAND possuem padrões semelhantes para os valores maiores do primeiro (classe 2) e a classe 1 e 2 do segundo, correspondentes a valores menores de HAND (classes Waterlogged e Ecotone). Os pontos de valor de HAND menores se encontram mais dispersos em torno à rede de drenagem, formando uma faixa de largura considerável em torno da mesma, ao contrário do IVDN que concentra os valores maiores em uma área mais estreita em torno à rede de drenagem, o qual faz diminuir a coincidência e a correlação entre valores altos de IVDN e valores baixos de HAND, embora ambos os índices indiquem claramente o posicionamento da rede e seu entorno mais próximo que podem ser classificados com alto grau de umidade.

Sá et al. (2008), determinaram a situação atual da cobertura vegetal da região Araripe Pernambuco, mediante uso do IVDN. Este estudo foi realizado nos municípios de Araripina, Bodocó, Ouricuri, Trindade e Ipubi, no Estado de Pernambuco, que formam o polo gesseiro do Araripe Pernambucano, região contida no bioma Caatinga. Foram utilizadas imagens digitais do sensor Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat 5, obtidas na órbita 217 e pontos 65 e 66; uma base digital de rodovias da região, elaborada a partir de levantamento de campo com equipamento de sistema de posicionamento global (GPS), foi utilizada para realizar a correção geométrica. Para o processamento das imagens digitais utilizou-se *software* de sistemas de informações geográficas (SIG).

Através do IVDN os autores observaram que a região do Araripe Pernambucano possui aproximadamente 54% de cobertura vegetal remanescente, distribuídas entre as fisionomias Savana Estépica Arborizada, Florestada e áreas de contato entre Savana e Floresta Estacional, 30%, 10% e 14%, respectivamente. As áreas antropizadas ocupam cerca de 44% em diferentes níveis que não foram analisados neste trabalho.

Concluíram que a divisão do IVDN em 14 classes foi satisfatória na separação das fisionomias existentes na região estudada, com a ressalva da necessidade de se separar a vegetação da Chapada das áreas mais baixas, uma vez que são influenciadas por variações climáticas.

Ramos et al. (2010), avaliaram as localidades de áreas degradadas contidos no interior do Parque Nacional Boqueirão da Onça – PNBO/Bahia, através da aplicação do IVDN gerado por meio de imagens do satélite LANDSAT 5 TM. Para este estudo de avaliação da vegetação, foram usadas as imagens referentes aos anos de 2000 e 2009, ambas referente ao mês de novembro, sendo essas imagens obtidas a partir do satélite LANDSAT 5, sensor TM, referentes as órbitas 217 e 218 do ponto 67.

Foram adotadas três classificações, para as áreas resultantes da identificação de valores agrupados do IVDN: degradadas, transição e conservada respectivamente. Em seguida efetuaram-se comparações entre as cenas dos anos 2000 e 2009, avaliando a quantidade de áreas degradadas, em transição e conservadas no interior do parque.

Os autores concluíram que o monitoramento com o sensoriamento remoto, por meio dos seus índices como o IVDN, que tem sido aperfeiçoado e constantemente aplicado na avaliação da vegetação e mostrou adequado no estudo do parque em proposição. O IVDN serviu para avaliar a perda de vegetação nativa no interior e nas bordas do PNBO.

Sendo essa área de grande extensão. Com essa análise ainda foi possível conhecer a matriz que cobre todo o parque.

Em estudo realizado na região do sertão do Estado da Paraíba, Guimarães (2012) utilizou a metodologia de análise multicritério para estabelecer os riscos ao processo de degradação das terras, no âmbito de uma bacia hidrográfica do município de Itaporanga. O trabalho foi desenvolvido em *software* de sistema de informações geográficas, utilizando o método de comparação pareada AHP (Processo de Análise Hierárquica) e a Combinação Linear Ponderada, sendo avaliados os critérios Cobertura Vegetal, Tipo de Solo, Declividade, Proximidade a Estradas e Densidade Populacional.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Gramame está situada no litoral sul do Estado da Paraíba, entre as latitudes 7°11' e 7°23' Sul e as longitudes 34°48' e 35°10' Oeste, e possui uma área de 589,1 km². Ela está inserida nos municípios de Alhandra, Conde, Cruz do Espírito Santo, João Pessoa, Santa Rita, São Miguel de Taipu e Pedras de Fogo. Nela encontram-se áreas de plantações, de culturas da cana-de-açúcar e abacaxi, além de áreas urbanas e industriais. Nessa bacia encontra-se a barragem Gramame-Mamuaba, que contém capacidade de armazenamento de 56 milhões de m³ e é responsável por parte do abastecimento público da Grande João Pessoa (IBESA, 2004).

A bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, também situada no litoral sul da Paraíba (Figura 2), faz divisa ao sul com o Estado de Pernambuco e ao norte com a bacia hidrográfica do rio Gramame. Possui uma área de 450 km² e está inserida nos municípios paraibanos de Pedras de Fogo, Alhandra, Caaporã, Pitimbú e Conde (PARAÍBA, 2000b). Nos dias atuais, ela está sendo alvo de estudos para a exploração de recursos hídricos para a complementação do abastecimento de água da grande João Pessoa.

Segundo Cavalcante (2008) na região paraibana, na qual estão inseridas as bacias hidrográficas em estudo, encontra-se a planície litorânea, que é formada pelas praias e terras arenosas, a região da mata e os tabuleiros, os quais são formados por acúmulos de terras. A vegetação litorânea apresenta matas, manguezais e cerrados, formado por gramíneas e arbustos tortuosos. Oriundas da floresta Atlântica tropical, as matas presentes nessas áreas são árvores altas e sempre verdes. Quanto ao clima, segundo Paraíba (2000a), pela classificação climática de Koeppen, a maior parte das bacias em estudo tem clima tropical chuvoso.

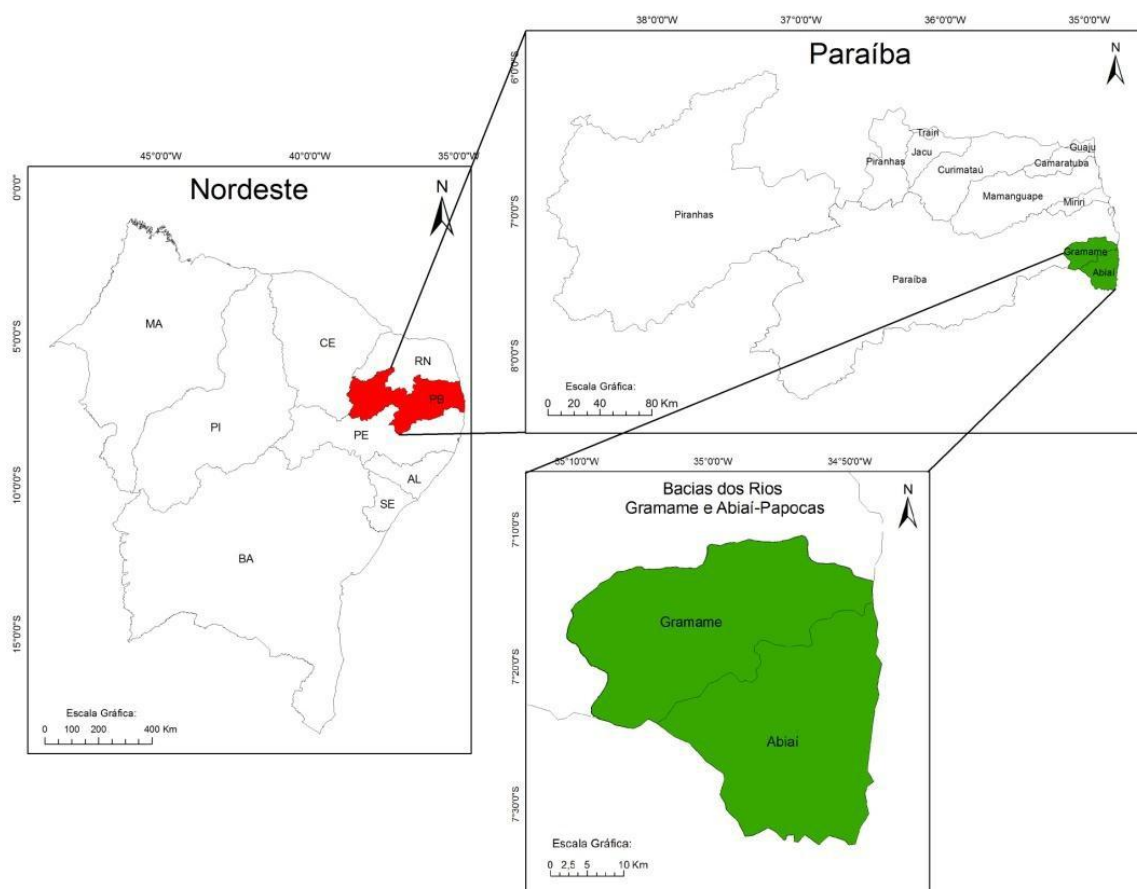


Figura 2 - Mapa de localização das bacias hidrográficas dos rios Gramame e do Abiaí-Papocas.

Segundo Coelho (2011) a bacia do rio Gramame está inserida em área pertencente à microrregião homogênea, denominada Litorânea Sul Paraibana, a mesma vem passando por um processo de desmatamento e ocupação desordenada, no qual 85% da sua área são ocupadas principalmente pela monocultura da cana-de-açúcar, do abacaxi e áreas urbanas, existindo apenas 15% de vegetação nativa, mata ciliar e mangue.

Sua rede hidrográfica é formada, principalmente, pelos rios Gramame, Mamuaba, Mumbaba e Água Boa (Figura 3), o seu principal curso d'água é o rio Gramame, que tem uma extensão de 54,3 km desde sua nascente em Pedras de Fogo até a foz na praia de Barra de Gramame a qual é a divisa natural dos municípios de João Pessoa e do Conde.

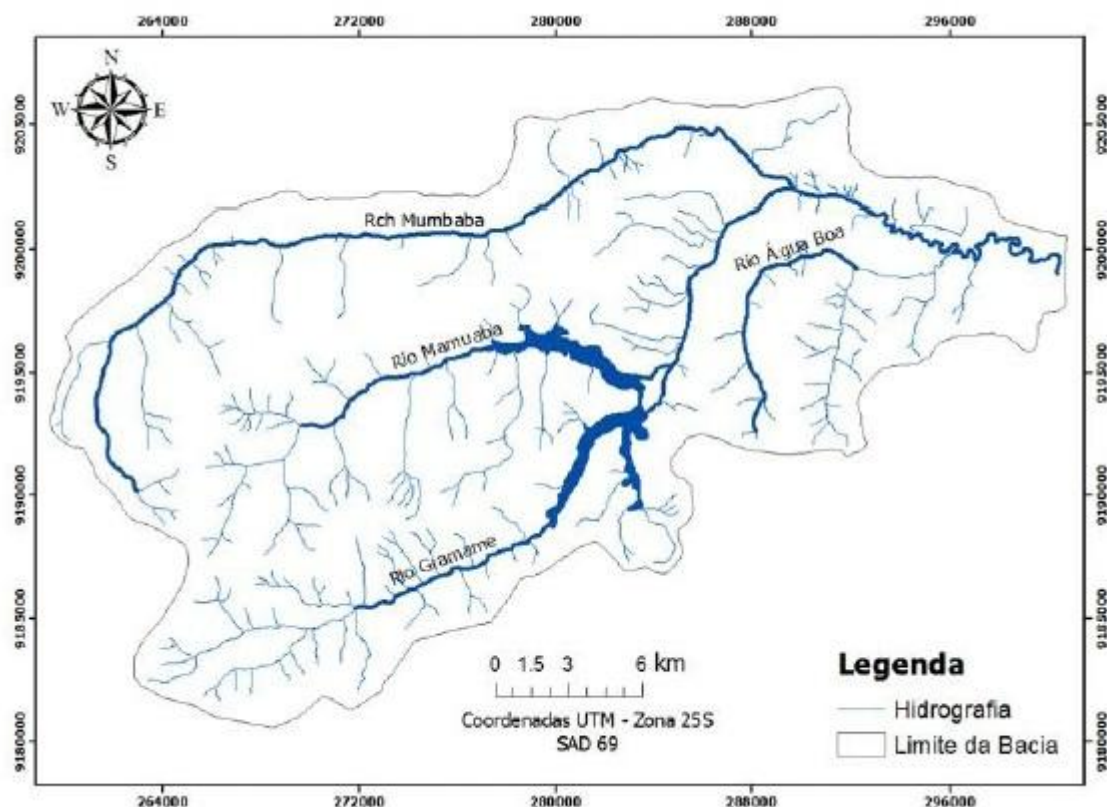


Figura 3- Principais cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Gramame. FONTE: PARAÍBA, 2000a.

De acordo com o Plano Diretor de Recursos Hídricos dessa bacia, a cobertura vegetal apresenta um índice elevado de devastação, como consequência da exploração desordenada voltada para as atividades de irrigação, de mineração, industrial e turística, além da urbanização crescente no território da bacia hidrográfica (PARAÍBA, 2000a). Segundo Coelho (2011) a área ocupada pela cultura da cana-de-açúcar, corresponde a 42,31% da área total e a do abacaxi a 11,19%. As classes de vegetação rasteira, que correspondem a áreas de pasto e de solos parcialmente descobertos, ocupam 11,33% e são maiores do que as áreas urbanas (10,61%). Os conglomerados urbanos de destaque da bacia são partes da cidade de João Pessoa, Pedras de Fogo, Cruz do Espírito Santo, São Miguel de Taipu e Conde. Os domínios correspondentes à mata nativa, ciliar e vegetação de mangue ocupam juntas, 14,98% da área, o que caracteriza que a bacia é pouco preservada. Os outros usos e coberturas do solo representam juntos 10,17% (Figura 4).

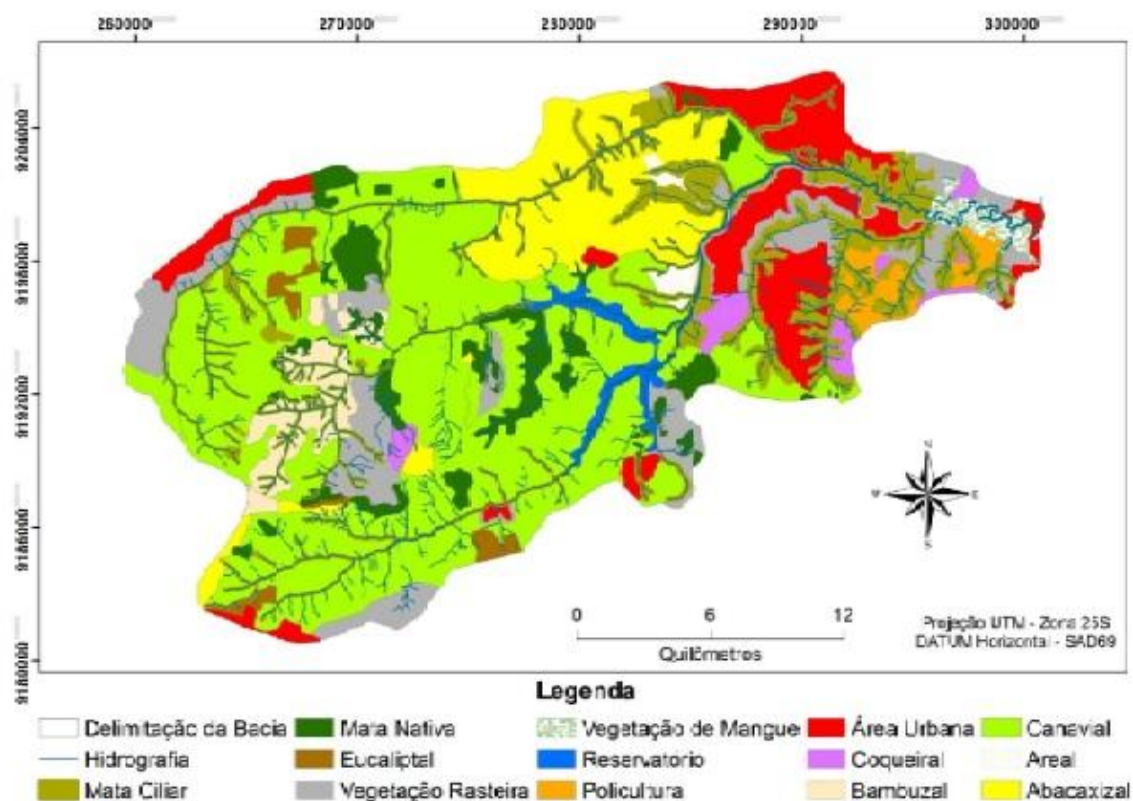


Figura 4- Uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame. Fonte: Coelho, 2011.

Com relação à bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, de maneira geral, existem poucas informações publicadas em trabalhos técnicos. No entanto, segundo estudos apresentados por Bezerra et al. (2012), quanto ao uso e ocupação do solo desta bacia, a sua maior área está destinada à exploração agropecuária com poucas áreas que correspondem a vegetação de mata atlântica e de mangue.

A área da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas está inserida em sua maior parte sobre os sedimentos arenoargilosos mal consolidados da Formação Barreiras (FURRIER et al. 2006). A principal unidade geomorfológica da área são os Baixos Planaltos Costeiros, esculpidos sobre a Formação Barreiras. O relevo tabular é caracterizado por uma sequência de camadas sedimentares horizontais ou sub-horizontais, que embora elaborados pelos mecanismos morfoclimáticos, reflete diretamente a participação da estrutura (NÓBREGA et al. 2013).

Os tabuleiros apresentam-se como uma ampla superfície plana ou suavemente ondulada, com altitudes que variam entre 10 e 200 metros e com morfologia afetada pelos

cursos fluviais que o cortam. A compartimentação geomorfológica da área de estudo está intimamente relacionada com esforços tectônicos regionais distensionais, gerados pelo afastamento da Plataforma Sul-Americana em relação ao continente africano. A estrutura delineia os traços gerais da área e os processos morfoclimáticos modelam o relevo. (FURRIER, 2007).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Pré-processamento das imagens de satélite

Este trabalho foi realizado com o uso de imagens do satélite Landsat 5 TM, dos anos de 1989 (data: 10/07/1989; Órbita: 214; Ponto: 265), 2001 (data: 04/08/2001; Órbita: 214; Ponto: 265) e 2006 (data: 26/08/2006; Órbita: 214; Ponto: 265). Inicialmente foram realizadas correções atmosférica e radiométrica, inerentes aos erros constituintes das imagens causadas pelos efeitos de espalhamento e absorção (SONG, 2001) que foram importantes para ajustar o contraste, as formas e a nitidez das imagens.

Para a correção atmosférica foi utilizada a técnica Dark Object Subtraction (DOS), proposta por Chavez (1996), amplamente utilizada pela baixa exigência de informações das imagens e por se basear em correções atmosféricas absolutas do histograma, amenizando os efeitos atmosféricos, já a correção radiométrica foi realizada por meio da ferramenta de restauração do software SPRING, cujo objetivo é corrigir as distorções inseridas pelo sensor óptico no processo de geração das imagens.

5.2 Obtenção do IVDN

Foram confeccionadas as imagens de IVDN, a partir da ferramenta específica para este fim já existente no *software* SPRING, que utiliza a Equação (1), proposta por Rouse Júnior *et. al.* (1973), citada na página 27. Esse índice destaca a densidade da cobertura vegetal e apresenta valores que variam de -1 a +1, estando à vegetação associada aos valores positivos que quanto maiores, maior a biomassa da vegetação. Nuvens e água apresentam valores negativos, solos descobertos e rochas apresentam valores próximos de zero (RIZZI, 2004).

Em seguida, a imagem de IVDN foi fatiada em seis classes temáticas para possibilitar uma melhor visualização da variação do IVDN e o cruzamento com os demais mapas. Os intervalos estabelecidos foram de -1 a -0,26; -0,26 a 0,15; 0,15 a 0,30; 0,30 a 0,45; 0,45 a 0,60; e 0,60 a 1.

5.3 Atividades de campo

Antes do processamento do uso do solo, foram realizadas visitas *in situ*, nas quais foram coletados 194 pontos georreferenciados, distribuídos por toda extensão da bacia hidrográfica do rio Gramame, representantes dos mais variados usos do solo, como áreas urbanas, áreas degradadas, de mineração, recursos hídricos, plantações de vários tipos e pastos. Nesses locais foram coletadas as coordenadas geográficas, utilizando um GPS de navegação da marca Garmim e foram fotografadas para posteriormente servirem como amostras no processo de classificação, bem como, para facilitar as análises.

Essas amostras foram conferidas na imagem Landsat 5 TM do ano de 2006, para avaliar se na época do imageamento aquele local já tinha o uso verificado *in situ*. Posteriormente, as regiões conferidas foram utilizadas inicialmente no processamento do uso do solo de 2006, por estar mais recente em relação ao período da coleta dos pontos em campo.

A partir das repostas obtidas na análise da imagem de 2006, utilizou-se áreas com os mesmos padrões, cor, textura, entre outras características, para implementar as áreas amostrais nas imagens dos anos de 1989 e 2001 da bacia hidrográfica nas quais os pontos foram coletados. Os padrões observados, também foram adotados para obter as regiões a serem utilizadas como amostras no processamento do mapa de uso do solo da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas.

5.4 Mapeamento do uso do solo

A confecção do mapa de uso do solo foi realizada, a partir das imagens de satélite do ano de 2006 e de visitas *in situ*, por meio de uma classificação supervisionada por regiões, utilizando o classificador Batthacharya, proposto por Mather (1999), e que distingui as classes temáticas a partir das regiões amostrais. Já para os anos de 1989 e 2001, assim como, para as imagens da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas foram utilizados os padrões identificados na classificação da imagem de 2006 da bacia hidrográfica do rio Gramame, no entanto, foi utilizada a mesma metodologia de processamento para todos os anos e bacias hidrográficas.

