



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
CAMPUS DE PATOS – PB**

ROSÂNGELA MARIA PEREIRA SILVA

**ALTERAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL NA SUB-BACIA DO RIO
ESPINHARAS NO PERÍODO 2000-2010: o geoprocessamento como ferramenta para o
gerenciamento ambiental**

**Patos – PB
2011**

ROSÂNGELA MARIA PEREIRA SILVA

**ALTERAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL NA SUB-BACIA DO RIO
ESPINHARAS NO PERÍODO 2000-2010: o geoprocessamento como ferramenta para o
gerenciamento ambiental**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração Ecologia, Manejo e Utilização dos Recursos Florestais, para a obtenção do Título de Mestre.

Orientadora: Prof^a. Dra. Joedla Rodrigues de Lima

**Patos – PB
2011**

FICHA CATALOGADA NA BIBLIOTECA SETORIAL DO CSTR/ UFCG
CAMPUS DE PATOS - PB

S586a
2011

Silva, Rosângela Maria Pereira

Alteração da cobertura vegetal na sub-bacia do Rio Espinharas no período 2000-2010: o geoprocessamento como ferramenta para o gerenciamento ambiental. Rosângela Maria Pereira Silva. - Patos: CSTR/PPGCF, 2011.

133 p.: il.

Inclui bibliografia.

Orientador(a): Joedla Rodrigues de Lima

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande.

1 – Bacia Hidrográfica (Semiárido) – Dissertação. 2 – Sub-bacia do Rio Espinharas 3 – Caatinga. 4 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada. 5 – SPRING (Geoprocessamento). I – Título.

CDU: 556.51

ROSÂNGELA MARIA PEREIRA SILVA

**ALTERAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL NA SUB-BACIA DO RIO
ESPINHARAS NO PERÍODO 2000-2010: o geoprocessamento como ferramenta para o
gerenciamento ambiental**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais, área de concentração Ecologia, Manejo e Utilização dos Recursos Florestais.

APROVADA em: ___/___/___

Profa. Dra. Joedla Rodrigues de Lima (UAEF/UFCG)
Orientadora

Prof. Dr. João Miguel de Moraes Neto (CTRN/UFCG)
1º Examinador

Prof. Dr. Josuel Arcanjo da Silva (UAEF/UFCG)
2º Examinador

Prof. Dr. Izaque Francisco Candeia de Mendonça (UAEF/UFCG)
3º Examinador

Dedico este trabalho aos meus pais, Pedro (in memoriam) e Raimunda, e aos meus filhos, Pedro Neto e Laryssa, com os quais pretendo compartilhar as alegrias da vitória desta etapa, que, com a graça de Deus, está sendo vencida.

AGRADECIMENTOS

A Deus;

À minha filha Laryssa, sempre companheira nas inspeções de campo pela caatinga espinhenta, debaixo de sol escaldante;

À Prof^a. Joedla Rodrigues de Lima pela orientação;

Ao Prof. Izaque Francisco Candeia de Mendonça, pela paciência, orientações e tempo dedicado às minhas inúmeras interrogações;

Ao Prof. Max Prestes Barbosa, UFCG, *campus* de Campina Grande – PB, pela disponibilidade de me receber e pela valiosa contribuição;

À Mayara, aluna do curso de Engenharia Florestal, pela atenção e colaboração no levantamento dos dados de campo no município de São José de Espinharas – PB;

A Eric, aluno do curso de Engenharia Florestal, UFCG, *campus* de Patos – PB, e ao colega Daniel, pela colaboração dada no levantamento dos dados de campo no município de Areia de Baraúnas – PB;

A Aristodemo, aluno do curso de Engenharia Ambiental, UFCG, *campus* de Pombal – PB, pela atenção e tempo dedicados;

A Vicente, aluno do curso de Geografia, FIP, Patos – PB, pela disponibilidade de me acompanhar e pela colaboração dada no levantamento dos dados de campo no município de Serra Negra do Norte – RN;

Aos membros da Banca Examinadora, pela disponibilidade da participação e pelas valiosas contribuições;

Aos colegas professores da FIP, pelo apoio e incentivo;

Aos professores, colegas e companheiros de curso;

Enfim, a todos os que dedicaram seu tempo às minhas interrogações e inquietações, e aos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

Ressureição da flora

E ao tornar da travessia o viajante, pasmo, não vê mais o deserto.

Sobre o solo, que as amarílis atapetam, ressurge triunfalmente a flora tropical.

É uma mutação de apoteose.

Os mulungus rotundos, à borda das cacimbas cheias, estadeiam a púrpura das largas flores vermelhas, sem esperar pelas folhas; as caraíbas e baraúnas altas refrondescem à margem dos ribeirões refertos; ramalham, ressoantes, os marizeiros esgalhados, à passagem das vibrações suaves; assomam, vivazes, amortecendo as truncaduras das quebradas, as quixabeiras de folhas pequeninas e frutos que lembram contas de ônix; mais virentes, adensam-se os icozeiros pelas várzeas, sob o ondular festivo das copas dos ouricuris: ondeiam, móveis, avivando a paisagem, acamando-se nos plainos, arredondando as encostas, as moitas floridas do alecrim-dos-tabuleiros, de caules finos e flexíveis; as umburanas perfumam os ares, filtrando-os nas frondes enfolhadas, e – dominando a revivescência geral – não já pela altura senão pelo gracioso do porte, os umbuzeiros alevantam dois metros sobre o chão, irradiantes em círculo, os galhos numerosos.

Euclides da Cunha (1866 – 1909)

SILVA, Rosângela Maria Pereira. **ALTERAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL NA SUB-BACIA DO RIO ESPINHARAS NO PERÍODO 2000-2010: o geoprocessamento como ferramenta para o gerenciamento ambiental**. 2011. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais. CSTR/UFCG, Patos - PB, 2011. 143p.:il.

RESUMO

A vegetação é um dos componentes mais importantes da biota, desempenhando papel fundamental na conservação da quantidade e da qualidade dos recursos hídricos. No contexto da região semiárida paraibana e norte-rio-grandense, o aumento da área desflorestada e a não recuperação das áreas de caatinga já degradadas, na área da sub-bacia do rio Espinharas, fragilizam cada vez mais seus solos e seu equilíbrio hidrológico. Este trabalho teve como objetivo mapear a alteração da cobertura vegetal na sub-bacia do rio Espinharas no período 2000-2010, com a utilização de técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao geoprocessamento. A caracterização hidrogeográfica da área permitiu uma visão interrelacionada dos diferentes elementos definidores das suas condições climáticas e edáficas, principais condicionantes para as formações vegetais. Os dados das imagens orbitais do sensor TM – Thematic Mapper – do satélite LANDSAT-5 foram processados em ambiente computacional, através do Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas – SPRING. Para avaliação da cobertura vegetal da área estudada, foi utilizado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – IVDN, amplamente utilizado na avaliação do vigor da cobertura vegetal e citado na literatura como adequado para as regiões semiáridas. Em 65% da área, predominaram baixos valores, entre 0 e 0,1, característicos de áreas com alto grau de antropismo, vegetação rala e solos expostos. Para classificação das formações vegetais da área, foram adotadas as classes: caatinga arbustiva arbórea aberta (T2), caatinga arbustiva arbórea fechada (T3), e caatinga arbórea fechada (T4), na análise visual das variáveis tonalidade/cor e textura nas composições multiespectrais ajustadas. A subtração entre as imagens IVDN 2010 e 2000 gerou a imagem diferença, cujos valores foram analisados levando-se em consideração os valores da média de distribuição dos níveis de cinza na imagem (μ) e do desvio padrão (s), segundo os limiares $[0, \mu - s]$, $[\mu - s, \mu + s]$ e $[\mu + s, 254]$ relacionados às classes: desmatamento/redução da cobertura vegetal, não mudança e áreas de regeneração/incremento de vegetação. Os resultados mostraram que 80% da área manteve-se inalterada no período: uma caatinga empobrecida de espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas, há muito submetida à ação do homem e dos diferentes agentes erosivos. Em 12,6% da área, ocorreu redução da cobertura vegetal, decorrente da permanência das práticas de corte raso da vegetação para produção de estacas, carvão, obtenção de lenha para uso doméstico ou comercial e preparo da área para a agricultura. Em 7,4% da área, registrou-se incremento, possivelmente favorecido pelo cultivo de pastagens irrigadas e não irrigadas em solos de aluvião, à medida que as águas dos reservatórios foram recuando. A utilização de imagens orbitais e a aplicação do geoprocessamento para a coleta, sistematização e análise dos dados referentes às condições dos elementos naturais mostraram-se essenciais para o desenvolvimento da pesquisa e úteis para fundamentar ações interventivas da sociedade e dos órgãos públicos no processo de recuperação e preservação dos recursos naturais, especialmente na região semiárida.

Palavras-chave – Sub-bacia do rio Espinharas. Caatinga. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada. Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas.

SILVA, Rosângela Maria Pereira. **ALTERATION IN VEGATATION COVER IN THE SUB-BASIN OF ESPINHARAS RIVER IN THE PERIOD OF 2000-2010:** the geoprocessing as a tool for environmental management. 2011. Dissertation. Graduate Program in Forestry Sciences. CSTR/UFCG, Patos, 2011. 143p. il.

ABSTRACT

The vegetation is one of the most important components of biota playing a key role in the conservation of quantity and quality of water resources. In the context of the semiarid region of Paraíba and Rio Grande do Norte, the increase in the deforested area and the non-recovery of caatinga areas already degraded in the sub-basin area of Espinharas river, weaken increasingly its soils and hydrological balance. This work aimed to map the alteration in vegetation cover in the sub-basin area of the Espinharas river in the period 2000-2010, with the use of remote sensing techniques applied to geoprocessing. The hydrogeographic characterization of the area allowed an interrelated view of the different elements that define its weather and soil conditions, major conditions for vegetation. The image data from the orbital sensor TM – Thematic Mapper – from the satellite LANDSAT -5 were processed in the computing environment through the Georeferenced Information Processing System – SPRING. For evaluation of vegetation cover of the studied area was used the Normalized Difference Vegetation Index – NDVI, widely used in evaluating the effect of vegetation cover and cited in the literature as suitable for the semiarid regions. In 65% of the area low values predominated, between 0 and 0,1, characteristic of areas with high anthropogenic, sparse vegetation and exposed soils. To classify the plant formations of the area, the following classifications were adopted: open arboreal-shrubby caatinga (T2), closed arboreal-shrubby caatinga (T3), and closed arboreal caatinga (T4) in the visual analysis of the variables tone / color and texture in the adjusted multispectral composition. The subtraction between 2010 and 2000 NDVI images generated the difference image, whose values were analyzed taking into account the values of the average distribution of gray levels in the image (μ) standard deviation (s) according to the thresholds $[0, \mu - s]$, $[\mu - s, \mu + s]$ e $[\mu + s, 254]$, related to the classifications: deforestation / reduction of vegetation cover, no change and areas of regeneration / growth of vegetation. The results showed that 80% of the area remained unchanged in the period. An impoverished caatinga in herbaceous, shrub and tree species, long subjected to mankind's action and to different agents of erosion. A reduction of vegetation cover occurred in 12,6% of the area, due to the permanence of the practice of clear cutting of vegetation for stem production, coal, obtainance of firewood for domestic or commercial use and area preparation for agriculture. There was an increment in 7,4% of the area possibly favored by the cultivation of irrigated and non irrigated pastures in alluvial soils, as the waters of the reservoirs were retreating. The use of satellite images and application of geoprocessing to collection, systematization and analysis of data regarding the conditions of the natural elements, proved to be essential for the development of the research, and useful to support interventive actions of society and public bodies in the process of recovery and preservation of natural resources especially in the semiarid region.

Keywords – Sub-basin of the Espinharas river. Caatinga. Normalized Difference Vegetation Index. Georeferenced Information Processing System.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01	– Nova delimitação da Região Semiárida Brasileira	25
FIGURA 02	– O bioma caatinga e suas ecorregiões	31
FIGURA 03	– Curva espectral da vegetação, da água e do solo	35
FIGURA 04	– Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental e suas Unidades Hidrográficas	45
FIGURA 05	– Mapa esquemático da bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu e a sub-bacia do rio Espinharas	46
FIGURA 06	– Sub-bacia Hidrográfica do rio Espinharas: Limites	47
FIGURA 07	– Polígono da área de estudo	51
FIGURA 08	– Confluência do rio da Cruz com o rio da Farinha, no município de Patos – PB (08/12/2011)	56
FIGURA 09	– Confluência do rio Espinharas com o rio Piranhas, no município de Serra Negra do Norte – RN (05/11/2011)	57
FIGURA 10	– Sub-bacia do rio Espinharas: Rede de Drenagem	59
FIGURA 11	– Sub-bacia do rio Espinharas: Hipsometria	61
FIGURA 12	– Sub-bacia do rio Espinharas: Classes de declividades	62
FIGURA 13	– Climatologia média e precipitações médias mensais observadas na área da sub-bacia do rio Espinharas nos anos 2000 e 2010	64
FIGURA 14	– Solos profundos na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Areia de Baraúnas – PB (06/10/2011)	65
FIGURA 15	– Solos rasos na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011)	66
FIGURA 16	– Vertentes com solo exposto, em área próxima à Serra do Teixeira, no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011)	66
FIGURA 17	– Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Cacimba de Areia – PB (23/10/2011) (A) e no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011) (B)	67
FIGURA 18	– Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de São José de Espinharas – PB (24/10/2011)	68
FIGURA 19	– Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) com alto grau de antropismo na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Serra Negra do Norte – RN (05/11/2011)	68
FIGURA 20	– Caatinga arbustiva arbórea fechada (T3) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011)	70
FIGURA 21	– Caatinga arbórea fechada (T4) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Maturéia – PB (06/11/2011)	70
FIGURA 22	– Imagem IVDN_2000 com respectivo histograma	71

FIGURA 23 – Imagem IVDN_2010 com respectivo histograma	72
FIGURA 24 – Sub-bacia do rio Espinharas: IVDN_2000 – Imagem classificada	74
FIGURA 25 – Sub-bacia do rio Espinharas: IVDN_2010 – Imagem classificada	75
FIGURA 26 – Composição multiespectral ajustada: Sub-bacia do rio Espinharas – IVDN_2000	78
FIGURA 27 – Composição multiespectral ajustada: Sub-bacia do rio Espinharas – IVDN_2010	79
FIGURA 28 – Imagem multiespectral ajustada da Sub-bacia do rio Espinharas – IVDN_2000: Áreas amostrais	81
FIGURA 29 – Imagem multiespectral ajustada da Sub-bacia do rio Espinharas – IVDN_2010: Áreas amostrais	82
FIGURA 30 – Caatinga arbustiva arbórea fechada (T3) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Serra Negra do Norte – RN (20/10/2011)	88
FIGURA 31 – Caatinga arbustiva arbórea fechada (T3) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Maturéia – PB (06/11/2011)	89
FIGURA 32 – Pastagens cultivadas na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Maturéia – PB (06/11/2011)	89
FIGURA 33 – Caatinga arbórea fechada (T4) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Maturéia – PB (06/11/2011)	90
FIGURA 34 – Cultivo de capim braquiária, à margem direita do rio Espinharas, no município de Serra Negra do Norte – RN (05/11/2011)	91
FIGURA 35 – Cultivo de capim braquiária e capim elefante às margens da Barragem da Farinha, no município de Cacimba de Areia – PB (23/10/2011)	91
FIGURA 36 – Área com alto grau de antropismo nas proximidades da margem direita do rio Espinharas, no município de Serra Negra do Norte – RN (05/11/2011)	92
FIGURA 37 – Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) nas proximidades do reservatório da Barragem da Farinha, no município de Cacimba de Areia – PB (23/10/2011)	92
FIGURA 38 – Caatinga arbustiva densa na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Areia de Baraúnas – PB (06/10/2011)	93
FIGURA 39 – Caatinga arbustiva arbórea fechada (T3) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Areia de Baraúnas – PB (06/10/2011)	94
FIGURA 40 – Solo exposto na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Serra Negra do Norte – RN (05/11/2011)	95
FIGURA 41 – Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de São José de Espinharas – PB (24/10/2011)	95
FIGURA 42 – <i>Bromelia laciniosa</i> Mart ex Schultze F. (macambira) em área de Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) na sub-bacia do rio Espinharas, no município de São José de Espinharas – PB (24/10/2011)	96
FIGURA 43 – <i>Pilosocereus gounellei</i> (xique-xique) em área de Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) na sub-bacia do rio Espinharas, no município de São José de Espinharas – PB (24/10/2011)	96
FIGURA 44 – Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011) (A) e no município de Mãe D'Água – PB (30/10/2011) (B)	97

FIGURA 45 –	Visão de solo exposto nas encostas da Serra do Teixeira a partir do município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011)	97
FIGURA 46 –	Cultivo de hortaliças na área que recebe a sangria do açude do Sabonete, no município de Teixeira – PB (06/11/2011) (A) e nas proximidades do açude do São Francisco no município de Teixeira – PB (06/11/2011) (B)	98
FIGURA 47 –	Imagem diferença 2010_2000	99
FIGURA 48 –	Histograma da Imagem diferença 2010_2000	99
FIGURA 49 –	Sub-bacia do rio Espinharas: Alteração da cobertura vegetal – 2000/2010	101
FIGURA 50 –	Exploração madeireira em área de caatinga arbustiva arbórea aberta (T2), no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011) (A) e no município de Mãe D’Água – PB (30/10/2011)	102
FIGURA 51 –	Carvoeira em área de caatinga arbustiva arbórea aberta (T2), no município de Mãe D’Água – PB (30/10/2011)	103
FIGURA 52 –	Broca em área de caatinga arbustiva arbórea aberta (T2), no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011)	103
FIGURA 53 –	Pecuária extensiva de bovinos em área de caatinga arbustiva arbórea aberta (T2), no município de Cacimba de Areia – PB (23/10/2011)	104
FIGURA 54 –	Pecuária extensiva de caprinos em área de caatinga arbustiva arbórea aberta (T2), no município de Cacimba de Areia – PB (23/10/2011)	104
FIGURA 55 –	Pecuária extensiva de ovinos em área de caatinga arbustiva arbórea aberta (T2), no município de Cacimbas – PB (06/11/2011)	105
FIGURA 56 –	Solo exposto e malva branca em área de caatinga arbustiva arbórea aberta (T2), no município de Cacimba de Areia – PB (23/10/2011)	106
FIGURA 57 –	Solo exposto, malva-branca e cactáceas em área de caatinga arbustiva arbórea aberta (T2), no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011)	106
FIGURA 58 –	Malva branca e jurema preta em área de caatinga arbustiva arbórea aberta (T2), no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011)	107
FIGURA 59 –	Oitílicas, à margem esquerda do rio Espinharas, no município de São José de Espinharas – PB (24/10/2011)	108
FIGURA 60 –	Oitílicas, carnaúbas e joazeiros às margens do Riacho Apertado na sub-bacia do rio Espinharas, no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011)	108
FIGURA 61 –	Oitílicas e carnaúbas, à margem direita do rio Espinharas, no município de Serra Negra do Norte – RN (05/11/2011)	110
FIGURA 62 –	Oitílicas e marizeiros, à margem esquerda do rio Espinharas, próximo à sua foz, no município de Serra Negra do Norte – RN (05/11/2011)	109
FIGURA 63 –	Alteração da cobertura vegetal nas áreas amostrais: 2000-2010	111
FIGURA 64 –	Pecuária extensiva de bovinos, à margem direita do rio Espinharas, no município de Serra Negra do Norte – RN (05/11/2011)	112
FIGURA 65 –	Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) com alto grau de antropismo, à margem direita do rio Espinharas, no município de Serra Negra do Norte – RN (05/11/2011)	113

FIGURA 66 – Imagem diferença 2000_2010 classificada: Áreas de mudança negativa	114
FIGURA 67 – Caatinga arbustiva arbórea fechada (T3) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Serra Negra do Norte – RN (20/10/2011) (A) e no município de São José de Espinharas – RN (20/10/2011) (B)	119
FIGURA 68 – Pecuária extensiva de caprinos na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de São José de Espinharas – PB (20/10/2011)	120
FIGURA 69 – Pecuária extensiva de bovinos na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Serra Negra do Norte – RN (20/10/2011)	120
FIGURA 70 – Caatinga arbustiva arbórea fechada (T3) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Serra Negra do Norte – RN (20/10/2011)	121
FIGURA 71 – Corte raso da vegetação em área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Maturéia – PB (06/11/2011)	122
FIGURA 72 – Madeira para produção de carvão em área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Maturéia – PB (06/11/2011)	122
FIGURA 73 – Carvoeira em área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Maturéia – PB (06/11/2011)	122
FIGURA 74 – Restos do cultivo de milho e feijão na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Maturéia – PB (06/11/2011)	123
FIGURA 75 – Corte raso da vegetação e broca na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Teixeira – PB (06/11/2011)	123
FIGURA 76 – Restos do cultivo de milho e feijão na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Cacimbas – PB (06/11/2011)	123
FIGURA 77 – Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011)	124
FIGURA 78 – Pastagens cultivadas na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011)	124
FIGURA 79 – Caatinga arbustiva arbórea fechada (T3) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011)	125
FIGURA 80 – Corte raso da vegetação em área de Caatinga arbustiva arbórea fechada (T3) na sub-bacia do rio Espinharas, no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011)	125
FIGURA 81 – Transporte de madeira retirada da área de Caatinga arbustiva arbórea fechada (T3), às margens da estrada, na área da sub-bacia do rio Espinharas no município de Mãe D'Água – PB (30/10/2011)	126
FIGURA 82 – Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Patos – PB (08/11/2011)	127

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01 –	Satélites da série LANDSAT	34
QUADRO 02 –	Características espectrais e espaciais do sensor TM	35
QUADRO 03 –	Principais características e aplicações da radiação eletromagnética correspondente às bandas do sensor TM do Landsat 5	36
QUADRO 04 –	Identificação das imagens orbitais com cobertura para a área de estudo	50
QUADRO 05 –	Parâmetros estatísticos das imagens orbitais	52
QUADRO 06 –	Parâmetros estatísticos das imagens IVDN	52
QUADRO 07 –	Parâmetros estatísticos da Imagem Diferença 2010-2000	54
QUADRO 08 –	Sub-bacia do rio Espinharas: Municípios	58
QUADRO 09 –	Anotações da inspeção de campo realizada na área da sub-bacia hidrográfica do rio Espinharas para validação dos resultados das áreas amostrais consideradas para interpretação visual dos padrões de cobertura vegetal nas imagens multiespectrais	83
QUADRO 10 –	Parâmetros estatísticos da Imagem Diferença 2010-2000	99
QUADRO 11 –	Anotações da inspeção de campo realizada na sub-bacia hidrográfica do rio Espinharas, em áreas amostrais de redução da cobertura vegetal: 2000-2010	115

LISTA DE TABELAS

TABELA 01	– Climatologia média na área da sub-bacia do rio Espinharas	63
TABELA 02	– Precipitação média observada na área da sub-bacia do rio Espinharas	64

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1 Bacias hidrográficas	21
2.1.1 A bacia hidrográfica como unidade de estudo	22
2.1.2 Bacia, sub-bacia ou microbacia?.....	23
2.2 O contexto do semiárido brasileiro	24
2.3 O bioma caatinga e suas alterações	27
2.4 O sensoriamento remoto e o geoprocessamento na gestão ambiental	33
2.4.1 O sistema LANDSAT 5 e o sensor TM	33
2.4.2 O geoprocessamento	37
2.5 O Sistema de processamento de informações georreferenciadas – SPRING	39
2.5.1 O emprego da ferramenta SPRING aplicada ao estudo dos recursos naturais	40
2.6 A razão entre bandas espectrais e os índices de vegetação	41
2.6.1 Índice de vegetação por diferença normalizada – IVDN	42
2.6.1.1 Subtração de imagens	43
3 MATERIAL E MÉTODO	45
3.1 Localização da área de estudo: a sub-bacia do rio Espinharas	45
3.2 Metodologia	48
3.2.1 Caracterização hidrogeográfica da sub-bacia do rio Espinharas	48
3.2.2 Determinação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – IVDN na área da sub-bacia do rio Espinharas nos anos 2000 e 2010	48
3.2.2.1 Delimitação da área da sub-bacia	48
3.2.2.2 Criação de um Banco de Dados no SPRING	49
3.2.2.3 Pré-Processamento das imagens	50
3.2.2.4 Processamento digital das imagens	52
3.2.2.4.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – IVDN	52
3.2.2.4.1.1 Composição multiespectral ajustada	53
3.2.2.4.1.2 Interpretação e análise visual	53
3.2.2.4.2 Avaliação da alteração da cobertura vegetal na área da sub-bacia do rio Espinharas no período 2000-2010: subtração entre as imagens IVDN derivadas das imagens orbitais	54
3.2.2.5 Editoração dos mapas temáticos	54
3.2.3 Identificação das áreas de mudança negativa sob o ponto de vista da alteração da cobertura vegetal e suas prováveis causas	55
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1 Caracterização hidrogeográfica da sub-bacia do rio Espinharas	56
4.1.1 Características fisiográficas	60
4.1.2 Características climáticas	63
4.1.3 Características geológicas e pedológicas	64
4.1.4 Características da vegetação	67
4.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – IVDN na área da sub-bacia do rio	

Espinharas nos anos 2000 e 2010	71
4.2.1 Composição multiespectral ajustada	76
4.2.1.1 As áreas amostrais.....	80
4.3 Avaliação da alteração da cobertura vegetal na área da sub-bacia do rio Espinharas no período 2000-2010: subtração entre as imagens IVDN derivadas das imagens orbitais	98
4.3.1 As áreas amostrais	110
4.4 Identificação das áreas de mudança negativa, sob o ponto de vista da alteração da cobertura vegetal e prováveis causas	113
4.4.1 As áreas amostrais	119
5 CONCLUSÕES	127
REFERÊNCIAS	129
APÊNDICES	140

1 INTRODUÇÃO

O homem, em seu processo de apropriação dos recursos naturais, tem provocado, ao longo do tempo, transformações que geram impactos ambientais facilmente perceptíveis, principalmente pela redução da cobertura vegetal, em particular ao longo das áreas que margeiam os cursos d'água. Tal redução favorece a intensificação dos processos erosivos dos solos, o assoreamento e a contaminação desses mananciais.

Portanto, preservar a cobertura vegetal é condição fundamental para a conservação dos recursos hídricos, pois a vegetação tem importante função na proteção e na manutenção de nascentes e cursos d'água. Sua retirada descaracteriza os ambientes originais dos rios, bem como interfere no balanço hídrico das bacias hidrográficas, compromete a garantia da oferta de água para suprir a demanda humana nas áreas urbanas e rurais, bem como das atividades aí desenvolvidas, e a garantia da sustentabilidade das mais variadas formas de vida que caracterizam os diferentes ecossistemas, especialmente no semiárido nordestino.

Assim, o desenvolvimento dos estudos ambientais requer uma visão integrada dos elementos naturais, tendo em vista que estes estão em constante interação e que dificilmente a degradação de um destes elementos não repercute sobre os demais e vice-versa.

Para analisar espacialmente a degradação da cobertura vegetal nas bacias hidrográficas, faz-se necessário estudar suas características fisiogeográficas e levantar dados qualitativos e quantitativos que possam comprovar as transformações ocorridas, num determinado intervalo de tempo, integrando informações para explicitar tal ocorrência.

A cobertura vegetal é um dos componentes mais importantes da biota, e o seu estado de conservação e de continuidade condiciona a existência ou não de ambientes para o desenvolvimento de inúmeras espécies ou mesmo o fornecimento de bens essenciais à sobrevivência de populações humanas.

Na “Região Semiárida”¹, área em que predomina o bioma caatinga, devem-se envidar pesquisas e ações no sentido de reverter o processo de degradação a que a mesma vem sendo exposta, de forma mais intensa, a partir da ocupação pelo avanço da pecuária iniciada no século XVII².

¹ O Grupo de Trabalho Interministerial para Redelimitação do Semiárido Nordeste e do Polígono das Secas, instituído pela Portaria Interministerial N° 6, de 29 de março de 2004, numa ação conjunta dos Ministérios da Integração Nacional e do Meio Ambiente, em seu Relatório Final, publicado em janeiro de 2005, recomenda não utilizar mais o Polígono das Secas como instrumento legal de delimitação de áreas do Nordeste sujeitas às secas, uma vez que, após a criação da Região Semiárida, pela Lei Federal n° 7.827, de 27 de setembro de 1989, a delimitação anterior perdeu o sentido (BRASIL, 2005a; BRASIL, 1989).

Geoambientalmente, a Região Semiárida, além das severas condições climáticas, apresenta grande parte dos seus solos degradados, recursos hídricos ameaçados e sua flora e fauna vêm sofrendo a ação predatória do homem³. Suas características ecológicas e fisioclimáticas definem ecossistemas regionais, que não estão sendo protegidos, situação agravada pela degradação da sua cobertura vegetal e do uso incorreto das suas terras, por meio da exploração predatória, desmatamentos e queimadas, ameaçando a sobrevivência de muitas espécies vegetais e animais e a manutenção do equilíbrio dos sistemas hidrológicos aí presentes, inclusive aqueles associados a processos de desertificação⁴ de algumas de suas áreas⁵.

A investigação científica contribui para repensar estas relações e favorecer a adoção de posturas ambientais pela sociedade e pelos órgãos de gestão pública, à medida que viabiliza a produção e disseminação de conhecimentos a partir do desenvolvimento de pesquisas impulsionadas por demandas socioambientais, contribuindo com referencial para fomentação das discussões sobre as questões ambientais locais e regionais, com métodos que permitem avaliar riscos, além de fornecer novas ferramentas para a identificação, correção/recuperação e prevenção destes problemas, em benefício da sustentabilidade do planeta e da qualidade de vida.

A sub-bacia hidrográfica do rio Espinharas, foco desta investigação, integra a bacia hidrográfica Piranhas-Açu, é tipicamente de regime intermitente e constitui a principal rede de drenagem superficial do município de Patos, no estado da Paraíba. Encravada no domínio do bioma Caatinga e da chamada “Região Semiárida”, nela predomina o clima semiárido, caracterizado por irregular regime de chuvas com longos períodos de estiagem, com médias pluviométricas em torno de 700 mm anuais, evapotranspiração entre 2000 mm a 2500 mm anuais, umidade relativa do ar variando de 55% a 75%⁶, índice de aridez entre 0,20 e 0,50 e nível alto de risco de desertificação⁷. Ao longo dos anos, essa área tem sofrido com o descaso da sociedade e dos órgãos públicos que, subordinados à lógica capitalista, desconsideram que a conservação e / ou utilização sustentável dos recursos naturais afeta positivamente na qualidade de vida das populações, notadamente aquelas de baixo poder aquisitivo.

² A ribeira do Espinharas contava, no final do século XVIII, com cinquenta e nove fazendas de gado (EGLER; MOREIRA, 1985).

³ Brasil (2005a).

⁴ De acordo com a Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação – UNCCD, “desertificação significa a degradação da terra nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultantes de vários fatores, incluindo as atividades humanas e as variações climáticas” (MATALHO JÚNIOR, 2009, p. 53).

⁵ Alves e G. Rocha (2007); Brasil (2005a).

⁶ Becker (2011); AESA (2010c); Carvalho; Travassos; Maciel (2000); Governo do Estado da Paraíba (2006).

⁷ Governo do Estado da Paraíba (2011).