No trabalho em tela foram obtidas 20 regiões amostrais, para cada uma das seis classes temáticas: recursos hídricos, área urbana/solo exposto, vegetação nativa, cana-de-açúcar, abacaxi e outros cultivos.

5.5 Obtenção do HAND

A partir das informações topográficas do Modelo Digital de Elevação (MDE) de imagens de satélites The Shuttle Radar Topography Mission SRTM foi possível extrair informações sobre a morfologia e a superfície terrestre, por meio do algoritmo HAND, que obtém a descrição do terreno a partir da altura das regiões testadas até a rede de drenagem, produzindo mapas com forte significado ecológico e geomorfológico (PINHEIRO et al. 2009).

Após a obtenção da imagem do HAND, esta foi fatiada em seis classes temáticas para possibilitar uma melhor visualização dos desníveis e posterior cruzamento com o IVDN. Os intervalos estabelecidos foram de 0 a 2 para as regiões mais baixas (na qual foi adotada para este mapa temático a cor azul); 2 a 30 (cor verde escuro); 30 a 55 (cor verde) 55 a 88 (cor verde claro); 88 a 125 (cor rosa); e 125 a 162 para as regiões mais altas (amarelo).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Correções das imagens utilizadas neste estudo

Para a obtenção dos mapas de uso do solo e de IVDN, realizou-se o pré-processamento nas imagens de satélite brutas de 1989, 2001 e 2006, por meio de correções atmosféricas e radiométrica. Este trabalho serviu para melhorar o sinal e o realce das cenas analisadas. O resultado está ilustrado na imagem de 2001 (Figuras 5 e 6).

Comparando a Figura 5 sem correções e a Figura 6 com as correções atmosféricas e radiométrica, pode-se observar uma melhora do efeito desfocado da imagem original, além da suavização dos contornos dos alvos, isso proporcionou a confecção dos mapas de uso do solo com uma maior fidelidade à realidade existente nas bacias. Já após a correção radiométrica obtiveram-se imagens com uma melhor resposta espectral dos pixels o que proporcionou um melhor processamento do IVDN com um maior detalhamento da vegetação.

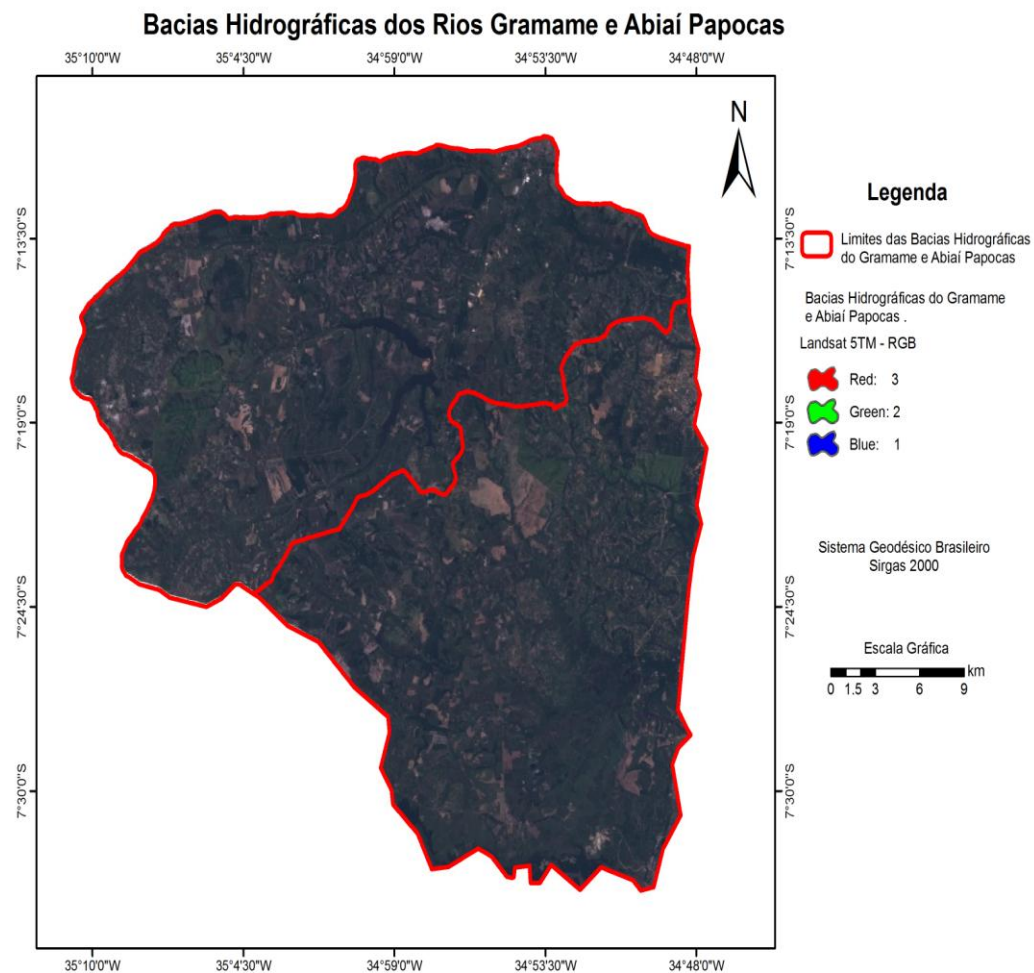


Figura 5: Imagem Landsat 5 TM das bacias hidrográficas do Gramame e do Abiaí-Papocas, do ano de 2001 (R3, G2, B1).

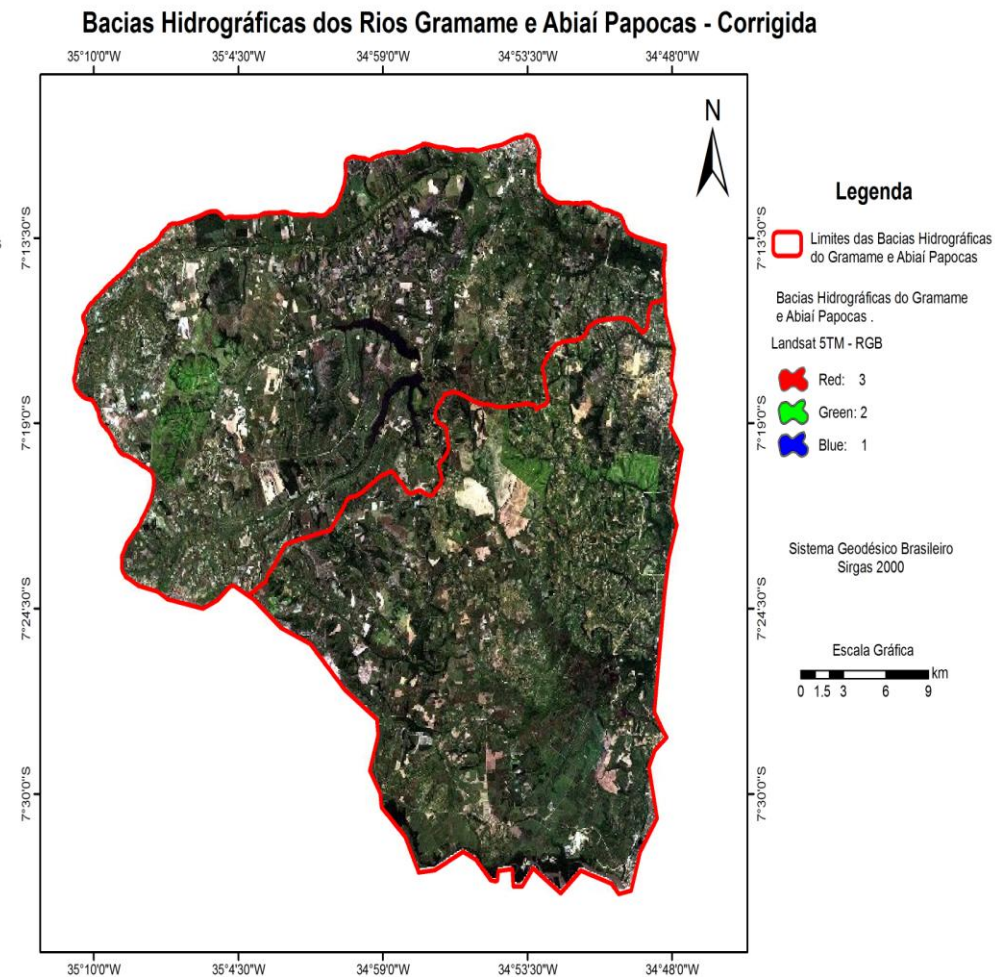


Figura 6: Imagem Landsat 5 TM das bacias hidrográficas do Gramame e do Abiaí-Papocas, do ano de 2001, corrigidas (R3, G2, B1).

6.2 Obtenção do IVDN

O processamento do IVDN foi realizado utilizando-se as imagens corrigidas, cujos valores variaram de -1 a +1, tendo os corpos hídricos assumido valores negativos, áreas urbanas e solos expostos têm valores próximos de zero e a vegetação valores positivos. Posteriormente, as imagens índice foram reclassificadas e os mapas temáticos confeccionados o que possibilitou uma melhor visualização da resposta dos elementos, além de permitir o cruzamento dos mapas, para análises comparativas mais detalhadas (Figuras 7 a 12).

Para cada mapa temático têm-se as tabelas com as áreas em km² das categorias de IVDN que indica o estado da vegetação e, conseqüentemente, o estado de degradação das bacias hidrográficas estudadas (Apêndice A).

A partir destas tabelas foram confeccionados gráficos que apresentam de forma mais clara a representatividade de cada categoria na extração do IVDN, facilitando com isso, as análises e a identificação das categorias predominantes (Gráficos 1 a 6).

A Figura 7 e o Gráfico 1 apresentam os dados temáticos do IVDN para a bacia hidrográfica do rio Gramame no ano de 1989.

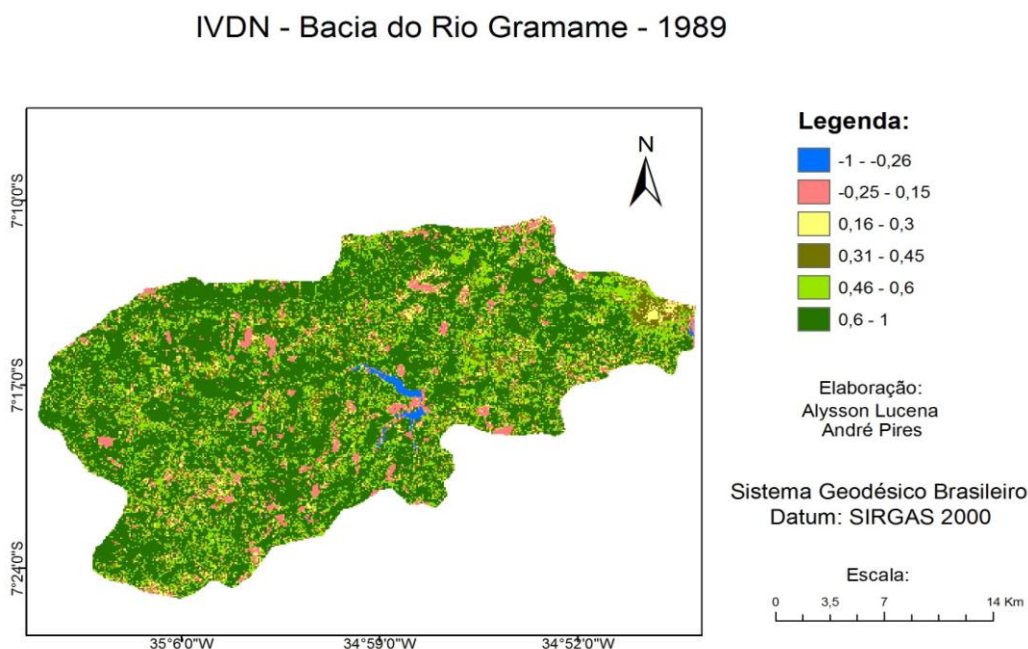
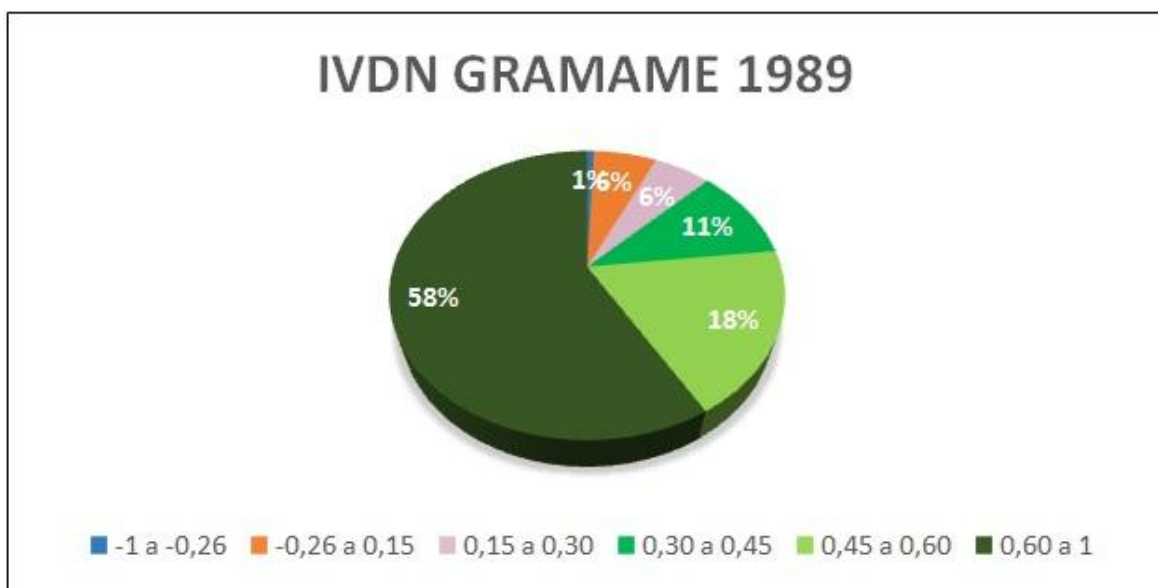


Figura 7: Mapa de IVDN da bacia hidrográfica do rio Gramame, do ano de 1989.

Gráfico 1: Categorias do IVDN em porcentagem para a bacia hidrográfica do rio Gramame, do ano de 1989



Observa-se a partir do Gráfico 1 do IVDN da bacia hidrográfica do rio Gramame, para o ano de 1989, que houve uma grande representatividade da categoria de intervalo 0,6 a 1, com 58% da área da bacia hidrográfica, já a área de intervalo 0,30 a 0,45, representa apenas 11% da área da bacia hidrográfica, categoria esta que junto com o intervalo 0,15 a 0,30, que teve 6% de representação, apresentam os valores de IVDN mais próximos de zero e podem indicar áreas degradadas. Estas observações estão representadas no Gráfico 1 pelas tonalidades verde escuro, laranja e roxo, respectivamente, com uma perceptível predominância da tonalidade verde escuro.

A Figura 8 e o Gráfico 2 apresentam os dados temáticos do IVDN para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas no ano de 1989.

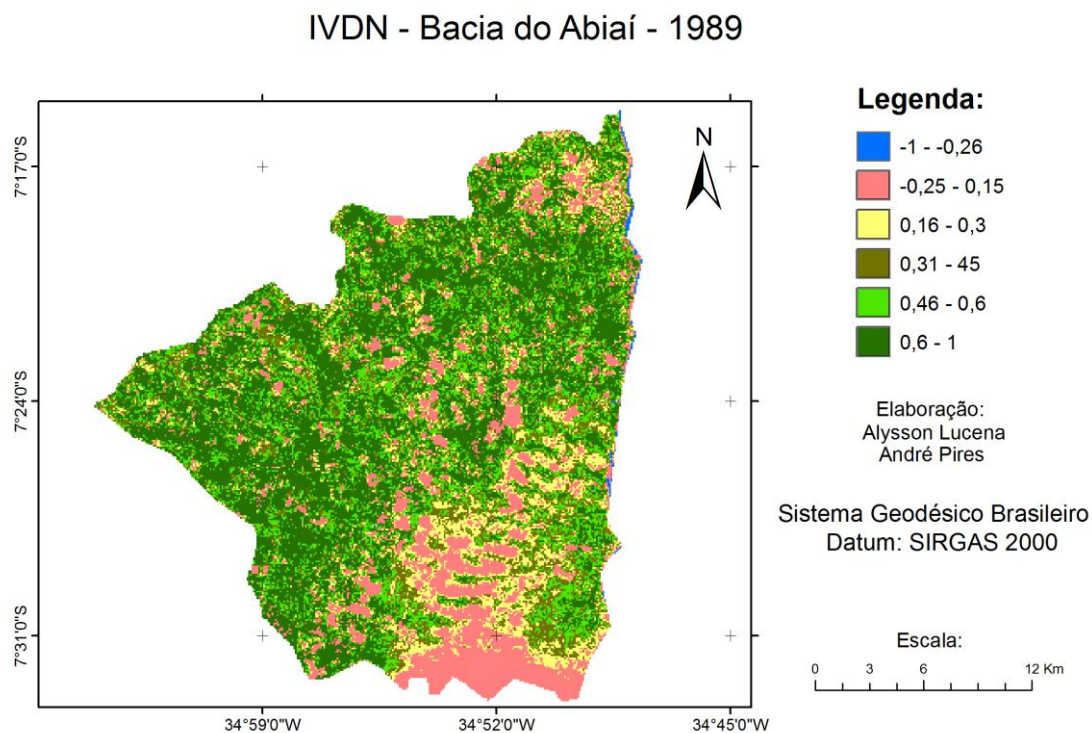
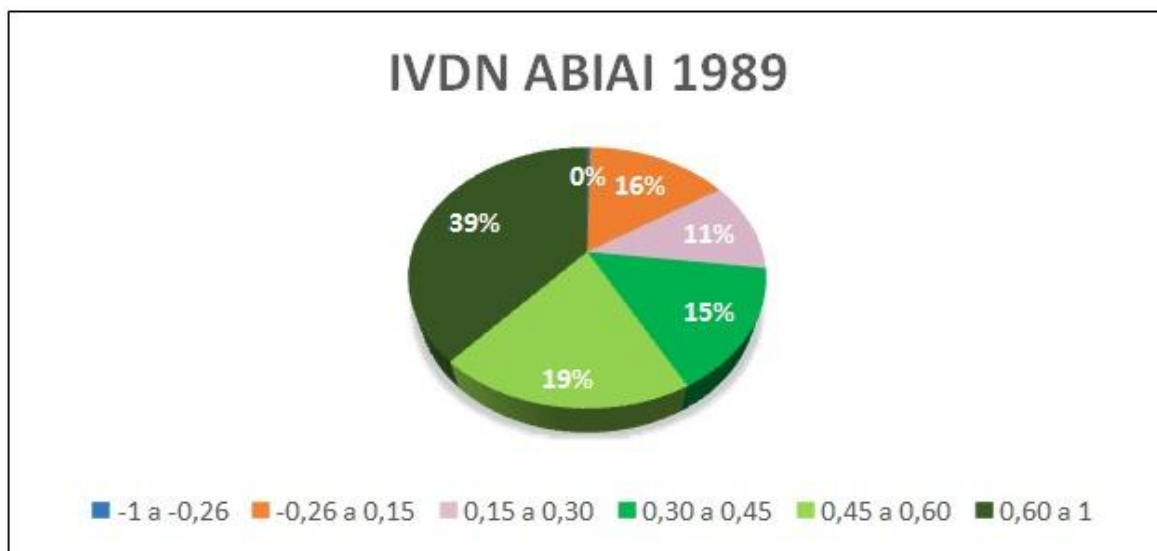


Figura 8: Mapa de IVDN da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, do ano de 1989.

Gráfico 2: Categorias do IVDN em porcentagem para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, do ano de 1989



Em comparação com a resposta do IVDN da bacia hidrográfica do rio Gramame para o mesmo ano de 1989, observa-se pela Figura 8 e o Gráfico 2 que a bacia hidrográfica

dos rios Abiaí-Papocas teve uma participação bem menor das áreas de intervalo de 0,60 a 1, porém, dentre as categorias estudadas nesta bacia, este intervalo teve a maior representatividade, com 39% da área da bacia. Já as faixas que podem indicar degradação da bacia, por apresentar valores de IVDN mais próximos de zero, foram bem mais representativas nessa bacia do que na bacia hidrográfica do rio Gramame.

As áreas de intervalo 0,30 a 0,45 também tiveram uma representação bem maior do que na bacia hidrográfica do rio Gramame. Esse resultado pode indicar uma maior exploração agrícola dessa bacia nesse ano.

No entanto, vale salientar que as respostas obtidas nos processamentos da imagem em questão, da área da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, não se mostraram precisas, devido a uma falha existente na imagem original na porção sul e que mesmo realizando os processamentos e correções não foi possível corrigir este erro.

A região onde está localizada essa falha no processamento do IVDN foi inserida na categoria de intervalo -0,26 a 0,15, o que, conseqüentemente, representou um aumento significativo na representatividade dessa categoria e pode ter ocasionado uma diminuição das áreas de intervalo 0,60 a 1.

A Figura 9 e o Gráfico 3 apresentam os dados temáticos do IVDN para a bacia hidrográfica do rio Gramame no ano de 2001.