O estado dos elementos que compõem um dado sistema hidrológico, tais como: solo, água, vegetação e outros, bem como os processos relacionados – erosão, escoamento, assoreamento, inundação, contaminação e outros – fornecem subsídios para avaliação do equilíbrio do sistema e a qualidade ambiental aí estabelecida.

Acrescenta-se a estas questões a consideração de que, nas áreas urbanizadas, o sistema hidrológico apresenta especificidades em face da ação antrópica mais intensa, incluindo as alterações na cobertura vegetal que, notadamente, ocorrem em níveis mais acentuados.

É importante destacar que são encontrados poucos trabalhos relacionados especificamente à sub-bacia hidrográfica do rio Espinharas, merecendo destaque um trabalho que data da década de 1970, desenvolvido pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE (BRASIL, 1973), tratando-se do Inventário dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Espinharas – PB/RN, e outro sobre o processo de eutrofização das águas deste rio no trecho que atravessa a área urbana do município de Patos – PB, desenvolvido por Nóbrega Netto (2010).

Ademais, encontram-se apenas trabalhos referidos a alguns tributários dessa sub-bacia, como os desenvolvidos sobre o rio da Farinha (ARAÚJO, 2008 e 2010); sobre a sub-bacia do açude Jatobá, relacionados à estimativa do nível de cobertura dos solos e levantamento dos remanescentes arbóreos (SOUZA et al., 2007; SOUZA, 2009) e o diagnóstico físico-conservacionista (SOUZA, 2010), todos desenvolvidos no Centro de Saúde e Tecnologia Rural da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

Contribuições referentes a outras sub-bacias da bacia hidrográfica Piranhas-Açu também podem ser citadas, notadamente, trabalhos desenvolvidos sobre a sub-bacia do rio do Peixe: sobre degradação ambiental (BRANDÃO, 2009); sobre as mudanças na cobertura vegetal, identificadas a partir de imagens orbitais (CUNHA; RUFINO, 2009; CUNHA et al., 2009); e apresentação de diagnóstico socioeconômico e ambiental da referida bacia (PEREIRA; BARBOSA, 2009).

Diante do exposto, e considerando-se a carência de trabalhos tendo como alvo a totalidade da área desta sub-bacia, mostra-se a relevância científica e social do trabalho de investigação desenvolvido e que possibilitou reunir subsídios que poderão colaborar para o planejamento da recuperação, preservação, manutenção e manejo sustentável dos recursos naturais desta importante sub-bacia hidrográfica, estendendo-se seus benefícios às demais sub-bacias do sistema ao qual pertence.

O trabalho teve como objetivo geral mapear a alteração da cobertura vegetal na sub-

bacia do rio Espinharas no período 2000-2010, com a utilização de técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao geoprocessamento, fundamentando um diagnóstico para disseminação de conhecimento e fomentação das discussões sobre questões ambientais locais e regionais; e como objetivos específicos: 1) Caracterizar as condições hidrogeográficas da sub-bacia do rio Espinharas; 2) Calcular o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – IVDN na área da sub-bacia do rio Espinharas nos anos 2000 e 2010, através do processamento de imagens orbitais; 3) Avaliar a alteração da cobertura vegetal na área da sub-bacia do rio Espinharas observada no período 2000-2010, através da subtração entre as imagens IVDN derivadas das imagens orbitais; 4) Identificar áreas de mudança negativa, sob o ponto de vista da alteração da cobertura vegetal na área da sub-bacia do rio Espinharas, e as prováveis causas.

Este estudo encontra-se estruturado nos seguintes capítulos:

Referencial Teórico, em que é abordada a importância da cobertura vegetal na preservação dos recursos hídricos, aprofunda e contextualiza conceitos como bacias hidrográficas e sua abordagem como unidade de estudo pelos profissionais das Ciências Ambientais e sua caracterização no contexto do semiárido nordestino; bioma caatinga, sua caracterização e breve abordagem quanto às alterações a que está submetida desde a implementação do processo de colonização do país; sensoriamento remoto e o geoprocessamento e seu uso para estudo dos recursos naturais, com destaque para a aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – IVDN, para avaliação de alterações na cobertura vegetal.

Material e Métodos traz a localização da área de estudo e apresenta os métodos e técnicas aplicadas na coleta e tratamento dos dados das imagens orbitais, através do Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas – SPRING, e no trabalho de campo para validação das informações, em áreas amostrais, referentes à classificação da vegetação, análise da ocorrência ou não de alterações, com destaque para áreas de mudança negativa pela redução da cobertura vegetal.

Resultados e Discussões, em que são apresentados os principais dados obtidos durante o estudo e as informações e representações elaboradas em função dos objetivos propostos.

Por último, nas Conclusões, ressalta-se que a degradação a que estão expostas as formações vegetais da caatinga, seus solos e seus recursos hídricos, ao longo dos últimos quatro séculos, produziu áreas empobrecidas de espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas, que necessitam de ações interventivas da sociedade e dos órgãos públicos no desencadeamento de processos de recuperação e preservação desses recursos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A cobertura vegetal nativa, especialmente das matas ciliares, proporciona maior capacidade de retenção de água no solo, bem como preservação dos cursos de água.

Segundo Lacerda e Barbosa (2006, p.15-16), “além de seu papel estratégico na conservação da biodiversidade de flora e fauna, a cobertura das matas ciliares é um fator decisivo na estabilidade dos solos e manutenção dos sistemas hidrológicos”.

Assim, “A presença ou ausência da cobertura vegetal em uma bacia hidrográfica influencia a qualidade e a quantidade da água, pois interfere na conservação dos solos e suas propriedades físicas, que são fatores determinantes na intensidade e no tipo do escoamento” (DUARTE et al., 2009, p. 5765).

A cobertura vegetal é um fator importante na manutenção dos recursos naturais renováveis. Além de exercer papel essencial na manutenção do ciclo da água, protege o solo contra o impacto das gotas de chuva, aumentando a porosidade e a permeabilidade do solo através da ação das raízes, reduzindo o escoamento superficial, mantendo a umidade e a fertilidade do solo pela presença de matéria orgânica, [. . .] (BELTRAME, 1994, p. 14)

Souza et al. (2007, p.86) reiteram, ao afirmarem que “As terras se tornam mais susceptíveis à perda de solo à medida que são desmatadas, pois desprotegidas da cobertura vegetal são diretamente atingidas pela chuva”.

Um dos efeitos diretos da ocupação populacional é o aumento da pressão sobre os recursos naturais de cobertura vegetal nativa pelo desflorestamento, seja para expansão das fronteiras agrícolas ou para a expansão do território urbano.

Estes fatores aumentam a superfície desmatada, acarretando aumento dos processos erosivos, impermeabilização do solo por oxidação da matéria orgânica exposta à insolação direta, resultando em aumento do escoamento superficial, diminuição da umidade do solo, aumento do assoreamento das calhas de escoamento dos rios, acentuação do processo de desertificação e alteração no microclima local (SILVA, 2009).

De acordo com Botelho e Silva (2007), quando se analisa o estado dos elementos que integram o sistema hidrológico – solo, água, ar, vegetação – e os processos a eles relacionados, é possível avaliar o equilíbrio desse sistema e a sua qualidade ambiental, sendo o monitoramento das bacias hidrográficas imprescindível para a proteção da sua cobertura vegetal.

Brandão (2009, p.04) afirma que “É possível observar a qualidade ambiental de uma

bacia hidrográfica através da paisagem circundante, elaborada pelo Homem e desenvolvida em função de seus próprios interesses”.

Para Duarte et al. (2009), corroborando com o exposto acima, a presença ou ausência da cobertura vegetal em uma bacia hidrográfica influencia a qualidade e a quantidade de água em circulação.

O uso das técnicas de sensoriamento remoto e a aplicação do geoprocessamento têm se mostrado como ferramentas excepcionais para análises e planejamentos ambientais e de recursos hídricos, sendo, também, uma prática cada vez mais frequente, e de modo expressivo, em estudos com relação ao uso da terra e alteração da cobertura vegetal (DUARTE et al., 2009; SOUZA et al., 2009; SOUZA; ARAÚJO; GALVÍNIO, 2007).

Portanto, para o desenvolvimento do trabalho proposto, foi importante uma revisão bibliográfica para aprofundamento e contextualização de alguns conceitos como bacias hidrográficas, bioma caatinga, sensoriamento remoto, geoprocessamento, índices de vegetação e índice de vegetação por diferença normalizada, conforme será exposto a seguir.

2.1 Bacias hidrográficas

No seu ciclo hidrológico, a água que se precipita da atmosfera e atinge o solo pode seguir dois caminhos, sendo o primeiro a infiltração, que depende, principalmente, das características do material de cobertura da superfície.

Nesse processo, a água, guiada pela força gravitacional, tende a preencher os vazios no subsolo, atravessando várias camadas e abastecendo o corpo de água subterrânea, podendo retornar à superfície através das nascentes ou olhos d'água, alimentando o escoamento superficial, ou através de fluxos de rotas numa maior profundidade e lentidão, reaparecendo direto nos oceanos.

O segundo, o escoamento superficial, impulsionado pela gravidade para as áreas mais baixas, inicialmente sob a forma de filetes, convergindo para córregos e rios e formando a rede de drenagem daquela área ou bacia hidrográfica.

Bacia hidrográfica é entendida como “área de captação da água de precipitação, demarcada por divisores topográficos, onde toda a água captada converge para um único ponto de saída, o enxutório” (KARMANN, 2003, p.116), sendo os rios seus principais componentes.

Essa malha hídrica é composta por vários rios e seus afluentes, ou sub-bacias, interligadas numa certa ordem hierárquica.

Essa conceituação é reiterada com o destaque de que

Bacia Hidrográfica (BH) compreende a área delimitada por um divisor de águas que drena as águas das chuvas por ravinas (grotas), canais e tributários, para um curso principal, com vazão efluente, convergindo para uma única saída e desaguando diretamente no mar. Essa feição quanto ao tamanho apresenta uma superfície maior que 3.000 km². (OLIVEIRA, 2010, p. 24)

2.1.1 A bacia hidrográfica como unidade de estudo

A bacia hidrográfica é reconhecida como unidade espacial desde o fim dos anos de 1960 na geografia física, mas só recentemente foi incorporada pelos profissionais de outras áreas, especialmente das Ciências Ambientais, em seus estudos e pesquisas (BOTELHO; SILVA, 2007).

Valorizada como unidade de análise e planejamento ambiental, a bacia hidrográfica permite avaliar de forma integrada as ações antrópicas e seus desdobramentos sobre o equilíbrio hidrológico na bacia de drenagem (SILVA, 2009).

Ela também é citada na Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, em um dos seus fundamentos, como “a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos” (BRASIL, 1997).

Assim, “Entendida como célula básica de análise ambiental, a bacia hidrográfica permite conhecer e avaliar seus diversos componentes e os processos e interações que nela ocorrem. A visão sistêmica e integrada do ambiente está implícita na adoção desta unidade fundamental” (BOTELHO; SILVA, 2007, p.153).

Ferreti (2001) destaca a necessidade de estudos e planejamentos ambientais que sejam abrangentes e capazes de avaliar a degradação crescente dos recursos naturais. Para isso, a bacia hidrográfica é reconhecida mundialmente como a melhor unidade para o manejo dos recursos naturais e, sendo assim,

As bacias e sub-bacias hidrográficas vêm se consolidando como compartimentos geográficos coerentes para planejamento integrado do uso e ocupação dos espaços rurais e urbanos tendo em vista o desenvolvimento sustentado no qual se compatibilizam atividades econômicas com qualidade ambiental. (FERNANDES, 2002, p.117)

Portanto, os cursos d’água, assim como os demais elementos integrantes de uma

bacia hidrográfica, respondem tanto às influências de fatores naturais como às alterações antrópicas, o que torna importante, nos estudos ambientais em bacias hidrográficas, a análise das suas características fisiográficas, com realce para a cobertura vegetal, importante fator para a avaliação da degradação ambiental de uma bacia (SILVA; ROSA, 2007).

2.1.2 Bacia, sub-bacia ou microbacia?

As denominações *sub-bacias* e *micro-bacias* hidrográficas aparecem em diversos estudos, mas não há um consenso na direção de um deles. Mesmo assim, o critério para diferenciar esses termos tem sido o tamanho ou o intervalo de área das mesmas (SILVA, 2009).

Assim, para bacia hidrográfica, considera-se uma superfície maior que 3.000 km² (OLIVEIRA, 2010), para

Sub-bacia Hidrográfica (SBH) - o conceito é o mesmo de bacia hidrográfica, acrescido do enfoque de que o deságue se dá diretamente em outro rio. As sub-bacias hidrográficas têm dimensões superficiais que variam entre 200 a 3.000 km². (OLIVEIRA, 2010, p. 24)

Enquanto que, para

Microbacia Hidrográfica (MBH) - O conceito é o mesmo de bacia hidrográfica, acrescido do deságue, se dá também em outro rio, porém a dimensão superficial da microbacia é menor que 200 km². (OLIVEIRA, 2010, p. 25)

Oliveira (2010) admite que a área referente à sub-bacia pode sofrer uma variação de região para região e da cartografia de apoio utilizada.

Botelho e Silva (2007) afirmam que os estudos publicados relativos ao manejo e conservação do solo e da água e ao planejamento ambiental reúnem o maior número de trabalhos que adotam o termo microbacia, segundo eles, “reforçando a ligação entre o uso desta célula e os objetivos das pesquisas desenvolvidas na área ambiental” (BOTELHO; SILVA, 2007, p.155). No entanto, ressaltam existir, ainda, certa resistência da comunidade acadêmica ao uso desta denominação, preferindo utilizar o termo sub-bacia hidrográfica, “já que a menção à sub-bacia, independentemente das suas dimensões, pressupõe não só necessariamente sua inserção em outra bacia de tamanho maior, mas seu vínculo com a mesma no estudo considerado” (BOTELHO; SILVA, 2007, p.156).

Segundo Fernandes (2002, p.120), a subdivisão de uma bacia hidrográfica em sub-bacias permite a melhor localização e fácil identificação de focos de degradação de recursos naturais, a natureza desses processos de degradação ambiental instalados e o grau de comprometimento ambiental existentes.

Para Farias (2006), bacia hidrográfica corresponde a toda área contribuinte de uma rede de drenagem de um rio que deságua no oceano, mar ou lago, enquanto que sub-bacia corresponde às áreas contribuintes dos seus tributários.

É importante destacar que as características físicas de uma bacia e/ou sub-bacia hidrográfica são elementos de grande importância em seu comportamento hidrológico, existindo uma estreita correspondência entre o regime hidrológico, estes elementos e as ações antrópicas aí desenvolvidas.

2.2 O contexto do semiárido brasileiro

As regiões semiáridas, presentes em diferentes pontos da superfície terrestre, caracterizam-se pela deficiência hídrica, pela baixa precipitação pluviométrica e pelo alto índice de evapotranspiração.

No Brasil, esta região ocupa 969.589,4 km², 11% do território nacional (BRASIL, 2005b) e é uma das áreas mais afetadas pelo problema da degradação ambiental, desencadeando processos de desertificação com graves consequências socioambientais (PACHECO; FREIRE; BORGES, 2006).

A delimitação da Região Semiárida brasileira é apresentada de forma diferenciada por pesquisadores de diferentes órgãos.

Neste trabalho serão considerados os dados apresentados pelo Grupo de Trabalho Interministerial – GTI, instituído pela Portaria Interministerial n° 6, de 29 de março de 2004, numa ação conjunta dos Ministérios da Integração Nacional e do Meio Ambiente, que apresentou estudos e propostas de critérios que definiram a área compreendida pelo semiárido brasileiro (BRASIL, 2005b).

Essa nova delimitação (Figura 01) passou a ser parâmetro para a adoção de políticas de apoio ao desenvolvimento da região.

FIGURA 01 – Nova Delimitação da Região Semiárida Brasileira



FONTE – Brasil (2005b)

A primeira delimitação desta região foi estabelecida pela Lei nº 175, de 7 de janeiro de 1936, com o denominado Polígono das Secas (BRASIL, 2005a).

O conceito técnico de semiárido ocorre a partir da Constituição de 1988, com a instituição do Artigo 159, quando, no inciso primeiro, alínea c, destina para esta região os

50% dos recursos do Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (BRASIL, 2005b).

Este Artigo, regulamentado pela Lei 7.827, de 27 de setembro de 1989, estabelece as condições de aplicação dos recursos dos Fundos Constitucionais de Financiamento do Norte (FNO), do Nordeste (FNE) e do Centro-Oeste (FCO) e define como Semiárida a região que está na área de atuação da SUDENE, com precipitação igual ou inferior a 800 mm (BRASIL, 2005b).

A atual área de abrangência oficial do semiárido brasileiro foi definida em março de 2005, pela Portaria nº 89 do Ministério da Integração Nacional, e toma por base três critérios técnicos: 1) precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 mm; 2) índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, entre 1961 e 1990; 3) risco de seca maior que 60%, tendo por base o período entre 1970 e 1990 (BRASIL, 2005b).

Os Estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba estão entre os que detêm maior percentual do seu território no semiárido, 91,69% e 89,65%, respectivamente, correspondendo à segunda e terceira colocações, já que a primeira colocação é do Estado do Ceará, com 91,98% de sua área inserida na região semiárida (BRASIL, 2005a).

A rede hídrica superficial do Nordeste semiárido caracteriza-se pela intermitência dos seus cursos, em razão da irregularidade temporal e espacial das chuvas, secas periódicas e cheias frequentes durante o período chuvoso (MALTCHICK, 1999). Ab'Sáber (1974, apud PRADO, 2008, p.9) destaca que a hidrografia da região semiárida nordestina “consiste em cursos de água intermitentes sazonais com drenagem exorréica”.

O regime hidrológico dos rios intermitentes da região é bastante crítico, pois depende de um regime pluviométrico irregular, mensal e anual, com precipitações geralmente inferiores a 900 mm, temperaturas elevadas durante todo o ano, baixas amplitudes térmicas, em termos de médias mensais (entre 2°C e 3°C), forte insolação e altas taxas de evapotranspiração que normalmente superam os totais pluviométricos irregulares, configurando taxas negativas no balanço hídrico (MMA, 2010b).

O semiárido brasileiro é uma área caracterizada pela predominância de chuvas convectivas e orográficas, irregularmente distribuídas, grosso modo, concentradas em um único período (BRASIL, 2005a) e déficit hídrico elevado ao longo de todo o ano (DRUMOND, 2000). A insolação é muito forte, com média anual de 2800 h/ano, e a umidade relativa é baixa, com médias anuais em torno de 50% (ALVES, 2007). Examinando-se os aspectos climáticos, fica evidenciado que a pluviosidade e a evaporação são fundamentais na caracterização da região, pois determinam um balanço hídrico deficitário.

Prado (2008) ressalta que os rios no semiárido nordestino são alimentados essencialmente pelas águas das chuvas, portanto fluem na estação chuvosa e desaparecem, ao seu término, de forma gradual, e Reis (1976, p.330) ressalta que, nessa região, “o balanço hídrico é fortemente afetado pela irregular distribuição das precipitações que porventura venham a cair sobre a região”.

Maltchick (1999) ressalta dois tipos de regimes hidrológicos dos rios do semiárido nordestino: o temporário e o efêmero. O primeiro caracterizado pela presença de um fluxo de água superficial maior ao longo do seu ciclo hidrológico e um período de seca estacional. O segundo caracterizado pela presença de um fluxo de água superficial logo após uma precipitação não previsível, que logo desaparece.

A convergência de fatores climáticos – chuvas, insolação, umidade atmosférica –, geológicos, pedológicos, vegetação e hidrológicos caracterizam um ambiente em que a ocorrência de rios temporários, que se tornam caudalosos nos períodos chuvosos, é comum. Os recursos hídricos são importantes indicadores das condições dos ecossistemas no tocante aos efeitos do desequilíbrio das interações desses respectivos elementos.

2.3 O bioma caatinga e suas alterações

A “caatinga é o único bioma exclusivamente brasileiro”, “está entre os biomas mais degradados pelo ser humano” (MMA, 2007), extremamente diversificado sob o ponto de vista da flora, graças à heterogeneidade das condições de relevo e de solo da área de abrangência. Localizado na região nordeste do País, ocupa uma área correspondente a cerca de 10% do território nacional, em torno de 844.453 km² (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2010), estendendo-se por grande parte da região Nordeste e Norte de Minas Gerais.

“A caatinga é o ecossistema mais representativo do semi-árido nordestino brasileiro e trata-se de uma área que possui características próprias e atributos ambientais valiosos” (LACERDA; BARBOSA, 2006, p. 40). Estudos caracterizam a caatinga como rica em biodiversidade, endemismos e bastante heterogênea, mas, ao mesmo tempo, considerada um bioma extremamente frágil (ALVES, 2007).

Segundo Sampaio (2010), quanto à delimitação da área da caatinga, não há um entendimento geral, faltando critérios exatos e amplamente aceitos que permitam identificar de forma precisa as áreas com caatinga, principalmente “nas áreas reconhecidas como de transição, onde os limites têm sido colocados praticamente ao sabor de quem os traça” (SAMPAIO, 2010, p. 30). Quanto a esta questão, Maciel (2010, p.76) afirma que “Não existe

consenso sobre sua área de abrangência, mas admite-se que cubra cerca de 844.453km², correspondentes a 9,9% do território brasileiro ou 55,6% do Nordeste (IBGE, 2004)”.

Apesar de ser uma região semiárida, com índices pluviométricos baixos, entre 300 e 800 milímetros anuais, a Caatinga é extremamente heterogênea. Foram estimadas, pelo menos, 932 espécies já registradas para a região, sendo 380 endêmicas (MMA, 2002; ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2008), envolvendo espécies arbóreas, arbustivas e herbáceas.

“A vegetação da caatinga se apresenta sempre associada a elevadas deficiências hídricas, o que indica um complexo de formações vegetais determinado por fatores climáticos” (REIS, 1976, p.325). Os severos e prolongados déficits hídricos, característicos da região semiárida no nordeste brasileiro se traduzem “num gradiente vegetacional muito acentuado, em curtas distâncias, entre a caatinga xerofítica e o fundo dos eixos hidrográficos” (LACERDA; BARBOSA, 2006, p. 51).

A Caatinga é dominada pela vegetação do tipo “savana estépica”, vegetação com predomínio de árvores baixas e arbustos que, em geral, perdem as folhas no período seco, pois se trata de espécies caducifólias, e muitas cactáceas como *Cereus* (mandacaru e facheiro) e *Pilocereus* (xiquexique) (LACERDA; BARBOSA, 2006; ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2008). Fitossociologicamente a densidade, a frequência e a dominância das espécies na caatinga, são determinadas pelas variações topográficas, pedológicas e de pluviosidade (DRUMOND, 2000).

De acordo com Prado (2008, p. 23), “As caatingas podem ser caracterizadas como florestas arbóreas ou arbustivas, compreendendo principalmente árvores e arbustos baixos muitos dos quais apresentam espinhos, microfilia e algumas características xerofíticas”.

Sua cobertura florestal⁸, segundo dados de 2009, está estimada em 46.979.425 ha, aproximadamente 9,2% da cobertura florestal brasileira (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2010).

A FAO – Programa das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação –, em atividade de pesquisa florestal e fitogeográfica, em conjunto com o PNUD – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente –, denomina a cobertura vegetal do semiárido nordestino como bosque xerofítico caducifólio, “uma cobertura florestal predominantemente

⁸ O Serviço Florestal Brasileiro, no desenvolvimento de seus trabalhos e na elaboração dos relatórios nacionais e internacionais sobre os recursos florestais do país, considera como floresta as tipologias de vegetação lenhosas que mais se aproximam da definição de florestas da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO): “Floresta – área medindo mais de 0,5 ha com árvore maiores que 5 m de altura e cobertura de copa superior a 10%, ou árvores capazes de alcançar estes parâmetros *in situ*. Isso não inclui terra que está predominantemente sob uso agrícola ou urbano.” (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2010)

de árvores, arvoretas e arbustos, em que as ervas não definem a paisagem botânica” (SUDEMA, 2004, p.108). Nesse tipo de cobertura florestal, é possível distinguir a caatinga arbustiva arbórea aberta – Tipo T2 –, vegetação rala com alguns indivíduos arbóreos, com altura média de 3m, presença de vegetação herbácea e muitas cactáceas, em solos rasos e pedregosos; a caatinga arbustiva arbórea fechada – Tipo T3 –, vegetação densa, com altura de 6m a 8m, reduzida vegetação herbácea e cactácea, e arbustiva em abundância, em solos profundos e bem drenados; e, a caatinga arbórea fechada – Tipo T4 –, densa, composta por muitos indivíduos de porte arbóreo, com altura de 6m a 10m, com ocorrência, em geral, nas encostas de serras, em solos profundos e férteis, com acentuada capacidade de retenção de umidade; segundo a classificação para uso da Engenharia Florestal (SUDEMA, 2004).

Trabalhos qualitativos e quantitativos sobre a flora e vegetação da caatinga, segundo Drumond (2000), registraram aproximadamente 596 espécies arbóreas e arbustivas, sendo 180 endêmicas. *Caesalpinaceae*, *Mimosaceae*, *Euphorbiaceae*, *Fabaceae* e *Cactaceae* são as famílias mais frequentes, e os gêneros *Senna*, *Mimosa* e *Pithecellobium* apresentam maior número de espécies (DRUMOND, 2000). “A catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul)⁹, as juremas (*Mimosa* spp.) e os marmeleiros (*Croton* spp.) são as plantas mais abundantes na maioria dos trabalhos de levantamento realizados em área de caatinga” (DRUMOND, 2000, p. 2).

De acordo com Alves, Araújo e Nascimento (2008), algumas poucas espécies não perdem as folhas na época seca, a exemplo do *Zizyphus joazeiro* (joazeiro), uma das plantas mais típicas desse ecossistema. As espécies vegetais que habitam essa área são, em geral, dotadas de folhas pequenas, uma adaptação para reduzir a transpiração.

Portanto,

Apesar de suas condições severas, o bioma caatinga apresenta uma surpreendente diversidade de ambientes, proporcionados por um mosaico de tipos de vegetação, em geral caducifólia, xerófila e, por vezes, espinhosa, variando com o mosaico de solos e a disponibilidade de água. A vegetação considerada mais típica de caatinga encontra-se nas depressões sertanejas: uma ao norte e outra ao sul do bioma, separadas por uma série de serras que constituem uma barreira geográfica para diversas espécies. Mas os diferentes tipos de caatinga estendem-se também por regiões mais altas e de relevo variado, e incluem a caatinga arbustiva arbórea, a mata seca e a mata úmida, o carrasco e as formações abertas com domínio de cactáceas e bromeliáceas, entre outros. (VELLOSO; SAMPAIO; PAREYN, 2002, p.12)

⁹ Desde 2009, passou a ter o nome válido de *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz, comb. nov. var. *pyramidalis* (QUEIROZ, 2009), a partir da publicação de trabalho com revisão de todas as espécies de leguminosas da caatinga realizada por Luciano Paganucci de Queiroz.

Para demonstrar como estes mosaicos estão organizados no bioma caatinga, bem como as características e os fatores definidores que diferenciam uma área da outra, Velloso, Sampaio e Pareyn (2002) propuseram grandes subdivisões de biodiversidade da caatinga, resultando numa subdivisão de oito ecorregiões¹⁰ (Figura 02): 1) Complexo de Campo Maior; 2) Complexo Ibiapaba - Araripe; 3) Depressão Sertaneja Setentrional; 4) Planalto da Borborema; 5) Depressão Sertaneja Meridional; 6) Dunas do São Francisco; 7) Complexo da Chapada Diamantina; 8) Raso da Catarina.

O bioma caatinga constitui um dos biomas brasileiros mais degradados pelo homem.

Essa degradação teve início com o processo de colonização do Brasil (ALVES, 2007), inicialmente com a introdução e desenvolvimento da pecuária bovina e práticas agrícolas rudimentares (ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2008; PESSOA et al., 2008), que, de certa forma, perpetuam até hoje, e a extração da lenha para produção do carvão, além das atividades mineradoras sem critérios técnicos (ALVES; G. ROCHA, 2007).

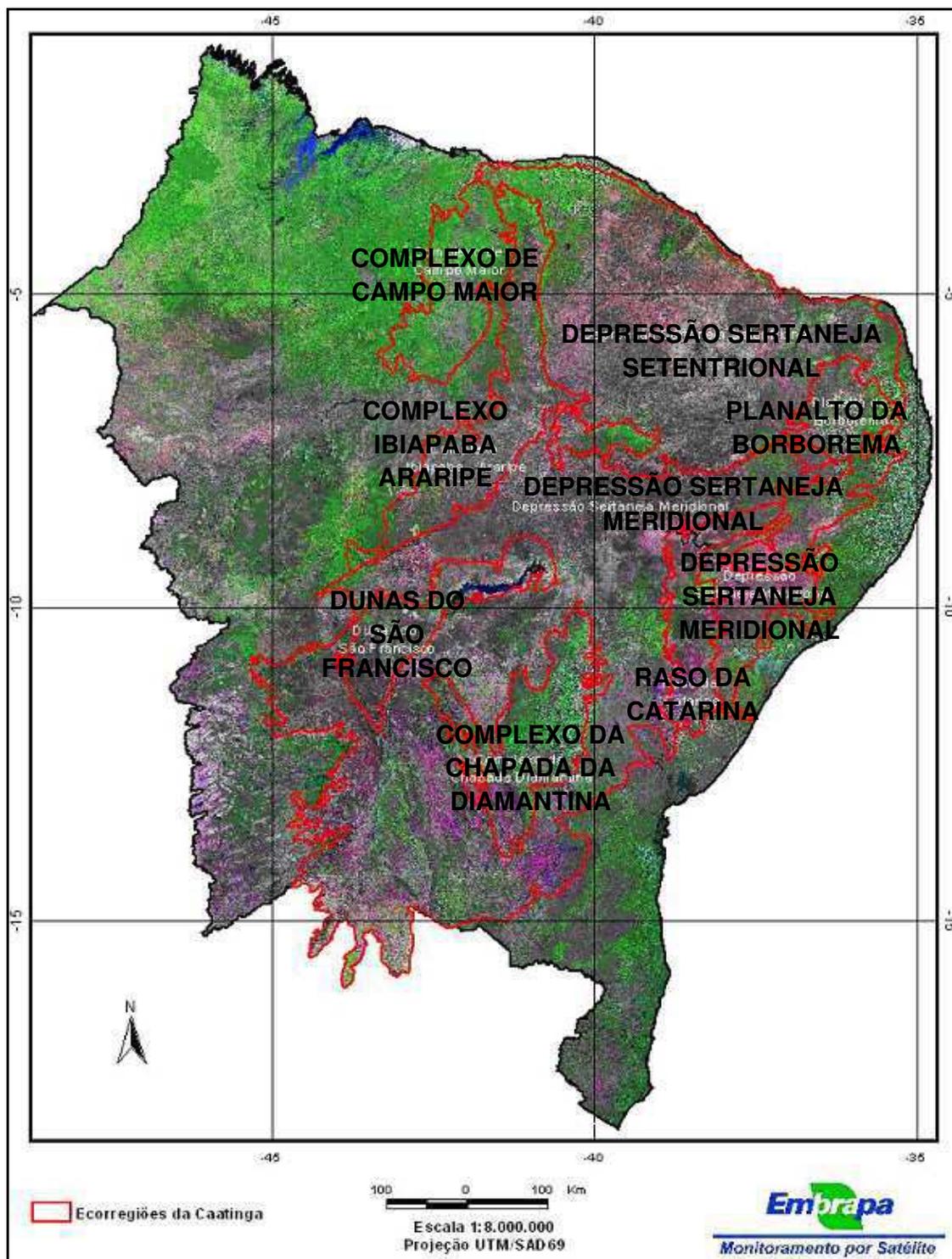
Com o tempo, essas alterações foram se intensificando em virtude da diversificação das atividades e práticas que passaram a ser desenvolvidas, e o aumento da população aí estabelecida, estimada em 23.734.361 habitantes, correspondendo a aproximadamente 12,9% da população brasileira, de acordo com dados de 2009 (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2010).

Assim,

Em recentes levantamentos na região, os dados de cobertura florestal demonstraram valores inferiores a 50% por Estado, devido à exploração extensiva das espécies para lenha e carvão, para suprir indústrias alimentícias, curtume, cerâmica, olarias, reformadoras de pneus, panificadoras e pizzarias. (DRUMOND, 2000, p.5)

¹⁰ “O objetivo principal do *Seminário de Planejamento Ecorregional da Caatinga – 1ª Etapa* foi chegar a um consenso sobre uma proposta das grandes subdivisões reais da biodiversidade da caatinga, o que seriam as ecorregiões. Uma ecorregião é assim definida: *é uma unidade relativamente grande de terra e água delimitada pelos fatores bióticos e abióticos que regulam a estrutura e função das comunidades naturais que lá se encontram*. É, portanto, um grande bloco geográfico que engloba diversos sistemas biológicos, que podem ser diversos entre si, mas que se diferenciam de outros por possuírem grandes processos bióticos (ex.: padrões de distribuição de taxa) e abióticos (ex.: clima, história geomorfológica) que os conectam de alguma maneira.” (VELLOSO; SAMPAIO; PAREYN, 2002, p.08)

FIGURA 02 – O bioma caatinga e suas ecorregiões



FONTE – Velloso; Sampaio; Pareyn (2002, p. 16)

Dados divulgados pelo Ministério do Meio Ambiente (2007) indicam que a Caatinga apresenta uma área de cobertura vegetal nativa da ordem de 518.635 Km², o que equivale a

62,77% da área mapeada do bioma¹¹, e ainda ressaltam que os dados comparativos sugerem uma pequena desaceleração na taxa de desmatamento do bioma. Tendo como referência a área total do bioma, 826.41,23Km², a caatinga perdeu, até 2008, 45,39% de sua cobertura vegetal original (MMA, 2010a).

Portanto, várias décadas de uso impróprio e insustentável dos recursos naturais da caatinga promoveram um alto grau de desgaste e degradação dos recursos naturais neste bioma. Cerca de 70% da caatinga já foi alterada por ações antrópicas, sendo considerado o ecossistema brasileiro menos estudado, menos conhecido cientificamente e menos conservado (ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2008).

De acordo com o Governo do Estado da Paraíba (2006), o processo de desertificação nas áreas da caatinga se mostra bastante acentuado em decorrência de práticas inadequadas nas atividades agropecuárias e mineradoras, registrando-se, em algumas delas, um desmatamento ilimitado e irracional.

Nos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, 92% e 95%, respectivamente, das suas áreas totais correspondem ao bioma caatinga (CAVALCANTE, 2009). Abrangidos pela sub-bacia do rio Espinharas, estão entre os mais afetados pelo processo de desertificação (ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2008).

Diante desse quadro, Alves (2007, p. 65), em estudo desenvolvido sobre a geoecologia da caatinga no semiárido brasileiro, afirma que “A degradação dos solos e das condições hídricas em consequência dos desmatamentos torna difícil a reconstituição da vegetação”. Portanto, recomendam-se estudos detalhados dos recursos naturais para a região semiárida brasileira, que possam contribuir para a utilização de técnicas de manejo e de conservação adequadas (RIBEIRO; MARACAJÁ, 2008).

É importante destacar que os recursos hídricos são importantes indicadores das condições dos ecossistemas no tocante aos efeitos do desequilíbrio das interações entre os elementos naturais sob efeito da ação antrópica.

O conhecimento das alterações ambientais provocadas pela ação antrópica possibilita

¹¹Mapeamento da cobertura vegetal do bioma caatinga, com base em imagens Landsat, adotando-se o recorte estabelecido no Mapa de Biomas do Brasil (IBGE, 2004), e apoio técnico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, através de subprojeto selecionado por meio de edital do Ministério do Meio Ambiente e, o Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO, em 2004, tendo como instituições executoras: Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS, Associação Plantas do Nordeste – APNE, Embrapa Solos, Embrapa Semiárido, Universidade Federal do Ceará – UFC, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Centro de Recursos Ambientais da Bahia – CRA e Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado da Bahia – SEMARH.(MMA, 2010a)

uma visão dos problemas existentes e produz subsídios para gestão dos recursos naturais (CAMPOS, 2004).

2.4 O sensoriamento remoto e o geoprocessamento na gestão ambiental

O sensoriamento remoto permite a aquisição de dados de um objeto ou cena por um sensor que está distante dos alvos, como as câmeras aerofotogramétricas, os satélites artificiais e os aparelhos de radar.

As técnicas de sensoriamento remoto têm apresentado, nas últimas décadas, grande utilidade para a obtenção de informações a respeito das características naturais, do uso da terra e da distribuição da cobertura vegetal de forma global, confiável, rápida e repetitiva. Com suas aplicações no geoprocessamento e nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG's), ganham cada vez mais importância no desenvolvimento de inúmeros trabalhos de análise ambiental (SILVA, 2009; DUARTE et al., 2009; SOUZA; ARAÚJO; GALVÍNCIO, 2007).

As imagens de satélite, uma das formas de Sensoriamento Remoto, vêm permitindo o monitoramento cada vez mais diversificado da superfície terrestre, tornando-se uma ferramenta indispensável em grande parte das abordagens ambientais. Sua periodicidade é uma grande vantagem que tem sido citada na literatura pelo fato de proporcionar as mais diversas avaliações ambientais envolvendo mudanças temporais. (SILVEIRA, 2004, p. 953)

O uso do sensoriamento remoto orbital para fins de monitoramento ambiental tem contribuído para a geração de mapeamentos com eficiência, rapidez e confiabilidade em estudos que envolvem a dinâmica de vários processos na superfície da terra (RIBEIRO et al., 2009).

No Brasil, uma antena receptora do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, localizada em Cuiabá – MT, capta, desde os anos 1970, imagens de todo território nacional, representando um enorme acervo de dados geoespaciais sobre o país, distribuídas gratuitamente, via e-mail, mediante solicitação por usuários cadastrados.

2.4.1 O sistema LANDSAT 5 e o sensor TM

A série de sistemas LANDSAT (Quadro 01) foi desenvolvida pela National Aeronautics and Space Administration – NASA a partir da década de 1970, dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres.

A órbita dos satélites LANDSAT é circular, heliossíncrona e quase polar, isto é, tem órbita sincronizada com o movimento da Terra em torno do Sol, descrita de forma circular, passando próxima aos pólos, quase paralela ao eixo da Terra, com inclinação de quase 90° (FLORENZANO, 2011).

Os primeiros satélites – LANDSAT 1, 2 e 3 – eram equipados com os sensores Multispectral Scanner System – MSS e já tinham a capacidade de coletar imagens separadas em bandas espectrais em formato digital, cobrindo a cada imagem uma área de 185km X 185km, com repetição a cada 18 dias.

A partir do LANDSAT 4, além do MSS, foi colocado em operação um novo sistema sensor com tecnologia mais avançada, o Thematic Mapper – TM e, no LANDSAT 7, o sensor TM foi substituído pelo ETM+ – Enhanced Thematic Mapper, Plus –, com uma configuração básica do TM e um aperfeiçoamento do ETM, desenvolvido para o LANDSAT 6 (FLORENZANO, 2011).

QUADRO 01 – Satélites da série LANDSAT

SATÉLITE	LANÇAMENTO	SENSOR	SITUAÇÃO OPERACIONAL
LANDSAT 1	1972	MSS / RBV	DESATIVADO - 1978
LANDSAT 2	1975	MSS / RBV	DESATIVADO - 1982
LANDSAT 3	1978	MSS / RBV	DESATIVADO - 1983
LANDSAT 4	1982	MSS / TM	DESATIVADO - 1993
LANDSAT 5	1984	MSS / TM	ATIVO - TM
LANDSAT 6	Out. / 1993	ETM	INATIVO – não conseguiu atingir sua órbita
LANDSAT 7	Abr. / 1999	ETM+	INATIVO – 2003 – falhas operacionais

FONTE – INPE (2011)

O LANDSAT 5 foi lançado em 1984, levando a bordo o sensor Thematic Mapper – TM, com resolução temporal¹² de 16 dias, resolução espacial¹³ de 30m e opera em sete bandas espectrais: três na região do visível, três na região do infravermelho e um na região termal (MOREIRA, 2005) (Quadro 02). Cada banda espectral da região do visível e do infravermelho refletido é composta por 16 detectores e, na banda do termal, o sensor é composto por um conjunto de 04 detectores cujos sinais recebidos são gravados em 8 bits, portanto a radiância que chega aos detectores é quantizada em 256 números digitais ou níveis de cinza, o que corresponde à sua resolução radiométrica¹⁴(MOREIRA, 2005; LOPES, 2008).

¹² A resolução temporal refere-se ao tempo que o satélite leva para voltar a recobrir a área de interesse e depende da largura do sensor colocado que determina o intervalo da faixa imageada no solo. (MOREIRA, 2005)

¹³ A resolução espacial ou geométrica do sensor refere-se ao campo de visada instantâneo (Ifov), ou seja, a área vista pelo sensor sobre a superfície da Terra dentro de um ângulo sólido, em dado instante de tempo. (MOREIRA, 2005)

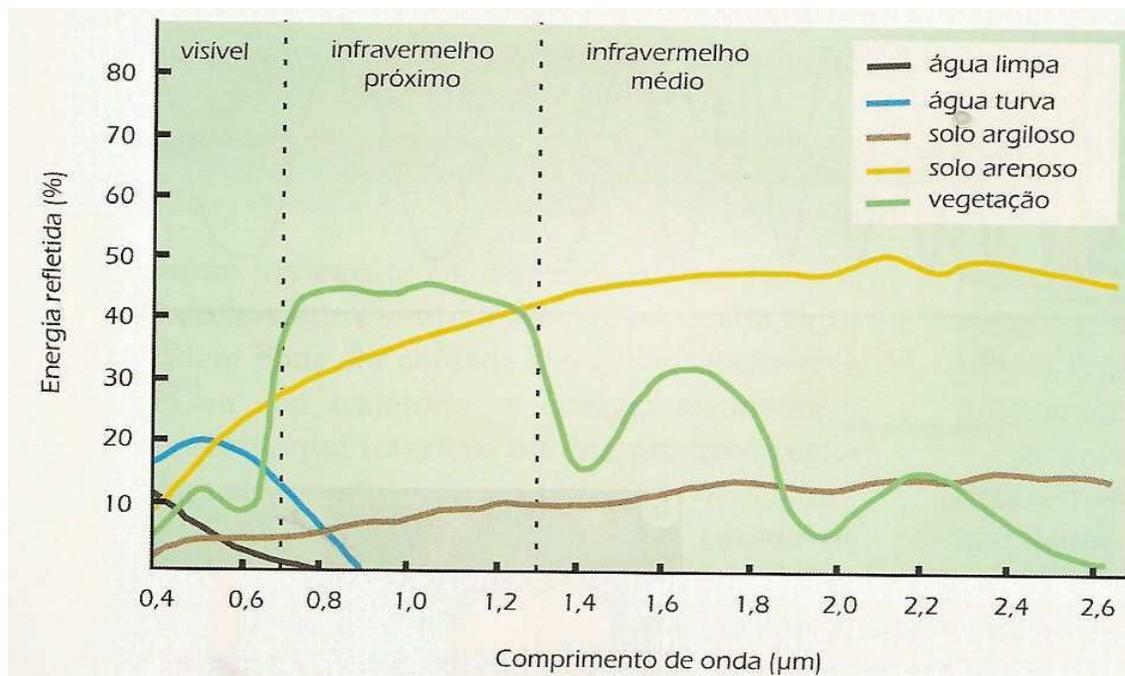
QUADRO 02 – Características espectrais e espaciais do sensor TM

BANDA	FAIXA ESPECTRAL (nm)	Δnm^*	REGIÃO ESPECTRAL	RESOLUÇÃO ESPACIAL (m x n)
TM1	450 - 520	70	Azul	30
TM2	520 - 600	80	Verde	30
TM3	630 - 690	60	Vermelho	30
TM4	760 - 900	140	IV próximo	30
TM5	1.550 - 1.750	200	IV médio	30
TM6	10.400 - 12.500	2.100	IV termal	120
TM7	2.080 - 2.350	270	IV médio	30

* Δnm é a resolução espectral de cada sensor.

FONTE – Moreira (2005, p. 123)

A vegetação, a água e o solo refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética – REM – em proporções que variam com o comprimento de onda, de acordo com as suas características biofísicas e químicas. Nas imagens de sensores remotos, esses elementos são diferenciados pelas variações de energia refletidas por eles e que são representadas por curvas (Figura 03).

FIGURA 03 – Curva espectral da vegetação, da água e do solo

FONTE – Florenzano (2011, p.12)

¹⁴ “ . . . a resolução radiométrica de um sensor refere-se à sua capacidade de poder discriminar, numa área imageada, alvos que apresentam pequenas diferenças da radiação refletida e/ou emitida em certas regiões do espectro eletromagnético.” (MOREIRA, 2005, p. 126)

“Para calcular a resolução radiométrica, emprega-se a expressão $2n$, sendo “n” o número de bits utilizados na gravação.” (MOREIRA, 2005, p. 127)

Portanto, na região do visível, a vegetação (verde e sadia) reflete mais energia na faixa correspondente ao verde, mas é na faixa do infravermelho próximo que a vegetação reflete mais energia e se diferencia dos demais objetos; a curva do solo indica um comportamento mais uniforme, com uma variação menor de energia refletida em relação à vegetação, ao longo do espectro; e a água pura, no estado líquido, reflete pouca energia na região do visível e nenhuma na região do infravermelho, sendo absorvida praticamente toda energia (FLORENZANO, 2011).

A seleção das bandas espectrais é um fator importante para a obtenção de êxito de uma interpretação de imagens orbitais, e essa seleção depende dos objetivos de interesse (MOREIRA, 2005) (Quadro 03).

QUADRO 03 – Principais características e aplicações da radiação eletromagnética correspondente às bandas do sensor TM do Landsat 5

Banda	Faixa espectral (μm^{15})	Principais aplicações das bandas TM do Landsat
1	(0,45 - 0,52)	Apresenta grande penetração em corpos d'água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e outros pigmentos da planta. Apresenta sensibilidade às plumas de fumaça oriundas de queimadas ou outra atividade industrial. Pode apresentar atenuação atmosférica. Aplicação: oceanografia, agricultura, etc.
2	(0,52 - 0,60)	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise quanto a quantidade e qualidade de água. Boa penetração em corpos d'água.
3	(0,63 - 0,69)	Região de forte absorção pela vegetação verde. Permite bom contraste entre áreas ocupadas com vegetação e aquelas sem vegetação (solo exposto, estradas e áreas urbanas). Permite análise da variação litológica em locais com pouca vegetação. Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (exemplo: campo, cerrado e floresta). Permite o mapeamento da rede de drenagem através da visualização da mata de galeria e entalhamento dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana.
4	(0,76 - 0,90)	Permite o mapeamento de corpos d'água pela forte absorção da energia nesta região pela água. A vegetação verde, densa e uniforme reflete muita a energia, aparecendo em tom de cinza claro nas imagens. Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre a geomorfologia, solos e geologia. Serve para separar áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas.
5	(1,55 - 1,75)	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por deficiência hídrica. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrência de chuvas antes da obtenção da imagem pelo satélite.
6	(10,4 - 12,5)	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7	(2,08 - 2,35)	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre geomorfologia, solos e geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. É potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

FONTE – Moreira (2005, p. 234)

¹⁵ μm : micrômetro. Unidade de medida referente ao comprimento de onda da radiação eletromagnética.

Pacheco, Freire e Borges (2006), ao exporem sobre as principais características e aplicações das bandas TM do satélite LANDSAT-5, informam que, aplicando-se a banda 3,

A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas. (INPE, 2003 apud PACHECO; FREIRE; BORGES, 2006, p. 58)

De acordo com Pacheco, Freire e Borges (2006, p. 62), “Uma combinação das bandas espectrais 5, 4 e 3 do sensor LANDSAT 5 TM permitiu a Costa et al. (2001) uma interpretação das áreas de redução de biomassa na caatinga, baseada nas diferentes respostas espectrais dos alvos sensoriados perceptíveis nas imagens”. Franco et al. (2007), em estudo sobre a degradação ambiental na microbacia hidrográfica em Boqueirão – PB, realizaram a análise da cobertura vegetal a partir de imagens TM LANDSAT 5 na banda 3, possibilitando a separação das áreas com e sem vegetação, e, na banda 4, auxiliando na diferenciação dos corpos d’água e na identificação de alterações na estrutura da vegetação.

A composição colorida é produzida na tela do computador, atribuindo-se as cores primárias (vermelha, verde e azul) a três bandas espectrais quaisquer, sendo uma técnica de realce e integração de dados de sensoriamento remoto. Este artifício é também conhecido como composição RGB (do inglês: Red, Green, Blue). Associando, por exemplo, a banda 3 à cor vermelha (R), a banda 2 à cor verde (G) e a banda 1 à cor azul (B), produz-se uma composição colorida representada por 321 (RGB), uma imagem colorida natural, na qual as cores dos elementos são verdadeiras, em outras combinações a cor dos objetos, em geral, é falsa (FLORENZANO, 2011).

2.4.2 O geoprocessamento

Com o desenvolvimento da tecnologia da informática, na segunda metade do séc. XX, tornou-se possível armazenar as informações coletadas sobre os fenômenos e elementos que ocorrem na superfície do planeta, sobre a distribuição espacial dos diversos recursos naturais – minerais, vegetais, hídricos e outros –, representá-las em ambiente computacional para geração de imagens, automatizando, assim, a produção de documentos cartográficos.

O sensoriamento remoto integra-se ao geoprocessamento, promovendo consideráveis avanços no desenvolvimento de pesquisas e facilitando a interatividade com outras áreas de conhecimento, tornando-se essencial para a obtenção de resultados e análises mais precisas.

O Geoprocessamento é entendido como

uma técnica que, utilizando um Sistema de Informações Geográficas, busca a realização de levantamentos, análises e cruzamentos de informações georreferenciadas visando a realização do planejamento, manejo e/ou gerenciamento de um espaço específico, apóia-se na cartografia digital para realização desta manipulação de dados. (FITZ, 2005, p. 166)

Ou ainda,

O geoprocessamento pode ser entendido como a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para tratar dados obtidos de objetos ou fenômenos geograficamente identificados ou extrair informações desses objetos ou fenômenos, quando eles são observados por um sistema sensor. (MOREIRA, 2005, p.256)

A integração entre o sensoriamento remoto e o geoprocessamento se faz necessária para a interpenetração das informações sistematizadas e armazenadas em um banco de dados que apresenta uma estruturação espacial definida, possibilitando a aplicação do geoprocessamento, influenciando crescentemente diversas áreas da atividade humana, em especial, no que diz respeito à análise dos recursos naturais e ao planejamento da utilização dos mesmos, tendo em vista a avaliação dos impactos ambientais.

Como exemplo, cita-se a sua aplicação na delimitação de bacias hidrográficas em cartas topográficas de diferentes escalas. Essa delimitação

é dada pelas linhas divisoras de água que demarcam seu contorno. Estas linhas são definidas pela conformação das curvas de nível existentes na carta topográfica, e ligam os pontos mais elevados da região em torno da drenagem considerada. (ARGENTO; CRUZ, 2006, p. 269)

O geoprocessamento atualmente se configura como uma importante ferramenta para levantamento e processamento de informações relacionadas a questões ambientais, por meio de programas específicos que possibilitam análises e sobreposições de dados levantados ou já existentes, gerando, de forma rápida e eficiente, uma série de novas informações relevantes e imprescindíveis para o estudo ambiental de uma determinada área (BITTENCOURT; ANDRADE; FERNANDES, 2009).

Portanto, as ferramentas utilizadas para realizar o geoprocessamento compõem um conjunto denominado de Sistemas de Informações Geográficas para produção de mapas, geração e visualização de dados espaciais, como suporte para análise espacial de fenômenos – combinação de informações espaciais – e como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial, mantendo uma base cartográfica atualizada, integrada e de fácil acesso.

Além do mais, a espacialização de dados e informações é de grande importância para gestores e planejadores ambientais.

No Brasil, o geoprocessamento foi introduzido a partir do início dos anos 1980, graças aos esforços do professor Jorge Xavier de Sá, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, que teve sob sua orientação o grupo de pesquisadores do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geografia daquela universidade no desenvolvimento do Sistema de Análise Geoambiental – SAGA, que tem como especialidade a análise geográfica e que tem sido utilizado com sucesso no desenvolvimento de estudos e pesquisas (MOREIRA, 2005).

O geoprocessamento permite a integração de informações cartográficas (mapas e plantas) e informações às quais seja possível associar coordenadas desses mapas ou plantas, possibilitando elaborar representações que indicam e situam problemas ambientais e, por meio delas, tomar decisões que amenizem ou solucionem os impactos ambientais (FITZ, 2008).

Esta tecnologia vem sendo cada vez mais utilizada como ferramenta de suporte à gestão de recursos naturais, principalmente dos recursos hídricos, auxiliando no processo de análise e de tomada de decisão no planejamento correto do uso e da ocupação da terra, sobretudo em áreas de mananciais.

2.5 O Sistema de processamento de informações georreferenciadas – SPRING

Em 1984, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE estabeleceu um grupo específico para desenvolvimento de tecnologia de geoprocessamento e sensoriamento remoto, através da Divisão de Processamento de Imagem – DPI.

De 1984 a 1990, a DPI desenvolveu o Sitim – Sistema de Tratamento de Imagens, e o SIG, para ambiente PC/DOS, e, somente a partir de 1991, o SPRING, para ambientes Unix e MS/Windows (MOREIRA, 2005).

O Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas – SPRING é um

produto totalmente desenvolvido com tecnologia nacional, atualizada e de fácil compreensão, que utiliza modelo de dados orientados para estudos ambientais e cadastrais (FARIAS, 2006).

A partir de 1997, o SPRING passou a ser distribuído gratuitamente via internet, através da sua *website*.

O SPRING

é um banco de dados geográfico, desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) para ambientes UNIX e Windows com as seguintes características:

- Opera como um banco de dados geográficos sem fronteiras e suporta grande volume de dados (sem limitações de escala, projeção e fuso), mantendo a identidade dos objetos geográficos ao longo de todo banco;
- Administra tanto dados vetoriais como dados matriciais (“raster”), e realiza a integração de dados de sensoriamento remoto num SIG;
- Provê um ambiente de trabalho amigável e poderoso, através da combinação de menus e janelas com uma linguagem espacial facilmente programável pelo usuário (LEGAL – Linguagem Espaço-Geográfico baseada em Álgebra);
- Consegue escalonabilidade completa, isto é, capaz de operar com toda a sua funcionalidade em ambientes que variem desde microcomputadores a estações de trabalho RISC de alto desempenho. (SANTOS; PELÚZIO; SAITO, 2010, p.10)

O SPRING realiza a integração de dados espaciais e não espaciais provenientes de diversas fontes. Um Banco de Dados no SPRING corresponde fisicamente a um diretório onde serão armazenados suas definições de Categorias e Classes e os projetos pertencentes ao banco. Os projetos são armazenados em subdiretórios juntamente com seus arquivos de dados: pontos, linhas, imagens orbitais e aéreas, imagens temáticas, textos, grades e objetos (LOPES, 2008). Promove um ambiente de trabalho através da combinação de menus e janelas com uma linguagem espacial facilmente programável pelo usuário: LEGAL – Linguagem Espaço-Geográfico baseada em Álgebra, que vem sendo implementada a partir de proposta originalmente brasileira.

As operações em álgebra de mapas compõem uma linguagem especializada tanto em sentido matemático quanto cartográfico e espacial. Para realizar essas operações em LEGAL, há uma interface direta com tabelas de um banco de dados relacional. Desse modo, o resultado de uma operação pode ser diretamente armazenado como um atributo de elementos do banco de dados (LOPES, 2008; MOREIRA, 2005).

2.5.1 O Emprego da ferramenta SPRING aplicada ao estudo dos recursos naturais

Vários trabalhos têm sido desenvolvidos na área ambiental com a utilização de

imagens orbitais processadas no ambiente SPRING, destacando-se contribuições como a análise geoambiental na região do seridó paraibano (SILVA et al., 2008); sobre o processo de desertificação no município de Picuí – PB (ALVES; G. ROCHA, 2007); diagnóstico físico-conservacionista e das vulnerabilidades para o ordenamento territorial da microbacia do riacho do Tronco, no município de Boa Vista – PB (MELO, 2010); para classificação e mapeamento das terras no estado da Paraíba (FRANCISCO, 2010); diagnóstico físico-conservacionista da barragem Vaca Brava, no município de Areia – PB (FARIAS, 2006); caracterização física da bacia do Ribeirão de Santa Cruz – MG (PINTO et al., 2005); e mapeamento do uso e da cobertura da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu – RJ (PEDREIRA; FIDALGO; ABREU, 2009).

2.6 A razão entre bandas espectrais e os índices de vegetação

Para a análise dos dados coletados a partir das imagens orbitais, reduzindo o trabalho e maximizando as informações espectrais da vegetação no menor número de bandas de operação dos sensores, apresentando-os de formas distintas e passíveis de mensuração, foram criados os índices de vegetação, que ressaltam o comportamento espectral da vegetação e do solo (MOREIRA, 2005).

Índices de vegetação são medidas quantitativas, baseadas nos valores digitais, que tentam medir biomassa ou vigor vegetativo, geralmente obtidos pela combinação de diferentes bandas espectrais que são adicionadas, subtraídas, divididas ou multiplicadas de forma a produzir um valor único que indique a quantidade ou o vigor da vegetação (SANTOS; PELÚZIO; SAITO, 2010). Para isso,

Pode-se usar uma ou duas bandas de uma mesma área geográfica, previamente georreferenciada. A operação é realizada "pixel" a "pixel", através de uma regra matemática definida, que fornece como resultado uma banda representando a combinação das bandas originais. Isto permite a compressão de dados, mas como os resultados normalmente caem fora do intervalo 0-255, eles são automaticamente normalizados. Assim, os valores abaixo de 0 e acima de 255 ficam saturados, causando perda de informação espectral. Portanto, deve-se utilizar um fator de Ganho (multiplicativo) e um "Off-set" (aditivo). (LOPES, 2008, aula 4, p.04)

A forma mais simples de obter o índice de vegetação é pela razão entre duas bandas espectrais, uma operação não-linear, sendo o quociente entre medidas de reflectância em porções separadas do espectro, e efetiva em realçar ou revelar informações quando existe uma relação inversa entre duas respostas espectrais para o mesmo fenômeno biofísico (LOPES,

2008; SANTOS; PELÚZIO; SAITO, 2010).

A operação de razão de bandas pode:

- Remover efeitos de ganho provenientes de variações espaciais ou temporais, quando ocorrem em bandas de uma mesma imagem;
 - Diminuir variações de radiância da imagem, provenientes de efeito de topografia, declividade e aspecto;
 - Aumentar diferenças de radiância entre solo e vegetação.
- A redução do efeito de iluminação também elimina o efeito do sombreamento topográfico. (LOPES, 2008, aula 4, p.09)

Para Moreira (2005, p.282), “No sensoriamento remoto orbital, o índice de vegetação mais empregado, na avaliação do vigor da cobertura vegetal, é o NDVI”.

2.6.1 Índice de vegetação por diferença normalizada – IVDN

O Índice de vegetação por diferença normalizada – IVDN é uma variável biofísica que tem dado importante contribuição no entendimento das modificações que ocorrem sobre um ecossistema e apresenta alta variabilidade espaço-temporal, fortemente influenciada por processos climáticos, notadamente pela precipitação (CUNHA; RUFINO, 2009).

De acordo com Santos, Peluzio e Saito (2010), este índice de vegetação amplamente utilizado foi desenvolvido por Rouse, Haas, Schell e Deering (1973).

É um dos índices mais utilizados para estimar a biomassa com o uso de imagens orbitais, adequado para as regiões semiáridas, pois essas apresentam grandes variações da biomassa em diferentes períodos, com predominância de solos claros, devido ao baixo teor de umidade e matéria orgânica, ocasionando decréscimo nos valores do IVDN em relação às áreas em que predominam solos escuros, em que ocorrem acréscimos nos valores do índice (LOEBMANN, 2008).

Por se tratar de uma variável significativamente afetada pelo regime de precipitação pluviométrica da região em análise, a seleção de imagens para análise desses dados deve corresponder ao período de déficit hídrico na região de interesse.

O IVDN é baseado em uma combinação aritmética com foco no contraste entre os modelos de respostas da vegetação nas faixas do vermelho e do infravermelho próximo com base na equação que tem como variáveis as bandas do vermelho e infravermelho próximo: $NDVI = (IVP - V) / (IVP + V)$, onde IVP: valor da refletância da banda no infravermelho próximo; e V: valor de refletância da banda no vermelho (MOREIRA, 2005).

Considerando o que coloca Lopes (2008), a equação para o cálculo do IVDN será:

$$C = \text{Ganho} * ((A - B) / (A + B)) + \text{Offset}.$$

Os valores dos níveis digitais de cinza da imagem são escalonados de 0 a 255, pois os valores negativos, ou seja, aqueles menores do que zero, são lidos como 0(zero), valor atribuído aos pixels sem reflectância – sem brilho –, que, na escala de cinza, tendem ao preto, diferentemente daqueles que tendem ao branco, representando máxima reflectância – com brilho.

Assim, os valores de IVDN, escalonados entre 0 e 255, correspondem aos valores de IVDN processado – valores positivos –, de mais fácil interpretação visual. Porém, para obtenção dos valores normalizados variáveis entre -1 e 1, que expressam os valores do IVDN original, aplica-se a seguinte equação (LOPES, 2008): $\text{IVDN original} = \text{IVDN processado} - \text{Offset} / \text{Ganho}$.

Os valores menores que 0 ocorrem em regiões com presença de água; valores positivos e próximos de zero ocorrem em regiões de solo com grande exposição e se apresentam de forma crescente até 1 em regiões vegetadas, conforme sua densidade, considerando-se que: na água, o valor do pixel, na banda 4, sempre é menor que na banda 3, porque a energia sofre grande absorção por esse alvo nesta região do espectro, por isso os valores negativos e próximos de zero (pixels mais escuros), pois a água tem reflectância maior no vermelho, banda 3, do que no infravermelho, banda 4; e quanto à vegetação, na banda 4, o valor do pixel sempre é maior do que na banda 3, porque aí a energia sofre grande reflectância por esse alvo, por isso valores positivos, ou seja, maiores do que 0(zero) e próximos de 1 (pixels mais claros), uma vez que a resposta espectral é maior no infravermelho próximo, banda 4, do que no vermelho, banda 3.

Áreas verdes sob ação de estresse hídrico ocasionado por períodos de estiagem apresentam redução nos seus valores de IVDN. Os solos expostos ou pouco vegetados apresentam valores positivos próximos de zero.

Portanto, na imagem IVDN, os tons mais claros estão relacionados aos maiores valores e os tons mais escuros aos valores mais baixos (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

2.6.1.1 Subtração de imagens

É uma operação linear, utilizada para realçar diferenças espectrais, conhecendo as curvas de comportamento espectral dos alvos de interesse e o intervalo espectral das bandas dos sensores (LOPES, 2008).