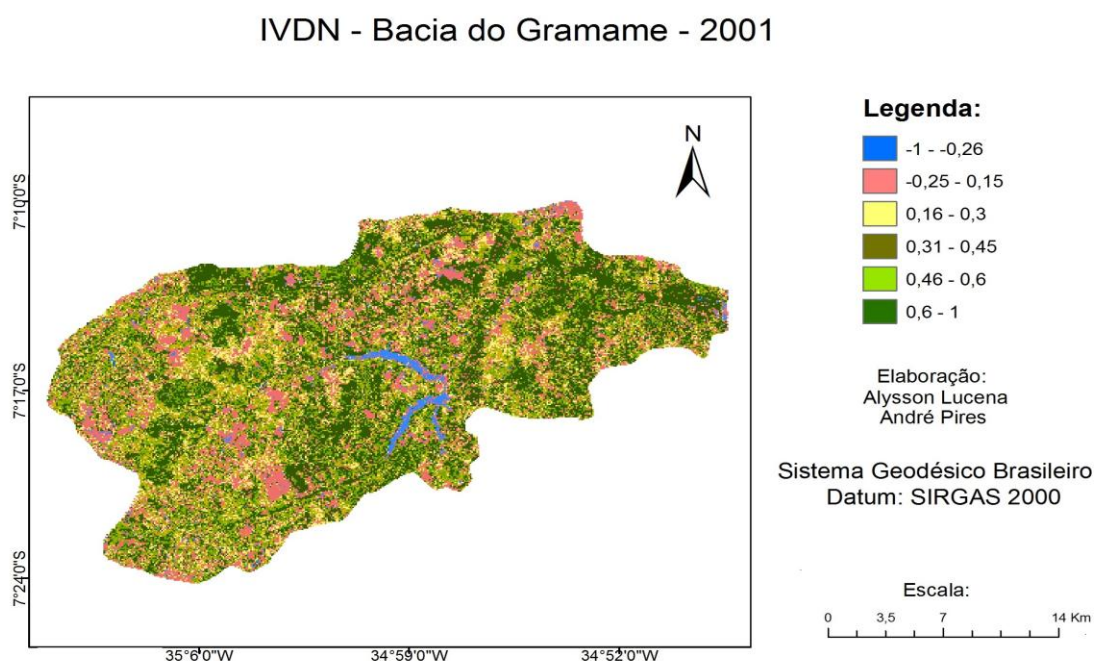
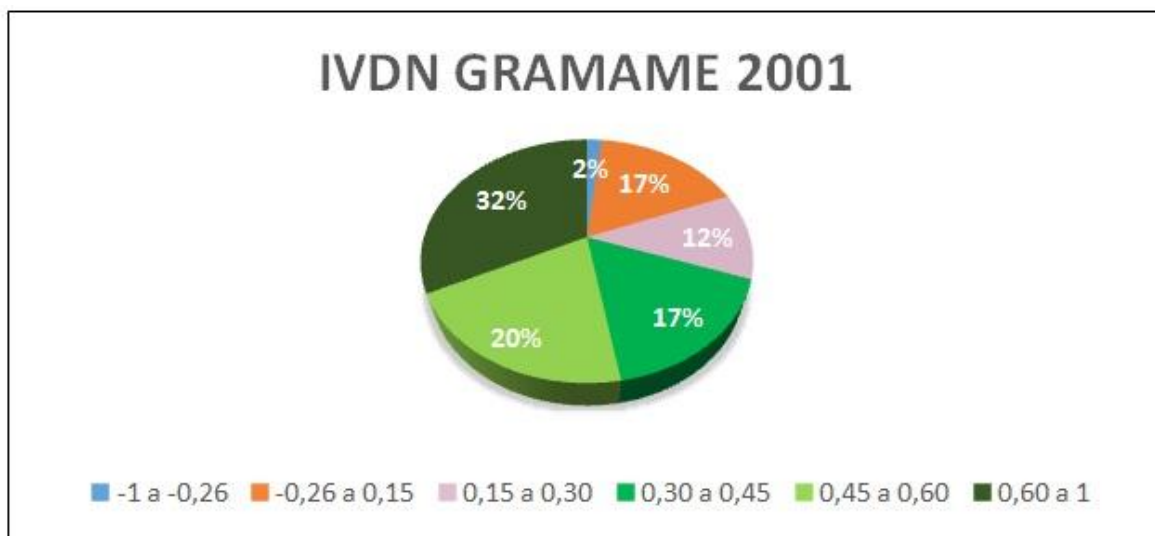


Figura 9: Mapa de IVDN da bacia hidrográfica do rio Gramame, do ano de 2001.

Gráfico 3: Categorias do IVDN em porcentagem para a bacia hidrográfica do rio Gramame do ano de 2001.



Analisando-se a Figura 9 e o Gráfico 3 é possível observar que houve uma diminuição significativa das áreas de intervalo 0,60 a 1, que para o ano de 2001 representou apenas 32% da área da bacia, apresentando uma queda de 26% em relação ao IVDN do ano de 1989, ou seja, em um período de 12 anos. Este fato pode ter ocorrido devido à região ter passado por um período de forte seca, que segundo Paraíba (2000a), pôs inclusive em risco de colapso, sistemas de abastecimento de água, como aponta a diminuição da vazão de captação do sistema Gramame/Mamuaba de 1.850 l/s para 1.200 l/s, no ano de 1999.

Com a diminuição das áreas de intervalo 0,60 a 1, verifica-se que a categoria de intervalo -0,26 a 0,15 teve um aumento de 11% e a de intervalo 0,15 a 0,30, um aumento de 6%. O aumento das áreas dessas categorias pode indicar maior degradação da bacia, no entanto, pode estar relacionada principalmente com a seca e com a proibição do uso da água da bacia hidrográfica para a irrigação a partir do ano 2000, devido ao racionamento de água.

O acréscimo de 1% verificado na categoria de intervalo -1 a -0,26 de 1989 para 2001 pode estar relacionado com: a proibição do uso da água da bacia hidrográfica do rio Gramame para a irrigação; a retomada das chuvas ou devido ao pré-processamento e classificação da imagem.

As áreas de intervalo 0,45 a 0,60 também tiveram um aumento, porém, menos expressivo, de 2% para as culturas e de 6% para outros cultivos. A Figura 10 e o Gráfico 4

apresentam os dados temáticos do IVDN para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas no ano de 2001.

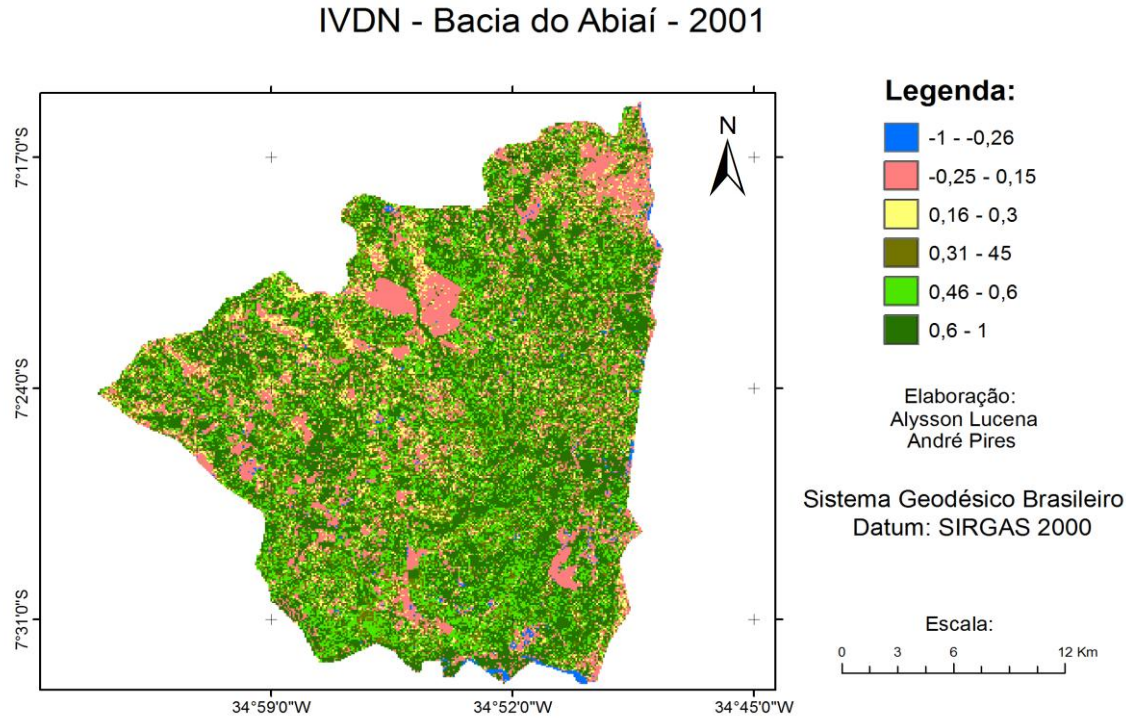
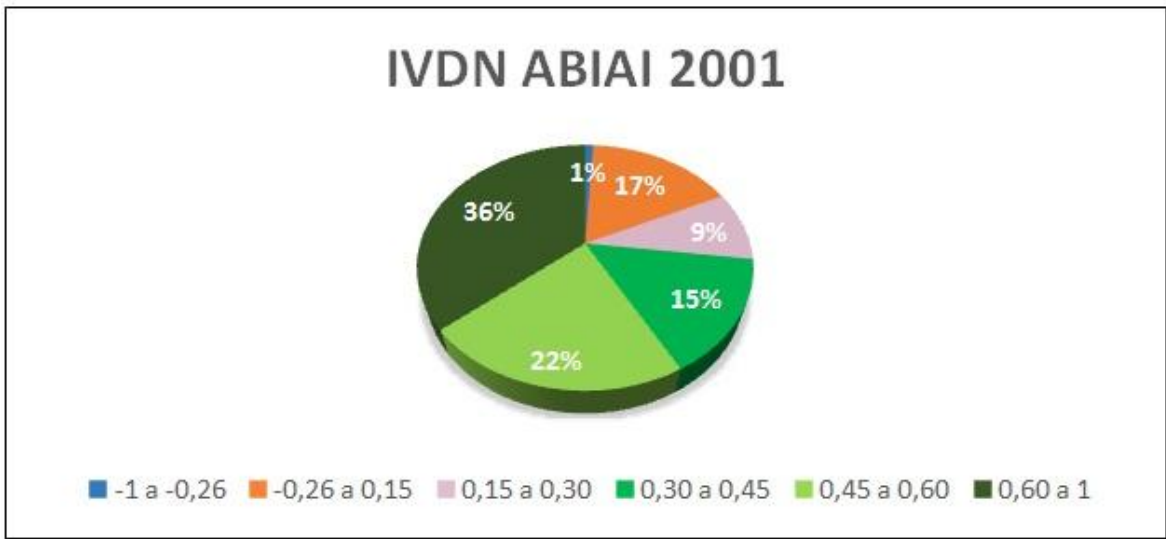


Figura 10: Mapa de IVDN da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, do ano de 2001.

Gráfico 4: Categorias do IVDN em porcentagem para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, do ano de 2001



Pela Figura 10 e pelo Gráfico 4 pode-se observar que os valores do IVDN em 2001, apontam uma consistência e um padrão na resposta se comparado com os valores na mesma bacia hidrográfica para o ano de 1989, esses valores não apresentaram diferenças significativas, mesmo existindo uma falha na imagem do ano de 1989, como já mencionado.

Houve uma diminuição de 3% das áreas de intervalo 0,60 a 1, já as áreas de intervalo 0,45 a 0,60 aumentaram 3%. Observou-se também um acréscimo das categorias de intervalo -0,26 a 0,15 e de intervalo 0,15 a 0,30, em 1% e 2%, respectivamente.

Em comparação com os dados da bacia hidrográfica do rio Gramame para o mesmo ano, estas respostas podem apontar que a degradação ou antropização do rio Gramame ultrapassou a dos rios Abiaí-Papocas. Em 2001, a bacia do rio Gramame teve menor representação de vegetação densa do que em Abiaí-Papocas que, por outro lado, teve uma maior representação de áreas com baixo IVDN (área urbana/solo exposto e pastos).

A Figura 11 e o Gráfico 5 apresentam os dados temáticos do IVDN para a bacia hidrográfica do rio Gramame no ano de 2006.

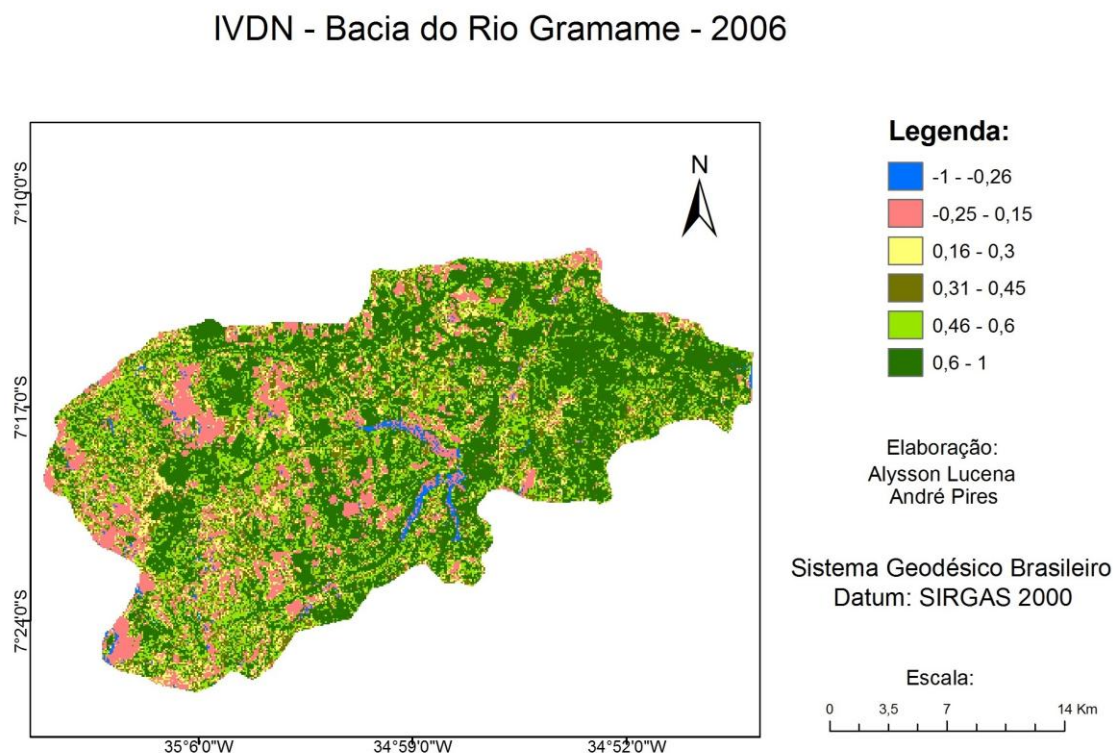
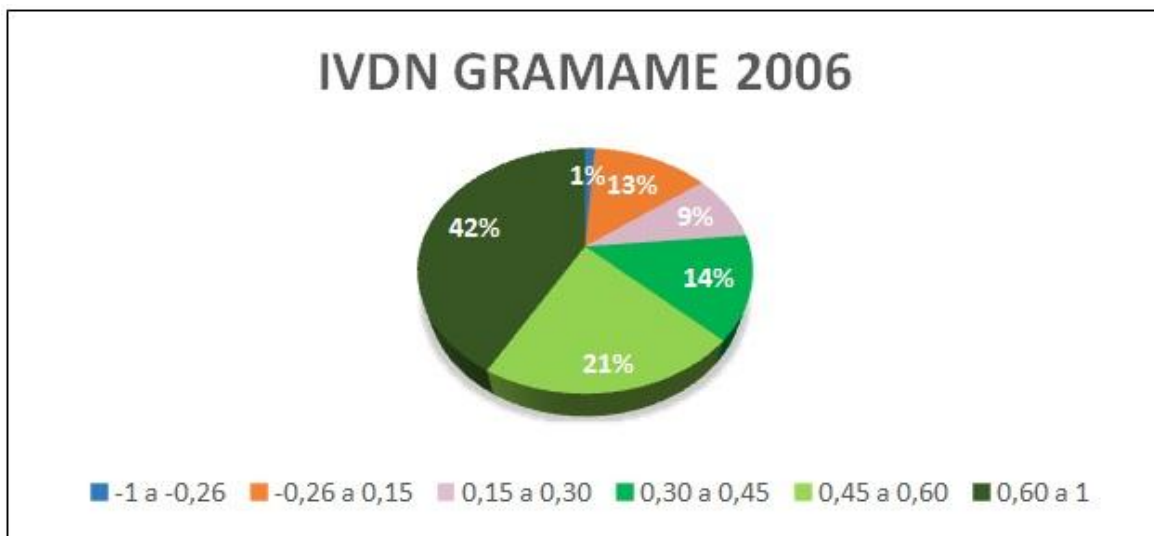


Figura 11: Mapa de IVDN da bacia hidrográfica do rio Gramame, do ano de 2006.

Gráfico 5: Categorias do IVDN em porcentagem para a bacia hidrográfica do rio Gramame, do ano de 2006.



O IVDN da bacia hidrográfica do rio Gramame extraído da imagem do ano de 2006 (Figura 11 e Gráfico 5), apontou um aumento de 10% das áreas que representam o intervalo de 0,60 a 1 em relação aos dados de 2001, porém, não chegou a alcançar o patamar inicial, no qual esta categoria representava mais da metade da área da bacia, verificado pelos dados do IVDN da imagem de 1989.

Observa-se também uma diminuição da representação, em relação ao ano de 2001, das regiões de intervalo -0,26 a 0,15 e intervalo 0,15 a 0,30, apresentando 13% a primeira, com uma diminuição de 4% e 9% na segunda, o que representa uma queda de 3%.

Já as áreas de intervalo 0,45 a 0,60 aumentaram 1%, enquanto as áreas de intervalo 0,30 a 0,45 diminuíram 3%. Isso pode ser justificado pela diminuição das pequenas propriedades, onde são cultivadas em grande maioria “culturas brancas” (batata doce, batata inglesa, mandioca e inhame), e pelo aumento das lavouras de cana-de-açúcar.

Comparando-se as respostas do IVDN para a faixa de 0,60 a 1, que representa a vegetação vigorosa na bacia hidrográfica do rio Gramame nos anos de 1989, 2001 e 2006, observa-se que houve uma diminuição de 1989 para 2001 e um aumento deste ano para 2006. Já para as categorias com valores de IVDN próximos de zero, observou-se um aumento de 1989 para 2001 e uma diminuição de 2001 para 2006.

Essas alterações podem indicar uma degradação no primeiro período (1989-2001) e uma recuperação no segundo período (2001-2006), fato que aumenta os indícios de que a queda nas áreas de vegetação mais vigorosa e aumento das categorias com valores

próximos de zero, que podem representar áreas degradadas, verificados no ano de 2001, foi ocasionado pela forte seca ocorrida na região ou pela proibição do uso da água da bacia hidrográfica para a irrigação a partir do ano 2000, devido ao racionamento de água que também é consequência da seca.

A Figura 12 e o Gráfico 6 apresentam os dados temáticos do IVDN para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas no ano de 2006.

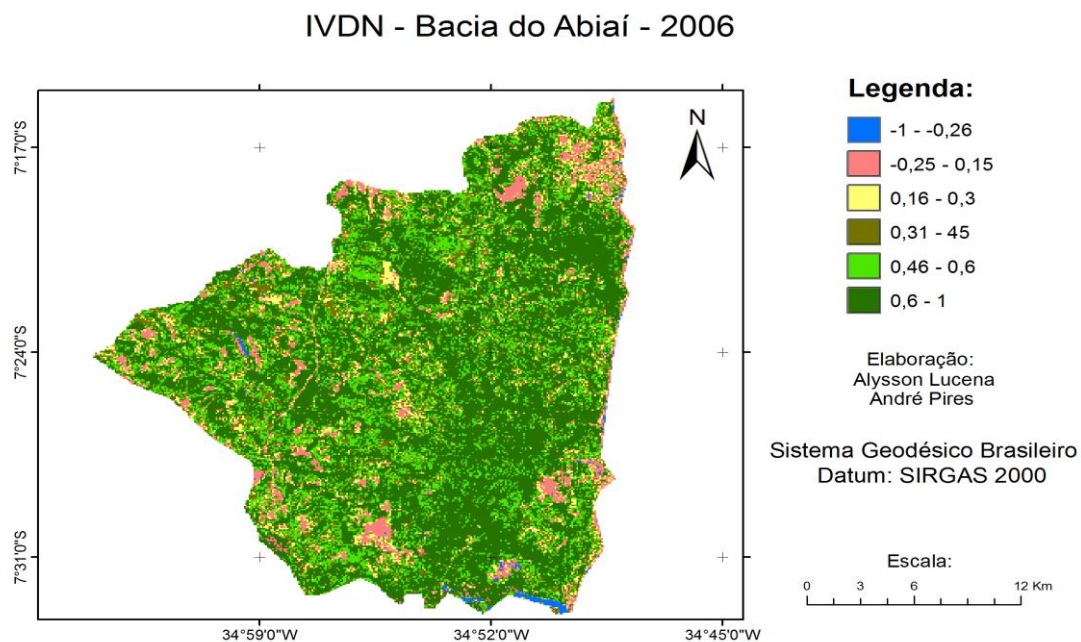
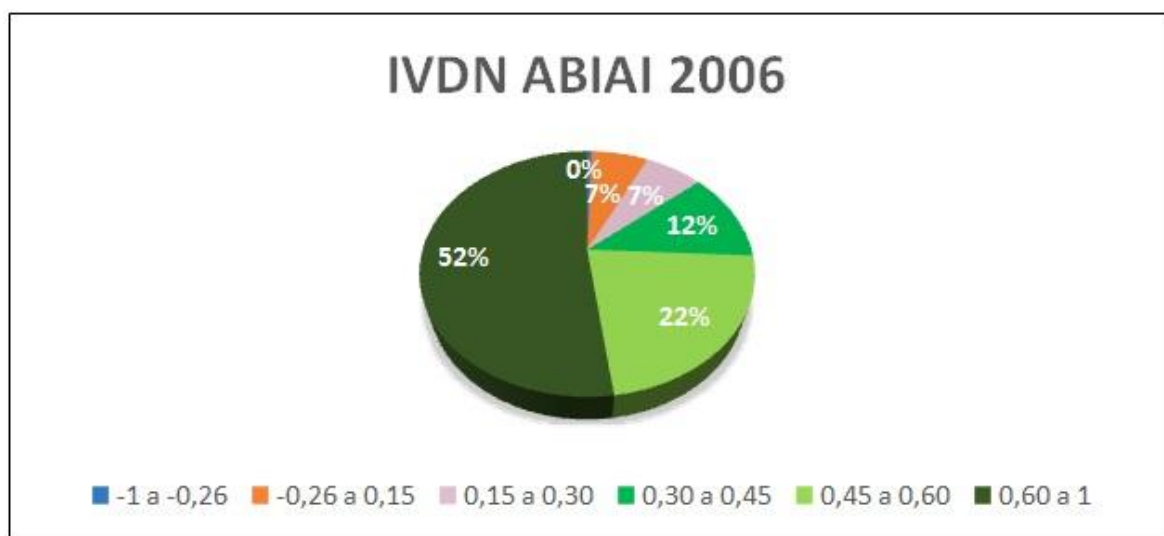


Figura 12: Mapa de IVDN da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, do ano de 2006.