A operação de subtração de imagens tem aplicação na detecção do padrão de mudança de cobertura, como o uso do solo, expansão urbana e desmatamento (LOPES, 2008), entre imagens coletadas em datas diferentes: $C = A - B$, para cada uma das bandas, onde: C = imagem-subtração; A e B = imagem recente e imagem anterior.

Considerando o que coloca Lopes (2008), a equação para a obtenção da subtração de imagens será: $C = \text{Ganho} * (A - B) + \text{offset}$.

As técnicas de razão entre bandas e de subtração de imagens são muito utilizadas para avaliação de alterações na cobertura vegetal (PANTOJA et al., 2009; RODRIGUES et al., 2009).

Ribeiro e Maracajá (2008) recomendam a realização de estudos detalhados dos alvos espectrais da região semiárida nordestina, inclusive a utilização do IVDN para subsidiar melhor a análise do estado da cobertura vegetal dessa região, fornecendo informações que servirão de subsídios às tomadas de decisões no tocante à gestão ambiental e desenvolvimento de práticas conservacionistas.

Nos estudos desenvolvidos sobre o semiárido brasileiro, percebe-se, no domínio de aplicações de dados de sensoriamento remoto, ainda, escassez de informações sobre a área da Caatinga, sendo que sua significativa extensão e o pouco conhecimento existente justificariam esta região como um dos mais promissores campos de aplicação das tecnologias de sensoriamento remoto, para sistematizar informações sobre a presença e a qualidade dos seus recursos (KAZMIERCZAK, 1996, apud PACHECO; FREIRE; BORGES, 2006).

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 Localização da área de estudo: a sub-bacia do rio Espinharas

O *locus* da pesquisa foi a sub-bacia hidrográfica do rio Espinharas integrante da bacia hidrográfica Piranhas-Açu, um dos mais importantes sistemas da Região Semiárida nordestina e a maior unidade hidrográfica da Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental (MMA, 2010b) (Figura 04).

FIGURA 04 – Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental e suas Unidades Hidrográficas

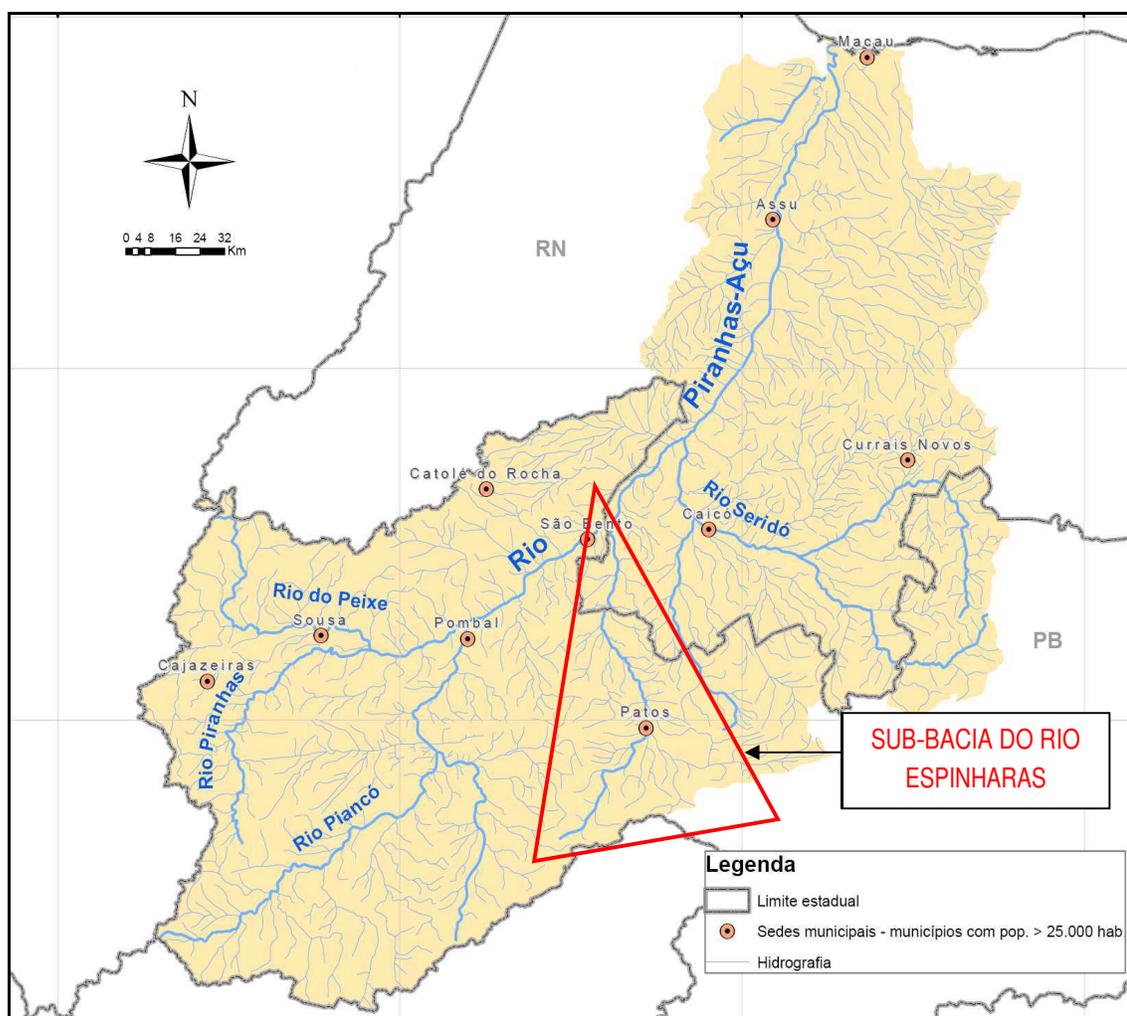


FONTE – MMA (2010b)

De acordo com a Resolução nº 02, de 05 de novembro de 2003, do Conselho Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba, o estado da Paraíba encontra-se dividido em onze bacias hidrográficas, uma delas correspondendo a do rio Piranhas.

Essa Resolução define ainda que a bacia do rio Piranhas, no estado da Paraíba, é constituída pelas sub-bacias do rio do Peixe, do rio Piancó, do rio Espinharas e do rio Seridó. As duas primeiras são totalmente inseridas em território paraibano, e as duas últimas, com áreas de drenagem nos Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte (Figura 05).

FIGURA 05 – Mapa esquemático da bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu e a sub-bacia do rio Espinharas



FONTE – MMA (2010b)

A área da sub-bacia do rio Espinharas se estende sobre uma superfície de cerca de 3.301,03Km² nos Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte.

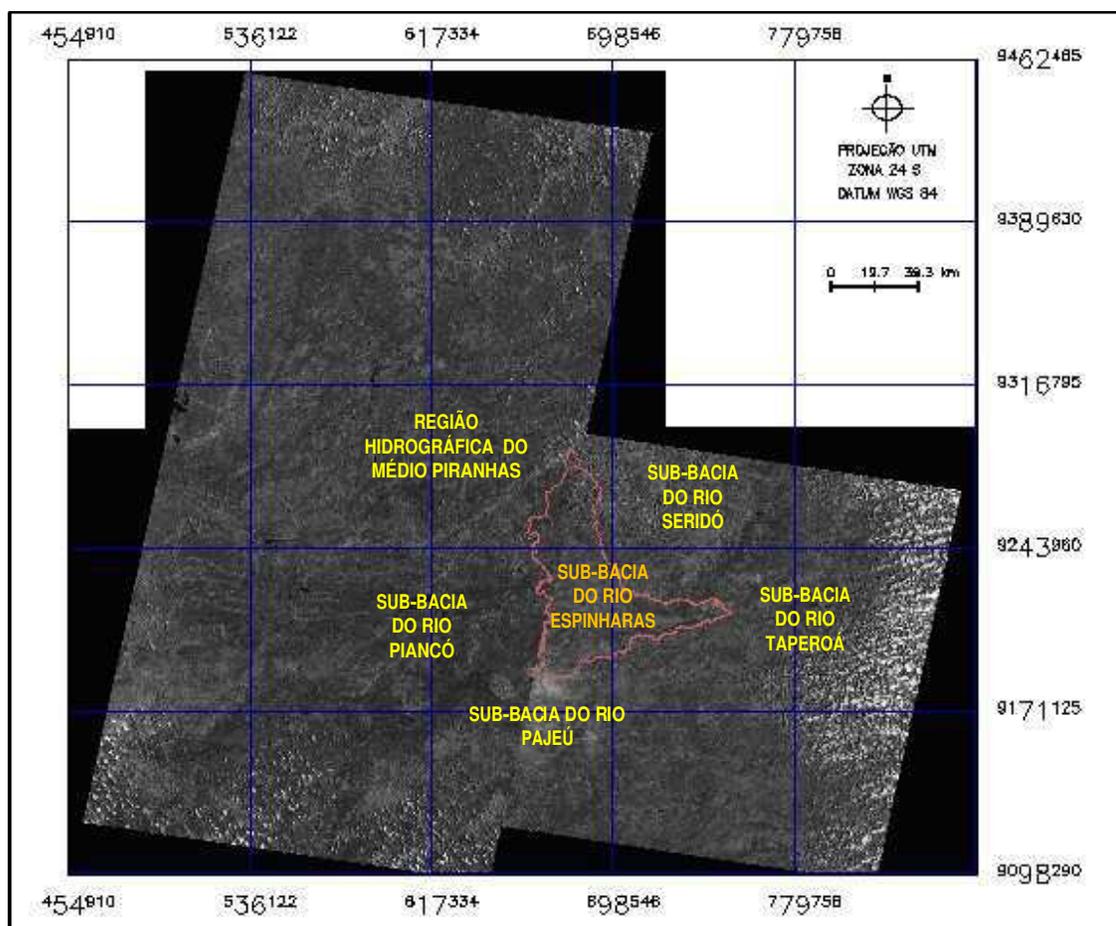
Seu retângulo de circunscrição é limitado pelos paralelos de $-6^{\circ} 25' 50,9''$ e $-7^{\circ} 21'$

48,6" e pelos meridianos de $-37^{\circ} 33' 09,7''$ e $-36^{\circ} 43' 52,3''$ (SILVA, 2011).

Apresenta ela a forma geral de um triângulo isósceles cuja base se desenvolve, na serra da Borborema, sobre 100Km de comprimento aproximadamente, de Viração a leste, a Imaculada a oeste, e cuja altura correspondente junto a Teixeira ao sul, a Barra de São Pedro ao norte, onde o rio Espinharas conflui com o Piranhas. (BRASIL, 1973, p.13)

A sub-bacia do rio Espinharas é circundada a sudeste pela sub-bacia do rio Taperoá e a sudoeste pela sub-bacia do rio Pajeú – um dos afluentes do rio São Francisco –, a sub-bacia do rio Piancó e a Região Hidrográfica do Médio Piranhas¹⁶, a oeste, e, a sub-bacia do rio Seridó, a leste (Figura 06).

FIGURA 06 – Sub-bacia Hidrográfica do Rio Espinharas: Limites



FONTE – Silva (2011)

¹⁶ Atualmente, nos mapas e trabalhos técnicos, as áreas anteriormente denominadas de bacias do Alto e do Médio Piranhas são denominadas de Região Hidrográfica do Alto Piranhas e de Região Hidrográfica do Médio Piranhas (AESAs, 2010).

3.2 Metodologia

A pesquisa desenvolvida é de natureza aplicada (SANTOS; MOLINA; DIAS, 2008), visto que alia o uso dos conhecimentos da ciência à tecnologia para se chegar às aplicações práticas. Descreve e caracteriza hidrogeograficamente a área investigada, constituindo-se uma base informacional e argumentativa no esclarecimento e na explicação das informações levantadas a partir dos dados apresentados nas imagens orbitais e das questões averiguadas no campo.

Considerando os cinco grandes fatores potenciais naturais de degradação física – vegetação, clima, características geológicas, pedológicas e do relevo – e seus respectivos parâmetros (BELTRAME, 1994), “selecionados em virtude de sua capacidade potencial intrínseca de contribuir para a degradação dos recursos naturais renováveis, de uma bacia hidrográfica, ou refletirem essa degradação” (BELTRAME, 1994, p.13), a atenção voltou-se para o fator vegetação e sua alteração na área da sub-bacia do rio Espinharas no período amostral de outubro/2000 - outubro/2010.

O trabalho foi desenvolvido seguindo as várias etapas e atividades descritas a seguir.

3.2.1 Caracterização hidrogeográfica da sub-bacia do rio Espinharas

Resultou do resgate teórico junto às produções bibliográficas, trabalhos acadêmicos, publicações de órgãos públicos e instituições científicas, mapas e documentos eletrônicos, e constituiu um embasamento informacional e argumentativo sobre a temática do trabalho e sobre a área de estudo, subsídios para as análises temporais das imagens de satélites, bem como para explicação dos aspectos observados no campo.

3.2.2 Determinação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – IVDN na área da sub-bacia do rio Espinharas nos anos 2000 e 2010

Para efetivação desta etapa do trabalho, foram realizados os procedimentos (MELO, 2010) explicitados a seguir.

3.2.2.1 Delimitação da área da sub-bacia

Realizada a partir de pontos georreferenciados, marcados ao longo da linha que

delimita o polígono da sub-bacia do rio Espinharas no estado da Paraíba, extraídos do mapa disponível na página da AESA-PB, no link “Geoportal aesa”, ativando-se o plano de informação “sub-bacias”.

A área da sub-bacia que se estende pelo estado do Rio Grande do Norte foi demarcada a partir de pontos georreferenciados coletados no mapa disponível na página do Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Norte – IDEMA, no link “SiggaWeb”, ativando-se as camadas “Meio físico – Altimetria – classes altimétricas 50m” e “Hidrografia – Drenagens”, observando-se os divisores topográficos e a distribuição da rede de drenagem, com apoio de imagens do Google Earth 6.0.2 2074, identificando-se suas respectivas coordenadas.

Os pontos, através de suas coordenadas E e N (X e Y), adotando-se o Datum horizontal WGS-84 e o Sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator – UTM – Zona 24 S, foram transferidos para o software MapSource 6.12 e salvos em arquivo do tipo *.dxf. Esse arquivo foi importado para o Spring para geração do polígono, que constituiu uma máscara que foi sobreposta ao mosaico das imagens do Landsat5-TM e SRTM – Modelo Numérico do Terreno, sendo realizado o recorte da área de interesse.

3.2.2.2 Criação de um Banco de Dados no SPRING

As imagens multiespectrais do Mapeador Temático – TM (Thematic Mapper) do satélite Landsat 5, especificadas no Quadro 04, disponibilizadas pela Divisão de Geração de Imagens – DGI, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, com resolução espacial de 30m, foram extraídas para uma pasta e importadas para o software SPRING 5.1.7, onde se criou o Banco de Dados “SUB_BACIA_ESPINHARAS” e os Projetos “ESPINHARAS_2000_IVDN”, “ESPINHARAS_2010_IVDN” e “ESPINHARAS_SRTM”, adotando-se a projeção UTM - Zona 24 S e o Datum horizontal WGS-84. Posteriormente, foram criados planos de informação (PI) pertencentes às categorias (CAT): “Imagem”, para onde foram importadas as imagens *.spg, obtidas pela conversão das imagens *.tiff pelo módulo Impima do SPRING; “MNT”, para as imagens IVDNs, Diferença, Hipsometria, Declividades, Drenagem_ACM¹⁷, Drenagem_LDD¹⁸, com suas respectivas grades

¹⁷ Grade de fluxos acumulados (ACM), que, em cada célula, guarda a informação de por quantas células um determinado fluxo passou até chegar a ela. (SPRING 5.1.7)

¹⁸ Grade de direções de fluxo (Local Drain Direction – LDD), que armazena, em cada célula da grade, a direção do fluxo a partir dessa célula. (SPRING 5.1.7)

numéricas, sendo as duas primeiras geradas a partir das imagens LANDSAT 5 e as demais, da imagem SRTM; e “Temático”, com o polígono correspondente à delimitação da área da sub-bacia estudada, sendo usado como máscara para os recortes das imagens *.spg, eliminando as áreas que não interessavam ao estudo, pontos e polígonos das áreas amostrais, Hipsometria, Declividades, IVDN_ 2000, IVDN_2010 e Alteração da cobertura vegetal, com suas respectivas classes temáticas.

QUADRO 04 – Identificação das imagens orbitais com cobertura para a área de estudo

SATÉLITE	SENSOR	ÓRBITA	PONTO	DATA
LANDSAT 5	TM	216	64	10/10/2000
LANDSAT 5	TM	216	65	10/10/2000 06/10/2010
LANDSAT 5	TM	215	65	04/11/2000 15/10/2010

FONTE – Catálogo de imagens do INPE (2010).

As imagens adquiridas correspondem ao mês de outubro dos anos considerados, representativas do período de déficit hídrico na região, o que favorece a avaliação da alteração da fitomassa da caatinga, por meio do contraste vegetação-solo. Porém, na cena disponível da órbita 215, ponto 65, do mês de outubro de 2000, os quadrantes correspondentes à área de abrangência da sub-bacia alvo do estudo têm cobertura de nuvens de 40% e 70%, o que poderia comprometer o processamento dos resultados a respeito do alvo a ser analisado, o que motivou a opção pela cena do mês de novembro de 2000.

As imagens foram processadas a partir das bandas espectrais 1(visível azul), 3(visível vermelho) e 4(infravermelho próximo).

3.2.2.3 Pré-Processamento das imagens

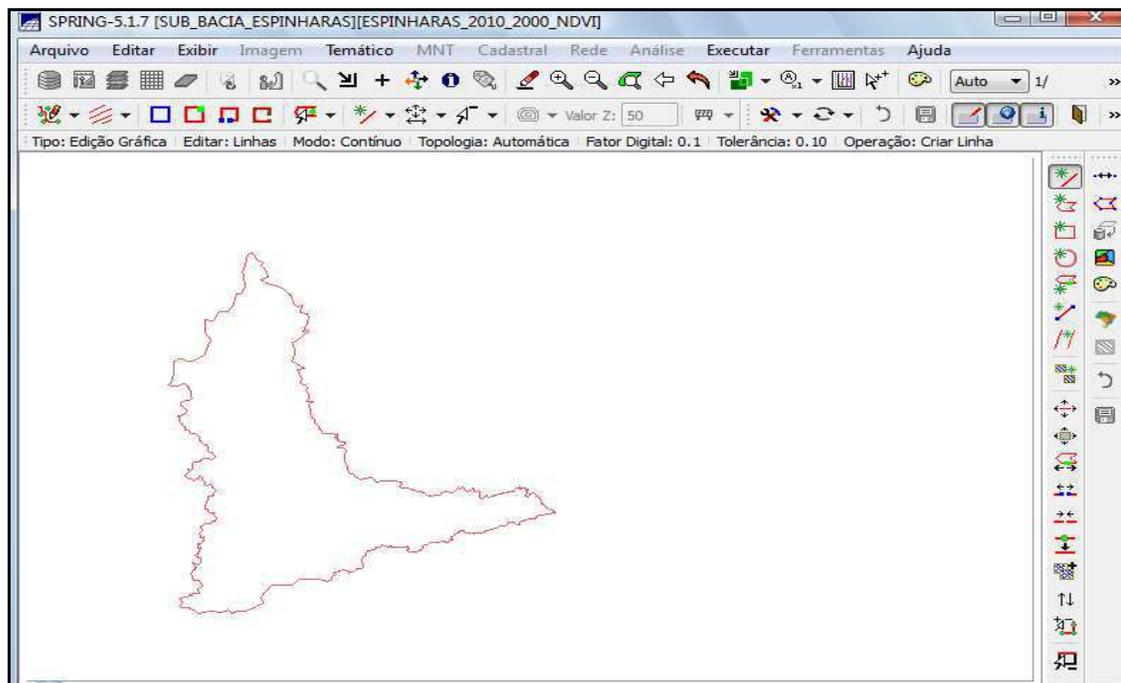
Como as imagens estavam no formato *.tiff, utilizou-se o módulo “Impima” do SPRING para ler as imagens e convertê-las para os formatos *.spg (arquivo imagem SPRING) e *.dsc (arquivo descritor imagem SPRING) e, assim, proceder à etapa de correção geométrica das imagens ou registro, necessário para a análise temporal de imagens obtidas em tempos diferentes e geração de mosaico de imagens (LOPES, 2008).

Essas grades foram obtidas através da operação “MNT – Processos hidrológicos – Geração de grades” do SPRING 5.1.7.

Para o georreferenciamento¹⁹ das imagens orbitais do Landsat 5 TM, adotou-se o Datum horizontal WGS-84 e o Sistema de Projeção UTM – Zona 24 S, utilizando-se, em média, 20 pontos de controle no terreno (PCs), com base em interseções entre estradas, estradas e caminhos, confluências de rios e outros pontos de amarração confiáveis e reconhecíveis, tanto nas imagens orbitais quanto nas imagens do Google Earth 6.0.2.2074. As imagens foram corrigidas geometricamente aplicando-se a reamostragem pelo método do vizinho mais próximo.

Realizada a importação das imagens registradas, nas bandas de interesse, para os respectivos projetos, foram elaborados mosaicos das imagens nas bandas 1, 3 e 4, respectivamente, referentes aos anos 2000 e 2010, e o recorte estudada, através da importação do arquivo *.dxf com pontos, para o SPRING, onde passou pela edição vetorial para criação de uma linha fechada a partir dos pontos, ajustada e poligonizada, criando-se, assim, o polígono da área de estudo (Figura 07).

FIGURA 07 – Polígono da área de estudo



FONTE – Silva (2011)

¹⁹ Imagens geradas por sensores remotos, estão sujeitas a uma série de distorções espaciais que não oferecem precisão cartográfica, sendo necessário aplicar correções que organizam as informações em relação a um sistema de projeção cartográfica, o que se denomina de correção geométrica ou georreferenciamento. Esta correção é realizada a partir da identificação de elementos na imagem, que possuem um correspondente numa outra imagem ou representação em que é possível identificar as coordenadas desses elementos segundo um sistema de referência. (MOREIRA, 2005)

Este arquivo com o polígono da área de estudo foi importado para os projetos, editando-se o Plano de Informação (PI) “Limite” na Categoria “Temático”, servindo como máscara de corte sobreposta ao mosaico das imagens registradas, nas bandas 1, 3 e 4.

3.2.2.4 Processamento digital das imagens

Após o registro das imagens e composição dos mosaicos, foram executadas as técnicas de processamento de imagem para obtenção dos produtos desejados.

3.2.2.4.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – IVDN na área da sub-bacia do rio Espinharas nos anos 2000 e 2010

A partir das reflectâncias das bandas 3 e 4 do TM Landsat 5, foi obtido o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – IVDN, utilizado para demonstrar o comportamento das mudanças temporal e espacial da vegetação da bacia hidrográfica estudada.

Foram processados os mosaicos com o recorte da área de interesse das bandas 3 e 4 (Quadro 05) (Apêndice A), aplicando-se a opção “operações aritméticas” e a operação: $C = \text{Ganho} * ((A - B) / (A + B)) + \text{Offset}$, aplicando-se os valores de Ganho: 127 e Offset: 128, gerando as imagens IVDN_2000 e IVDN_2010 (Quadro 06) (Apêndice B), com os valores dos níveis digitais de cinza da imagem escalonados de 0 a 255. Para obtenção dos valores normalizados entre -1 e 1, que expressam os valores do IVDN original, aplicou-se a seguinte equação: $\text{IVDN original} = \text{IVDN processado} - \text{Offset} / \text{Ganho}$ (SANTOS; PELÚZIO; SAITO; 2010).

QUADRO 05 – Parâmetros estatísticos das imagens orbitais

ANO - BANDA	MÉDIA (μ)	DESVIO PADRÃO (s)	VARIÂNCIA (s^2)
2000 - 3	60,9636	18,126817	328,581511
2000 - 4	70,362159	16,480857	217,618638
2010 - 3	59,966508	17,632781	310,914977
2010 - 4	70,953244	17,750281	315,072489

FONTE – Silva (2011)

QUADRO 06 – Parâmetros estatísticos das imagens IVDN

ANO	MÉDIA (μ)	DESVIO PADRÃO (s)	VARIÂNCIA (s^2)
2000	137,422426	10,00463	100,09262
2010	138,494048	7,86465	61,852726

FONTE – Silva (2011)

Para auxiliar na análise dos resultados, foi aplicada a cada uma das imagens IVDN a operação “Geração de MNT” para a obtenção da grade com os valores de IVDN processados.

Em seguida, foram criadas classes temáticas com base em intervalos de valores de reflectância do IVDN, e aplicação da operação “Fatiamento” para geração das imagens temáticas, onde os intervalos de valores definidos estão associados a uma gradação de cores.

3.2.2.4.1.1 Composição multiespectral ajustada

Refere-se à imagem sintética obtida a partir do posicionamento da banda 3 no canal vermelho (R), da imagem IVDN, no canal verde (G), e da banda 1, no canal azul (B), seguida da equalização dos respectivos histogramas.

Assim, as áreas com altos valores de IVDN que correspondem àquelas mais vegetadas são representadas pela cor verde, enquanto que aquelas menos vegetadas e com presença de solos expostos são representadas pela cor magenta (FLORENZANO, 2011; MELO, 2010).

3.2.2.4.1.2 Interpretação e análise visual

A interpretação visual das imagens IVDN's, para identificação dos tipos de cobertura vegetal na área em estudo, realizou-se com base na observação de elementos ou variáveis como a tonalidade/cor e a textura nas imagens resultantes da composição multiespectral ajustada, validada através da inspeção em campo em pontos selecionados previamente dentro dos limites de nove (09) áreas amostrais.

As áreas amostrais foram delimitadas com dimensão de 10 pixels x 10 pixels, ou seja, 100 pixels ou 90 000m², cada uma, com representação o mais homogênea possível e significativa de diferentes tonalidades/cores e texturas, distribuídas aleatoriamente na área da sub-bacia do rio Espinharas.

A cobertura vegetal foi classificada em Caatinga arbustiva arbórea aberta (Tipo T2); Caatinga arbustiva arbórea fechada (Tipo T3); e, Caatinga arbórea fechada (Tipo T4), considerando-se a classificação adotada em Projeto desenvolvido pela FAO – Programa das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação – em conjunto com o PNUD – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, para uso da Engenharia Florestal (SUDEMA, 2004).

3.2.2.4.2 Avaliação da alteração da cobertura vegetal na área da sub-bacia do rio Espinharas no período 2000-2010: subtração entre as imagens IVDN derivadas das imagens orbitais

A Imagem_diferença (Quadro 07) (Apêndice B) representa o resultado algébrico da subtração entre as imagens IVDN_2010 e IVDN_2000, expressando o aumento ou redução da cobertura vegetal no intervalo de tempo de dez anos, aplicando-se a opção “operações aritméticas” e a operação: $C = \text{Ganho} * (A - B) + \text{offset}$, onde: C = imagem-subtração; A e B = imagens IVDN correspondentes aos anos 2010 e 2000, respectivamente, com valores de ganho e offset 1 e 127, respectivamente, evitando-se, assim, a saturação dos resultados para valores acima de 255.

A subtração da imagem mais antiga da imagem mais recente tem um fundamento prático de orientar que os valores acima do intervalo da média indicam recuperação/incremento da vegetação, enquanto que os valores abaixo da média indicam desmatamento ou redução da cobertura vegetal (CASTANHEIRA, 2010).

QUADRO 07 – Parâmetros estatísticos da Imagem Diferença 2010-2000

MIN.	MÁX.	MÉDIA (μ)	DESVIO PADRÃO (s)	VARIÂNCIA (s^2)
0	254	128,071554	10,160151	103,228659

FONTE – Silva (2011)

A imagem diferença foi classificada, levando-se em consideração os valores da média(μ) de distribuição dos níveis de cinza na imagem e do desvio padrão(s), segundo os limiares $[0, \mu - s]$, $[\mu - s, \mu + s]$ e $[\mu + s, 254]$, correspondendo às classes temáticas desmatamento/redução da cobertura vegetal, não mudança e áreas onde houve regeneração/incremento de vegetação (LOUZADA et al., 2009; COSTA et al., 2011).

Os valores originais da subtração entre os valores do IVDN, referentes aos anos de 2010 e 2000, são obtidos através da equação: $\text{Dif. Original} = \text{Dif. Processada} - \text{Offset} / \text{Ganho}$ (adaptada da equação: $C = \text{Ganho} * (A - B) + \text{offset}$), situando-se entre -127 e 127.

3.2.2.5 Editoração dos mapas temáticos

Os mapas temáticos foram editados no módulo SCARTA, software complementar que acompanha o SPRING. Foram editados os mapas de Hipsometria, de Declividades, IVDN_2000, IVDN_2010, de Alteração da cobertura Vegetal 2000-2010, resultantes do

fatiamento das cotas altimétricas, dos valores percentuais de declividade e dos valores de IVDN, respectivamente, e resultantes da composição multiespectral ajustada, e o mapa de Drenagem da área.

3.2.3 Identificação de áreas de mudança negativa, sob o ponto de vista da alteração da cobertura vegetal e suas prováveis causas

A partir da leitura e interpretação da Imagem diferença gerada pela subtração das imagens IVDN_2000 e IVDN_2010, que permitiu a identificação das áreas onde ocorreu aumento e/ou redução da cobertura vegetal, na área de estudo, no intervalo de tempo considerado, foram definidas nove (09) áreas amostrais, de modo análogo ao que foi descrito no item que trata do processo de interpretação e análise visual das composições multiespectrais ajustadas, reconhecidas na imagem diferença como áreas de mudança negativa, sob a perspectiva da alteração da cobertura vegetal, as quais foram visitadas e fotografadas e que serviram para tirar dúvidas de interpretação e para conhecer a realidade local, proporcionando uma análise qualitativa quanto à preservação dos recursos naturais da sub-bacia hidrográfica em estudo.

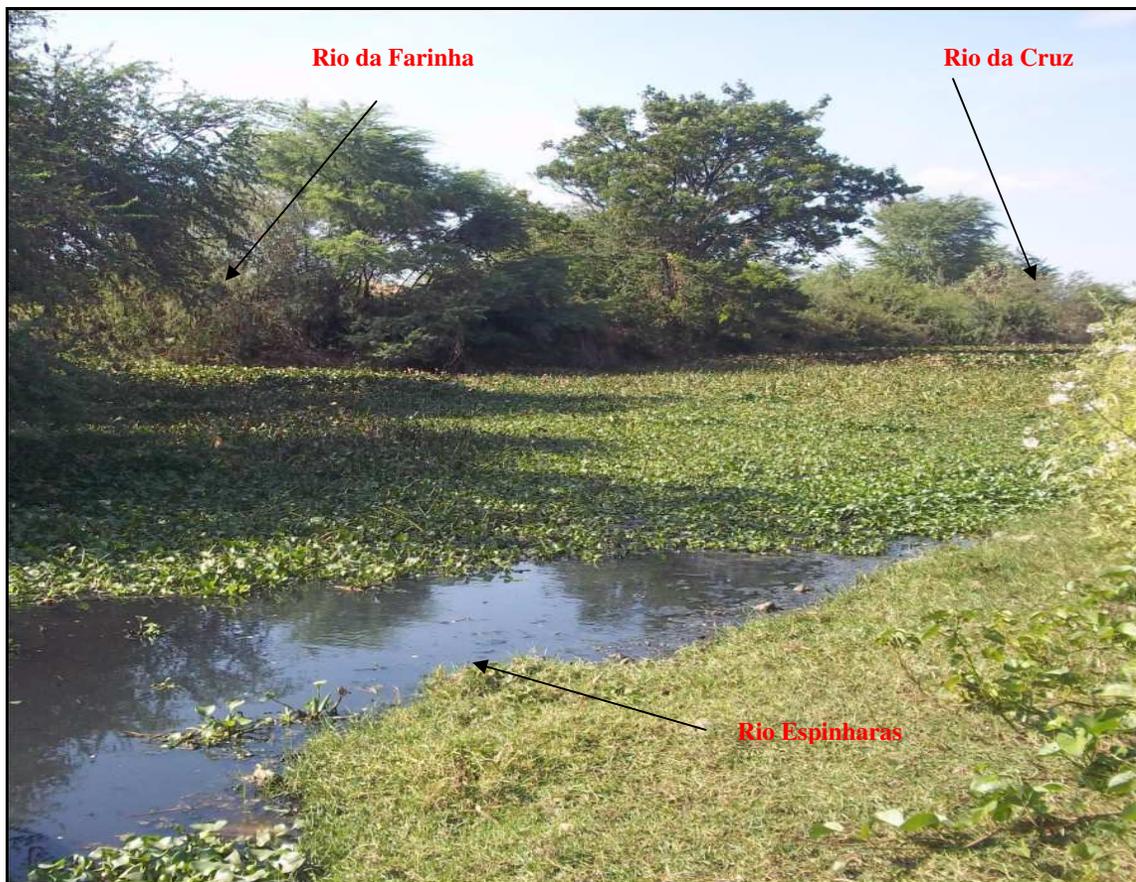
Os pontos amostrais foram visitados e georreferenciados com o auxílio de aparelho GPS map 60CSX, ao longo dos meses de outubro e novembro de 2011, período da cobertura das imagens utilizadas nos anos 2000 e 2010 e um ano após o período considerado no estudo, o que exigiu a coleta de informações adicionais, para que não se produzissem grandes discrepâncias durante a validação e análise dos dados e informações a respeito do estado da cobertura vegetal.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização hidrogeográfica da sub-bacia do rio Espinharas

O rio Espinharas é formado a partir da confluência do rio da Cruz, que nasce no município paraibano de Imaculada e segue no sentido sudoeste-nordeste em direção ao município de Patos – PB e, do rio da Farinha, que nasce no município de Salgadinho – PB. O rio da Farinha percorre em torno de 70 Km, até se encontrar com o rio da Cruz, para formar o rio Espinharas (Figura 08), na área urbana do município de Patos – PB. Após percorrer cerca de 45 Km no Estado da Paraíba, o rio Espinharas penetra no Estado do Rio Grande do Norte. Na divisa desses dois estados, o rio Espinharas deságua no rio Piranhas (Figura 09), ainda no município de Serra Negra do Norte – RN, próximo à divisa deste município com o também município potiguar de Jardim de Piranhas e o município paraibano de São Bento.

FIGURA 08 – Confluência do rio da Cruz com o rio da Farinha, no município de Patos – PB (08/12/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 09 – Confluência do rio Espinharas com o rio Piranhas, no município de Serra Negra do Norte – RN (05/11/2011)



FONTE – Silva (2011)

A área de drenagem da sub-bacia do rio Espinharas estende-se, completa ou parcialmente, por vinte e um (21) municípios, sendo vinte (20) no estado da Paraíba e um (01) no estado do Rio Grande do Norte.

Inserir-se nas mesorregiões do Sertão Paraibano e Borborema, abrangendo parte das microrregiões de Patos, Serra do Teixeira, Seridó Ocidental, Cariri Ocidental e Sousa, na Paraíba (AESAs, 2010a), e, no Rio Grande do Norte, ocupa parte da mesorregião Central Potiguar e microrregião do Seridó Ocidental (IBGE, 2010) (Quadro 08) (Figura 10).

QUADRO 08 – Sub-bacia do rio Espinharas: Municípios

MUNICÍPIO/ UF	ÁREA (Km ²)	POPULAÇÃO	MESORREGIÃO	MICRORREGIÃO
Areia de Baraúnas* – PB	93,34	4.222	Sertão Paraibano	Patos
Assunção – PB	126,43	3.522	Borborema	Cariri Ocidental
Cacimba de Areia* – PB	233,04	3.557	Sertão Paraibano	Patos
Cacimbas – PB	142,93	6.814	Sertão Paraibano	Serra do Teixeira
Imaculada** – PB	399,41	11.352	Sertão Paraibano	Serra do Teixeira
Mãe D'Água* – PB	177,25	4.019	Sertão Paraibano	Patos
Malta – PB	156,24	5.612	Sertão Paraibano	Sousa
Maturéia* – PB	83,71	5.939	Sertão Paraibano	Serra do Teixeira
Passagem* – PB	11,8	2.233	Sertão Paraibano	Patos
Patos* – PB	512,79	100.695	Sertão Paraibano	Patos
Paulista – PB	576,88	11.783	Sertão Paraibano	Sousa
Quixaba* – PB	116,95	1.699	Sertão Paraibano	Patos
Salgadinho* – PB	184,24	3.508	Borborema	Seridó Ocidental
Santa Luzia – PB	455,70	14.729	Borborema	Seridó Ocidental
Santa Terezinha** – PB	357,94	4.581	Sertão Paraibano	Patos
São José de Espinharas* – PB	725,65	4.760	Sertão Paraibano	Patos
São José do Bonfim* – PB	152,13	3.233	Sertão Paraibano	Patos
Taperoá – PB	639,96	5.612	Borborema	Cariri Ocidental
Teixeira* – PB	114,44	14.153	Sertão Paraibano	Serra do Teixeira
Vista Serrana – PB	61,36	3.508	Sertão Paraibano	Sousa
Serra Negra do Norte* – RN	562	7.770	Central Potiguar	Seridó Ocidental

FONTE – AESA (2010a); IBGE (Censo 2010).

* Municípios (12) com área territorial totalmente inserida na área de drenagem da sub-bacia do rio Espinharas.

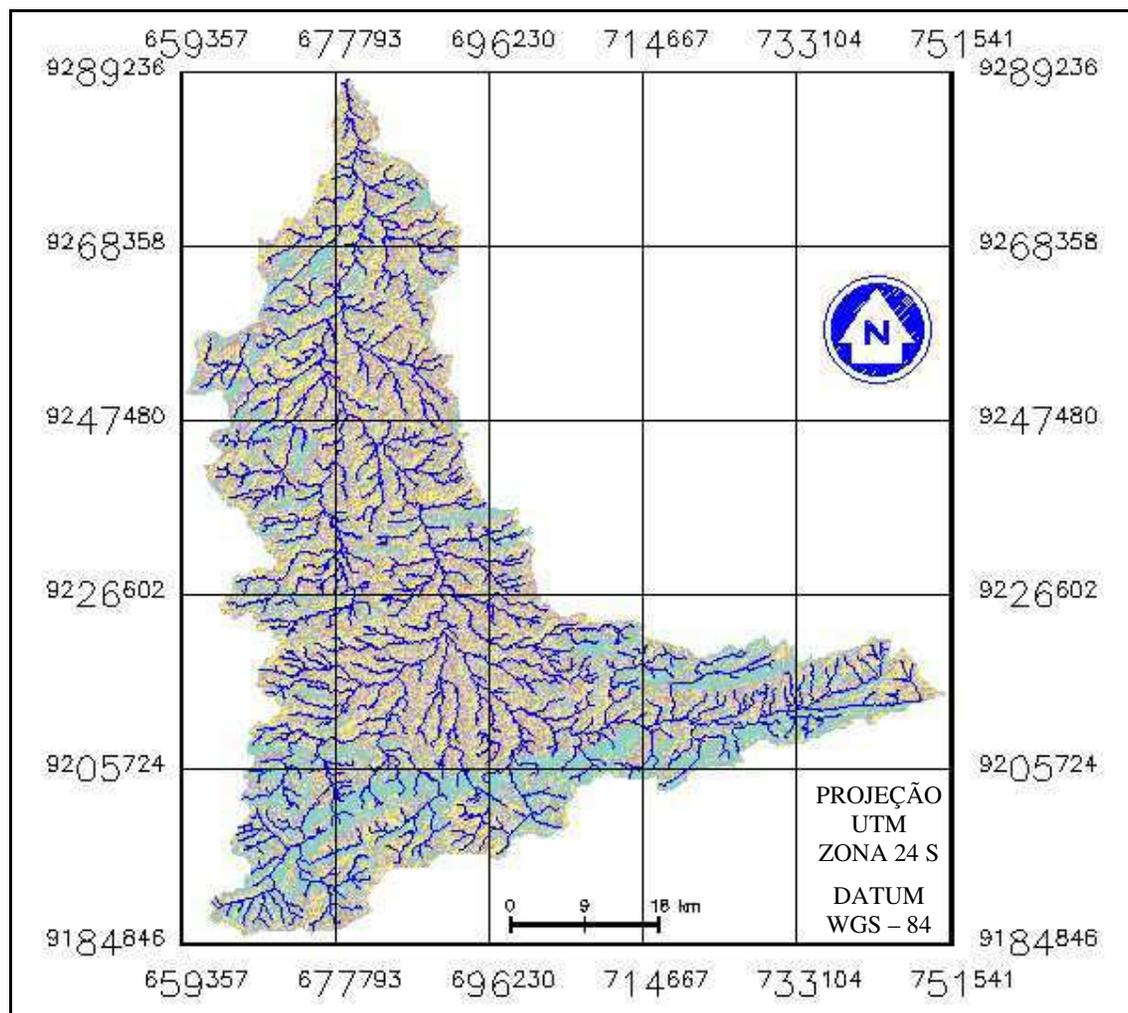
** Municípios (02) com parcela significativa do seu território na área de drenagem da sub-bacia do rio Espinharas.

Os demais (07) possuem uma pequena parcela do seu território inserida na área de drenagem da sub-bacia em estudo e fazem parte de outras sub-bacias.

A sub-bacia do rio Espinharas é de fundamental importância do ponto de vista do abastecimento humano, nos municípios de sua área de abrangência, destacando-se o município de Patos, no estado da Paraíba, como o mais representativo, em termos populacionais e econômicos (GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2006).

Todos os seus cursos d'água têm regime de escoamento intermitente e o padrão de drenagem é o dendrítico (CPRM, 2005).

FIGURA 10 – Sub-bacia do rio Espinharas: Rede de drenagem



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA
GRANDE
CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**SUB-BACIA DO RIO ESPINHARAS
REDE DE DRENAGEM**



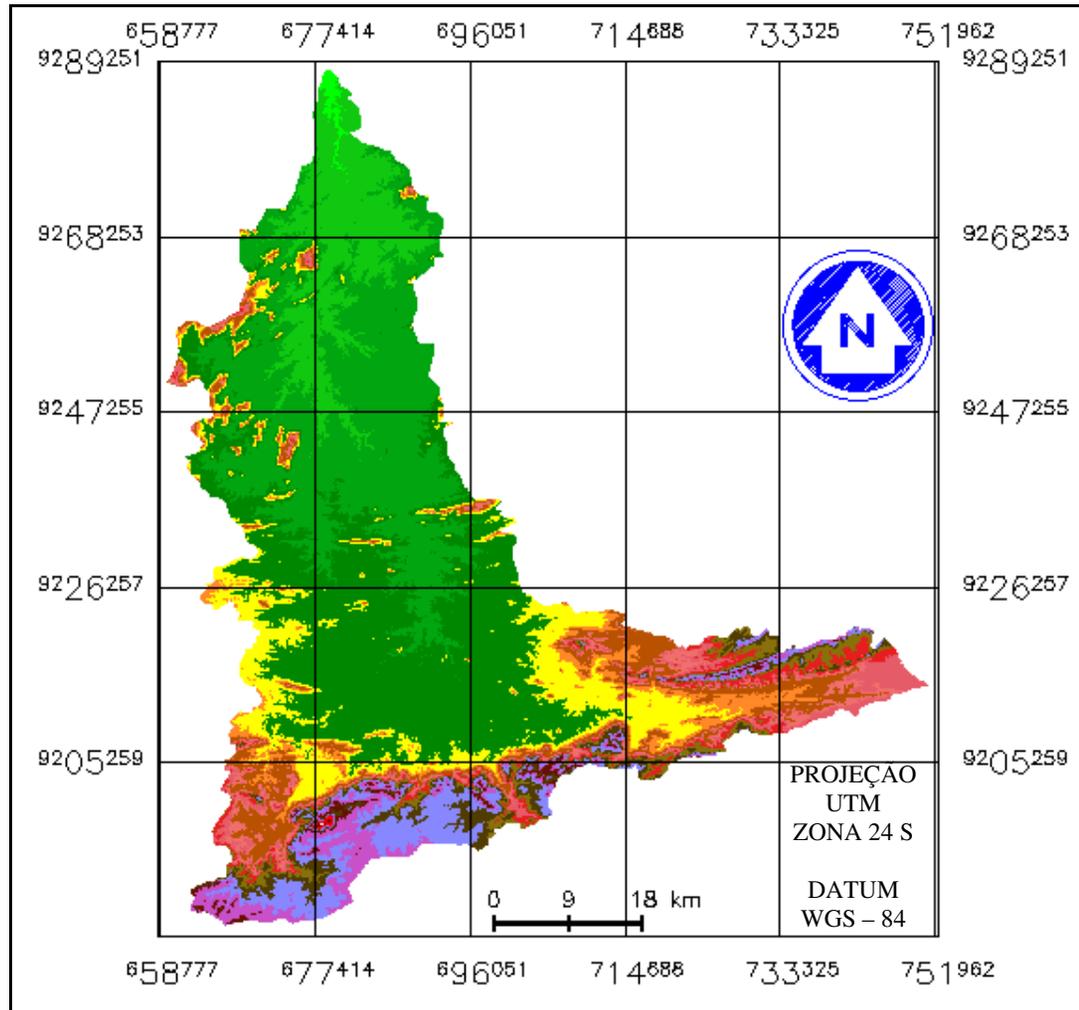
FONTE – Silva (2011)

4.1.1 Características fisiográficas

A sub-bacia do rio Espinharas está inserida na Depressão Sertaneja Setentrional, onde se encontra uma das paisagens mais típicas do semiárido nordestino: uma extensa planície pediplanada, com altitudes em torno dos 250m, com elevações residuais, os inselbergues, disseminadas na paisagem e onde ocorrem também elevações com altitudes em torno de 700m (VELLOSO; SAMPAIO; PAREYN, 2002; SUDEMA, 2004).

A análise dos parâmetros estatísticos da imagem SRTM com o recorte da sub-bacia do rio Espinharas (Apêndice C) mostra que as altitudes variam de 127m a 1.186m de altitude (Figura 11), e a média de altitude na área é de 366,94m, com predominância do relevo plano (17,6%) e suave ondulado (40%), segundo a classificação apresentada por Ramalho Filho e Beek (1995), de acordo com as classes de declividades: 0 a 2% – Plano; 2% a 5% – Suave ondulado; 5% a 10% – Moderadamente ondulado; 10% a 20% – Ondulado; 20% a 40% – Forte ondulado; e, > 40% – Montanhoso e escarpado (Figura 12).

FIGURA 11 – Sub-bacia do rio Espinharas: Hipsometria



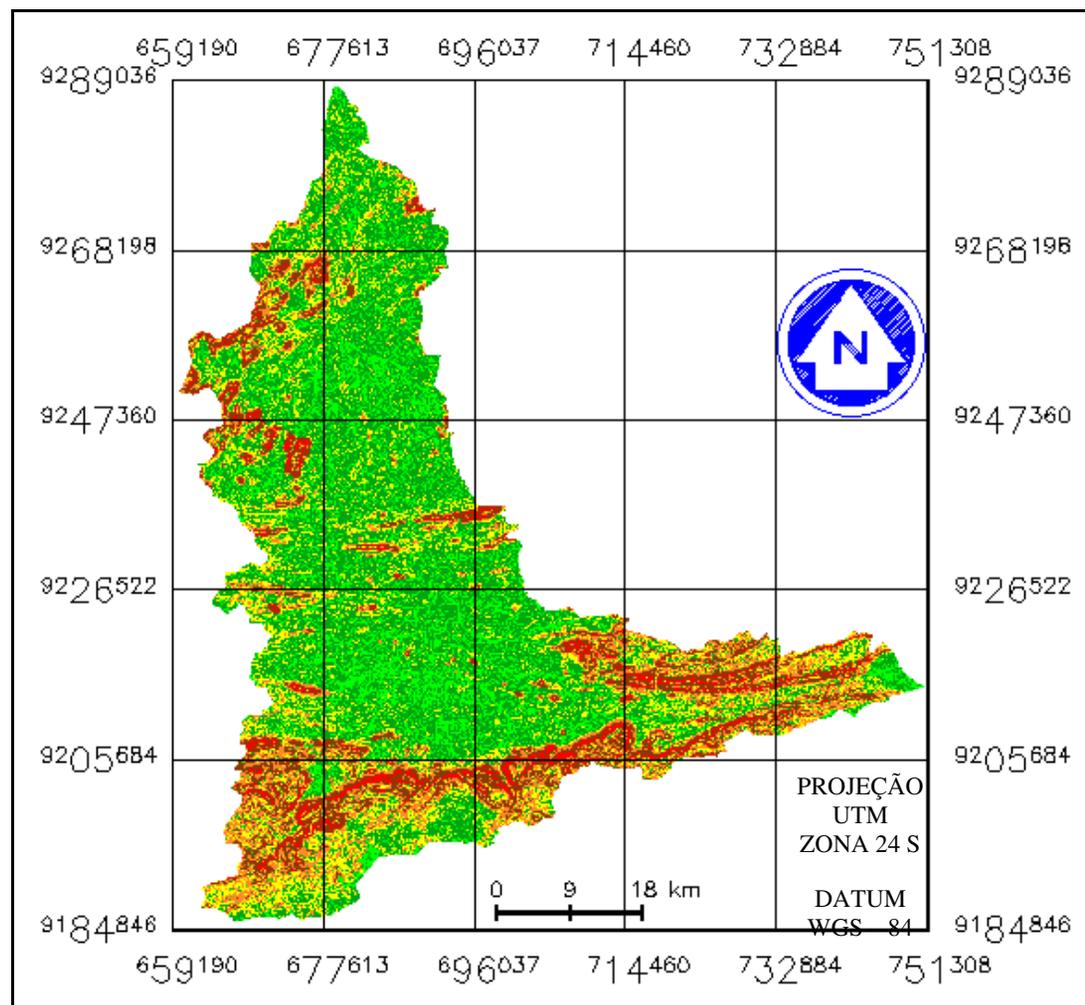
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA
GRANDE**
CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIAS FLORESTAIS**

SUB-BACIA DO RIO ESPINHARAS: HIPSOMETRIA



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 12 – Sub-bacia do rio Espinharas: Classes de declividades

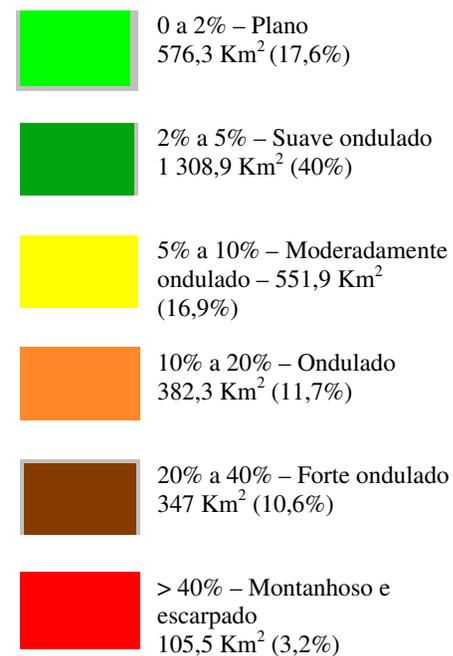


FONTE – Silva (2011)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
FLORESTAIS

**SUB-BACIA DO RIO ESPINHARAS
DECLIVIDADES – RELEVO**



4.1.2 Características climáticas

De acordo com a classificação de Köppen, ocorrem, na área da sub-bacia hidrográfica estudada, os climas classificados como Bsh e Aw'.

O tipo Bsh estende-se pela porção sudeste da sub-bacia, caracteriza-se como um clima quente e seco, com chuvas de verão, média pluviométrica anual em torno dos 500mm, e temperatura média anual de 26°C e, o tipo Aw', estende-se pela porção centro ocidental da sub-bacia, apresentando-se como um clima quente e semiúmido com chuvas de verão-outono, média pluviométrica anual em torno de 800mm, e temperatura média anual de 27°C, sendo que este último domina todo o pediplano sertanejo (AESAs, 2010c; CARVALHO; TRAVASSOS; MACIEL, 2000; GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2006).

A taxa de evapotranspiração fica entre 2000mm a 2500mm anuais e, a umidade relativa do ar variando de 55% a 75% (AESAs, 2010c; CARVALHO; TRAVASSOS; MACIEL, 2000; GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2006).

O índice de aridez da área pela qual se estende a sub-bacia estudada fica entre 0,20 e 0,50 (GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2011).

Segundo a AESA (2010b e 2010c), a área da sub-bacia do rio Espinharas tem seu período chuvoso compreendido entre os meses de fevereiro a maio, com precipitações médias variando entre 400 e 800mm anuais, representativas da atuação dos sistemas da Zona de Convergência Intertropical e os Vórtices Ciclônicos em Ar Superior responsáveis por aproximadamente 80% do total precipitado.

As chuvas de pré-estação ocorrem durante o mês de janeiro, em forma de pancadas, relevantes para a recuperação hídrica dos corpos d'água. As chuvas com melhor distribuição temporal e espacial ocorrem de fevereiro a maio, e, a partir do mês de setembro, os últimos meses do ano configuram-se no período típico de estiagem (Tabelas 01 e 02) (Figura 13).

Normalmente, as chuvas sobre a área apresentam-se com melhor distribuição temporal e espacial a partir do mês de fevereiro, quando a Zona de Convergência Intertropical, principal sistema meteorológico gerador de chuvas sobre a área, passa a atuar com maior intensidade e frequência (AESAs, 2010c).

TABELA 01 – Climatologia média na área da sub-bacia do rio Espinharas

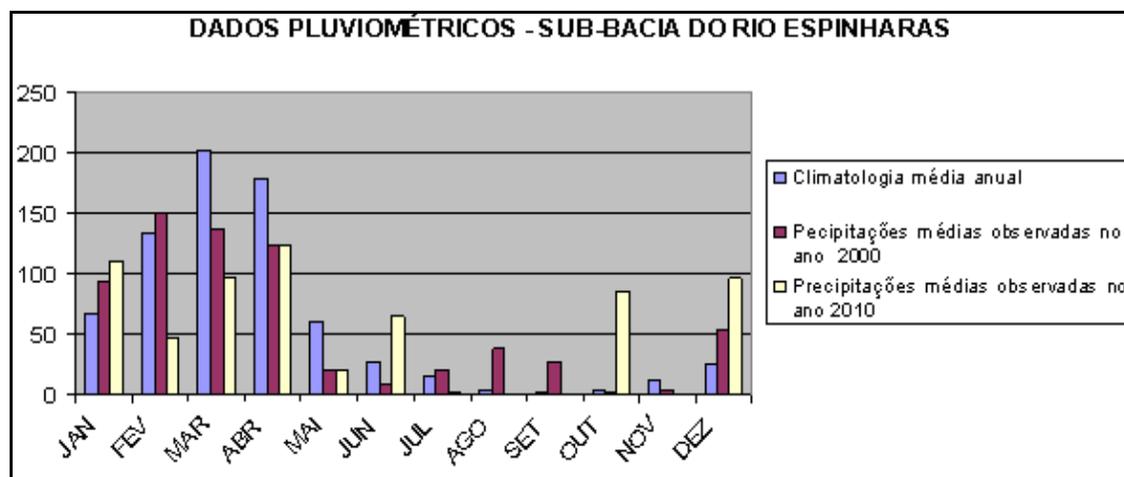
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
66,3	134,1	201,4	177,9	60,4	27,0	14,6	3,4	1,9	4,2	11,2	23,7	726,1

FONTE – Becker (2011)

TABELA 02 – Precipitação média observada na área da sub-bacia do rio Espinharas

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
2000	93,4	149,9	137,0	123,8	20,1	8,0	20,6	37,4	26,9	2,6	3,8	53,9	677,4
2010	110,1	47,1	97,5	122,5	19,0	63,9	0,8	0,0	0,0	85,4	0,0	96,3	642,6

FONTE – Becker (2011)

FIGURA 13 – Climatologia média e precipitações médias mensais observadas na área da sub-bacia do rio Espinharas nos anos 2000 e 2010

FONTE – Becker (2011)

4.1.3 Características geológicas e pedológicas

A geologia na região semiárida nordestina mostra que, proporcionalmente, há predomínio de rochas cristalinas, na sequência, áreas sedimentares e, em menor proporção, áreas em que o embasamento cristalino conta com uma cobertura pouco espessa de sedimentos arenosos ou areno-argilosos (MELO FILHO; SOUZA, 2006). Isso combinado com outros elementos, dentre eles, a maior ou menor aridez do clima, possibilita a ocorrência de diversas classes de solo nessa região, jovens, em sua grande maioria, e solos evoluídos e profundos, em algumas áreas (Figura 14).

Portanto, no geral, os solos na área da sub-bacia do rio Espinharas são pouco profundos, pedregosos, de origem cristalina e muito suscetíveis à erosão (Figura 15), com predominância dos solos: a) Brunos não-cálcicos e Litólicos eutróficos – Classes 3) Luvisolos, Argissolos, Alissolos e Nitossolos, e 8) Neossolos, respectivamente; b) Podzólicos vermelho amarelo eutrófico – Classe 3; c) Litólicos distróficos, Regossolos e solos aluviais – Classe 8; e d) Latossolos – Classes 1) Latossolo amarelo e vermelho amarelo e 2) Latossolo vermelho escuro (AESAs, 2010a), conforme classificação

apresentada por Melo Filho e Souza (2006)²⁰ e a atualização da nomenclatura dos solos, segundo a EMBRAPA (1999), citada por Moreira (2005).

Os Latossolos amarelo e vermelho amarelo – Classe 1 – são muito evoluídos, de colorações normalmente amarelas e amarelo-avermelhadas, profundos, bem drenados, porosos, friáveis, com horizonte superficial pouco espesso e com baixos teores em matéria orgânica, geralmente possuem textura média e menos frequentemente argilosa (MELO FILHO; SOUZA, 2006).

Os Latossolos vermelho escuro – Classe 2 – são mais escuros que os anteriores, bem drenados, profundos, muito porosos, de textura argilosa ou média, muito aproveitados para o cultivo do milho e feijão (MELO FILHO; SOUZA, 2006).

Os Luvisolos, argissolos, alissolos e nitossolos – Classe 3 – são solos medianamente profundos a profundos, fortemente a moderadamente drenados (MELO FILHO; SOUZA, 2006).

Os Neossolos – Classe 8 – são constituídos por material mineral ou material orgânico pouco desenvolvidos, as características morfológicas e físicas variam muito, principalmente em função da natureza dos sedimentos originários (MELO FILHO; SOUZA, 2006).

FIGURA 14 – Solos profundos na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Areia de Baraúnas – PB (06/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

²⁰ Melo Filho & Souza (2006) apresentam oito classes de solos encontradas na região semiárida do nordeste, citando Jacomine (1996): 1) Latossolo amarelo e vermelho amarelo; 2) Latossolo vermelho escuro; 3) Luvisolos, argissolos, alissolos e nitossolos; 4) Chernossolos; 5) Planossolos; 6) Cambissolos; 7) Vertissolos; 8) Neossolos.

FIGURA 15: Solos rasos na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

A inter-relação entre a velocidade da água, a cobertura do solo e sua erodibilidade deve ser considerada, tendo em vista que, mesmo considerando que erosão depende de vários fatores, tais como textura, grau de estruturação e topografia da área, o impacto das gotas de chuva desagrega-o, transporta-o e deposita-o nos leitos dos rios, lagos e açudes, assoreando-os (Figura 16). Assim, a cobertura vegetal do solo é um fator de retardamento do processo de assoreamento dos rios, lagos e açudes.

FIGURA 16 – Vertentes com solo exposto, em área próxima à Serra do Teixeira, no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 17 – Vertentes com solo exposto, em área próxima à Serra do Teixeira, no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

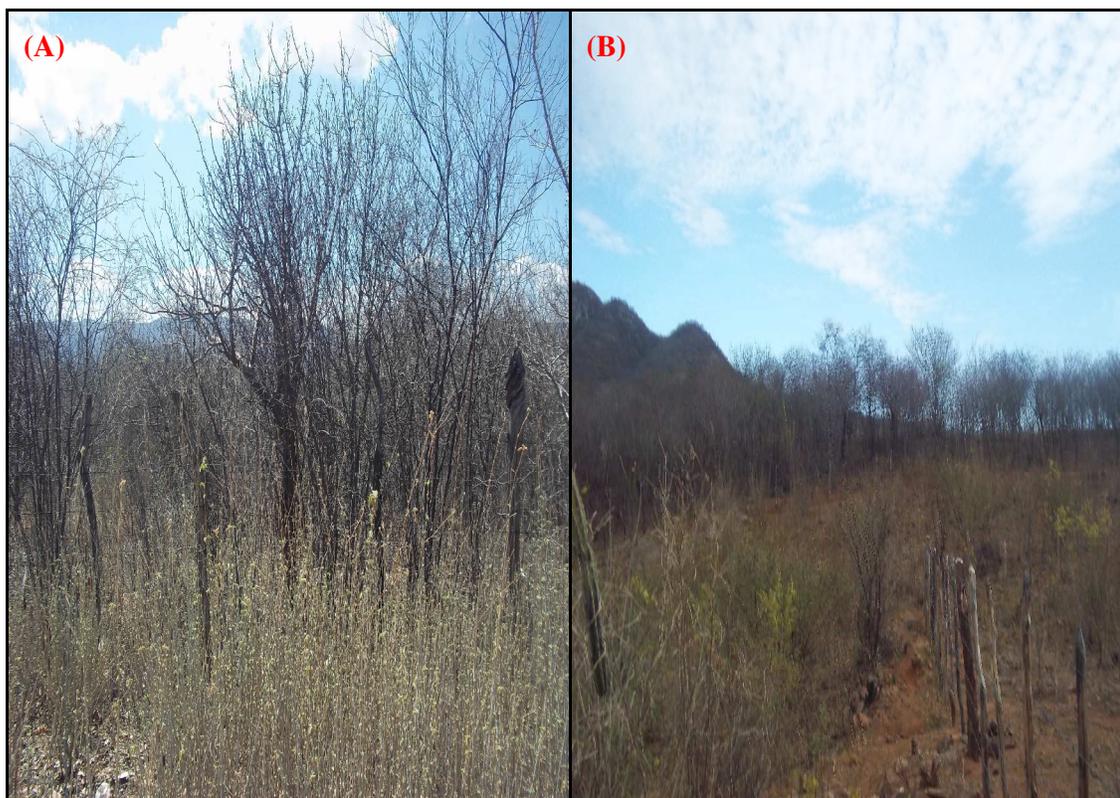
Com base nestas considerações, é possível afirmar que o processo de erosão dos solos, na região semiárida, vem comprometendo seus recursos hídricos superficiais (GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2006).

4.1.4 Características da vegetação

Constituída de espécies lenhosas e herbáceas, de pequeno porte, dotadas de espinhos e geralmente, caducifólias, perdendo suas folhas no início da estação seca, cactáceas e bromeliáceas.