Gráfico 6: Categorias do IVDN em porcentagem para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, do ano de 2006.



Os dados obtidos a partir do IVDN da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas do ano de 2006 apontam uma regeneração da bacia, mostrando neste ano uma área de intervalo 0,60 a 1 de 52% que representa mais da metade da área da bacia hidrográfica, ou seja, 10% maior do que a representação dessa categoria para o rio Gramame, nesse mesmo ano.

Já as categorias de intervalo -0,26 a 0,15 e intervalo 0,15 a 0,30 diminuíram sua representatividade, apresentando percentuais iguais de 7%. As prováveis áreas agrícolas tiveram pequenas alterações em relação ao ano de 2001, permanecendo em 22% para a categoria de 0,30 a 0,45 e 12% para a classe de 0,45 a 0,60.

Fazendo-se uma análise multitemporal sintética dos dados do IVDN apresentados nas Figuras 13 a 18 e nos Gráficos 1 a 6, observa-se que para a bacia hidrográfica do rio Gramame houve uma diminuição das áreas que representam a vegetação mais vigorosa e um aumento das categorias com baixo IVDN, de 1989 para 2001. Posteriormente observa-se a situação inversa, apresentando um aumento das áreas representantes de vegetação com valores de IVDN altos e diminuição das categorias com IVDN próximos de zero, de 2001 para 2006.

Já para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas observa-se que de 1989 para 2001 houve uma pequena diminuição das áreas de vegetação mais vigorosa e um leve aumento das áreas com baixo IVDN, sendo essas alterações percentualmente pouco representativas, no entanto, de 2001 para 2006 constata-se um aumento representativo de 36% para 52%, das áreas com IVDN de 0,60 a 1 e uma diminuição das áreas que podem indicar degradação, representadas pelas categorias com respostas ao IVDN próximas de zero.

Essa diminuição das áreas com valores de IVDN próximos de zero, de acordo com o que foi visto nas visitas de campo, da análise comparativa com imagens atualizadas do Google Earth e bases cartográficas, não necessariamente indica que as áreas urbanizadas diminuíram, provavelmente, isso ocorreu devido à existência de áreas de grandes plantações que podem ter sido colhidas ou estavam na fase inicial de plantio, ou até mesmo, áreas que foram degradadas na época do imageamento e posteriormente se regeneraram. Uma dessas áreas pode ser observada na porção centro-norte da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas que, provavelmente, se trata de uma área de agricultura recém colhida, de desmatamento ou transformada em mineração. Esta área nas

imagens Landsat de 1989 e 2006 apresentam-se como áreas de cultivo ou de vegetação densa e em 2001 é facilmente identificada como solo exposto.

6.3 Resultado das atividades de campo

A coleta de pontos amostrais, realizada nas visitas de campo, proporcionou o conhecimento real dos usos do solo existentes na bacia hidrográfica do rio Gramame. Essas visitas foram primordiais para o processamento do uso do solo e para dirimir dúvidas na interpretação de pontos nas imagens de satélites. Com os pontos obtidos nessas visitas foi confeccionado o mapa, no qual pode ser visualizado a localização de alguns pontos representantes dos mais variados usos do solo existentes na bacia (Figura 13).

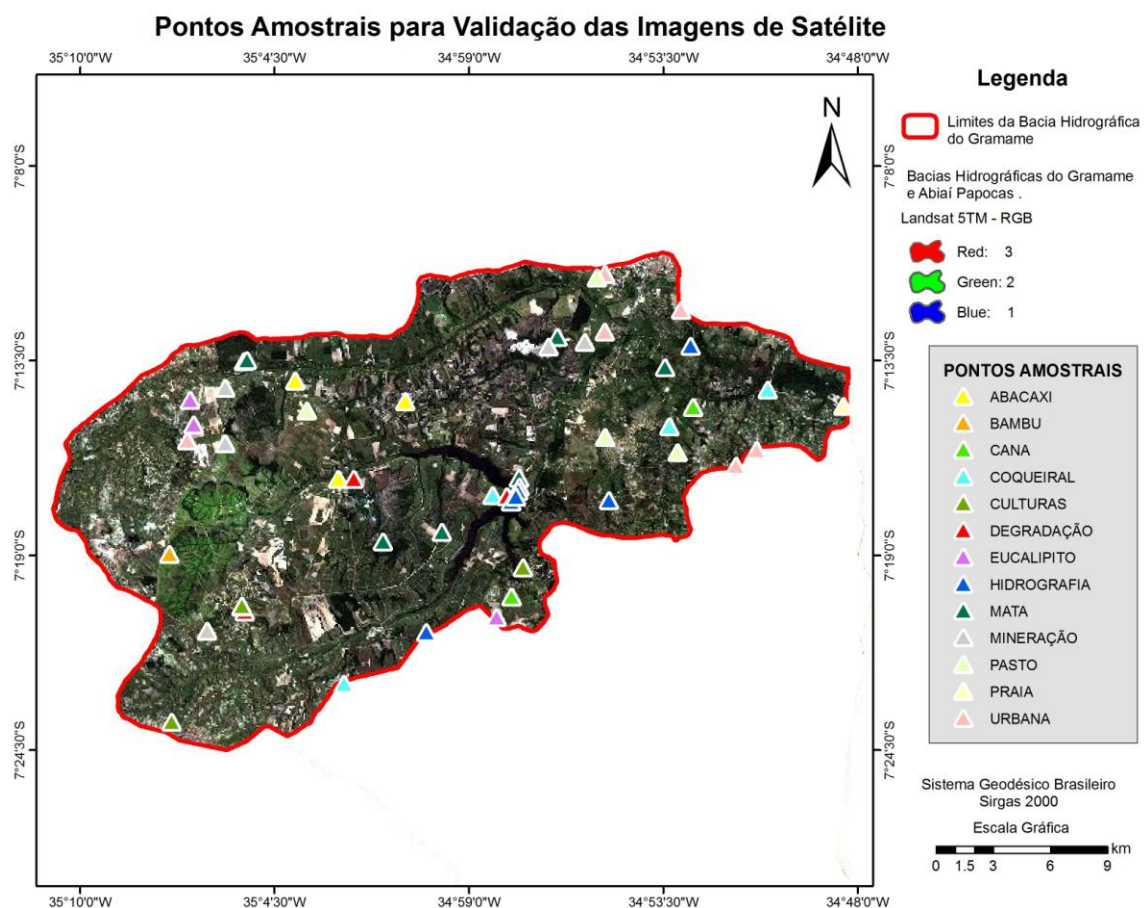


Figura 13- Mapa com os pontos coletados nas atividades de campo.

Nesse mapa não foram inseridos todos os pontos coletados *in situ*, devido à grande quantidade de dados obtidos, o que dificultaria a visualização, no entanto, com os pontos ilustrados nesta figura é possível observar que foram coletadas amostras representativas de vários usos do solo e distribuídos por toda a bacia hidrográfica.

Algumas áreas fotografadas representantes dos usos mais relevantes (na bacia hidrográfica do rio Gramame) para esta pesquisa, como recursos hídricos, área urbana/solo exposto, vegetação nativa, cana-de-açúcar, abacaxi e outros cultivos, podem ser vistos nas Figuras 14 a 19.



Figura 14- Classe temática – Recursos hídricos: A – Rio Gramame ($34^{\circ} 52'43,438''$ O e $07^{\circ} 13' 06,026''$ S); B – Barragem Gramame/Mamuaba ($34^{\circ} 57' 36,336''$ O e $07^{\circ} 17' 12,514''$ S). Fotos: do autor, 2012.



Figura 15- Classe temática – Área urbana/solo exposto: A – Erosão do solo ($34^{\circ} 57' 33,923''$ O e $07^{\circ} 17'05,310''$ S); B – Comunidade Gurugi ($34^{\circ} 50' 51,325''$ O e $07^{\circ} 16' 02,995''$ S). Fotos: do autor, 2012.



Figura 16- Classe temática – Vegetação nativa: A – Mata do Toco ($35^{\circ} 05' 16,604''$ O e $07^{\circ} 13' 30,579''$ S); B – Reserva São João ($34^{\circ} 56' 29,231''$ O e $07^{\circ} 12' 51,119''$ S). Fotos: do autor, 2012.



Figura 17- Classe temática – Cana-de-açúcar: A – Cultura em diferentes fases ($34^{\circ} 52' 38,944''$ O e $07^{\circ} 14' 49,613''$ S); B – Preparo do solo para o plantio ($34^{\circ} 57' 47,143''$ O e $07^{\circ} 20' 10,975''$ S). Fotos: do autor, 2012.



Figura 18- Classe temática – Abacaxi: A cultura do abacaxi em desenvolvimento – A e B (35° 03' 54,215" O e 07° 14' 05,386" S). Fotos: do autor, 2012.



Figura 19- Classe temática – Outros cultivos: A – Mandioca (34° 57' 28,250" O e 07° 19' 21,815" S); B – Inhame, feijão e milho (35° 05' 24,789" O e 07° 20' 26,842" S). Fotos: do autor, 2012.

O conhecimento real dos usos praticados em vários pontos da bacia hidrográfica, não só auxiliou no processamento do uso do solo, como também, foi muito importante na compreensão e análises realizadas a partir do processamento do IVDN, servindo de apoio para a interpretação dos dados por estes gerados.

As tonalidades desses pontos amostrais verificados na imagem de satélite do ano de 2006 foram utilizadas no processamento do uso do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame para esse ano e, posteriormente aplicadas em regiões com o mesmo padrão de cor nas imagens dos anos de 1989 e 2001, para essa mesma bacia hidrográfica, bem como,

para todos os anos analisados nesta pesquisa, para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas.

6.4 Mapeamento do uso do solo

As melhorias obtidas no pré-processamento das imagens proporcionaram uma melhor identificação dos objetos alvos e facilitou a distinção entre eles.

Após a realização das correções necessárias e da classificação supervisionada, foram confeccionados os mapas temáticos de uso do solo (Figuras 20 a 25) com seis classes de categorias temáticas: recursos hídricos, área urbana/solo exposto, vegetação nativa, cana-de-açúcar, abacaxi e outros cultivos. Na classificação supervisionada, alguns alvos como nuvens e sombras foram inseridas na categoria de corpos hídricos, além de culturas recém-colhidas ou em estágio inicial de crescimento, as quais foram associadas à categoria de área urbana/solo exposto, erros estes que foram ao máximo excluídos na classificação das categorias temáticas.

Extraíu-se de cada mapa temático as áreas em km² das categorias de uso do solo para cada bacia hidrográfica, com as quais foram geradas tabelas (APÊNDICE B), a partir dessas tabelas foram confeccionados gráficos que apresentam percentualmente cada categoria de uso do solo (Gráficos 7 a 12).

A Figura 20 e o Gráfico 7 apresentam os dados temáticos do uso do solo para a bacia hidrográfica do rio Gramame no ano de 1989.

Uso do solo - Bacia do Rio Gramame - 1989

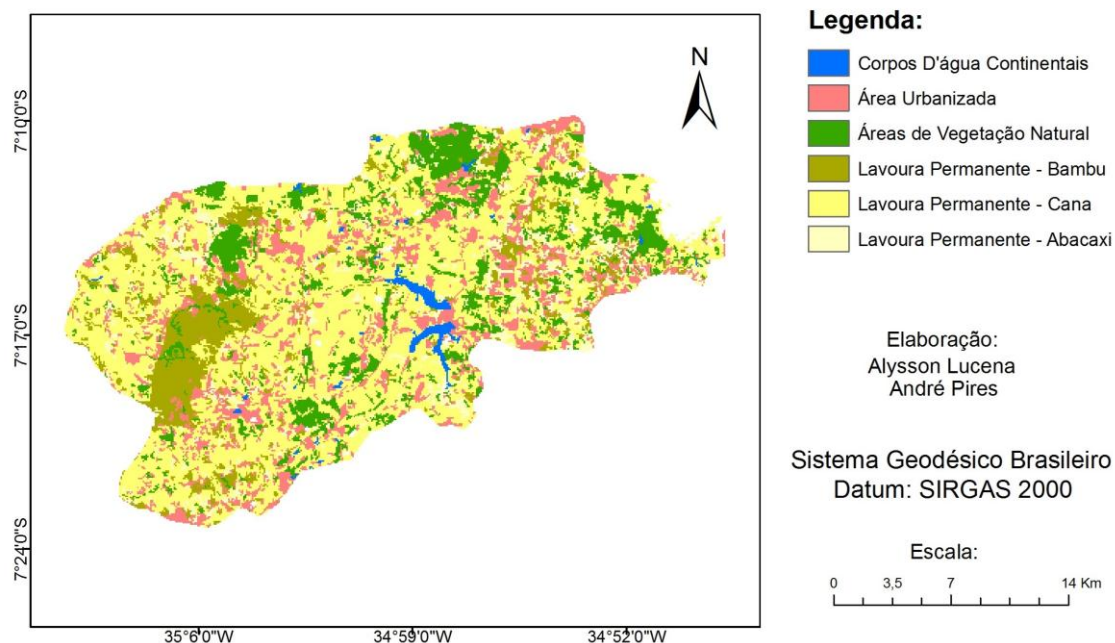
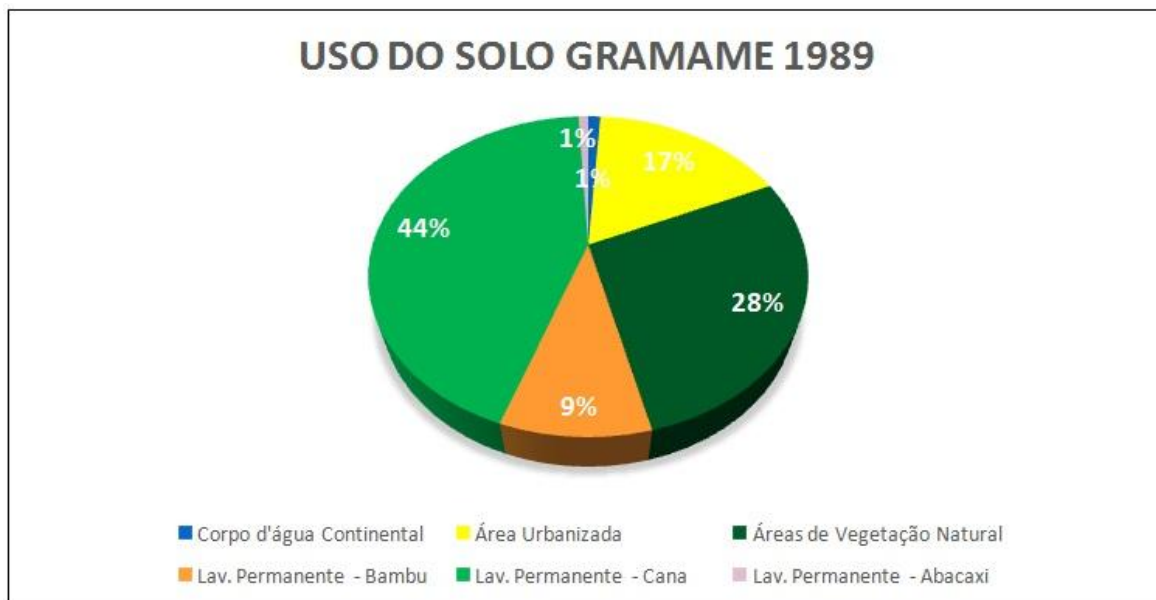


Figura 20: Mapa de uso do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame, do ano de 1989.

Gráfico 7: Categorias do uso do solo em porcentagem para a bacia hidrográfica do rio Gramame, do ano de 1989.



Analisando o mapa temático e o gráfico (Figura 20 e Gráfico 7) observa-se que a cultura de cana-de-açúcar teve a maior presença, com 44% da área total da bacia

hidrográfica, seguida das áreas de vegetação nativa com 28% de representação, já a categoria área urbana/solo exposto teve a terceira maior representatividade com 17% da área da bacia hidrográfica.

A Figura 21 e o Gráfico 8 apresentam os dados temáticos do uso do solo para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas no ano de 1989.

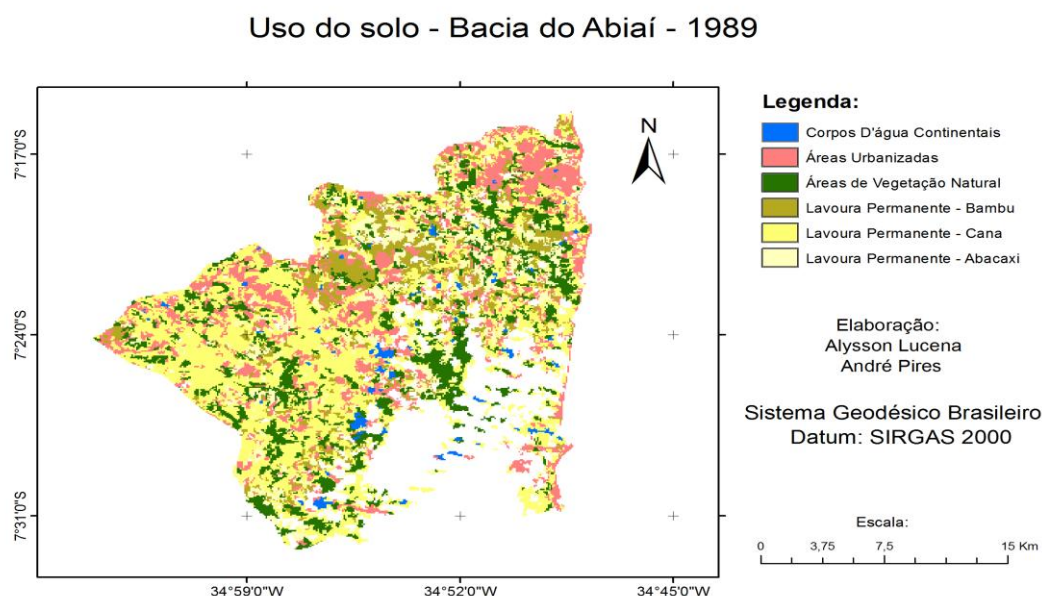
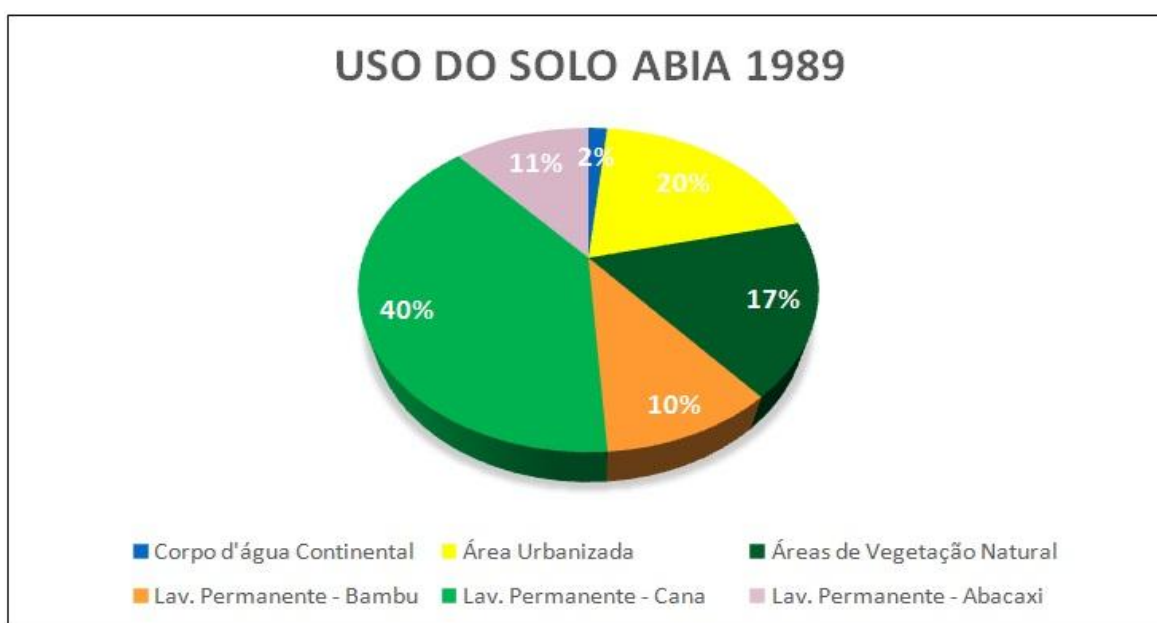


Figura 21: Mapa de uso do solo das bacias hidrográficas dos rios Abiaí-Papocas, do ano de 1989.

Gráfico 8: Categorias do uso do solo em porcentagem para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, do ano de 1989.



Observa-se na Figura 21 e no Gráfico 8 que as áreas com cultivo de cana-de-açúcar e com vegetação natural da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas seguiram o mesmo padrão das respostas obtidas para a bacia hidrográfica do rio Gramame em 1989, com uma pequena diminuição percentual na representatividade das mesmas. As áreas de cana representam 40% da bacia e as de vegetação natural 17% da área total.

Área urbana/solo exposto também seguiram o mesmo padrão só que com um pequeno percentual a mais, representando 20% da área da bacia hidrográfica. A diferença notória observada entre as respostas das bacias hidrográficas em questão se deu na representação da cultura de abacaxi que, na bacia hidrográfica do Gramame representava 1% do total já na bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas representa 11% do total.

No entanto, vale salientar novamente que a imagem do ano de 1989 tem uma falha na região sul da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas que não foi possível corrigir no seu pré-processamento. Entretanto, ao contrário do que ocorreu no processo de obtenção do IVDN na qual esta região foi inserida na categoria área urbana/solo exposto, nesta etapa do trabalho a área com falha não foi contabilizada, pois esta foi inserida na categoria zero, já mencionada no início do subitem. Isso pode ser observado a partir das tabelas que apresentam as áreas dos mapas, nas quais nota-se que a área total da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas do ano de 1989 é menor do que a dos anos de 2001 e 2006.

A Figura 22 e o Gráfico 9 apresentam os dados temáticos do uso do solo para a bacia hidrográfica do rio Gramame no ano de 2001.

Uso do solo - Bacia do Gramame - 2001

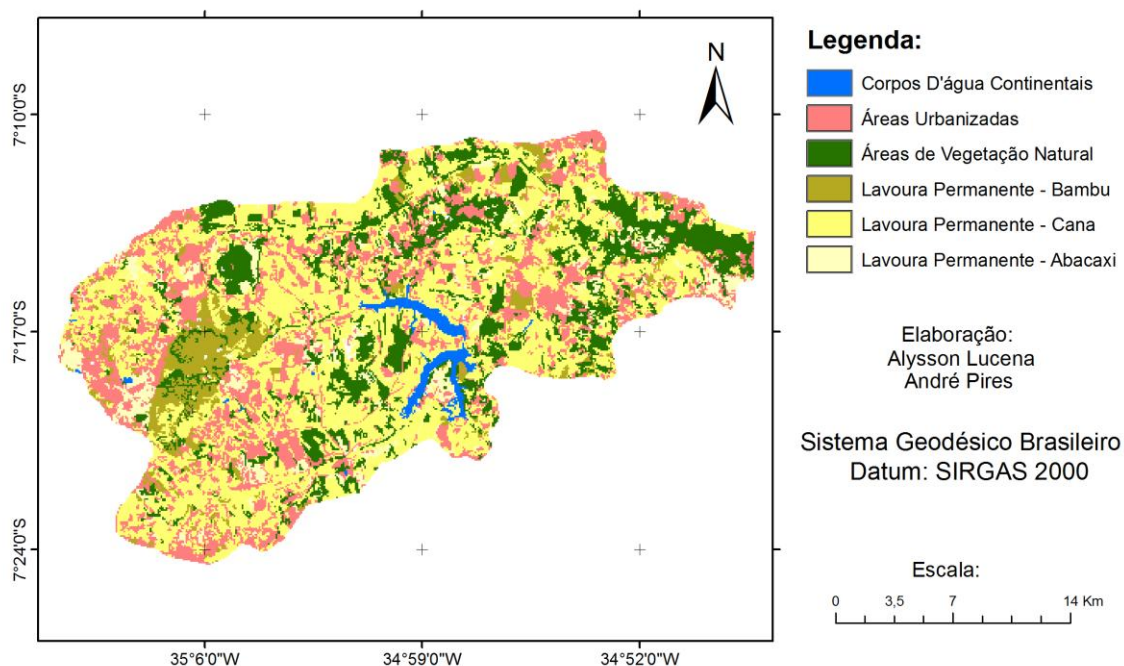


Figura 22: Mapa de uso do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame, do ano de 2001.

Gráfico 9: Categorias do uso do solo em porcentagem para a bacia hidrográfica do rio Gramame, do ano de 2001.



A Figura 22 e o Gráfico 9 mostram que, assim como foi observado nos resultados do IVDN para esta bacia hidrográfica, houve uma queda nas áreas de vegetação nativa, de 28% em 1989 para 19% no ano de 2001. Pode-se constatar ainda que dos 9% da área da bacia hidrográfica, que foi diminuído das áreas de vegetação natural, 3% foi ocupado com a cultura de cana-de-açúcar que em 2001 passou a representar 47% da área total da bacia; 5% foi ocupado com cultivos de abacaxi que tinha 1% da bacia em 1989 e passou a ter 6% em 2001; e os outros 1% que diminuíram das áreas de vegetação natural foi acrescido nos corpos d'água, esse fato, de ter acrescido a área da categoria corpos d'água pode estar relacionado com a proibição do uso da água da bacia hidrográfica para a irrigação, a partir do ano 2000, com o racionamento de água; com a retomada das chuvas ou com o pré-processamento e classificação da imagem.

As categorias área urbana/solo exposto e de plantio de bambu não sofreram alterações de área no período de 1989 para 2001, permanecendo com 17% e 9% da área total da bacia hidrográfica, respectivamente.

A Figura 23 e o Gráfico 10 apresentam os dados temáticos do uso do solo para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas no ano de 2001.

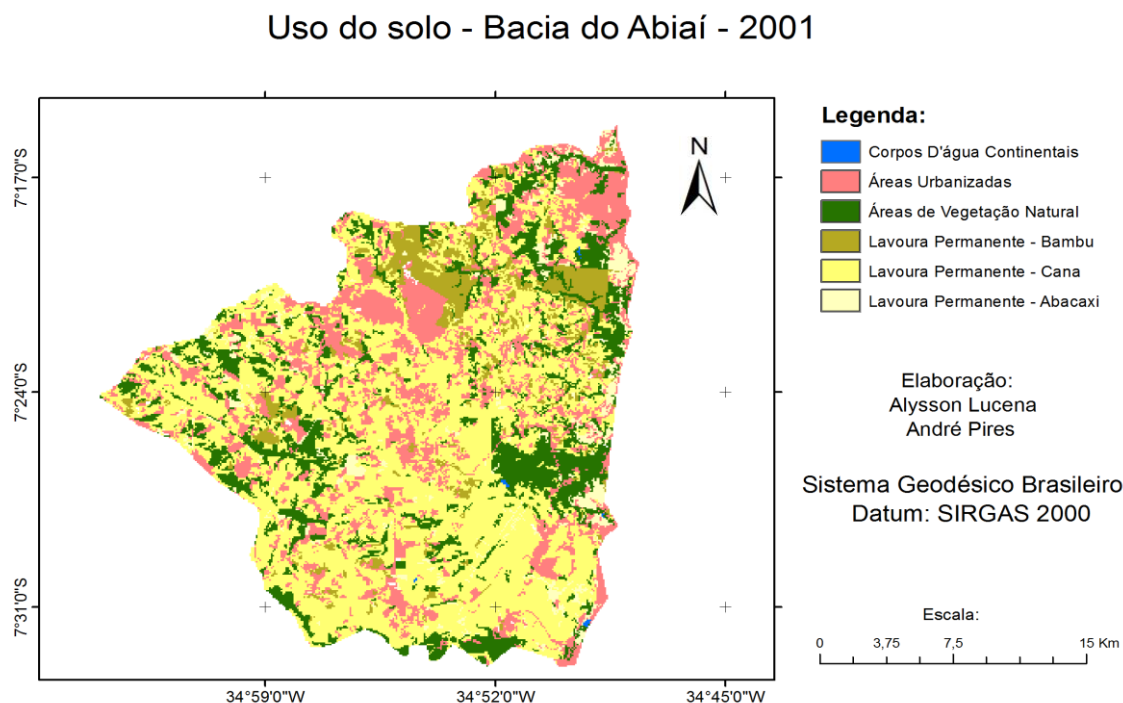


Figura 23: Mapa de uso do solo das bacias hidrográficas dos rios Abiaí-Papocas, do ano de 2001.

Gráfico 10: Categorias do uso do solo em porcentagem para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, do ano de 2001.



Assim como foi observado no uso do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame, nota-se na Figura 23 e no Gráfico 10, que na bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas também houve um aumento na área de cultivo de cana-de-açúcar de 40% em 1989 para 50% em 2001. Porém, as categorias que perderam área na bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas foram os cultivos de bambu, que caiu de 10% em 1989 para 7% em 2001 e de abacaxi, que tinha 11% da área da bacia hidrográfica em 1989 e passa a ter apenas 5% de representatividade em 2001, isso, provavelmente, pode ser explicado pela opção dos agricultores da bacia para o plantio da cana-de-açúcar.

Não foram identificados alvos com a resposta referente à categoria de corpos d'água na classificação supervisionada da imagem do ano de 2001, categoria esta que representava 2% da bacia hidrográfica em 1989, isso pode ter ocorrido devido à baixa resolução espacial da imagem de satélite Landsat 5 TM, visto que os corpos hídricos não caudalosos ou volumosos dificilmente são detectados na classificação das categorias temáticas, já a categoria que representa a área urbana/solo exposto teve um pequeno aumento, passando de 20% em 1989 para 21% em 2001.

A Figura 24 e o Gráfico 11 apresentam os dados temáticos do uso do solo para a bacia hidrográfica do rio Gramame no ano de 2006.

Uso do solo - Bacia do Gramame - 2006

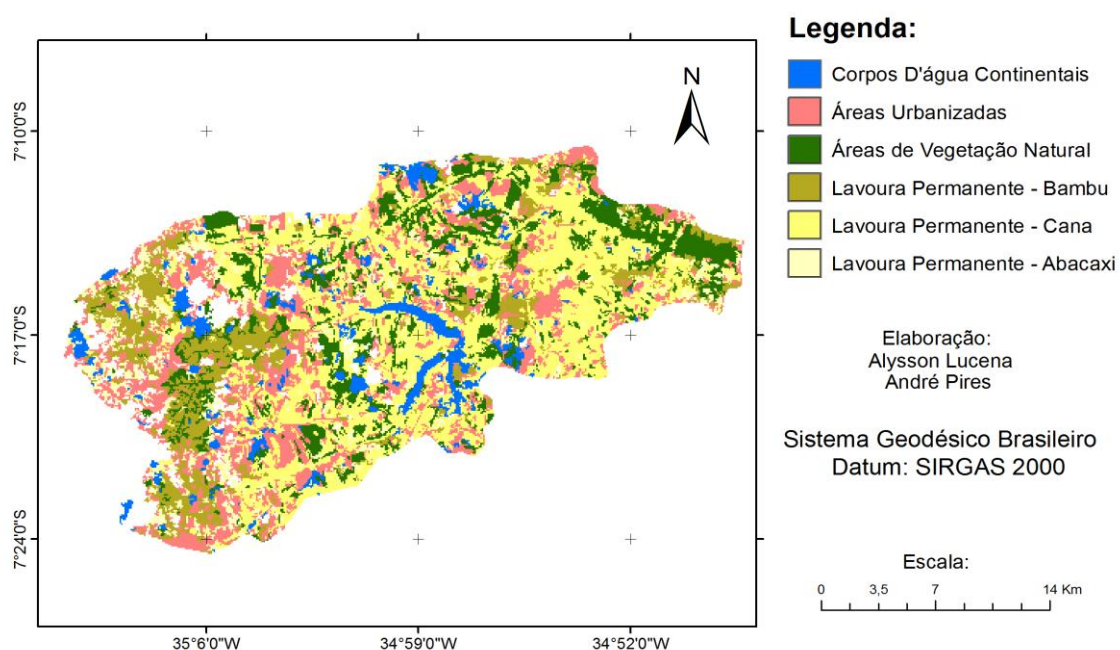
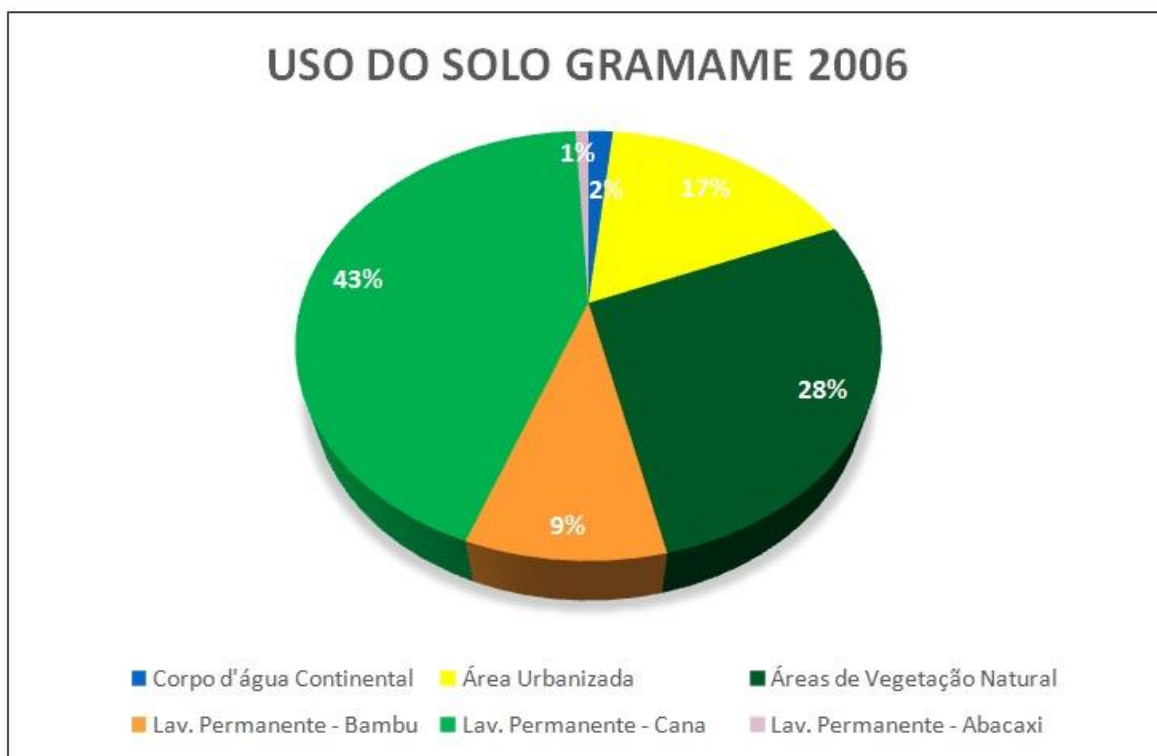


Figura 24: Mapa de uso do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame, do ano de 2006.

Gráfico 11: Categorias do uso do solo em porcentagem para a bacia hidrográfica do rio Gramame, do ano de 2006.



Comparando o resultado da Figura 24 e do Gráfico 11 com os resultados apresentados para o ano de 2001 (Figura 22 e Gráfico 9) pode-se observar que houve um ganho de 9% da área da bacia hidrográfica, na categoria vegetação nativa, que passou a representar 28% da área total, essa alteração também foi observada nos resultados do IVDN para o mesmo período, porém, no resultado do uso do solo as áreas que diminuiram foram as culturas de cana-de-açúcar, que reduziram sua representação em 4%, e as áreas de plantio de abacaxi que diminuiram em 5%.

Esses dados temáticos apontam novamente para a hipótese de que os resultados obtidos, a partir da imagem de 2001, apresentaram as consequências da seca ocorrida em anos anteriores. No entanto, no período de 2001 a 2006 verifica-se uma regeneração da vegetação nativa, provavelmente devido á retomada das chuvas, o que pode explicar o aumento do percentual dessa categoria num período determinado.

As categorias área urbana/solo exposto e de cultivo de bambu, no período de (2001-2006), assim como ocorreu no período anterior (1989-2001), também não sofreram alterações, continuando área urbana/solo exposto com 17% e os plantios de bambu com 9% da área total da bacia hidrográfica do rio Gramame.

A Figura 25 e o Gráfico 12 apresentam os dados temáticos do uso do solo para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas no ano de 2006.

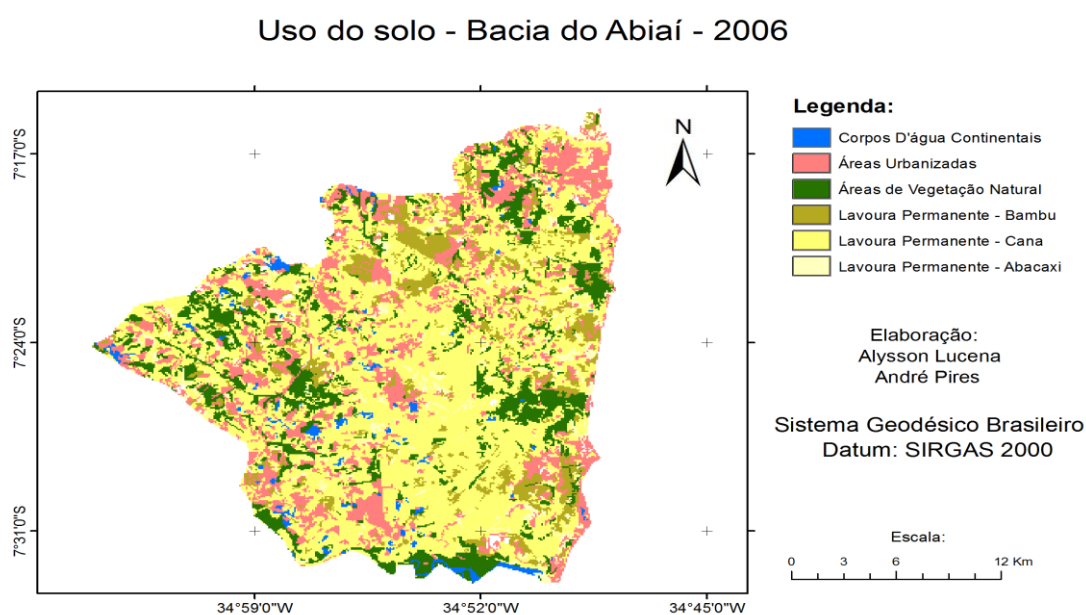


Figura 25: Mapa de uso do solo das bacias hidrográficas dos rios Abiaí-Papocas, do ano de 2006.

Gráfico 12: Categorias do uso do solo em porcentagem para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, do ano de 2006.



No período 2001-2006 houve poucas alterações significativas, como mostram a Figura 25 e Gráfico 12. Observa-se um pequeno aumento de 1% nas áreas de cana-de-açúcar, de 2% nas áreas de bambuzais e a cultura do abacaxi permaneceu com os mesmos 5% da área total da bacia.

Já as áreas de vegetação natural apresentaram uma queda, passando de 17% em 2001 para 14% em 2006, e área urbana/solo exposto de 21% para 19% no mesmo período. No mapa de uso do solo de 2006 voltou a aparecer áreas com corpos d'água tendo 2% de representação na bacia hidrográfica, tanto no mapa de 1989 quanto no mapa de 2006, Figuras 21 e 25 respectivamente.

6.5 Obtenção do HAND

O processamento do HAND resultou em uma imagem que contém a descrição do terreno, apresentando a distância vertical entre cada pixel da imagem e a rede de drenagem mais próxima, esta imagem foi reclassificada e foram confeccionados os mapas temáticos com seis categorias, que proporcionaram um melhor detalhamento dos desníveis. Estas informações resultaram em uma representação do terreno, a partir do qual pode-se extrair

informações de caráter ecológico e geomorfológico (Figuras 26 e 27). A confecção do mapa temático permitiu também o cruzamento das informações com as dos mapas de IVDN, o que possibilitou a realização de análises comparativas mais detalhadas, que possibilitaram justificar algumas respostas do IVDN.

Para cada mapa temático foi criada uma tabela contendo as áreas de cada categoria temática do HAND (APÊNDICE C), a partir dessas tabelas foram confeccionados gráficos que apresentam os percentuais de representatividade de cada categoria, proporcionando uma melhor análise comparativa das informações (Gráficos 13 a 14).

A Figura 26 e o Gráfico 13 apresentam os dados temáticos do HAND para a bacia hidrográfica do rio Gramame.