Na maior parte da área estudada, predomina a caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) (AESA, 2010a), caracterizada por uma vegetação rala com alguns indivíduos arbóreos com altura média de 3m, com presença de vegetação herbácea e cactácea (SUDEMA, 2004) (Figuras 17 e 18), encontrando-se com alto grau de antropismo nas áreas de relevo mais plano (Figura 19).

FIGURA 17 – Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Cacimba de Areia – PB (23/10/2011) (A) e no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011) (B).



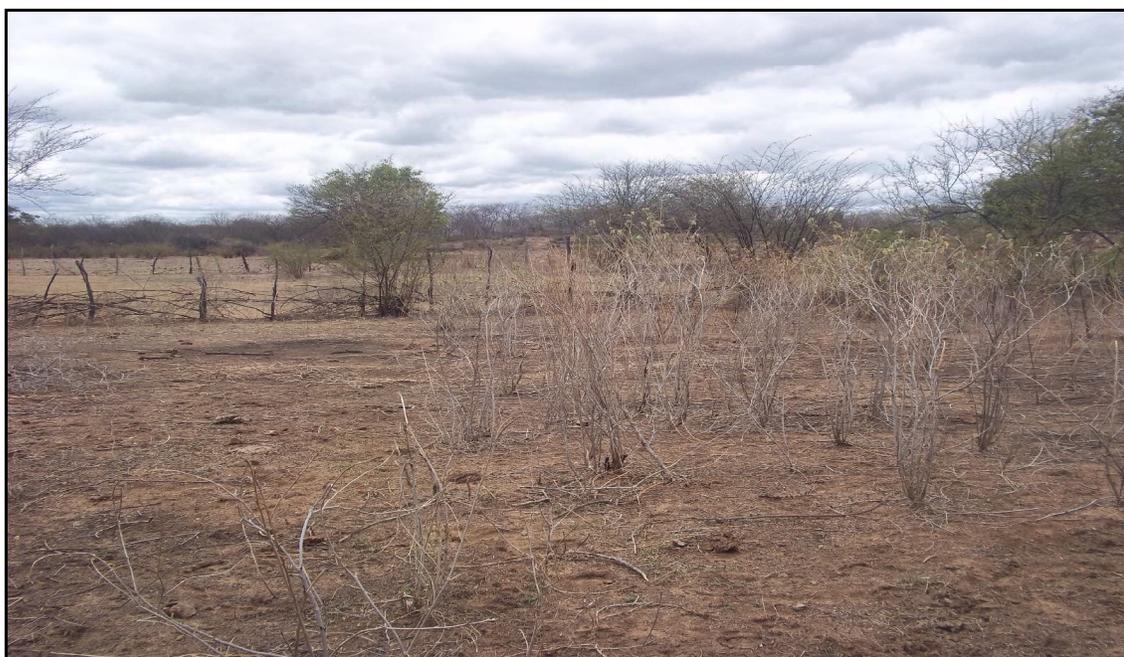
FONTE – Silva (2011)

FIGURA 18 – Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de São José de Espinharas – PB (24/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 19 – Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) com alto grau de antropismo na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Serra Negra do Norte – RN (05/11/2011).



FONTE – Silva (2011)

Em áreas, classificadas como de ocorrência de caatinga arbustiva arbórea aberta (T2), constatou-se a predominância da *Herissantia crispa* (L.) Briz. (malva-branca) e da *Pavonia cancellata* (L.) Cav. (malva-rasteira), compondo o estrato herbáceo; cactáceas, como *Pilosocereus pentaedrophorus* (facheiro), *Cereus giganteus* Engelm (mandacaru), *Pilosocereus gounellei* (xique-xique); e bromeliáceas, como a *Bromelia laciniosa* Mart ex Schultze F. (macambira), *Bromelia karatas* (banana-de-raposa).

Arbustos e árvores ocorrem com mais frequência em áreas classificadas como de caatinga arbustiva arbórea fechada (T3) (Figura 20), encontrada nas encostas dos morros e montanhas (AESAs, 2010a) em que se registra a presença de uma vegetação densa, com pouca vegetação herbácea e cactáceas, e um maior número de indivíduos arbóreos: *Aspidosperma pyriforme* Mart (pereiro), *Myracrodruon urundeuva* (aroeira), *Bauhinia forficata* Linn (mororó), *Tabebuia impertiginosa* (pau d'arco), *Combretum leprosum* Mart (mufumbo), *Cnidoscolus phyllacanthus* (favela), *Jatropha pohliana* Muell Arg. (pinhão bravo), *Croton sonderianus* Muell. Arg. (marmeleiro), *Caesalpinia ferrea* Mart (jucá), *Caesalpinia pyramidales* Tull²¹ (catingueira), *Piptadenia stipulacea* (Benth) (jurema branca), *Mimosa tenuiflora* (Willd) (jurema preta), *Anadenanthera columbrina* (Vell) (angico), já citadas por Souza et al.(2007), em estudo desenvolvido na área.

Outras espécies foram identificadas, nessas áreas de caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) e de caatinga arbustiva arbórea fechada (T3), durante a inspeção de campo realizada neste trabalho: *Vitex gardneriana* (jaramataia), *Cordia goeldiana* Huber (frejó), *Hymenaea courbaril* L. (jatobá), *Caesalpinia ferrea* (pau-ferro), *Amburana cearensis* (Fr. All.) A. Smith (cumaru), *Ziziphus joazeiro* Mart (juazeiro), *Licania Rígida* (oiticica), *Enterolobium contortisiliquum* (tambor), *Spondias tuberosa* Arruda (umbuzeiro), *Spondias Lútea* (cajarana), *Anacardium occidentale* (cajueiro), *Erythrina mulungu* Mart. ex Benth (mulungú), e, ainda, a *Prosopis Juliflora* (algaroba)²².

A caatinga arbórea fechada (T4) ocorre nas encostas e topos das montanhas em áreas de difícil acesso (Figura 21), constituindo algumas poucas manchas (AESAs, 2010a).

²¹ Desde 2009, passou a ter o nome válido de *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz, comb. nov. var. *pyramidalis* (QUEIROZ, 2009), a partir da publicação de trabalho com revisão de todas as espécies de leguminosas da caatinga realizada por Luciano Paganucci de Queiroz.

²² Espécie introduzida no semi-árido nordestino no início da década de 1940, apresentada e difundida como uma promissora alternativa econômica, haja vista sua adaptação em diversas regiões semi-áridas do mundo e por ser ela, uma espécie de uso múltiplo, produtora de lenha, madeira, forragem e outros produtos. A espécie foi sendo disseminada e se estabeleceu em grandes extensões de terras em praticamente todos os estados do Nordeste. A falta de manejo adequado, a adaptação regional da espécie, a facilidade de dispersão promovida pelos rebanhos, dentre outros fatores, transformaram a espécie em invasora causando impactos sobre a composição e a estrutura do componente arbustivo-arbóreo da caatinga (PEGADO et al., 2006).

FIGURA 20 – Caatinga arbustiva arbórea fechada (T3) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 21 – Caatinga arbórea fechada (T4) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Maturéia – PB (06/11/2011)



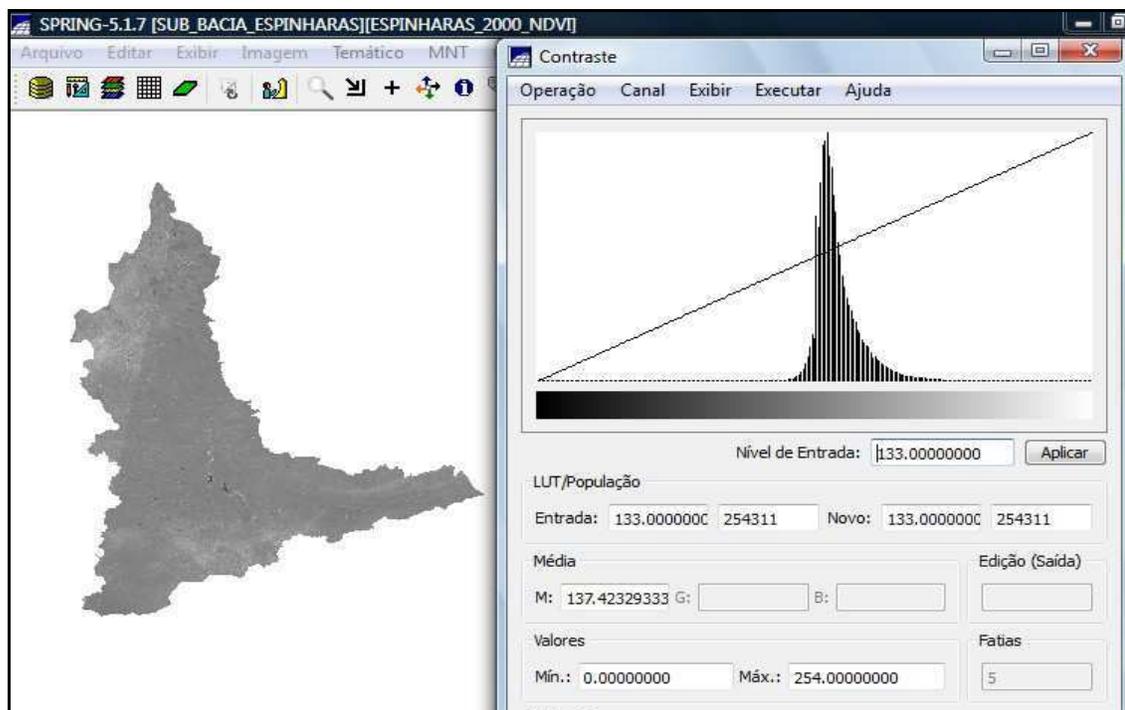
FONTE – Silva (2011)

4.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – IVDN na área da sub-bacia do rio Espinharas nos anos 2000 e 2010

Como resultado da aplicação da operação razão entre bandas para as imagens selecionadas para os anos 2000 e 2010, foram obtidas imagens IVDNs para os respectivos anos, em níveis de cinza, apresentadas nas Figuras 22 e 23, com seus respectivos histogramas.

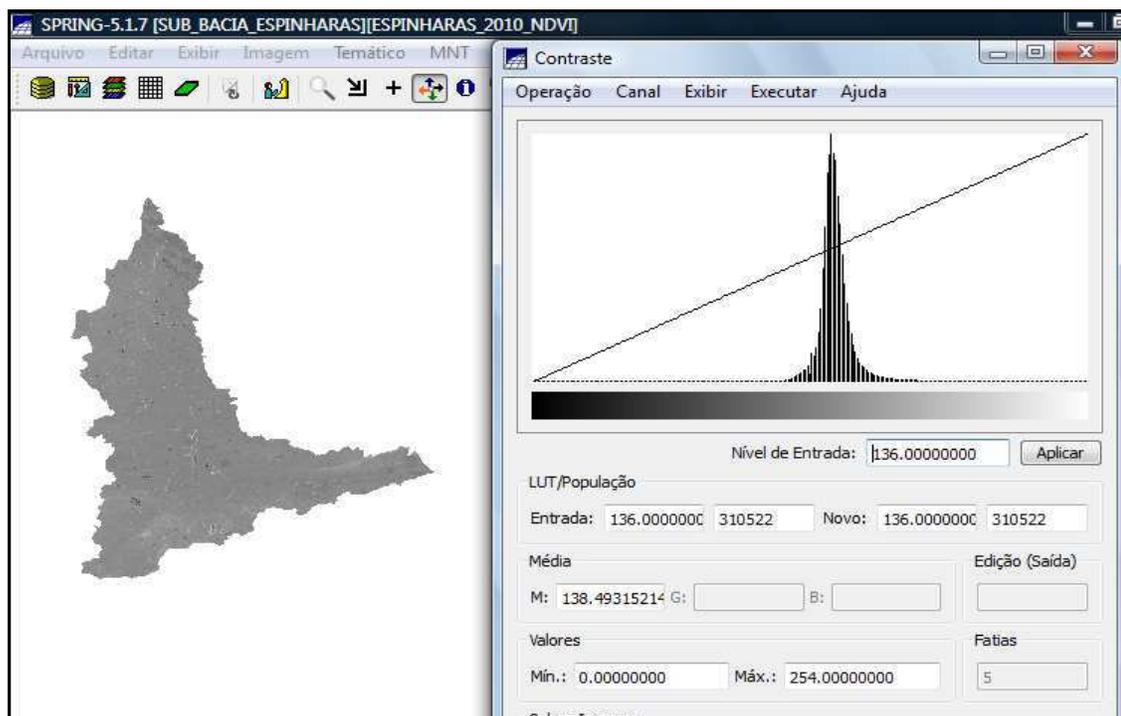
Sabendo-se que os tons mais claros de cinza estão relacionados aos maiores valores e os tons mais escuros aos valores mais baixos, a análise dos histogramas das imagens resultantes, que mostra a distribuição dos níveis de cinza nas imagens, revela que há predominância dos valores médios dos tons de cinza nas duas imagens, que os valores estão distribuídos de forma concentrada em torno da média – 137,4 e 138,4 nas imagens IVDN 2000 e 2010, respectivamente –, e que, comparando-se os dois histogramas, verifica-se uma sutil diminuição da frequência dos níveis de cinza mais baixos – pixel mais escuros – na imagem de 2000 para 2010, embora, na imagem de 2010, registrem-se valores mais baixos. Quanto aos valores mais altos dos níveis de cinza, registra-se uma queda na frequência desses valores – pixels mais claros – na imagem de 2000 para 2010, bem como registra-se uma diminuição nos valores dos níveis de cinza (Apêndice B).

FIGURA 22 – Imagem IVDN_2000 com respectivo histograma



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 23 – Imagem IVDN_2010 com respectivo histograma



FONTE – Silva (2011)

Portanto, há uma redução do IVDN do ano 2000 para o ano 2010, embora registre-se um crescimento da média de 2000 para 2010 e da amplitude dos valores mínimos e máximos dos níveis de cinza – 37 e 251, na imagem 2000, e 5 e 225, na imagem 2010 –, entre as duas imagens – 214 e 220, respectivamente (Apêndice B).

Nos mapas das figuras 24 e 25, está representada a distribuição dos valores de IVDN, considerando-se que os valores menores que 0 correspondem aos corpos d'água e nuvens; valores distribuídos entre 0 e 1 expressam uma gradação de áreas de solo exposto e/ou de forte antropismo até áreas vegetadas, de menos densa a mais densa cobertura vegetal, com predomínio de valores entre 0 e 0,1, cerca de 65% da área da sub-bacia.

Na imagem IVDN_2000 (Figura 24), os valores do IVDN processado registrados estão entre 37 e 251, que correspondem, respectivamente, aos valores do IVDN original, -0,71 e 0,97.

Por outro lado, na imagem IVDN_2010 (Figura 25), os valores obtidos para o IVDN processado registrados estão no intervalo 5 e 225, que correspondem, respectivamente, aos valores do IVDN original, -0,97 e 0,76.

Analisando os resultados, pode-se observar que as respostas obtidas pelo índice de vegetação referente aos dois anos considerados se diferenciam, indicando redução no IVDN

do ano de 2000 para o ano de 2010, fato já observado na análise dos histogramas.

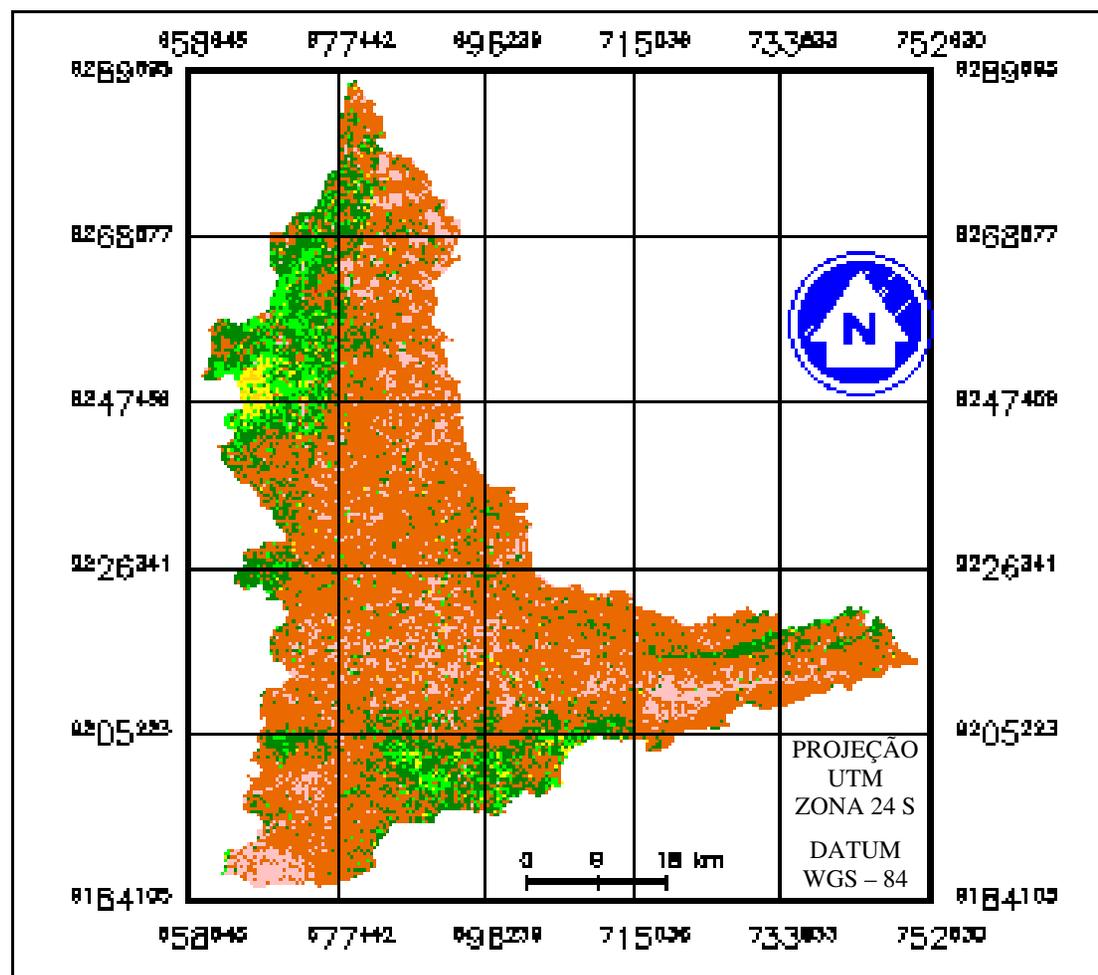
É possível que esses resultados tenham sido influenciados pelas precipitações médias observadas na sub-bacia do rio Espinharas, que, em 2000, foi 677,4mm e, em 2010, 642,6mm, portanto diminuiu de 2000 para 2010, considerando que o bioma caatinga é fortemente susceptível à presença ou ausência de chuvas.

No ano 2000, durante os meses de julho, agosto e setembro, período que imediatamente antecede a data das imagens, as precipitações médias observadas foram: 20,6mm; 37,4mm e 26,9mm, respectivamente, mais elevadas do que as médias registradas em 2010, que foram de 0,8mm, 0,0mm e 0,0mm, sendo inclusive, superiores às respectivas médias climatológicas mensais para a área.

Este comportamento hidrológico justifica a alta reflectância na banda 4, provavelmente ocasionada pelo incremento da massa foliar como resultado dessas precipitações registradas, observada nas porções noroeste, oeste, sul e sudeste da área de estudo, na imagem referente ao ano 2000.

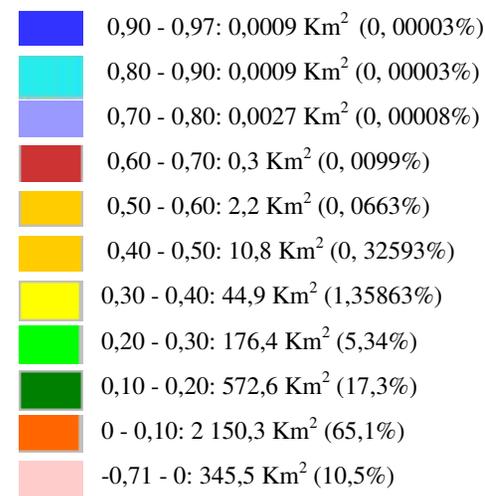
Esse e outros aspectos, como o incremento da pecuária extensiva de bovinos, caprinos e ovinos, serão discutidos quando da abordagem sobre as prováveis causas da redução da cobertura vegetal na área da sub-bacia do rio Espinharas.

FIGURA 24 – Sub-bacia do Rio Espinharas: IVDN_2000 – Imagem classificada



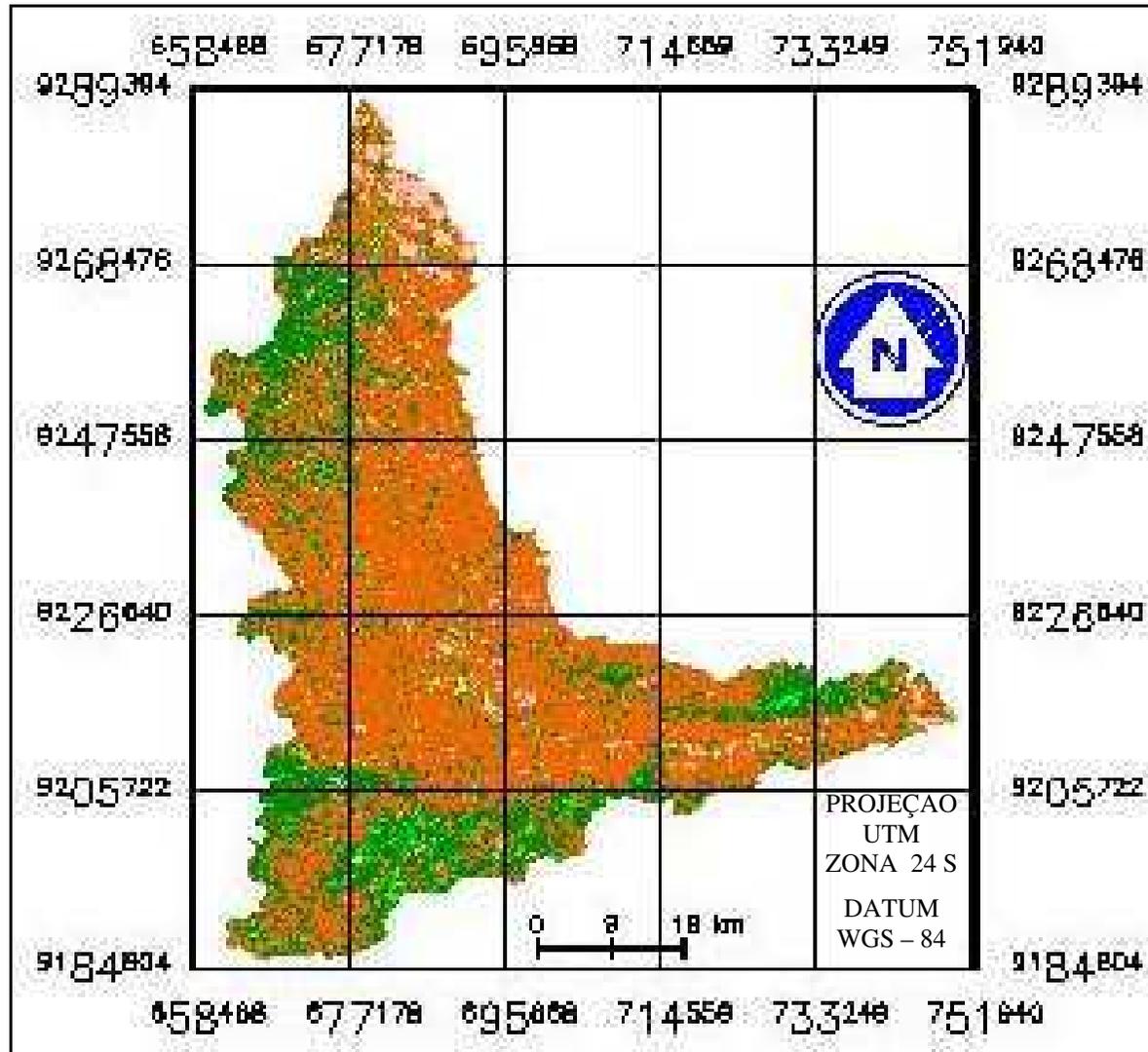
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA
GRANDE
CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIAS FLORESTAIS

SUB-BACIA DO RIO ESPINHARAS: IVDN_2000



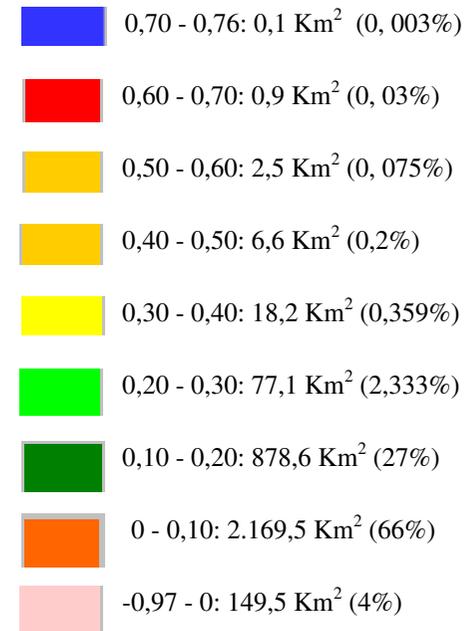
FONTE – Silva (2011)

FIGURA 25 – Sub-bacia do Rio Espinharas: IVDN_2010 – Imagem classificada



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
FLORESTAIS

SUB-BACIA DO RIO ESPINHARAS
IVDN_2010



FONTE – Silva (2011)

4.2.1 Composição multiespectral ajustada

As Figuras 26 e 27 correspondem às imagens multiespectrais ajustadas, geradas a partir das bandas 1, no canal azul, 3, no canal vermelho e a imagem IVDN, no canal verde, devidamente equalizadas, dos anos 2000 e 2010.

Considerando-se as variáveis tonalidade/cor e textura, a cobertura vegetal da área foi classificada a partir da análise visual dessas variáveis, relacionando-se sua apresentação às classes, conforme os tipos definidos pela FAO/PNUD (SUDEMA, 2004): caatinga arbustiva arbórea aberta (T2), caatinga arbustiva arbórea fechada (T3), caatinga arbórea fechada (T4); áreas com cultivo de pastagens e/ou hortaliças, além das classes: solo exposto/áreas sob forte antropismo, água e nuvens.

Nas imagens multiespectrais ajustadas analisadas, observa-se que os valores de IVDN negativo, isto é, menores do que zero (0), de modo geral, indicam a presença de água e sombras de nuvens, estão associados a pixels na cor azul escuro, com tendência para o preto, bem como a presença de nuvens, pixels na cor rosa claro, com tendência ao branco.

Os pixels com valores entre 0 e 0,1, associados aos tons de magenta, representam áreas sem vegetação com solo exposto ou sob forte antropismo; os pixels com valores entre 0 e 0,1 de tonalidade verde escuro, associada com tons de magenta, representam áreas de vegetação muito esparsa – caatinga arbustiva arbórea aberta (T2).

Tons de amarelo, sobre pixels com valores próximos a 0,1 e 0,25, em áreas com cobertura vegetal margeando leito dos rios e riachos, açudes e barragens, estão associados às pastagens cultivadas – *Brachiaria brizantha* (A. Rich.) Stapf vr. Marandu (capim braquiária) – que à medida que as águas recuam ou secam vão perdendo seu vigor vegetativo e potencial de reflectância na banda 4.

Os pixels com valores variando entre 0,1 e 1 aparecem em tons de verde, representando valores crescentes de vegetação à medida que se apresentam com tonalidade mais escura e textura de média a grosseira.

Estão associados aos espaços com cultivo de pastagens e hortaliças em pleno vigor vegetativo, nas imediações dos cursos e reservatórios de águas, ou à caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) nas áreas mais elevadas e planas, em que predominam espécies que conservam suas folhas, mesmo no longo período de estiagem, os pixels de tonalidade verde claro de textura fina.

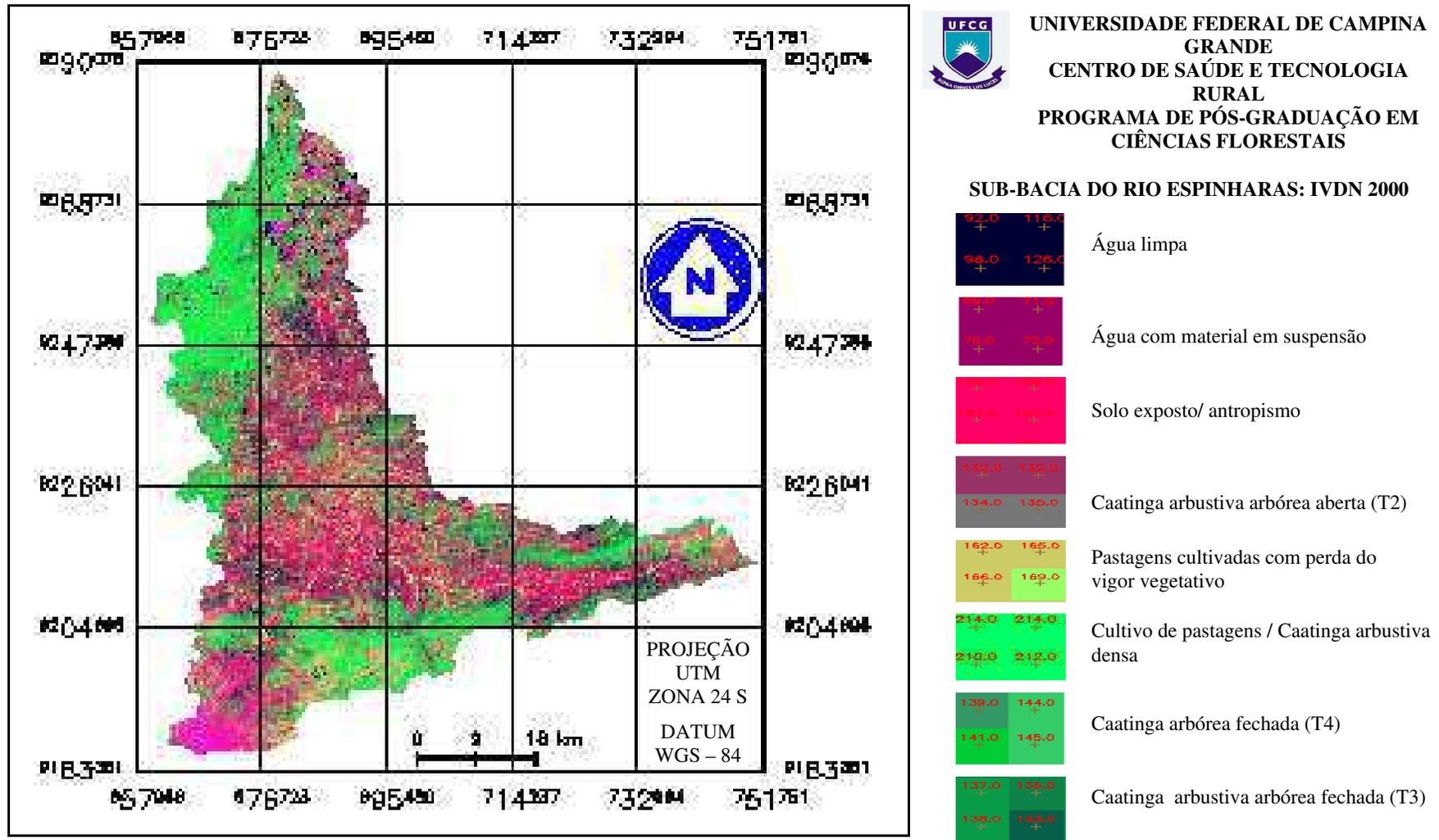
Espaços em que se apresenta uma associação de tons de verde com pouca variação, caracterizando uma textura média, estão associados às áreas de caatinga arbustiva arbórea

fechada (T3) nas encostas de morros e montanhas.