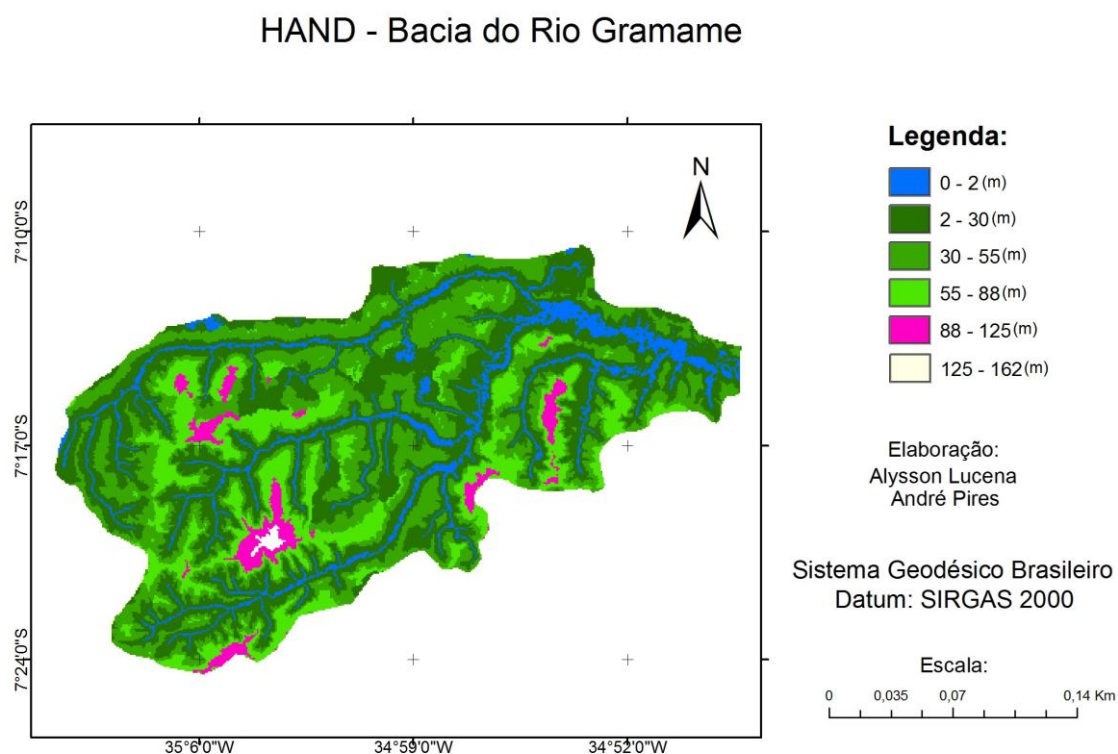
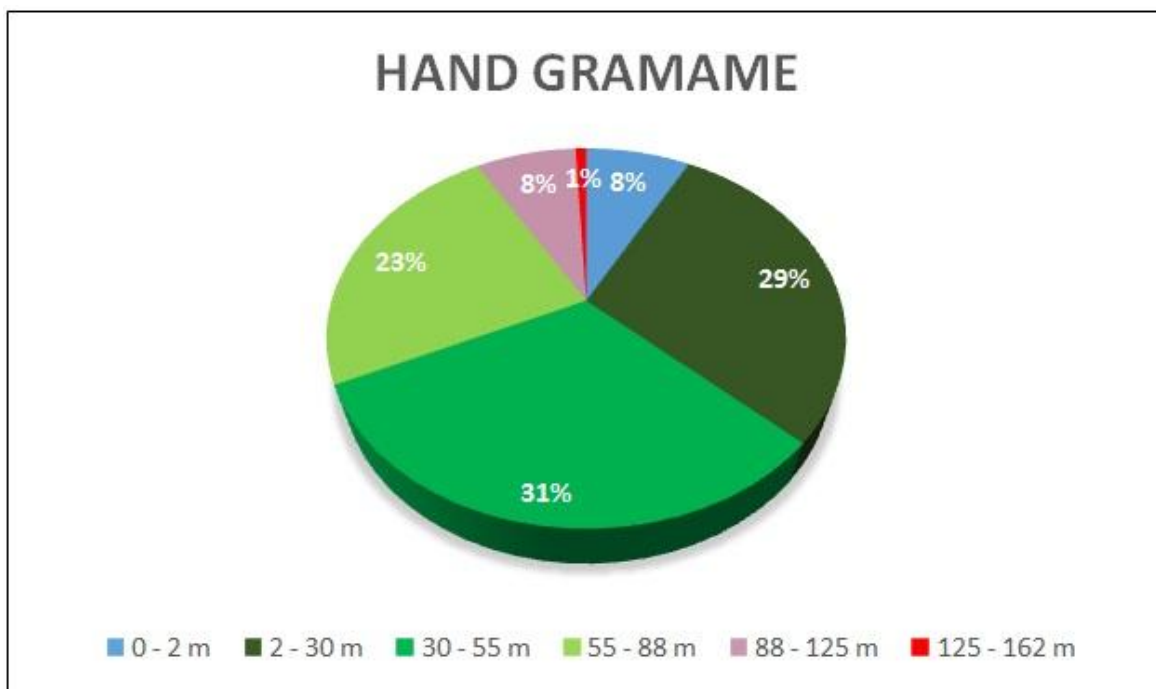


Figura 26: Mapa do HAND da bacia hidrográfica do rio Gramame.

Gráfico 13: Categorias do HAND em porcentagem para a bacia hidrográfica do rio Gramame.



A Figura 27 e o Gráfico 13 mostram que a maior parte da bacia hidrográfica do rio Gramame tem uma diferença de nível de 30 a 55 m em relação à rede de drenagem mais próxima, representando 31% da área total da bacia hidrográfica. Observa-se pela Figura 27 que a predominância dessa categoria ocorre em quase toda a sub-bacia do rio Mumbaba e no entorno dos reservatórios Gramame-Mamuaba.

A segunda categoria mais representativa no HAND é a que apresenta desníveis de 2 a 30 m em relação à rede de drenagem, que ocupa 29% da bacia hidrográfica. A predominância dessa categoria ocorre principalmente nas áreas que contém as matas ciliares. Outra classe que tem participação considerável na área da bacia hidrográfica, é a região com desnível de 55 a 88 m que representam 23% da bacia hidrográfica do rio Gramame, essa categoria tem sua predominância nas regiões medianas de toda bacia hidrográfica, a montante dos reservatórios Gramame-Mamuaba e no alto curso do rio Água Boa, na parte sudeste da bacia.

As áreas mais baixas de 0 a 2 m representam 8% da área total da bacia hidrográfica do rio Gramame, assim como, as regiões altas com desnível de 88 a 125 m também representam 8% da bacia hidrográfica, já as áreas com maior diferença de nível em relação

à rede de drenagem mais próxima, de 125 a 162 m de desnível, representam apenas 1% do total da bacia hidrográfica. Observa-se a partir da Figura 26 que as áreas mais altas estão situadas na região mediana da bacia, localizada entre os rios Mamuaba e Gramame.

A Figura 27 e o Gráfico 14 apresentam os dados temáticos do HAND para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas

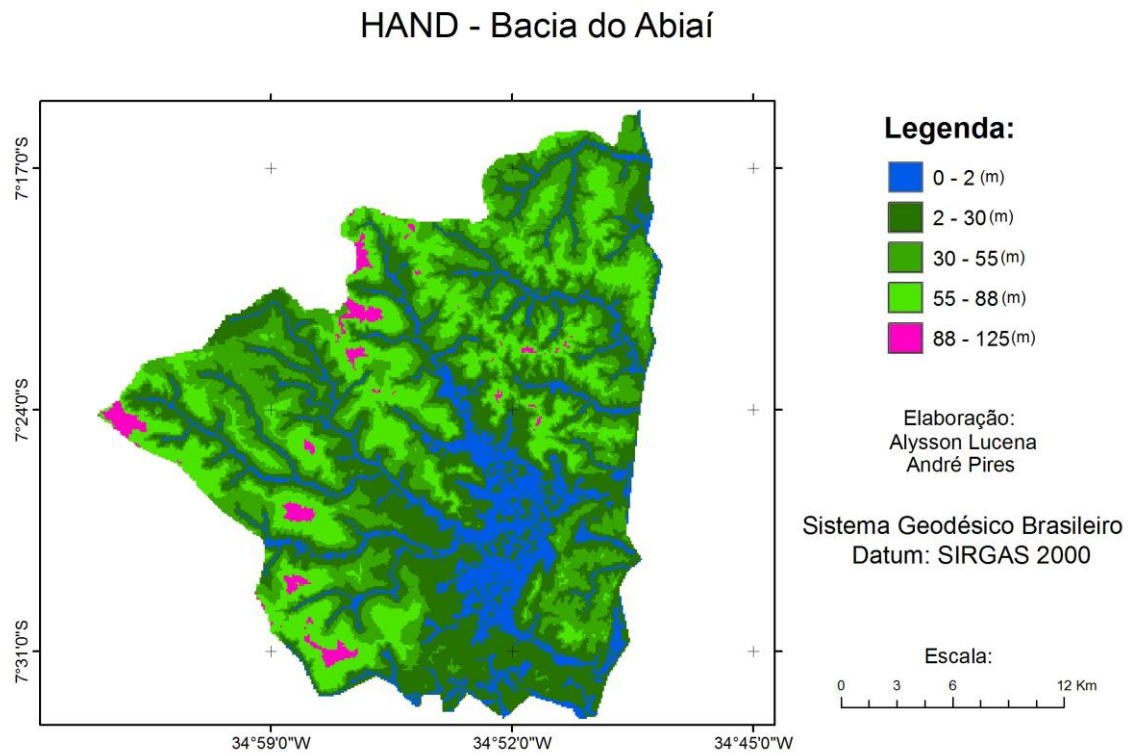
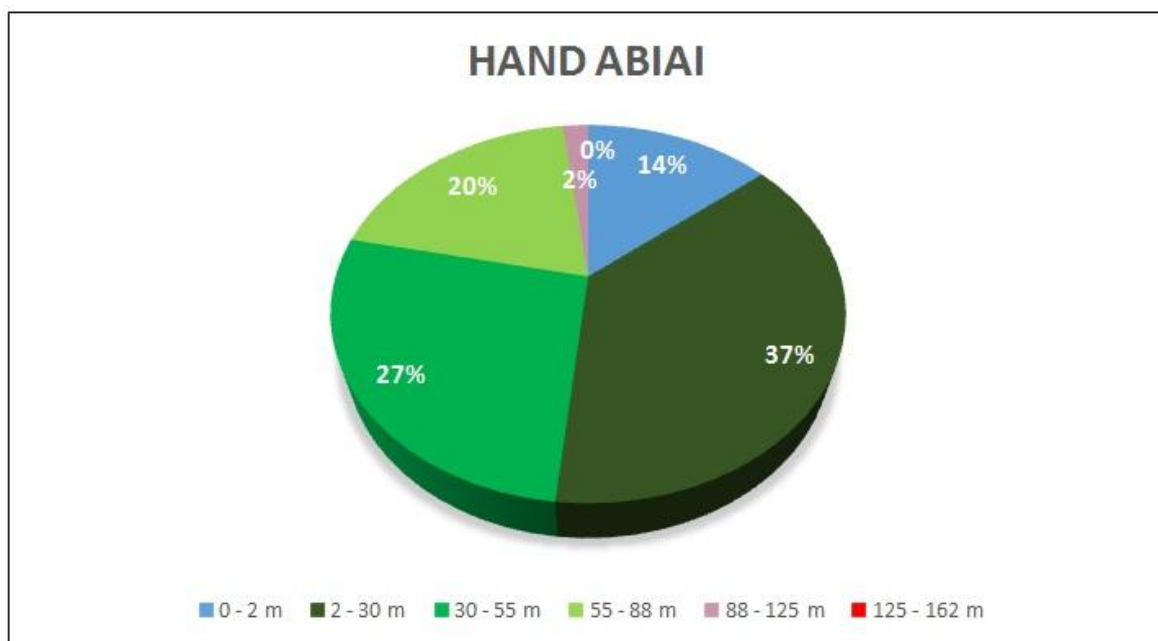


Figura 27: Mapa do HAND da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas.

Gráfico 14: Categorias do HAND em porcentagem para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas.



Comparando-se os mapas e os gráficos do HAND, das bacias hidrográficas dos rios Abiaí-Papocas (Figura 27 e Gráfico 14) e Gramame (Figura 26 e Gráfico 13), observa-se que a primeira é formada por regiões mais baixas, tendo 37% da área total da bacia com uma diferença de nível de 2 a 30 m em relação à rede de drenagem mais próxima, essa categoria é mais perceptível na Figura 27 na região centro-sul da bacia, já as áreas com desnível de 30 a 55 m em relação à rede de drenagem compõem 27% da área total, seguida pelas áreas com desnível de 55 a 88 m que representam 20% da área da bacia hidrográfica. Esta última categoria é perceptível na Figura 27 distribuída entre todos os corpos hídricos da bacia.

As áreas mais baixas representam 14% da área total da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, podendo ser um indício que esta bacia tem uma rede de drenagem maior do que a do Gramame. Observa-se ainda, analisando-se junto com as áreas que representam regiões com desnível de 2 a 30 m, que essa bacia é composta por mais áreas de planícies do que a da bacia hidrográfica do rio Gramame.

Já as regiões mais altas da bacia hidrográfica apresentam-se nas áreas com desnível de 88 a 125 m, representando apenas 2% da área total da bacia, tendo em vista que a última categoria com desnível de 125 a 162 m não teve representação na bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas.

6.6 Cruzamentos de Dados

Após a confecção dos mapas temáticos realizou-se o cruzamento dos mapas do IVDN com os do uso do solo e do HAND.

Tendo em vista a grande quantidade de dados gerados a partir dos cruzamentos e, ao fato de no processamento destes cruzamentos o software só considerar seis classes do IVDN, uma vez que na realidade a imagem foi fatiada em sete classes (levando em consideração a classe zero representante das regiões fora da bacia), foram realizadas novas classificações dos mapas temáticos a serem utilizados nos cruzamentos.

As classes temáticas adotadas para esta etapa do trabalho foram as seguintes:

- a) IVDN: -1 a -0,25;
-0,25 a 0,15;
0,15 a 0,45;
0,45 a 0,60;
0,60 a 1;
- b) Uso do solo: Água;
Área urbana/solo exposto;
Cultivos;
Cana-de-açúcar;
Vegetação nativa.
- c) HAND: 0 a 2 metros;
2 a 37 metros;
37 a 72 metros;
72 a 107 metros;
107 a 150 metros.

6.6.1 IVDN e uso do solo

O cruzamento do IVDN com o uso do solo objetivou avaliar a interferência dos diversos usos do solo nas repostas obtidas no processamento do IVDN, bem como, verificar se houve alguma distorção na identificação dos alvos nos processamentos. Os dados obtidos a partir dos cruzamentos da bacia hidrográfica do rio Gramame podem ser vistos nas Tabelas 1, 3 e 5. Já os resultados dos cruzamentos dos dados da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas são apresentados nas tabelas 2, 4 e 6.

A Tabela 1 apresenta os dados de cruzamento entre os mapas temáticos do IVDN e do uso do solo para a bacia hidrográfica do rio Gramame no ano de 1989.

Tabela 1: Tabulação cruzada proporcional IVDN com uso do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame, para o ano de 1989

CLASSES DO USO DO SOLO	FAIXAS DO IVDN						TOTAL USO DO SOLO (%)
	0	-1 à -0,25	-0,25 à 0,15	0,15 à 0,45	0,45 à 0,60	0,60 à 1	
0	45,11	0,0	0,15	0,80	0,28	0,04	46,39
Água	0,00	0,25	0,12	0,10	0,06	0,16	0,70
Área urbana/solo exposto	0,01	0,02	2,48	4,29	1,38	0,26	8,45
Cultivos	0,02	0,00	0,07	1,83	3,56	4,25	9,72
Cana-de-açúcar	0,01	0,02	0,10	1,76	5,43	20,02	27,34
Vegetação nativa	0,00	0,00	0,28	0,10	0,33	6,71	7,42
TOTAL IVDN (%)	45,14	0,31	3,19	8,88	11,05	31,43	100,00

Analisando a tabela acima, percebe-se que a classe 0 do IVDN é a mesma classe do uso do solo, representam a parte externa do mapa e as falhas que possam ter ocorrido no processamento, como por exemplo, as nuvens que no uso do solo foram incluídas nesta categoria, coincidiram quase totalmente em valores percentuais. A classe de intervalo -1 a -0,25, dos 0,31% de representação no IVDN, 0,25% se coincidiram com a categoria água no uso do solo. Já a categoria de intervalo -0,25 a 0,15, dos 3,19% do total no IVDN, 2,48% coincidiram com a classe área urbana/solo exposto do uso do solo.

Comparando os valores percentuais na Tabela 1 para a categoria que se refere às áreas de cultivos (pastos, “culturas brancas”, abacaxi, bambu e os demais cultivos de pequenas propriedades), verifica-se que houve uma incoerência entre os mapas temáticos de IVDN e do uso do solo. Para o IVDN, na faixa de 0,15 a 0,45 observou-se uma coincidência de 4,29% com a categoria área urbana/solo exposto, enquanto apenas 1,83% coincidiram com a categoria cultivos no mapa de uso do solo. Isso pode ter ocorrido por que os pastos podem ser confundidos com solo exposto, por causa da existência de variados tipos de culturas, que podem ser de pequeno porte, como também, aos vários estágios de desenvolvimento vegetativo que podem se encontrar a vegetação na época do imageamento.

A classe de intervalo 0,45 a 0,60 do IVDN teve uma maior coincidência com a classe de cana-de-açúcar do uso do solo, representando 5,43% de um total de 11,05%. Isso era o que se pretendia quando foram definidos os limites. Entretanto, a classe de cana-de-açúcar do uso do solo, que representa 27,34% do total, apresentou uma maior coincidência com a classe de vegetação densa do IVDN em 20,02% de um total de 31,43% desta categoria no IVDN.

A Tabela 2 apresenta os dados de cruzamento entre os mapas temáticos do IVDN e do uso do solo para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas no ano de 1989.

Tabela 2: Tabulação cruzada proporcional IVDN com uso do solo da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, para o ano de 1989

CLASSES DO USO DO SOLO	FAIXAS DO IVDN						TOTAL USO DO SOLO (%)
	0	-1 à -0,25	-0,25 à 0,15	0,15 à 0,45	0,45 à 0,60	0,60 à 1	
0	41,19	0,11	6,10	7,25	1,47	0,24	56,34
Água	0,00	0,00	0,08	0,12	0,13	0,37	0,70
Área urbana/solo exposto	0,01	0,03	2,20	4,63	1,36	0,25	8,49
Cultivos	0,01	0,00	0,07	1,80	3,34	4,28	9,50
Cana-de-açúcar	0,02	0,01	0,08	1,58	4,54	11,10	17,33
Vegetação nativa	0,01	0,00	0,49	0,22	0,59	6,33	7,64
TOTAL IVDN (%)	41,23	0,15	9,01	15,61	11,43	22,57	100,00

O cruzamento dos mapas do IVDN e uso do solo da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas apresentou alguns valores distorcidos, devido a uma falha da imagem nessa região que, como já dito anteriormente, não foi possível corrigir durante os processamentos. A região onde está localizada esta falha foi inserida na classe 0 no mapa de uso do solo e o seu valor percentual total de 56,34% foi mais coincidente no mapa temático do IVDN para a faixa de -1 a 0,45, ou seja, essa faixa no IVDN estava em grande parte presente na região de ocorrência da falha da imagem.

A faixa de 0,45 a 0,60 manteve certa coerência, apresentando uma maior coincidência com a categoria de cana-de-açúcar do uso do solo. Já a classe de intervalo 0,60 a 1, assim como foi observado no cruzamento dos dados da bacia do Gramame, apresentou uma representação pequena em relação à mesma categoria em uso do solo. No entanto, a maior coincidência desta classe foi observada com a cultura de cana-de-açúcar no mapa uso solo.

A Tabela 3 apresenta os dados de cruzamento entre os mapas temáticos do IVDN e do uso do solo para a bacia hidrográfica do rio Gramame no ano de 2001.

Tabela 3: Tabulação cruzada proporcional IVDN com uso do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame, para o ano de 2001.

CLASSES DO USO DO SOLO	FAIXAS DO IVDN						TOTAL USO DO SOLO (%)
	0	-1 à -0,25	-0,25 à 0,15	0,15 à 0,45	0,45 à 0,60	0,60 à 1	
0	45,11	0,01	0,08	0,07	0,02	0,02	45,30
Água	0,00	0,48	0,21	0,06	0,03	0,15	0,94
Área urbana/solo exposto	0,01	0,35	6,53	4,48	0,67	0,25	12,30
Cultivos	0,01	0,01	0,55	3,30	2,12	1,25	7,23
Cana-de- açúcar	0,01	0,05	1,15	7,10	7,39	8,43	24,12
Vegetação nativa	0,00	0,03	0,88	0,59	0,96	7,65	10,11
TOTAL IVDN (%)	45,14	0,93	9,39	15,61	11,20	17,73	100,00

Nas classes de intervalo -1 a -0,25 e -0,25 a 0,15 do IVDN, verifica-se uma maior coincidência com as classes água e área urbana/solo exposto do uso do solo, representando

0,48% do total de 0,93% para água e 6,53% do total de 9,39% para área urbana/solo exposto.

Já as áreas de intervalo 0,15 a 0,45 do IVDN, apresentaram mais coincidência no mapa de uso do solo com as classes de cana-de-açúcar 7,10% e área urbana/solo exposto 4,48%, de um total de 15,61%, dos quais 3,30% identificaram-se com os cultivos do uso do solo. Este fato pode ter ocorrido devido à existência de diversos tipos de culturas, que podem se encontrar em vários estágios fenológicos, causando uma não distinção de alguns cultivos com a cana-de-açúcar ou com o solo exposto.

A classe de intervalo 0,15 a 0,45 do IVDN, com total de 11,20%, apontou 7,39% de coincidência com a classe de cana-de-açúcar do uso do solo. Já a classe de intervalo 0,60 a 1 apontou novamente maior coincidência com a classe de cana-de-açúcar, 8,43%, só que com uma menor diferença para a sobreposição com a classe de vegetação nativa do uso do solo que foi de 7,65%.

A Tabela 4 apresenta os dados de cruzamento entre os mapas temáticos do IVDN e do uso do solo para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas no ano de 2001.

Tabela 4: Tabulação cruzada proporcional IVDN com uso do solo da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, para o ano de 2001.

CLASSES DO USO DO SOLO	FAIXAS DO IVDN						TOTAL USO DO SOLO (%)
	0	-1 à -0,25	-0,25 à 0,15	0,15 à 0,45	0,45 à 0,60	0,60 à 1	
0	41,13	0,02	0,06	0,03	0,01	0,01	41,26
Água	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,04
Área urbana/solo exposto	0,05	0,30	7,15	3,99	0,72	0,25	12,45
Cultivos	0,00	0,01	0,57	2,80	1,91	1,39	6,68
Cana-de-açúcar	0,03	0,10	0,98	6,87	9,21	12,23	29,42
Vegetação nativa	0,03	0,05	1,10	0,54	1,05	7,39	10,15
TOTAL IVDN (%)	41,23	0,49	9,86	14,23	12,89	21,30	100,00

A classe representante do intervalo -1 a -0,25 no IVDN, apresentou maior coincidência com a classe área urbana/solo exposto no uso do solo, esse equívoco pode ter ocorrido devido à identificação de água, principalmente na porção sul da bacia hidrográfica

dos rios Abiaí-Papocas, no mapa do IVDN, Figura 10, e uma baixa representação desta categoria no mapa de uso do solo da mesma bacia hidrográfica no ano de 2001, Figura 23.