E aqueles que apresentam uma associação de tons de verde mais escuro com notável variação, caracterizando uma textura grosseira, estão associados às áreas de caatinga arbórea fechada (T4) nas encostas e topos de montanhas.

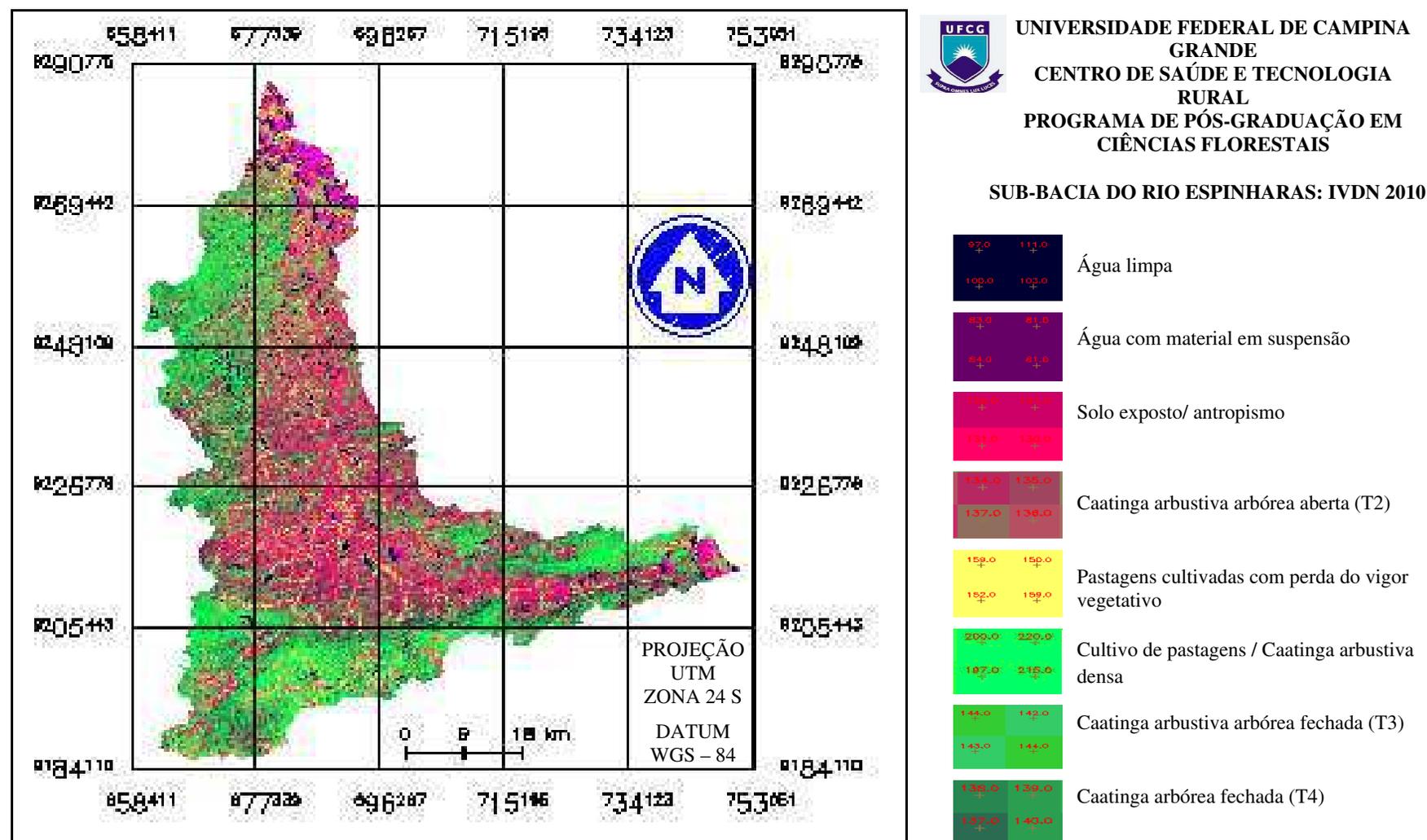
A Figura 26 mostra, na porção sudoeste da sub-bacia, uma mancha de cobertura de nuvens, pixels de cor magenta, o que comprometeu a leitura dos valores do IVDN nesta área.

FIGURA 26 – Composição multispectral ajustada: Sub-bacia do rio Espinharas – IVDN_2000



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 27 – Composição multispectral ajustada: Sub-bacia do Rio Espinharas – IVDN_2010

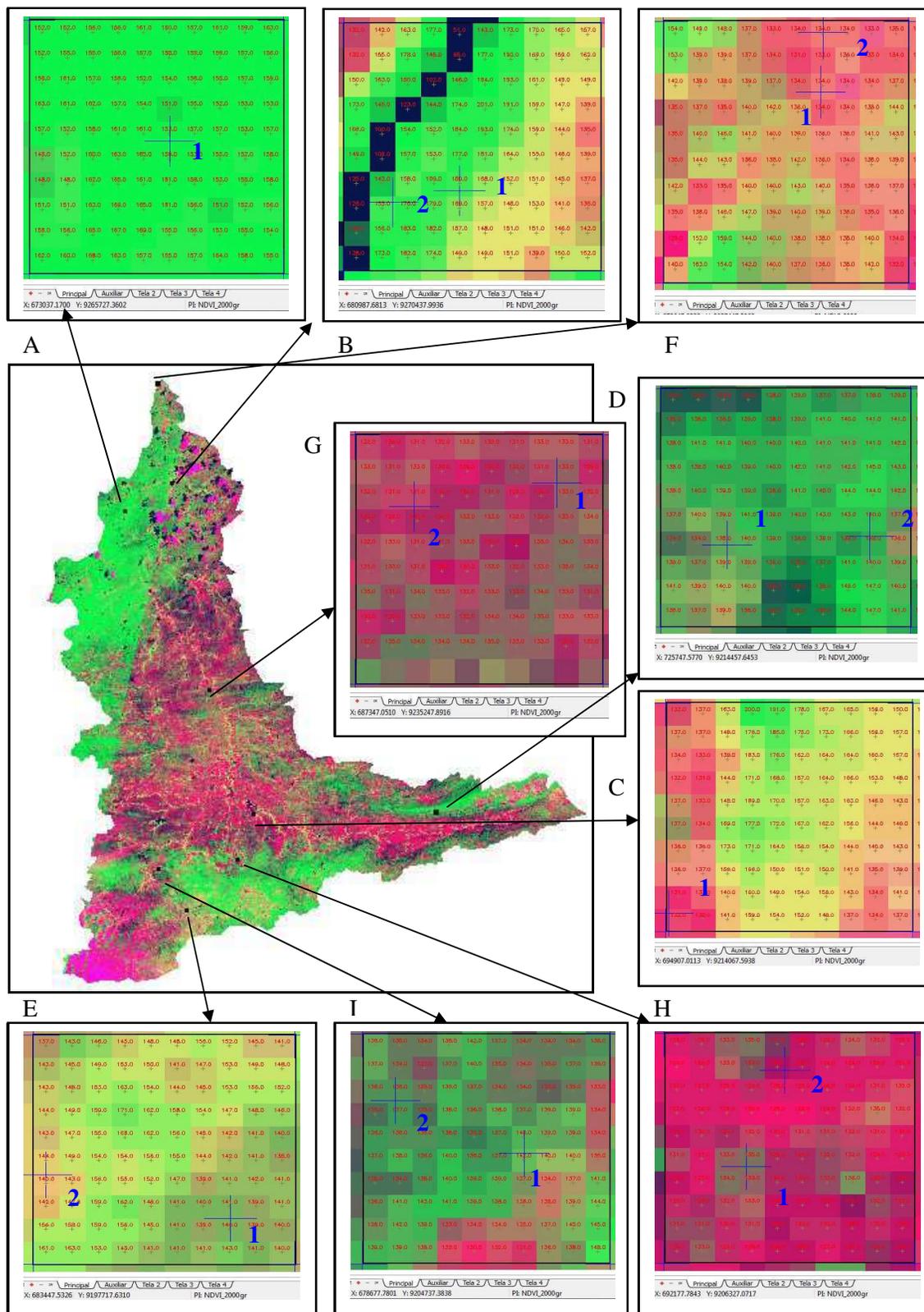


FONTE – Silva (2011)

4. 2.1.1 As áreas amostrais

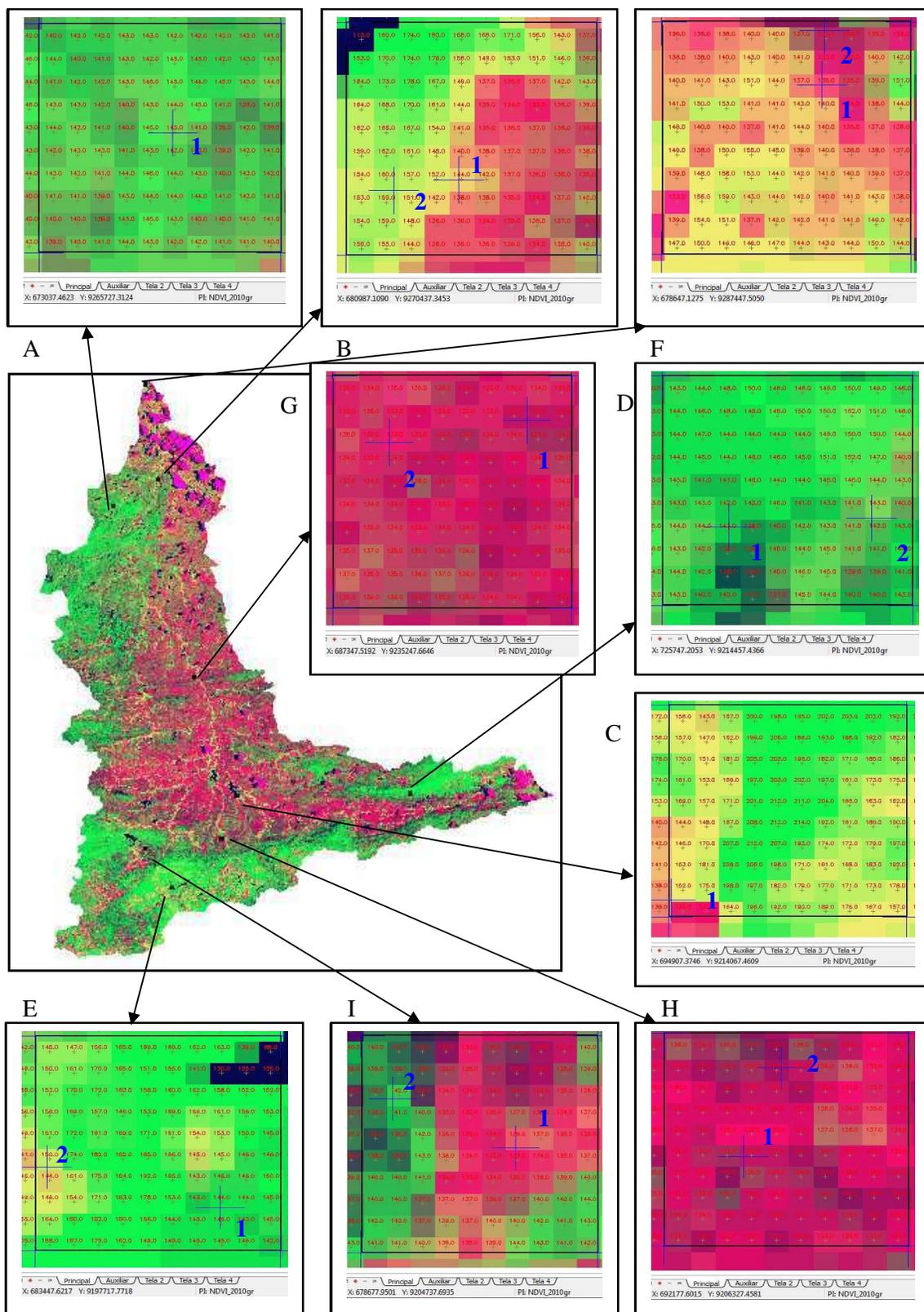
Para melhor caracterização da cobertura vegetal a partir da análise da tonalidade/cor e a textura nas imagens resultantes da composição multiespectral ajustada, realizada nas nove (09) áreas amostrais definidas nas imagens multiespectrais da área de estudo (Figuras 28 e 29), e das médias (μ) apresentadas (Apêndice D), procedeu-se o processo de validação pela inspeção em campo de pontos previamente selecionadas dentro dos limites dessas áreas amostrais (Quadro 09).

FIGURA 28 – Imagem multiespectral ajustada da Sub-bacia do rio Espinharas – IVDN_2000: Áreas amostrais



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 29 – Imagem multiespectral ajustada da Sub-bacia do rio Espinharas – IVDN_2010: Áreas amostrais



FONTE – Silva (2011)

QUADRO 09 – Anotações da inspeção de campo realizada na área da sub-bacia hidrográfica do rio Espinharas para validação dos resultados das áreas amostrais consideradas para interpretação visual dos padrões de cobertura vegetal nas imagens multiespectrais

AMOST./ PTS. / DATA	COORD. UTM AMOSTRA PONTO	ALT.	MUNIC. / ESTADO	VEGETAÇÃO / SITUAÇÃO	SOLO	RELEVO	PRINCIPAL USO DA ÁREA	OBS.:	FIGS.
A	X ₁ : 673 037 m E Y ₁ : 9 265 727m S X ₂ : 673 337m E Y ₂ : 9 266 027m S		Serra Negra do Norte – RN	Caatinga arbustiva arbórea fechada (T3)	Pedregoso / pouco profundo			Vegetação sob os efeitos do longo período de estiagem.	
1 20/10/2011	X: 673 203m E Y: 9 265 884m S	228m		Angico, aroeira, catingueira, mororó, pau-ferro Preservada, árvores com altura média de 3,5m a 4m	Grande quantidade de serapilheira	Moderadamente ondulado / sopé do morro	Sem uso	Não há sinais de exploração madeireira.	30
B	X ₁ : 680 987m E Y ₁ : 9 270 437m S X ₂ : 681 287m E Y ₂ : 9 270 737m S		Serra Negra do Norte – RN	Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2)	Pedregoso, textura argilosa	Plano	Pecuária extensiva de bovinos		36; 61; 65;
1 05/11/2011	X: 681 122m E Y: 9 270 534m S	155m		Poucos indivíduos arbóreos: Juazeiro, oiticica, jaramataia	Presença de matéria orgânica	Leito do rio		Cultivo de capim braquiária.	34
2 05/11/2011	X: 681 044m E Y: 9 270 520m S	156m		Presença de jurema preta e salsa	Arenoso (leito do rio) Solo nu	Plano	Pecuária extensiva de bovinos		64
C	X ₁ : 694 907m E Y ₁ : 9 214 067m S X ₂ : 695 207m E Y ₂ : 9 214 367m S		Cacimba de Areia – PB	Não classificada	Alagado / Presença de muita matéria orgânica	Plano		Área alagada: reservatório da Barragem da Farinha.	17(A); 35; 37
1 23/10/2011	X: 694 910 m E Y: 9 214 091m S	261m		Aguapés			Pecuária extensiva de bovinos	Cultivo de pastagens (capim braquiária).	53

Continua. . .

QUADRO 09 – Anotações da inspeção de campo realizada na área da sub-bacia hidrográfica do rio Espinharas para validação dos resultados das áreas amostrais consideradas para interpretação visual dos padrões de cobertura vegetal nas imagens multiespectrais

AMOST./ PTS. / DATA	COORD. UTM AMOSTRA PONTO	ALT.	MUNIC. / ESTADO	VEGETAÇÃO / SITUAÇÃO	SOLO	RELEVO	PRINCIPAL USO DA ÁREA	OBS.:	FIGS.
D	X ₁ : 725 747m E Y ₁ : 9 214 457m S X ₂ : 726 047m E Y ₂ : 9 214 757m S	531m	Areia de Baraúnas – PB	Caatinga arbustiva arbórea fechada (T3)	Pouco pedregoso e pouco profundo	Ondulado	Sem uso	Vegetação sob os efeitos do longo período de estiagem.	14
1 06/10/2011	X: 725 827m E Y: 9 214 560m S			Preservada, árvores com altura média de 5m a 6m Marmeleiro, mororó, frejó, aroeira, jatobá, catingueira, juazeiro, angico, jucá, jurema vermelha, pinhão bravo				Ocorrência de cactáceas: mandacaru.	39
2 06/10/2011	X: 725 998m E Y: 9 214 571m S	591m		Caatinga arbustiva densa Catanduva	Pedregoso e raso	Suave ondulado, topo de montanha	Sem uso	Uniformidade do estrato arbustivo: predominância da catanduva, que conserva boa parte das folhas mesmo sob os efeitos da longa estiagem.	38
E	X ₁ : 683 447m E Y ₁ : 9 197 717m S X ₂ : 683 747m E Y ₂ : 9 198 017m S		Maturéia – PB	Caatinga arbustiva arbórea fechada (T3) / Caatinga arbórea fechada (T4)	Pedregoso, raso, argiloso	Montanhoso, presença de alguns afloramentos rochosos		Vegetação sob os efeitos do longo período de estiagem.	21; 31 33

Continuação. . .

QUADRO 09 – Anotações da inspeção de campo realizada na área da sub-bacia hidrográfica do rio Espinharas para validação dos resultados das áreas amostrais consideradas para interpretação visual dos padrões de cobertura vegetal nas imagens multiespectrais

AMOST./ PTS. / DATA	COORD. UTM AMOSTRA PONTO	ALT.	MUNIC. / ESTADO	VEGETAÇÃO / SITUAÇÃO	SOLO	RELEVO	PRINCIPAL USO DA ÁREA	OBS.:	FIGS.
1 06/11/2011	X: 683 673m E Y: 9 197 777m S	750m		Preservada, árvores com altura média de 7m e emaranhado de cipós Tambor, mufumbo, aroeira, jurema preta, jurema branca, angico, cajueiro, catingueira	Argiloso, com presença de bastante serapilheira	Bastante acidentado, topo de montanha	Sem uso	Presença esparsa de indivíduos bromeliáceos e cactáceos: banana-de-raposa, mandacaru. Ocorrência de cupinzeiros.	31
2 06/11/2011	X: 683 462m E Y: 9 197 834m S	738m		Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) Jurema preta, malva branca		Plano, bacia do açude Riacho de Moça	Pecuária extensiva bovina	Cultivo de capim braquiária.	32
F	X ₁ : 678 647m E Y ₁ : 9 287 447m S X ₂ : 678 947m E Y ₂ : 9 287 747m S		Serra Negra do Norte – RN	Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) Poucos indivíduos arbóreos: joazeiro, oiticica, angico, pereiro, jurema preta	Pouco pedregoso, raso, argiloso, com pouca matéria orgânica	Plano	Pecuária extensiva de bovinos	Vegetação sob os efeitos do longo período de estiagem. Evidências de corte e queima da cobertura vegetal.	19; 62
1 05/11/2011	X: 678 840m E Y: 9 287 666m S	134m		Malva branca, algaroba			Sem uso	Retirada de lenha para uso doméstico.	40 (A)
2 05/11/2011	X: 678 843m E Y: 9 287 735m S	134m		Presença de cactáceas: mandacaru Malva branca e malva rasteira	Pouca matéria orgânica		Sem uso	Evidências de corte e queima da cobertura vegetal. Retirada de lenha para uso doméstico.	40(B)

Continuação. . .

QUADRO 09 – Anotações da inspeção de campo realizada na área da sub-bacia hidrográfica do rio Espinharas para validação dos resultados das áreas amostrais consideradas para interpretação visual dos padrões de cobertura vegetal nas imagens multiespectrais

AMOST./ PTS. / DATA	COORD. UTM AMOSTRA PONTO	ALT.	MUNIC. / ESTADO	VEGETAÇÃO / SITUAÇÃO	SOLO	RELEVO	PRINCIPAL USO DA ÁREA	OBS.:	FIGS.
G	X ₁ : 687 347m E Y ₁ : 9 235 247m S X ₂ : 687 647m E Y ₂ : 9 235 547m S		São José de Espinharas – PB	Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2)	Pedregoso, raso, afloramentos rochosos e pouca serapilheira	Suave ondulado, topo de morro	Sem uso	Vegetação sob os efeitos do longo período de estiagem. Não há sinais de exploração madeireira.	18; 41; 59
1 24/10/2011	X: 687 591m E Y: 9 235 489m S	232m		Jurema preta, cumaru, pereiro, catingueira, marmeleiro, angico Preservada, árvores com altura média de 3m a 4m		Suave ondulado, topo de morro	Sem uso	Cactáceas e bromeliáceas: xique-xique e macambira junto aos afloramentos rochosos.	42
2 24/10/2011	X: 687 418m E Y: 9 235 461m S	243m	São José de Espinharas – PB	Catingueira, marmeleiro, faveleira Preservada, árvores com altura média de 3m a 4m Cactáceas: xique-xique junto aos afloramentos rochosos	Pedregoso, raso, textura argilosa, com muitos afloramentos rochosos e pouca serapilheira	Plano, topo de morro	Sem uso	Vegetação sob os efeitos do longo período de estiagem. Não há sinais de exploração madeireira	41; 43
H	X ₁ : 692 177m E Y ₁ : 9206 327m S X ₂ : 692 477m E Y ₂ : 9 206 627m S		São José do Bonfim – PB	Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2)	Pedregoso / textura argilosa	Moderadamente ondulado	Pecuária extensiva de caprinos	Evidências de queimadas e abate de árvores para obtenção de estacas.	15; 17(B); 20; 50(A); 52; 57

Continuação. . .

QUADRO 09 – Anotações da inspeção de campo realizada na área da sub-bacia hidrográfica do rio Espinharas para validação dos resultados das áreas amostrais consideradas para interpretação visual dos padrões de cobertura vegetal nas imagens multiespectrais

AMOST./ PTS. / DATA	COORD. UTM AMOSTRA PONTO	ALT.	MUNIC. / ESTADO	VEGETAÇÃO / SITUAÇÃO	SOLO	RELEVO	PRINCIPAL USO DA ÁREA	OBS.:	FIGS.
1 30/10/2011	X: 692 275m E Y: 9 206 453m S	307m		Jurema preta, pinhão bravo, juazeiro, pereiro, malva branca e malva rasteira Cactáceas: mandacaru	Solo nu/ muito pedregoso	Plano	Sem uso	Pouquíssimos indivíduos arbóreos.	44(A)
2 30/10/2011	X: 692 321m E Y: 9 206 579m S	307m		Jurema preta, pinhão, juazeiro, pereiro, malva branca e malva rasteira Cactáceas: mandacaru	Solo nu/ muito pedregoso	Plano	Sem uso	Presença de cactáceas. Pouquíssimos indivíduos arbóreos.	58
I 1 30/10/2011	X ₁ : 678 677m E Y ₁ : 9 204 737m S X ₂ : 678 977m E Y ₂ : 9 205 037m S X: 678 873m E Y: 9 204 882m S	329m	Mãe D'Água – PB	Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) Jurema preta	Pedregoso / textura argilosa Solo nu	Moderadamente ondulado Presença de afloramentos rochosos	Sem uso	Evidências de corte raso da vegetação para produção de carvão. Áreas próximas às carvoeiras com jurema preta em processo de brotamento.	44(B) 50(B); 51
2 30/10/2011	X: 678 717m E Y: 9 204 950m N	324m		Presença de indivíduos arbóreos com altura média de 4m a 5m Jurema preta, angico, catingueira, pereiro	Pouco pedregoso / presença de bastante serapilheira	Presença de afloramentos rochosos	Sem uso		44(B)

FONTE – Silva (2011)

As áreas amostrais “A” e “E”, localizadas nas porções noroeste e sudoeste da sub-bacia, respectivamente, são montanhosas, com encostas em que há predominância de caatinga arbustiva arbórea fechada (T3), com valores médios de IVDN médios de 0,23 e 0,15, no ano 2000, e 0,11 e 0,23, no ano 2010.

Na área amostral “A” (Figuras 28 e 29), essa ocorrência é indicada pelos tons de verde escuro de textura grosseira, que cobrem praticamente toda a sua área, aspecto claramente observado na amostra do ano 2000, já que, na imagem referente ao ano 2010, mostra-se com uma textura média, indicando que a vegetação apresentou uma resposta fisiológica desfavorável às condições de baixa pluviometria registrada (Figura 30).

FIGURA 30 – Caatinga arbustiva arbórea fechada (T3) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Serra Negra do Norte – RN (20/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

Na área amostral “E” (Figuras 28 e 29), a ocorrência de caatinga arbustiva arbórea fechada (T3) se concentra na porção sudeste (Figura 31), já que, em sua porção central, mais baixa e levemente ondulada, há o cultivo do *Brachiaria brizantha* (A. Rich.) Stapf vr. Marandu (capim braquiária) nas proximidades do reservatório Riacho de Moça (Figura 32), município de Maturéia – PB, cujo aumento do volume de águas, ao longo do período, contribuiu para que essas pastagens apresentassem ganho de seu vigor vegetativo em comparação ao ano de 2000, ocasionando, assim, diferenças na visualização das tonalidades/cores e texturas dessa amostra. Ainda nessa área amostral, nos topos das montanhas, é possível encontrar manchas de caatinga arbórea fechada (T4) (Figura 33).

FIGURA 31 – Caatinga arbustiva arbórea fechada (T3) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Maturéia – PB (06/11/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 32 – Pastagens cultivadas na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Maturéia – PB (06/11/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 33 – Caatinga arbórea fechada (T4) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Maturéia – PB (06/11/2011)



FONTE – Silva (2011)

As áreas amostrais “B” e “C” (Figuras 28 e 29) são demonstrativas do que ocorre às margens do leito dos rios, riachos e reservatórios.

Áreas com valores médios de IVDN de 0,20 e 0,15 para “B” e 0,19 e 0,42 para “C”, em 2000 e 2010, respectivamente, indicativos da presença de pastagens cultivadas – *Brachiaria brizantha* (A. Rich.) Stapf vr. Marandu (capim braquiária) –, expressas pela cor verde clara, de textura fina, acompanhadas em suas bordas ou mesmo substituindo-a, de áreas destacadas com tons de amarelo, associados com tons mais claros do magenta, expressando perda do vigor vegetativo.

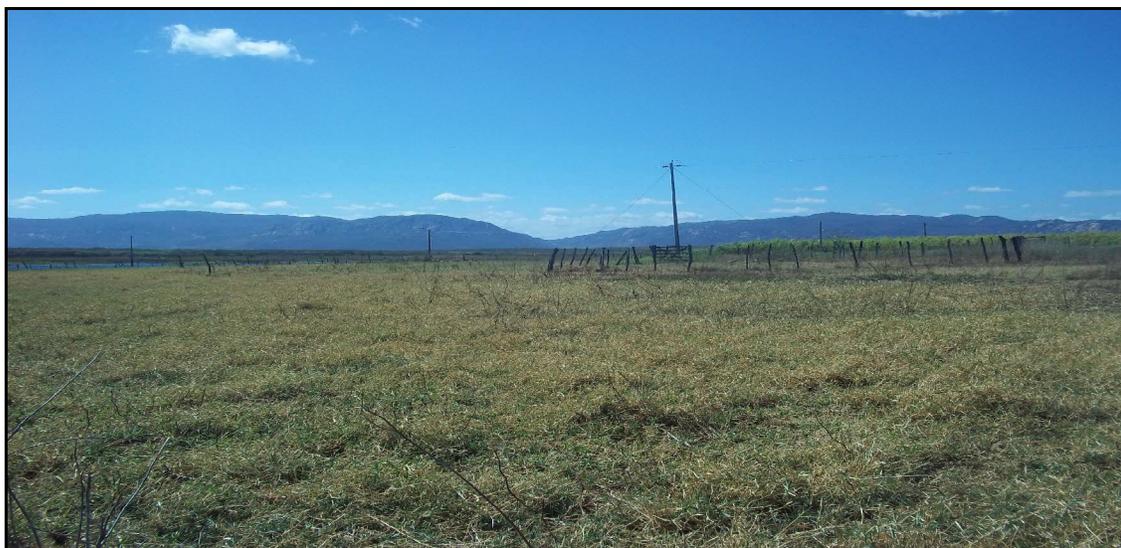
Isto ocorre principalmente ao norte, estendendo-se pelo centro-leste da sub-bacia, acompanhando os leitos de rios e riachos, a exemplo da margem direita rio Espinharas – amostra “B” – (Figura 34), e da Barragem da Farinha – amostra “C” (Figura 35), em direção às suas cabeceiras ao sul, sudeste e sudoeste.

FIGURA 34 – Cultivo de capim braquiária à margem direita do rio Espinharas, no município de Serra Negra do Norte – RN (05/11/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 35 – Cultivo de capim braquiária e capim elefante às margens da Barragem da Farinha, no município de Cacimba de Areia – PB (23/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

Nessas áreas amostrais, na imagem 2010, os tons de verde associam-se cada vez mais ao magenta, caracterizando melhor a presença da caatinga arbustiva arbórea aberta (T2), com alto grau de antropismo ou de solos expostos (Figura 36).

Exceção ocorre às margens da Barragem da Farinha – amostra “C” –, área em que houve incremento da cobertura vegetal proporcionada pelo aproveitamento da área para cultivo de pastagens – capim braquiária e capim elefante irrigado. Atualmente, encontra-se

proibido o uso da água do reservatório para irrigação, pela AESA²³. Nas proximidades da área amostral “C”, há ocorrência da caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) (Figura 37), formação predominante na área da sub-bacia do rio Espinharas.

FIGURA 36 – Área com alto grau de antropismo nas proximidades da margem direita do rio Espinharas, no município de Serra Negra do Norte – RN (05/11/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 37 – Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) nas proximidades do reservatório da Barragem da Farinha, no município de Cacimba de Areia – PB (23/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

²³ De acordo com a Resolução do CONAMA n°. 302, de 20 de março de 2002 – Definições de Áreas de Preservação Permanente em Reservatórios Artificiais, publicada no DOU n°. 90, de 13 de maio de 2002, Seção 1, páginas 67-68, e que dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno.

A área amostral “D” (Figuras 29 e 30) situa-se na porção sudeste no alinhamento das montanhas que formam a serra da Aba, no município de Areia de Baraúnas – PB, área expressa pela cor verde claro, de textura fina, com valores médios de IVDN 0,08 e 0,12 para 2000 e 2010.

São valores relativamente baixos para a alta reflectância apresentada na banda 4, sendo que, após a inspeção em campo, constatou-se indicativa de uma formação de caatinga arbustiva densa de aspecto uniforme, com predomínio da *Piptadenia moniliformis* Benth. (catanduva), que, mesmo sob o rigor do período de déficit hídrico, mantém suas folhas (Figura 38), daí sua alta reflectância na banda 4.

Essa formação se estende pelos topos levemente ondulados daquelas montanhas, mostrando-se com certo incremento, pois a cor verde claro se expande, torna-se mais intensa e adquire uma maior uniformidade na imagem 2010.