As regiões de intervalo -0,25 a 0,15 detectadas no processamento do IVDN tiveram uma coincidência de 7,15%, com a categoria área urbana/solo exposto do mapa de uso do solo, em um total de 9,86% de representatividade.

Os alvos identificados com intervalo 0,15 a 0,45 no IVDN coincidiram mais com a classe detectada como cana-de-açúcar no uso do solo, representando 6,87% do total. Já a classe de cultivo no uso do solo, dos 6,68% de representatividade, 2,80% coincidiu com a faixa de 0,15 a 0,45 no IVDN. Essa diferença na coincidência do uso do solo para o IVDN se deu devido à disparidade na representatividade da mesma classe em ambos os mapas.

A classe de intervalo 0,45 a 0,60 do mapa do IVDN apresentou a coincidência esperada com a classe que representa as culturas de cana-de-açúcar, no mapa de uso do solo, alcançando uma coincidência de 9,21% de 12,89%. Já a categoria com intervalo de 0,60 a 1, novamente apresentou maior coincidência com a classe de cana-de-açúcar, no mapa de uso do solo, representando 12,23% do total e a coincidência com a categoria vegetação nativa foi de 7,39% de 21,30%, mantendo aproximadamente a mesma disparidade constatada no cruzamento do ano de 1989, Tabela 2.

A Tabela 5 apresenta os dados de cruzamento entre os mapas temáticos do IVDN e do uso do solo para a bacia hidrográfica do rio Gramame no ano de 2006.

Tabela 5: Tabulação cruzada proporcional IVDN com uso do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame, para o ano de 2006.

CLASSES DO USO DO SOLO	FAIXAS DO IVDN						TOTAL USO DO SOLO (%)
	0	-1 à -0,25	-0,25 à 0,15	0,15 à 0,45	0,45 à 0,60	0,60 à 1	
0	45,12	0,13	2,39	0,48	0,06	0,03	48,19
Água	0,00	0,26	0,65	0,85	0,52	0,95	3,23
Área urbana/solo exposto	0,01	0,10	3,91	5,84	0,92	0,11	10,88
Cultivos	0,01	0,03	0,18	3,30	4,58	3,16	11,26
Cana-de- açúcar	0,00	0,07	0,12	1,73	5,21	11,05	18,20
Vegetação nativa	0,00	0,02	0,10	0,11	0,33	7,68	8,23
TOTAL IVDN (%)	45,14	0,61	7,34	12,31	11,61	22,98	100,00

A categoria com intervalo de -1 a -0,25 do IVDN coincidiu em 0,26% com a classe água no uso do solo, em um total de 0,61%. No entanto, nesse último, essa categoria teve uma representatividade bem maior, de 3,23%, fazendo com que a categoria água coincidissem com todas as classes do IVDN, com exceção da classe 0. Esse fato, provavelmente, ocorreu devido às nuvens e suas sombras, representadas como água no mapa de uso do solo, terem ficado sobrepostas às outras categorias no IVDN.

A classe de intervalo -0,25 a 0,15 no IVDN coincidiu em 3,91% com a classe área urbana/solo exposto do uso do solo, para bacia hidrográfica do rio Gramame no ano de 2006, porém, também apresentou uma coincidência de 2,39% com a classe 0 do uso do solo, equívoco que pode ter sido ocasionado pela presença de nuvens e/ou suas sombras, que no IVDN tenham sido inseridas no intervalo -0,25 a 0,15 e no mapa de uso do solo na classe 0.

Já a classe representante do intervalo 0,15 a 0,45 no IVDN, teve maior coincidência com a classe área urbana/solo exposto, 5,84%, seguida da sobreposição com a classe cultivos, no mapa de uso do solo, representando 3,30% do total de 12,31%. Esse erro pode ter ocorrido novamente devido às áreas de pasto e/ou pelos vários tipos de plantações existentes na área de estudo, sejam estas de pequeno ou grande porte e que podem ser encontradas em vários estágios fenológicos.

Áreas de intervalo 0,45 a 0,60 no IVDN novamente apresentaram maior sobreposição com as áreas classificadas como cana-de-açúcar, no mapa de uso do solo, com 5,21% de um total de 11,61%, entretanto, também apresentou sobreposição de 4,58% com as áreas de cultivos. A sobreposição desse intervalo do IVDN com os cultivos pode ser justificada pelo porte da vegetação, pois o IVDN está diretamente relacionado com a sua biomassa.

O intervalo 0,60 a 1, assim como ocorreu nos cruzamentos anteriores Tabelas de 1 a 5, apresentou maior coincidência com as áreas de cana-de-açúcar, com 11,05%, porém também coincidiu com a categoria vegetação nativa do mapa de uso do solo, sendo essa de 7,68% em um total de 22,98%, aumentando a disparidade de representatividade entre elas, se comparada com a da Tabela 3, porém ainda bem menor que a diferença observada na Tabela 1.

A Tabela 6 apresenta os dados de cruzamento entre os mapas temáticos do IVDN e do uso do solo para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas no ano de 2006.

Tabela 6: Tabulação cruzada proporcional IVDN com uso do solo da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, para o ano de 2006.

CLASSES DO USO DO SOLO	FAIXAS DO IVDN						TOTAL USO DO SOLO (%)
	0	-1 à -0,25	-0,25 à 0,15	0,15 à 0,45	0,45 à 0,60	0,60 à 1	
0	41,16	0,06	0,34	0,08	0,00	0,02	41,65
Água	0,01	0,09	0,02	0,45	0,40	0,08	1,06
Área urbana/solo exposto	0,02	0,06	3,13	6,05	1,46	0,21	10,94
Cultivos	0,00	0,03	0,06	2,26	3,52	1,93	7,81
Cana-de-açúcar	0,03	0,03	0,11	1,96	7,41	20,53	30,06
Vegetação nativa	0,02	0,01	0,18	0,08	0,20	7,99	8,48
TOTAL IVDN (%)	41,23	0,29	3,84	10,87	13,01	30,75	100,00

Percebe-se, a partir da Tabela 6, que a classe de intervalo -1 a -0,25 no mapa do IVDN teve a maior coincidência, com a classe água no mapa de uso do solo com 0,09% em um total de 0,29%. O intervalo -0,25 a 0,15 teve uma sobreposição com a categoria área urbana/solo exposto do mapa de uso do solo de 3,13%, em um total de 3,84% de representatividade.

Observou-se novamente uma maior coincidência do intervalo 0,15 a 0,45 com a classe de área urbana/solo exposto, com um percentual de 6,05%, já a sobreposição com a classe de cultivos do mapa de uso do solo foi de 2,26% em um total de 10,87%, apresentando com isso a maior diferença de representatividade entre estas classes, para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas nos anos estudados.

As áreas de intervalo 0,45 a 0,60 do mapa de IVDN apresentaram novamente a maior sobreposição com a classe de cana-de-açúcar do mapa de uso de solo, que foi de 7,41%, seguida pela coincidência com as áreas de cultivo que foi de 3,52% em uma representatividade de 13,01%.

Já o intervalo 0,60 a 1 novamente apresentou maior sobreposição com a classe cana-de-açúcar do mapa de uso do solo, 20,53%, enquanto a coincidência com a vegetação nativa foi 7,99% de 30,75%, sendo esta disparidade de representação entre estas classes a maior verificada para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas nos anos estudados.

Comparando-se a Tabela 2, do cruzamento dos mapas de IVDN com o uso do solo da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas do ano de 1989, com as Tabelas 4 e 6, da mesma área nos anos de 2001 e 2006, é possível identificar que na primeira a classe 0 do mapa de uso do solo tem uma participação bem maior do que nas Tabelas 4 e 6. Isso ocorreu devido à falha existente na imagem dessa região para o ano de 1989, que no mapa de uso do solo, Figura 21, foi atribuída à classe 0, o que justifica a diminuição de 15,08% dessa classe da Tabela 2 para a mesma classe na Tabela 4.

As distorções verificadas nas classes de intervalo 0,15 a 0,45 podem ter ocorrido por que: as áreas de pasto podem ser confundidas com solo exposto; os diversos tipos de vegetação existentes na área de estudo, de vários portes e biomassa diferente; e/ou os vários estádios de desenvolvimento vegetativo que podem se encontrar. No entanto, esses erros podem também ser inerentes à presença de nuvens/sombras; e/ou do processamento devido aos limites adotados para as classes.

Já os erros observados na classe de intervalo 0,60 a 1, podem ser oriundos da maior representatividade dessa categoria nos mapas de IVDN do que a classe vegetação nativa nos mapas de uso do solo, que apresentou maior presença da classe de cana-de-açúcar. Este fato causou mais sobreposição da classe vegetação densa do IVDN com a de cana-de-açúcar do uso do solo. Provavelmente foi ocasionado pelos limites adotados para os alvos no processamento do IVDN.

No entanto, esses limites seguiram a bibliografia que associa 0,80 a vegetação vigorosa e com grande quantidade de biomassa (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007) e (SILVA et al. 2007).

6.6.2 IVDN e HAND

O cruzamento do IVDN com o HAND objetivou avaliar a influência da proximidade com a rede de drenagem na reposta da vegetação ao IVDN e foi realizado com os resultados obtidos a partir do processamento do IVDN para os anos estudados e, do HAND das bacias hidrográficas dos rios Gramame e Abiaí-Papocas. Os dados obtidos a partir dos cruzamentos dos dados da bacia hidrográfica do rio Gramame podem ser vistos nas tabelas 7, 9 e 11, já os resultados dos cruzamentos dos dados da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas são apresentados nas tabelas 8, 10 e 12.

A Tabela 7 apresenta os dados de cruzamento entre os mapas temáticos do IVDN e do HAND para a bacia hidrográfica do rio Gramame no ano de 1989.

Tabela 7: Tabulação cruzada proporcional IVDN com HAND da bacia hidrográfica do rio Gramame, para o ano de 1989.

FAIXAS DO HAND	FAIXAS DO IVDN						TOTAL HAND (%)
	0	-1 à -0,25	-0,25 à 0,15	0,15 à 0,45	0,45 à 0,60	0,60 à 1	
0	44,75	0,01	0,04	0,07	0,06	0,12	45,05
0m – 2m	0,38	0,23	0,20	0,60	0,80	3,05	5,26
2m – 37m	0,00	0,08	1,51	3,98	5,30	16,28	27,14
37m – 72m	0,00	0,00	1,07	3,15	3,81	9,75	17,80
72m – 107m	0,00	0,00	0,32	0,96	0,97	2,04	4,29
107m – 150m	0,00	0,00	0,05	0,12	0,11	0,19	0,47
TOTAL IVDN (%)	45,14	0,31	3,19	8,88	11,05	31,43	100,00

No cruzamento dos dados do IVDN da bacia hidrográfica do rio Gramame do ano de 1989 com o HAND da mesma bacia hidrográfica, observa-se que a classe de intervalo -1 a -0,25 está presente, quase totalmente nas áreas com desnível de 0 a 2 m, ou seja, nas áreas que provavelmente representam rede de drenagem.

Já a categoria do HAND, que tem de 0 a 2 m de declividade em relação à rede de drenagem mais próxima, teve maior coincidência com a categoria de intervalo 0,60 a 1 com 3,05% de um total de 5,26%, essa vegetação pode representar a mata ciliar.

As demais classes do IVDN estão mais presentes nas regiões com desnível de 2 a 37 m e 37 a 72 m, principalmente devido a 81,78% da bacia hidrográfica do rio Gramame apresentar esses desníveis, isso desconsiderando a classe 0, que é formada pela região fora do recorte da bacia hidrográfica.

Nas regiões mais altas, por estarem pouco presente na bacia hidrográfica, observa-se uma baixa coincidência com as classes do IVDN.

A Tabela 8 apresenta os dados de cruzamento entre os mapas temáticos do IVDN e do HAND para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas no ano de 1989.

Tabela 8: Tabulação cruzada proporcional IVDN com HAND da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, para o ano de 1989.

FAIXAS DO HAND	FAIXAS DO IVDN						TOTAL HAND (%)
	0	-1 à -0,25	-0,25 à 0,15	0,15 à 0,45	0,45 à 0,60	0,60 à 1	
0	40,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,89
0m – 2m	0,35	0,13	2,02	2,46	1,09	2,66	8,71
2m – 37m	0,00	0,02	4,57	6,82	4,78	10,09	26,28
37m – 72m	0,00	0,00	2,00	5,23	4,57	7,89	19,68
72m – 107m	0,00	0,00	0,42	1,07	0,97	1,91	4,38
107m – 150m	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,01	0,07
TOTAL IVDN (%)	41,23	0,15	9,01	15,61	11,43	22,57	100,00

Para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, verifica-se que o intervalo -1 a -0,25 no IVDN também teve maior sobreposição com as áreas mais baixas da bacia hidrográfica no HAND, por causa da sua representatividade novamente teve maior coincidência com o intervalo 0,60 a 1 do IVDN, com 2,66%.

Assim como na bacia hidrográfica do rio Gramame, na dos rios Abiaí-Papocas as regiões com diferença de nível em relação à rede de drenagem de 2 a 37 m e de 37 a 72 m tiveram a maior representatividade no HAND e, portanto, foram as classes com as quais as categorias do IVDN mais coincidiram.

Porém, um fato inesperado foi o intervalo -0,25 a 0,15 do IVDN ter sido o que teve maior sobreposição percentual com a classe de 2 a 37 m, enquanto na bacia hidrográfica do Gramame, para o mesmo ano, esta coincidência se deu com a vegetação densa.

Esse fato pode ter ocorrido devido à falha existente na região da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas do ano de 1989, pois no processamento do IVDN foi classificada como área urbana/solo exposto. Essa falha se localiza principalmente em uma região baixa da bacia hidrográfica.

A Tabela 9 apresenta os dados de cruzamento entre os mapas temáticos do IVDN e do HAND para a bacia hidrográfica do rio Gramame no ano de 2001.

Tabela 9: Tabulação cruzada proporcional IVDN com HAND da bacia hidrográfica do rio Gramame, para o ano de 2001.

FAIXAS DO HAND	FAIXAS DO IVDN						TOTAL HAND (%)
	0	-1 à -0,25	-0,25 à 0,15	0,15 à 0,45	0,45 à 0,60	0,60 à 1	
0	44,75	0,00	0,07	0,12	0,05	0,06	45,05
0m – 2m	0,38	0,35	0,51	0,94	0,94	2,13	5,26
2m – 37m	0,00	0,41	4,24	7,20	5,82	9,47	27,14
37m – 72m	0,00	0,14	3,53	5,50	3,52	5,10	17,80
72m – 107m	0,00	0,03	0,92	1,62	0,80	0,93	4,29
107m – 150m	0,00	0,00	0,13	0,22	0,07	0,05	0,47
TOTAL IVDN (%)	45,14	0,93	9,39	15,61	11,20	17,73	100,00

No cruzamento dos dados do IVDN de 2001 com o HAND para a bacia hidrográfica do rio Gramame, observa-se que o intervalo -1 a -0,25 estava localizado nas regiões representadas pelas classes com desnível de 0 a 2 m; 2 a 37 m; e 37 a 72 m, em relação à rede de drenagem mais próxima, com maior parte na região de 2 a 37 m. Esse fato pode ter ocorrido porque neste ano a vegetação não está tão exuberante, e a barragem Gramame/Mamuaba apresentou-se maior e mais detalhada, resultando, com isso, em uma área no HAND menor do que no IVDN, o que fez com que essa área no IVDN fosse sobreposta a outras regiões do HAND.

Novamente as categorias do IVDN tiveram maior presença nas regiões com desnível de 2 a 37 m e de 37 a 72 m em relação à rede de drenagem, apresentando-se com a maior representatividade a categoria com intervalo de 0,60 a 1.

A Tabela 10 apresenta os dados de cruzamento entre os mapas temáticos do IVDN e do HAND para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas no ano de 2001.

Tabela 10: Tabulação cruzada proporcional IVDN com HAND da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas, para o ano de 2001.

FAIXAS DO HAND	FAIXAS DO IVDN						TOTAL HAND (%)
	0	-1 à -0,25	-0,25 à 0,15	0,15 à 0,45	0,45 à 0,60	0,60 à 1	
0	40,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,89
0m – 2m	0,35	0,18	0,79	1,52	1,93	3,94	8,71
2m – 37m	0,00	0,19	3,94	5,83	5,90	10,43	26,28
37m – 72m	0,00	0,10	4,28	5,42	4,06	5,82	19,68
72m – 107m	0,00	0,02	0,85	1,43	0,99	1,09	4,38
107m – 150m	0,00	0,00	0,01	0,03	0,01	0,01	0,07
TOTAL IVDN (%)	41,23	0,49	9,86	14,23	12,89	21,30	100,00

Nesta tabulação cruzada, observa-se que o intervalo -1 a -0,25 está distribuído nas áreas de 0 a 2 m; 2 a 37 m; e 37 a 72 m de desnível em relação à rede de drenagem, o que surpreendeu, pois a classe água era para ter uma coincidência perto do total com a região mais baixa.

A classe do IVDN que teve maior coincidência com as regiões de 0 a 2 m foi a de intervalo 0,60 a 1, o que pode ser justificado, porque no processamento do IVDN o rio não foi todo representado, podendo ser esta grande sobreposição da vegetação densa com as regiões baixas referente à mata ciliar.

Foi também a categoria de intervalo 0,60 a 1 que teve novamente a maior representação percentual na região com desnível de 2 a 37 m em relação à rede de drenagem, que também é um indício da presença de mata ciliar.

A Tabela 11 apresenta os dados de cruzamento entre os mapas temáticos do IVDN e do HAND para a bacia hidrográfica do rio Gramame no ano de 2006.

Tabela 11: Tabulação cruzada proporcional IVDN com HAND da bacia hidrográfica do rio Gramame, para o ano de 2006.

IVDN HAND	FAIXAS DO IVDN						TOTAL HAND (%)
	0	-1 à -0,25	-0,25 à 0,15	0,15 à 0,45	0,45 à 0,60	0,60 à 1	
0	44,75	0,00	0,03	0,10	0,07	0,09	45,05
0m – 2m	0,38	0,15	0,38	0,51	0,78	3,07	5,26
2m – 37m	0,00	0,34	3,18	5,47	5,98	12,18	27,14
37m – 72m	0,00	0,10	2,83	4,78	3,73	6,36	17,80
72m – 107m	0,00	0,03	0,84	1,30	0,95	1,17	4,29
107m – 150m	0,00	0,00	0,09	0,16	0,11	0,12	0,47
TOTAL IVDN (%)	45,14	0,61	7,34	12,31	11,61	22,98	100,00

Comparando esta Tabela 11 com a da mesma bacia hidrográfica do ano de 2001, percebe-se que novamente o intervalo -1 a -0,25 apresenta-se nas regiões com diferença de nível em relação à rede de drenagem de 0 a 2 m; 2 a 37 m; e de 37 a 72 m, com maior presença na região com desnível de 2 a 37 m, que representa a região com maior coincidência, representando 0,34% do total de 0,61%.

Essa sobreposição desse intervalo com várias classes do HAND pode ser devido aos rios terem sido identificados nesse e não no IVDN, e/ou devido à barragem de Gramame/Mamuaba está representada em uma área maior no IVDN do que no HAND.

Novamente a categoria do IVDN que teve maior presença na região com desnível de 0 a 2 m em relação à rede de drenagem foi a que representa o intervalo 0,60 a 1, seguida pela classe de intervalo 0,45 a 0,60.

A Tabela 11 apresenta os dados de cruzamento entre os mapas temáticos do IVDN e do HAND para a bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas no ano de 2006.

Tabela 12: Tabulação cruzada proporcional IVDN com HAND da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas para o ano de 2006.

FAIXAS DO HAND	FAIXAS DO IVDN						TOTAL HAND (%)
	0	-1 à -0,25	-0,25 à 0,15	0,15 à 0,45	0,45 à 0,60	0,60 à 1	
0	40,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,89
0m – 2m	0,35	0,13	0,34	0,68	1,25	5,96	8,71
2m – 37m	0,00	0,14	1,41	4,25	5,68	14,80	26,28
37m – 72m	0,00	0,02	1,68	4,81	4,80	8,37	19,68
72m – 107m	0,00	0,00	0,40	1,11	1,27	1,61	4,38
107m – 150m	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,01	0,07
TOTAL IVDN (%)	41,23	0,29	3,84	10,87	13,01	30,75	100,00

No cruzamento dos dados de 2006, observa-se que diminuiu a dispersão da classe de intervalo -1 a -0,25 do IVDN, apresentado na Tabela 12, em grande maioria, nas áreas com diferença de cota em relação à rede de drenagem, de 0 a 2 m e de 2 a 37 m.

O intervalo 0,60 a 1 novamente é a classe do IVDN que teve maior presença nas regiões de 2 a 37 m de desnível em relação à rede de drenagem mais próxima, com 14,80% de uma participação total da categoria de 30,75%, o que é um indício da presença de mata ciliar.

Nas demais classes do IVDN, novamente observa-se um padrão, acompanhando o ocorrido nos cruzamentos anteriores, com a maioria das classes presentes nas regiões com desnível de 2 a 37 m e 37 a 72 m de desnível em relação à rede de drenagem.

Em suma observa-se, a partir dos cruzamentos do IVDN dos anos de 1989, 2001 e 2006 com o HAND das bacias hidrográficas dos rios Gramame e Abiaí-Papocas, que houve divergências na categoria de intervalo -1 a -0,25 do IVDN, pois era esperado que essa classe se sobrepusesse mais, com a categoria representante das regiões com desnível de 0 a 2 m em relação à rede de drenagem mais próxima.

Essa incoerência pode ter sido causada pela baixa resolução espacial das imagens do satélite Landsat 5 TM, que fez com que os corpos hídricos não caudalosos ou volumosos não tenham sido bem representados no IVDN, e por isso, essas áreas identificadas no HAND, se espalharam sobre as outras categorias nos mapas do IVDN.

A categoria de intervalo -0,25 a 0,15 teve grande parte de sua representatividade sobreposta às áreas com desnível de 2 a 37 m e de 37 a 72 m em relação à rede de drenagem mais próxima, o que está dentro do esperado, tendo em vista que parte dessa categoria representa áreas urbanizadas que, historicamente, vem crescendo próximo aos corpos hídricos e ao litoral.

Já a categoria do IVDN que teve maior representatividade nas regiões de 0 a 2 m de desnível em relação à rede de drenagem mais próxima, foi a de intervalo 0,60 a 1, esse fato pode ter ocorrido devido à vegetação ser a categoria com maior presença no IVDN e/ou por que neste processamento não foram identificados todos os corpos hídricos, possivelmente devido à calha dos rios serem estreitas, fazendo com que os rios fossem representados pela mata ciliar.

Observou-se também, que o intervalo 0,60 a 1 em todos os cruzamentos se mostrou mais presente nas regiões com desnível de 2 a 37 m em relação à rede de drenagem mais próxima, esse fato, junto à possibilidade das regiões dos rios terem sido identificadas como vegetação densa, são fortes indícios de que nas duas bacias hidrográficas nos períodos estudados a vegetação ciliar se encontrava bem preservada.

7 CONCLUSÕES

Este trabalho utilizou o IVDN no estudo da degradação ambiental de bacias hidrográficas do litoral sul do estado da Paraíba, além de dados de uso do solo e da diferença de nível em relação à rede de drenagem mais próxima para avaliar a relação existente entre esses parâmetros. Analisou-se a influência dos usos do solo e da topografia em relação à rede de drenagem nas respostas obtidas a partir do IVDN.

Na pesquisa, foram gerados dados que influenciam diretamente no comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, a partir do sensoriamento remoto. A densidade da cobertura vegetal foi exposta a partir do IVDN, os usos do solo foram expostos a partir dos mapas de uso do solo, os dados de relevo e a rede de drenagem apresentaram-se por meio do HAND.

A coerência das informações obtidas pôde ser constatada no cruzamento dos dados de IVDN e HAND, cujas respostas foram condizentes com a realidade da área de estudo. Constatou-se que a proximidade com a rede de drenagem influenciou na resposta da vegetação ao IVDN, já que grande parte da vegetação densa se localiza na região próxima à rede de drenagem, em áreas com desnível de 2 a 37 metros, em relação a esta rede. Em alguns locais observou-se até certa indistinção com os corpos d'água, fatos que podem representar um forte indício de que as matas ciliares das bacias hidrográficas em estudo estão relativamente preservadas.

Verificou-se certa divergência entre os dados das classes do uso do solo com as faixas do IVDN, por dificuldade de encontrar o limiar correto para distinguir os diferentes tipos de vegetação encontrados nas bacias hidrográficas. Grande parte das áreas com altos valores de IVDN foram identificadas como vegetação densa nas visitas de campo, no entanto, ao cruzar os mapas do IVDN com os de uso do solo, observou-se que algumas áreas com alto IVDN coincidiram com a classe de cana-de-açúcar no uso do solo.

Devido à grande extensão da área de estudo, os cultivos de cana-de-açúcar lá existentes, podem estar em vários estágios fenológicos e a vegetação nativa é composta de várias espécies e de portes diferentes, o que dificulta a alteração ou o encontro do limiar correto para distinguir esses tipos de vegetação.

Para valores baixos do IVDN houve uma coincidência com os dados de uso do solo, isso foi constatado devido à classe de área urbana/solo exposto, de forma geral, apresentar uma boa coincidência com a faixa de IVDN próxima de zero.

Observou-se que, em ambas as bacias hidrográficas estudadas, houve uma diminuição da vegetação mais vigorosa, do ano de 1989 para 2001, e uma regeneração de 2001 para 2006. No entanto, essa regeneração não alcançou o mesmo estado que se encontrava em 1989, essa queda na biomassa da vegetação, observada de 1989 para 2001, pode ter ocorrido devido ao estresse hídrico da vegetação, ocasionado principalmente por períodos de estiagem verificados em anos anteriores.

Houve um aumento na degradação das bacias hidrográficas em relação ao uso do solo, no período de 1989 para 2006, essa degradação ocorreu devido à convergência da vegetação natural em terras agrícolas sem a utilização de técnicas conservacionistas, expansões urbanas desordenadas e áreas provenientes da mineração.

Constatou-se com os resultados do trabalho que, com o processamento adequado de imagens captadas por sensores remotos, pode-se obter uma gama de informações, com um bom nível de precisão e adequadas para muitos estudos, necessários na aplicação de políticas públicas de zoneamento, preservação e gestão ambiental.

A metodologia utilizada nessa pesquisa mostrou-se satisfatória mediante os resultados encontrados, nos quais, foi possível observar alterações ambientais ocorridas no período estudado e suas prováveis causas.

Os dados gerados na pesquisa proporcionaram o conhecimento do estado de degradação das bacias hidrográficas e a sua relação com o uso do solo, apresentando o impacto do uso inadequado do solo nas bacias em estudo.

Esses dados são um importante mecanismo de apoio a estudos voltados para a análise, planejamento e gestão ambiental, de diagnóstico do dinamismo no espaço agrário e de compreensão da dinâmica da urbanização, servindo de suporte para o planejamento adequado do uso do solo e o manejo racional dos recursos naturais.

8 RECOMENDAÇÕES

De acordo com os resultados obtidos com este estudo fazem-se necessárias as seguintes recomendações:

- a) Um estudo mais detalhado da estrutura das espécies de vegetação e suas respostas ao IVDN;
- b) A aplicação da metodologia, em uma área de estudo menor, por exemplo, uma sub-bacia representativa, para que se possa avaliar, de forma controlada, as respostas ao IVDN das várias espécies de vegetação e em vários estágios fenológicos, possibilitando com isso, a adoção de limites mais precisos para cada classe desse índice;
- c) A utilização de imagens obtidas em intervalos mais curtos, por um período de análises mais longo, com uma melhor resolução espacial e com menos interferências;
- d) Um estudo comparando uma série histórica de precipitação para que se possa avaliar a relação da chuva com as respostas do IVDN;
- e) Criar medidas que diminuam a degradação ambiental em bacias hidrográficas, tendo em vista o seu importante papel para a manutenção dos ecossistemas inseridos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARONOFF, S. (1989) **Geographic Information System: a Management Perspective**. WBL Publications. Ottawa.

BARBOSA, H. A.; HUETE, A. R.; BAETHGEN, W. E. (2006) **A 20-year study of NDVI variability over the Northeast region of Brazil**. Journal of Arid Environments, n. 67, p. 288–307.

BACKES, K. S. **Variação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do Sensor Modis associadas a variáveis climáticas para o estado do Rio Grande do Sul**. Santa Maria, 2010, 64 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria – RS, 2010.

BEZERRA, I. S.; SILVA, T. C.; ALBUQUERQUE, I. F.; CAVALCANTE, A. K. G. (2012) **Elaboração de mapas básicos para análise da vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Abiaí-Papocas**. XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. João Pessoa-PB.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Política Nacional de Recursos Hídricos: Legislação Básica**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Secretária de Recursos Hídricos, 2002. 76p.

BRASÍLIA (2004) **Distrito Federal. Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco**. ANA/GEF/PNUMA/OEA. Vol. 1. Distrito Federal, 62 p.

BURROUGH, P. A. (1986) **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Clarendon Press. Oxford.

CAVALCANTE, A. L. (2008) **Modelo estocástico de desagregação da Precipitação diária em escala de tempo sub-diária**. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-

graduação em engenharia urbana e ambiental, Universidade Federal da Paraíba – João Pessoa/PB.

CHAVEZ, P. S. (1996) **Image-Based Atmospheric Corrections – Revisited and Improved**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 62, Nº 9, pág. 1025-1036.

COELHO, V. H. R. (2011). **Monitoramento e análise da variação do nível d'água para estimativa da recarga do aquífero livre da bacia ao Rio Gramame – PB**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em engenharia urbana e ambiental, Universidade Federal da Paraíba – João Pessoa/PB.

COSTA FILHO, J. F. da; FRANCISCO, P. R. M.; ANDRADE, M. V. de; SILVA, L. da; DANTAS, R. L. (2007) **Estimativa do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) na microrregião de Sousa-PB utilizando imagens do CBERS-21**. Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 15. Aracaju, SE, 02 a 05 de julho de 2007. Anais... Aracaju, SE: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia.

CÓSTA, P. A. (1992) **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 170p.

DEB, D.; TALUKDAR, B. (2011) **Application of Remote Sensing and GIS Tools in Delineating Environmentally-delicate-Areas for Optimum Land Use Planning: A Case Study**. World Environmental and Water Resources Congress Bearing Knowledge for Sustainability, ASCE, pág. 3862 – 3875.

FERREIRA, R. A.; NETTO, A. O. A.; SANTOS, T. I. S.; SANTOS, B. L.; MATOS, E. L. (2011) **Nascentes da sub-bacia hidrográfica do rio Poxim, estado de Sergipe: da degradação à restauração**. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.35, n.2, p.265-277.

FURRIER, M.; ARAUJO, M. E.; MENESES, L. F. (2006) **Geomorfologia e tectônica da Formação Barreiras no Estado da Paraíba**. Geologia USP - Série Científica, v. 6, p. 61/2-70.

FURRIER, M. (2007) **Caracterização geomorfológica e do meio físico da Folha João Pessoa - 1:100.000**. 2007. 213f. Tese (Doutorado) – Departamento de Geografia, FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GONG, W.; LIU, T. (2011) **Study on the vegetation coverage dynamic change of songhuajiang watershed based on RS and GIS**. IEEE, pág. 3612-3614.

GUERRA, A. J.; CUNHA, S. B. (1998). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro – RJ, Bertrand Brasil.

GUIMARÃES, C. L. **Análise Multicritério na Determinação dos Riscos à Degradação Ambiental da Bacia Hidrográfica do Açude Cachoeira dos Alves, Itaporanga-PB**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB. 2012.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. (2002) **Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices**. Remote Sensing of Environment, v. 83, p. 195–213.

HWANG, T.; SONG, C., BOLSAD, P., BAND, E. (2011) **Downscaling real-time vegetation dynamics by fusing multi-temporal MODIS and Landsat NDVI in topographically complex terrain**. Remote Sensing of Environment, p. 2499 – 2512.

IBESA (2004). **Bacia Experimental do Rio Guaraíra**. Projeto financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP.

LEACH, W (2006) **Collaborative public management and democracy: evidence from western watersheds partnerships**. Public Administration Review, v. 66, 100–110.

LIKENS, G. E. (1984) **Beyond the shoreline: a watershed ecosystem approach**. Verh. Internat. Verh. Limnol., v.22, p.1-22.

_____. (1992) **The ecosystem approach: its use and abuse**. Oldenhof/Luhe: Germany: Ecology Institute, 166p.

MATHER, P. M. (1999) **Computer Processing of Remotely-Sensed Images**. School of Geography, The University of Nottingham, UK. Second Edition.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. (2001) **Geoprocessamento em Recursos Hídricos Principios, Integração e Aplicação**. 1ª ed. Porto Alegre - RS: ABRH, p 104-106.

MOREIRA, M. A. (2003) **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2.ed. Viçosa, MG: UFV, 307 p.

MUTEKANGA, F.; VISSER, S.; STROOSNIJDER, L. (2010) **A tool for rapid assessment of erosion risk to support decision-making and policy development at the Ngege watershed in Uganda**. Geoderma, v. 160, pág. 165–174.

NASCIMENTO, W. M. do; VILLAÇA, M. G. (2008) **Bacias hidrográficas: planejamento e gerenciamento**. Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas – MS, nº 7, ano 5.

NASCIMENTO, P. S. R.; PETTA, R. A.; GARCIA, G. J. (2008) **Confecção do mapa de densidade de drenagem através de geotecnologias visando definir a vulnerabilidade aos processos erosivos na Sub-bacia do Baixo Piracicaba (SP)**. Estudos Geográficos, Rio Claro, 6(1), pág. 19-35.

NÓBREGA, W. R.; VALADARES, D. N.; BARBOSA, M. E. F.; BARBOSA, T. S.; SOUZA, A. S.; BARBOSA, A. P. (2013) **Aplicação de parâmetro morfométrico na identificação de anomalias em sub-bacias inseridas nas bacias hidrográficas do Gramame e Abiaí, localizadas na porção sul da borda oriental do estado da Paraíba**.

Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 p. INPE.

PARAÍBA. Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais. (2000a). **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame**. Relatório Final. Vol. 1. João Pessoa, PB, 247 p.

PARAÍBA. Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais. (2000b). **Sistema Adutor Abiai-Papocas Relatório Técnico Preliminar**. João Pessoa, PB, 125 p.

PEREIRA, M. M. E.; DOMEQ, F. A. M.; JIMENEZ, K. Q.; COLLISCHONN, W. (2012) **Comparação entre o descritor de terreno HAND e o índice NDVI**. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

PINHEIRO, T. F.; RENNÓ, C. D.; ESCADA, M. I. S. (2009) **Utilização de um novo algoritmo descritor de terreno para o mapeamento de ambientes de terra firme na Amazônia**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, pág. 25-30.

PNUMA/MMA. (2002) **Geo Brasil – perspectives do meio ambiente no Brasil**. Brasília: MMA/IBAMA, 132p.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. (2007) **Sensoriamento no estudo da vegetação**. 1ª Edição. São José dos Campos: Parênteses.

RAMOS, R. R. D.; LOPES, H. L.; JÚNIOR, J. C. F. M.; CANDEIAS, A. L. B.; FILHO, J. A. S. (2010) **Aplicação do Índice da Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na avaliação de áreas degradadas e potenciais para unidades de conservação**. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife - PE, pág. 001 – 006.

RIZZI, R. (2004) **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). São José dos Campos, SP: INPE/Ministério da Ciência e da Tecnologia, p. 212.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. Editora do Autor, Juiz de Fora, 3ª Ed. 2007.

ROSA, R. (1990) **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia: Eduf, 135 p.

ROUSE JÚNIOR, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. (1973) **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. Texas A&M University Remote Sensing Center College Station, Texas. Goddard Space Flight Center Greenbelt, Maryland, p. 120.

SÁ, I. I. S.; GALVÍNIO, J. D.; MOURA, M. S. B.; SÁ, I. B. (2008) **Uso do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) para caracterização da cobertura vegetal da região do Araripe pernambucano**. Revista Brasileira de Geografia Física Recife-PE, vol. 01, n.01, pág. 28-38.

SCHIMDT, P. MORRISON, T. H. (2012) **Watershed management in an urban setting: process, scale and administration**. Land Use Policy, Elsevier, v.29, pág. 45– 52.

SILVA, M. R.; RIBEIRO, M. G.; CENTENO, J. A. S. (2007) **Monitoramento de estíagens com imagens MODIS**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007. Florianópolis, SC, **Anais...** Florianópolis, SC: [s.n].

SONG, C.; WOODCOCK, C. E.; SETO, K. C.; LENNEY, M. P.; MACOMBER, S. A. (2001) **Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects?** Remote Sens. Environ. Elsevier Science, 75, p. 230–244.

TIMOTHY O. R.; OLGA T. (2011) **Spatiotemporal dynamics of landscape pattern and hydrologic process in watershed systems**. Journal of Hydrology, v. 404, p. 1–12.

TUNDISI. J.G.; MATSUMURA-TUNDISI. T.; PARESCHI. D. C.; LUZIA. A. P.; HAELING. P. H. V.; FROLLINI. E. H. (2008) **A bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré: estudo de caso em pesquisa e gerenciamento.** Estudos Avançados, pág. 159 – 172.

VOLLENWEIDER, R. A. (1968) **Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication.** Tech. Report. DAS/CSI6827, OECD, Paris.

APÊNDICE A

Área em Km² das categorias de IVDN das bacias hidrográficas dos rios Gramame e Abiaí-Papocas para os anos de 1989, 2001 e 2006.

Tabela 13- Área em Km² das categorias de IVDN da bacia hidrográfica do rio Gramame para o ano de 1989.

CATEGORIA	ÁREA (Km ²)
Água	3,893
Área Urbana	36,812
Vegetação/pasto	33,125
Outros cultivos	62,597
Culturas	108,458
Vegetação densa	344,656
TOTAL	589,542

Tabela 14- Área em Km² das categorias de IVDN da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas para o ano de 1989.

CATEGORIA	ÁREA (Km ²)
Água	725
Área Urbana	86,380
Vegetação/pasto	61,656
Outros cultivos	85,011
Culturas	109,666
Vegetação densa	221,470
TOTAL	564,909

Tabela 15- Área em Km² das categorias de IVDN da bacia hidrográfica do rio Gramame para o ano de 2001.

CATEGORIA	ÁREA (Km ²)
Água	10,549
Área Urbana	101,277
Vegetação/pasto	68,275
Outros cultivos	99,186
Culturas	120,218
Vegetação densa	190,035
TOTAL	589,542

Tabela 16- Área em Km² das categorias de IVDN da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas para o ano de 2001.

CATEGORIA	ÁREA (Km²)
Água	1,684
Área Urbana	95,606
Vegetação/pasto	50,340
Outros cultivos	84,350
Culturas	124,495
Vegetação densa	208,433
TOTAL	564,909

Tabela 17- Área em Km² das categorias de IVDN da bacia hidrográfica do rio Gramame para o ano de 2006.

CATEGORIA	ÁREA (Km²)
Água	7,089
Área Urbana	79,660
Vegetação/pasto	52,295
Outros cultivos	80,332
Culturas	124,323
Vegetação densa	245,843
TOTAL	589,542

Tabela 18- Área em Km² das categorias de IVDN da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas para o ano de 2006.

CATEGORIA	ÁREA (Km²)
Água	1,801
Área Urbana	34,617
Vegetação/pasto	35,022
Outros cultivos	65,941
Culturas	125,569
Vegetação densa	301,958
TOTAL	564,909

APÊNDICE B

Área em Km² das categorias de uso do solo das bacias hidrográficas dos rios Gramame e Abiaí-Papocas para os anos de 1989, 2001 e 2006.

Tabela 19- Área em Km² das categorias do uso do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame para o ano de 1989.

CATEGORIA	ÁREA (Km ²)
Corpo d'água Continental	6,256
Área Urbanizada	101,121
Áreas de Vegetação Natural	164,681
Lav. Permanente - Bambu	54,494
Lav. Permanente - Cana	258,008
Lav. Permanente - Abacaxi	4,984
TOTAL	589,542

Tabela 20- Área em Km² das categorias do uso do solo da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas para o ano de 1989.

CATEGORIA	ÁREA (Km ²)
Corpo d'água Continental	28,401
Área Urbanizada	107,219
Áreas de Vegetação Natural	97,705
Lav. Permanente - Bambu	65,835
Lav. Permanente - Cana	194,034
Lav. Permanente - Abacaxi	71,717
TOTAL	564,909

Tabela 21- Área em Km² das categorias do uso do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame para o ano de 2001.

CATEGORIA	ÁREA (Km ²)
Corpo d'água Continental	9,647
Área Urbanizada	102,332
Áreas de Vegetação Natural	112,792
Lav. Permanente - Bambu	53,038
Lav. Permanente - Cana	276,060
Lav. Permanente - Abacaxi	35,670
TOTAL	589,542

Tabela 22- Área em Km² das categorias do uso do solo da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas para o ano de 2001.

CATEGORIA	ÁREA (Km ²)
Corpo d'água Continental	1,633
Área Urbanizada	119,749
Áreas de Vegetação Natural	97,000
Lav. Permanente - Bambu	34,521
Lav. Permanente - Cana	289,127
Lav. Permanente - Abacaxi	22,878
TOTAL	564,909

Tabela 23- Área em Km² das categorias do uso do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame para o ano de 2006.

CATEGORIA	ÁREA (Km ²)
Corpo d'água Continental	9,022
Área Urbanizada	100,567
Áreas de Vegetação Natural	164,127
Lav. Permanente - Bambu	53,940
Lav. Permanente - Cana	257,454
Lav. Permanente - Abacaxi	4,430
TOTAL	589,542

Tabela 24- Área em Km² das categorias do uso do solo da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas para o ano de 2006.

CATEGORIA	ÁREA (Km ²)
Corpo d'água Continental	7,790
Área Urbanizada	106,153
Áreas de Vegetação Natural	81,297
Lav. Permanente - Bambu	47,629
Lav. Permanente - Cana	297,037
Lav. Permanente - Abacaxi	25,005
TOTAL	564,909

APÊNDICE C

Área em Km² das classes com os dados de HAND das bacias hidrográficas dos rios
Gramame e Abiaí-Papocas.

Tabela 25- Área em Km² das classes com os dados de HAND da bacia hidrográfica do Rio Gramame.

CATEGORIA	ÁREA (Km ²)
0m – 2m	46,465
2m– 30m	170,561
30m – 55m	183,982
55m – 88m	138,885
88m – 125m	44,816
125m – 162m	4,831
TOTAL	589,542

Tabela 26- Área em Km² das classes com os dados de HAND da bacia hidrográfica dos rios Abiaí-Papocas.

CATEGORIA	ÁREA (Km ²)
0m – 2m	78,324
2m – 30m	216,241
30m – 55m	152,416
55m – 88m	111,175
88m – 125m	6,754
125m – 162m	0
TOTAL	564,909