Nas encostas dessas montanhas, registra-se a ocorrência da caatinga arbustiva arbórea fechada (T3) (Figura 39).

FIGURA 38 – Caatinga arbustiva densa na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Areia de Baraúnas – PB (06/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 39 – Caatinga arbustiva arbórea fechada (T3) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Areia de Baraúnas – PB (06/10/2011)



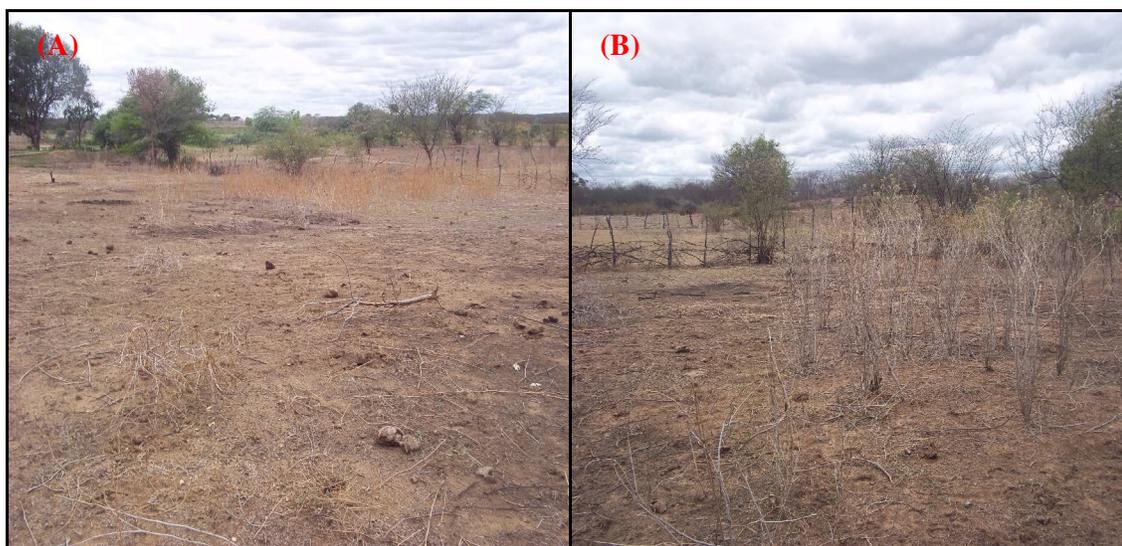
FONTE – Silva (2011)

Entretanto, a maior parte da sub-bacia do rio Espinharas apresenta baixos valores médios de IVDN, entre 0 e 0,1, indicativos da presença de solo exposto e/ou áreas de forte antropismo – cor magenta –, tendo ocorrência desde o extremo norte – amostra “F” (Figuras 28 e 29) –, próximo à confluência do rio Espinharas com o Piranhas, até ao sul, nas encostas da serra do Teixeira, com manchas de caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) – cor magenta associada com tons de verde – amostras “G”, no centro; “H”, no sul e “I”, no sudoeste (Figuras 28 e 29).

As áreas amostrais “F”, “G”, “H” e “I” são áreas de relevo plano a ondulado, com valores médios de IVDN, nos anos 2000 e 2010: para “F”, 0,08 e 0,11; para “G”, 0,03 e 0,04; para “H”, 0,00 e 0,03; e , para “I”, 0,07 e 0,07 (Apêndice D).

Na área amostral “F”, nas proximidades da Barragem de Barra de São Pedro, município de Serra Negra do Norte – RN, na margem esquerda do rio Espinharas, observa-se a acentuação dos tons de magenta na sua porção nordeste, de 2000 para 2010, indicativo de áreas de vegetação rala e solos expostos (Figura 40). Também, nota-se a maior presença dos tons de amarelo na maior parte da área, possivelmente ocasionada pelas baixas precipitações verificadas nos meses anteriores à data da imagem, causando perda do vigor vegetativo das pastagens aí cultivadas.

FIGURA 40 – Solo exposto na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Serra Negra do Norte – RN (05/11/2011)



FONTE – Silva (2011)

Na área amostral “G”, área de ocorrência de caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) (Figuras 41, 42 e 43), observa-se mudança na textura das imagens de 2000 para 2010, sendo que a homogeneização dos tons de magenta expressa a resposta fisiológica da vegetação ao acentuado déficit hídrico no período, já que a rugosidade visualizada na imagem de 2000, é indicativa de que a vegetação conservava boa parte das suas folhas proporcionada pelas condições pluviométricas mais favoráveis.

FIGURA 41 – Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de São José de Espinharas – PB (24/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 42 – *Bromelia laciniosa* Mart ex Schultez F. (macambira) em área de Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) na sub-bacia do rio Espinharas, no município de São José de Espinharas – PB (24/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 43 – *Pilosocereus gounellei* (xique-xique) em área de Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) na sub-bacia do rio Espinharas, no município de São José de Espinharas – PB (24/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

Na área amostral “H”, há ocorrência de caatinga arbustiva arbórea aberta (T2), com muitas áreas de solo exposto e reduzida ocorrência de indivíduos arbóreos (Figura 44(A)).

Na área amostral “T”, percebeu-se que essa formação vegetal vem sendo intensamente removida (Figura 44(B)).

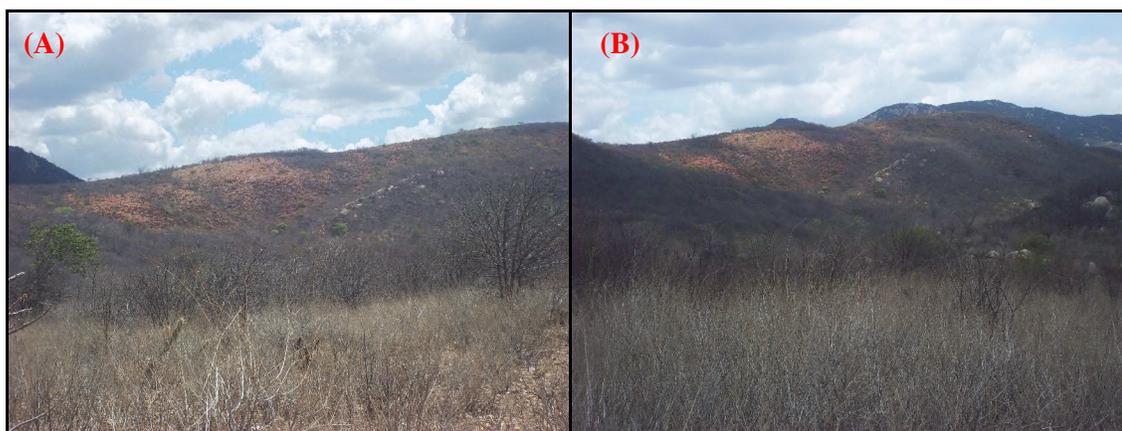
FIGURA 44 – Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011) (A) e no município de Mãe D’Água – PB (30/10/2011) (B)



FONTE – Silva (2011)

É importante destacar que essas áreas de pouca densidade de fitomassa se estendem até as áreas de cabeceiras dos cursos d’água que alimentam a sub-bacia, portanto são áreas com acentuadas declividades, que, uma vez sem a proteção da cobertura vegetal, tornam-se mais expostas à ação erosiva das águas pluviais (Figura 45).

FIGURA 45 – Visão de solo exposto nas encostas da Serra do Teixeira a partir do município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

Esse fato é comprovado pela forte presença de sedimentos nos principais reservatórios localizados na área mais baixa, a exemplo do açude Jatobá, no município de Patos – PB, que, na imagem, apresenta-se totalmente coberto pela cor violeta, resultado da mistura do preto – resposta espectral da água – e do magenta – resposta espectral do solo –, indicativo de sedimentos em suspensão.

Em algumas áreas do extremo sul da sub-bacia, principalmente nas áreas mais elevadas, a cor verde-claro, de textura fina, indica também áreas com cultivo de verduras e hortaliças, aproveitando a disponibilidade de águas de reservatórios, a exemplo do açude do Sabonete (Figura 46(A)) e do açude de São Francisco (Figura 46(B)), no município de Teixeira – PB.

FIGURA 46 – Cultivo de hortaliças na área que recebe a sangria do açude do Sabonete no município de Teixeira – PB (06/11/2011) (A) e nas proximidades do açude do São Francisco no município de Teixeira – PB (06/11/2011) (B)



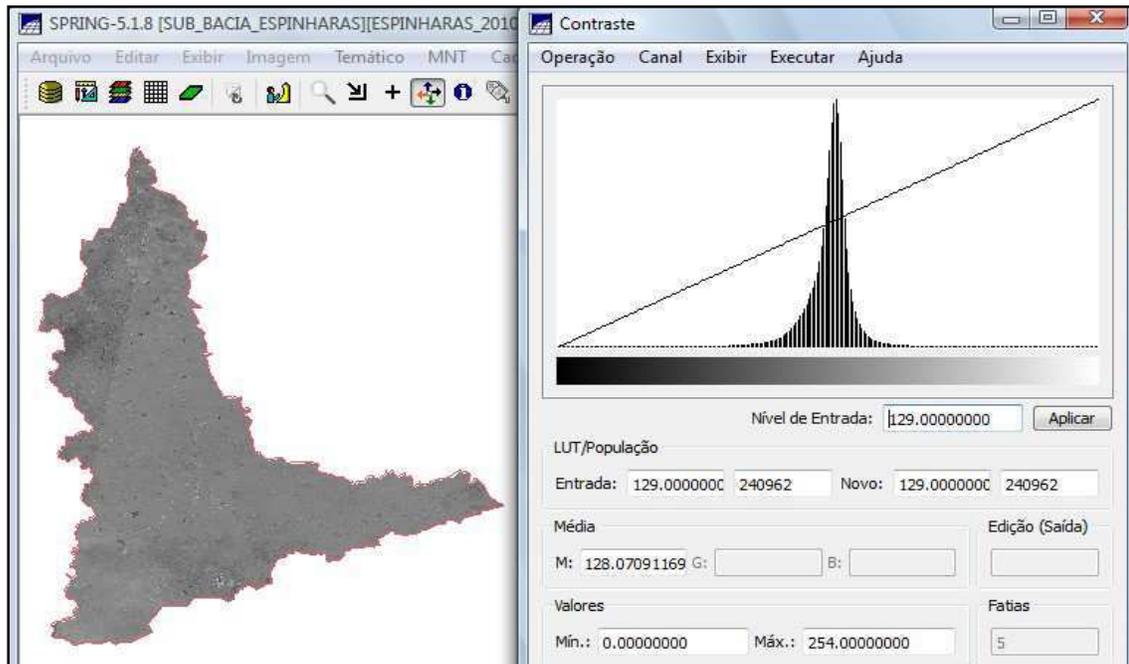
FONTE – Silva (2011)

4.3 Avaliação da alteração da cobertura vegetal na área da sub-bacia do rio Espinharas no período 2000-2010: subtração entre as imagens IVDN derivadas das imagens orbitais

A partir das imagens IVDN, obtidas para os anos 2000 e 2010, processou-se a operação aritmética de subtração entre a imagem IVDN_2010 e a imagem IVDN_2000, com o objetivo de evidenciar as mudanças ocorridas na área da sub-bacia em estudo.

A Figura 47 mostra o resultado da operação de subtração entre bandas. O histograma de saída da imagem está dentro do intervalo 0 - 254, ou -127 e 127 (Quadro 10) (Apêndice B).

FIGURA 47 – Imagem diferença 2010_2000



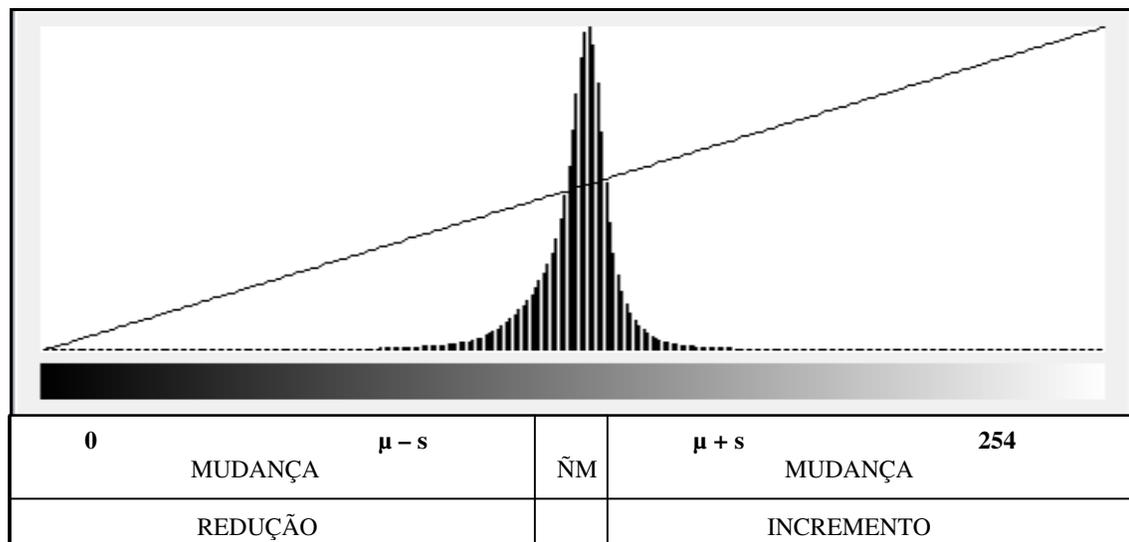
FONTE – Silva (2011)

QUADRO 10 – Parâmetros estatísticos da Imagem Diferença 2010-2000

MIN.	MÁX.	MÉDIA (μ)	DESVIO PADRÃO (s)	VARIÂNCIA (s^2)
0	254	128,071554	10,160151	103,228659

FONTE – Silva (2011)

FIGURA 48 – Histograma da Imagem diferença 2010_2000



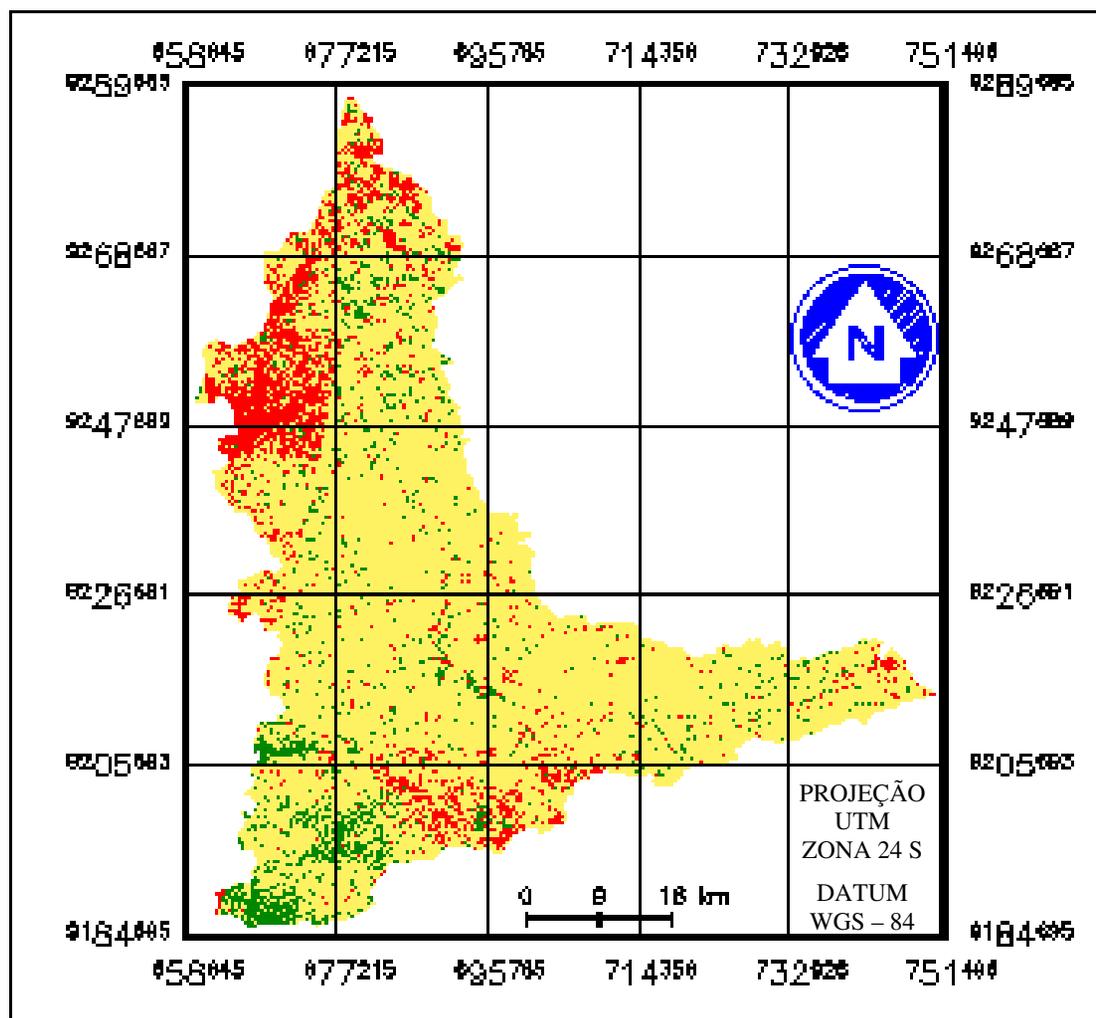
FONTE – Silva (2011)

Observando o histograma da IM_DIF_2010_2000 (Figura 48), verifica-se maior frequência dos valores em torno da média, indicando que grande parte da área teve sua situação inalterada, ao mesmo tempo em que, considerando-se as situações de mudança, identifica-se que a mudança foi negativa, comparando-se a situação dos dois anos, já que a frequência na distribuição dos valores abaixo da média foi maior do que a frequência na distribuição dos valores acima da média, indicativo de mudança positiva.

As alterações nos valores dessa variável biofísica, nos dois períodos avaliados, ocorreram em áreas visualmente verificáveis, comparando-se as imagens multiespectrais ajustadas, pela sutil diminuição das áreas de coloração verde claro, expressando os valores mais altos de IVDN, bem mais acentuadas na imagem IVDN_2000.

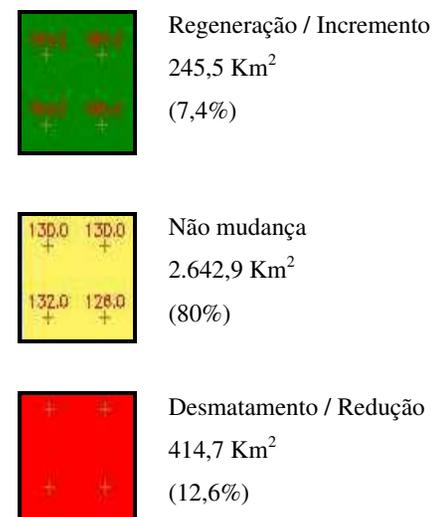
A Figura 49 mostra a alteração da cobertura vegetal na área através da imagem diferença classificada, levando-se em consideração os valores da média (μ) de distribuição dos níveis de cinza na imagem e do desvio padrão (s), segundo os limiares $[0, \mu - s]$, $[\mu - s, \mu + s]$ e $[\mu + s, 254]$, correspondendo às classes temáticas: desmatamento/redução da cobertura vegetal $[0; 117,9114]$, com valores negativos entre -127 e -10, 12,6% da área; não mudança $[117,9114; 138,2317]$, com valores próximos de zero ou iguais a zero, entre -10 e 11, 80% da área; e áreas onde houve regeneração/incremento de vegetação $[138,2317; 254]$, com valores positivos entre 11 e 127, 7,4% da área.

FIGURA 49 – Sub-bacia do rio Espinharas: Alteração da cobertura vegetal 2000-2010



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
FLORESTAIS

SUB-BACIA DO RIO ESPINHARAS – Alteração da
cobertura vegetal: 2000/2010



FONTE – Silva (2011)

A situação de que, na maior parte da área da sub-bacia em estudo, 80% do total, não houve alteração da cobertura vegetal do ano 2000 para o ano de 2010, e sendo uma área de forte antropismo, com trechos altamente degradados, como mostram as composições multiespectrais ajustadas (Figuras 28 e 29), revela-se como produto de um quadro há muito estabelecido, sobretudo pelo corte raso realizado sucessivas vezes para obtenção de estacas, lenha e produção de carvão (Figuras 50 e 51); a queima do material de desbaste como processo de preparação do solo para a agricultura de subsistência (Figura 52); o esgotamento do solo pela prática da monocultura do algodão em extensas áreas, sobretudo a partir do século XIX até o final da década de 1970 (LUTZELBURG, 1922 apud ALVES, 2007; ALVES, 2007; MORAIS, 2005) e agora sem uso; a pecuária extensiva de bovinos (Figura 53), a partir das últimas décadas do séc. XVII (ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2008), caprinos (Figura 54) e ovinos (Figura 55); e outras formas de antropismo que desencadearam tal degradação, facilitada pela própria topografia da área – um relevo plano, tornando fácil o acesso e o deslocamento de populações e rebanhos, e instalação de núcleos de povoamento originários de grandes fazendas de gado, ao longo dos leitos dos rios (“povoamento de ribeira”) e a exploração agrícola (EGLER; MOREIRA, 1985).

FIGURA 50 – Exploração madeireira em área de caatinga arbustiva arbórea aberta (T2), no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011) (A) e no município de Mãe D’Água – PB (30/10/2011) (B)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 51 – Carvoeira em área de caatinga arbustiva arbórea aberta (T2), no município de Mãe D'Água – PB (30/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 52 – Broca em área de caatinga arbustiva arbórea aberta (T2), no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 53 – Pecuária extensiva de bovinos em área de caatinga arbustiva arbórea aberta (T2), no município de Cacimba de Areia – PB (23/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 54 – Pecuária extensiva de caprinos em área de caatinga arbustiva arbórea aberta (T2), no município de Cacimba de Areia – PB (23/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 55 – Pecuária extensiva de ovinos em área de caatinga arbustiva arbórea aberta (T2), no município de Cacimbas – PB (06/11/2011)



FONTE – Silva (2011)

A diminuição progressiva de indivíduos arbóreos nessas áreas, ao longo do tempo, tem provocado uma condição de pobreza crescente do banco de sementes, ausência de plântulas no solo da área e de partes vegetativas que pudessem originar novos indivíduos, a impossibilidade da disseminação de sementes através do vento, por conta da retirada das árvores matrizes, e a consequente exposição direta do solo à ação da erosão, impossibilitando uma mudança em termos quantitativos e qualitativos da vegetação nessa área, aliada às condições climáticas desfavoráveis (GALINDO, 2007; ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2008).

Em consequência dessas condições, é comum a presença de extensas áreas de solo exposto (Figura 56); da *Herissantia crispa* (L.) Briz. (malva branca) (Figura 57), da *Mimosa tenuiflora* (Willd) (jurema preta) (Figura 58) e do *Jatropha pohliana* Muell Arg. (pinhão bravo) em solos pouco drenados; e do *Cróton sonderianus* Muell. Arg (marmeleiro) em solos de boa drenagem (CARVALHO; CARVALHO, 1995; GALINDO, 2007; ALVES; ARAÚJO, NASCIMENTO, 2008).

FIGURA 56 – Solo exposto e malva branca em área de caatinga arbustiva arbórea aberta (T2), no município de Cacimba de Areia – PB (23/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 57 – Solo exposto, malva-branca e cactáceas em área de caatinga arbustiva arbórea aberta (T2), no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 58 – Malva branca e jurema preta em área de caatinga arbustiva arbórea aberta (T2), no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

Segundo Carvalho e Carvalho (1995), no sertão, a caatinga, originalmente, do tipo arbustivo - arbóreo, caracterizava-se pela grande ocorrência de espécies de porte elevado – a baraúna, a aroeira, o angico, e outras, hoje, bastante raras.

Atualmente, a caatinga sertaneja apresenta-se, em sua maior parte, como uma formação do tipo arbustiva esparsa, com domínio da *Cnidoscolus phyllacanthus* (favela), *Aspidosperma pyrifolium* Mart (pereiro), do *Croton sonderianus* Muell. Arg. (marmeleiro), da *Mimosa tenuiflora* (Willd) (jurema preta), e outras espécies do gênero *Mimosa*, além da *Bromelia laciniosa* Mart ex Schultez F. (macambira), do *Cereus giganteus* Engelm (mandacaru), e do *Pilosocereus gounellei* (xique-xique) (CARVALHO; CARVALHO, 1995).

Ao longo das margens de alguns rios, ocorrem *Licania rigida* Benth (oiticicas), *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bur.²⁴ (craibeiras) e indivíduos de *Copernicia prunifera* (Miller) H.E. Moore (carnaúba), representando restos de antigas matas ciliares (CARVALHO; CARVALHO, 1995) (Figuras 59, 60, 61 e 62).

²⁴ *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth & Hook F. ex. S. Moore é a nomenclatura aceita atualmente e utilizada nos trabalhos técnicos e científicos sobre a caatinga e o cerrado brasileiro para essa espécie arbórea da família Bignoniaceae (LORENZI, 1992).

FIGURA 59 – Oiticicas, à margem esquerda do rio Espinharas, no município de São José de Espinharas – PB (24/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 60 – Oiticicas, carnaúbas e joazeiros às margens do Riacho Apertado na sub-bacia do rio Espinharas, no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 61 – Oiticicas e carnaúbas, à margem direita do rio Espinharas, no município de Serra Negra do Norte – RN (05/11/2011).



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 62 – Oiticicas e marizeiros, à margem esquerda do rio Espinharas, próximo à sua foz, no município de Serra Negra do Norte – RN (05/11/2011).

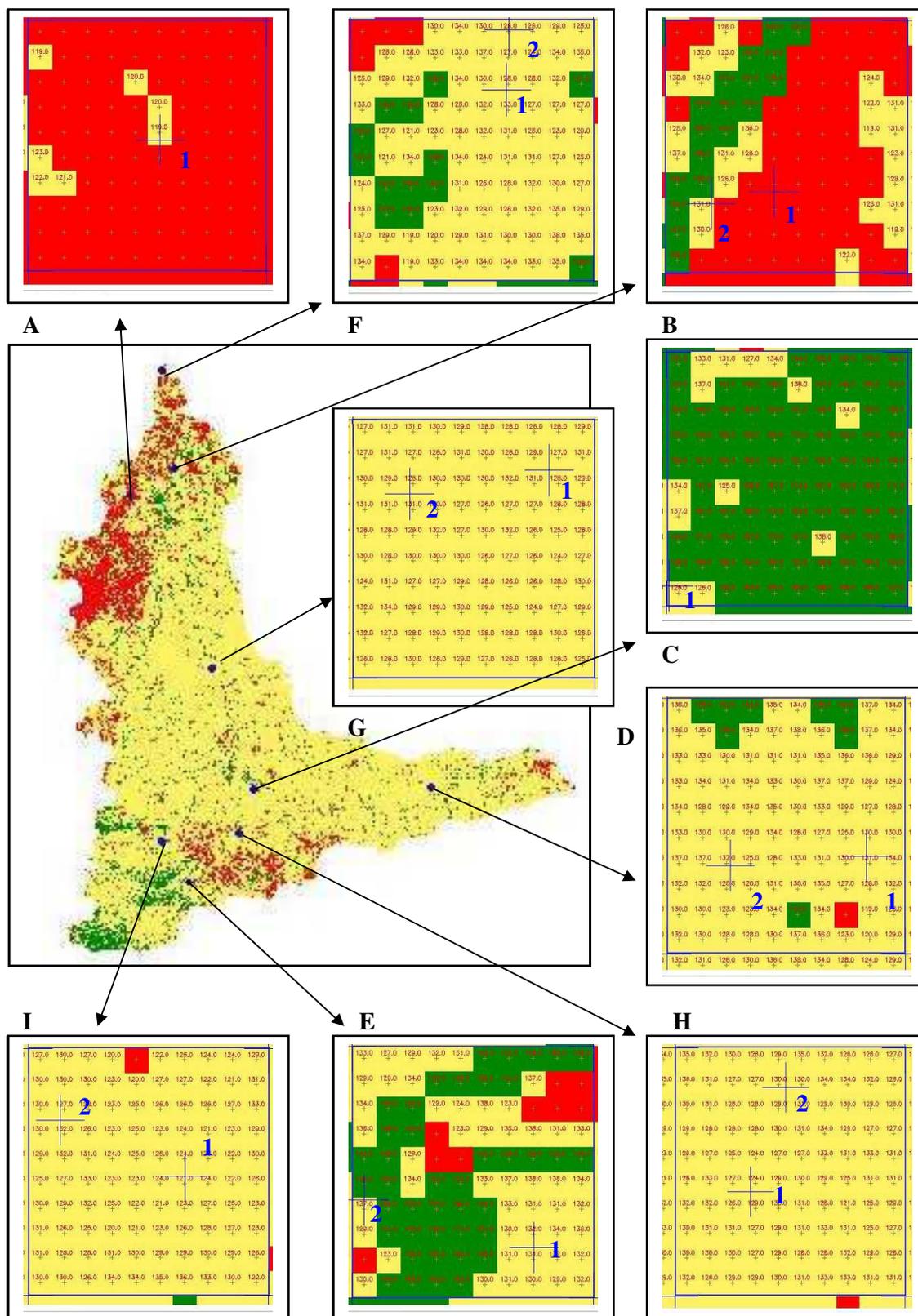


FONTE – Silva (2011)

4.3.1 As áreas amostrais

Considerando as nove (09) áreas amostrais (Figura 63) definidas para análise da vegetação, percebe-se que há certa estabilidade da situação da cobertura vegetal na área da sub-bacia, pois em seis (06) delas – D ($\mu=131,92$); E ($\mu=136,04$); F ($\mu=130,05$); G ($\mu=128,45$); H ($\mu=129,38$); e I ($\mu=126,49$) (Apêndice D) –, os resultados da subtração das imagens demonstram que, na maior parte dessas áreas, não houve mudanças no tocante à situação da cobertura vegetal. São áreas de solos muito pedregosos, muito rasos, cobertos por uma caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) muito rala, sob forte antropismo, e que, em alguns pontos, torna-se inexistente.

FIGURA 63 – Alteração da cobertura vegetal nas áreas amostrais: 2000 - 2010



FONTE – Silva (2011)

Na área amostral A, a imagem mostra uma redução, expressa pela média 11,84, que se deve à resposta fisiológica da vegetação ao prolongado déficit hídrico a que se submeteu aquela vegetação no ano de 2010, que teve, nos meses de julho, agosto e setembro, 0,8mm; 0,0mm e 0,0mm, como médias pluviométricas, respectivamente.

Esse mesmo fenômeno explica o fato de que, na área amostral B, a imagem mostra uma redução, mas sua média (120,19) expressa valores de não mudança nessa área às margens do rio Espinharas, resultado das pastagens cultivadas, apresentando baixo vigor vegetativo, já que se trata de uma área de pecuária extensiva de bovinos (Figura 64).

Na porção extremo oriental dessa amostra, encontra-se uma vasta área com vegetação muito rala e solos expostos, resultado de sucessivos processos de retirada da caatinga arbustiva arbórea aberta para a prática agrícola e que hoje encontra-se sem uso (Figura 65).

FIGURA 64 – Pecuária extensiva de bovinos, à margem direita do rio Espinharas, no município de Serra Negra do Norte – RN (05/11/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 65 – Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) com alto grau de antropismo, à margem direita do rio Espinharas, no município de Serra Negra do Norte – RN (05/11/2011)



FONTE – Silva (2011)

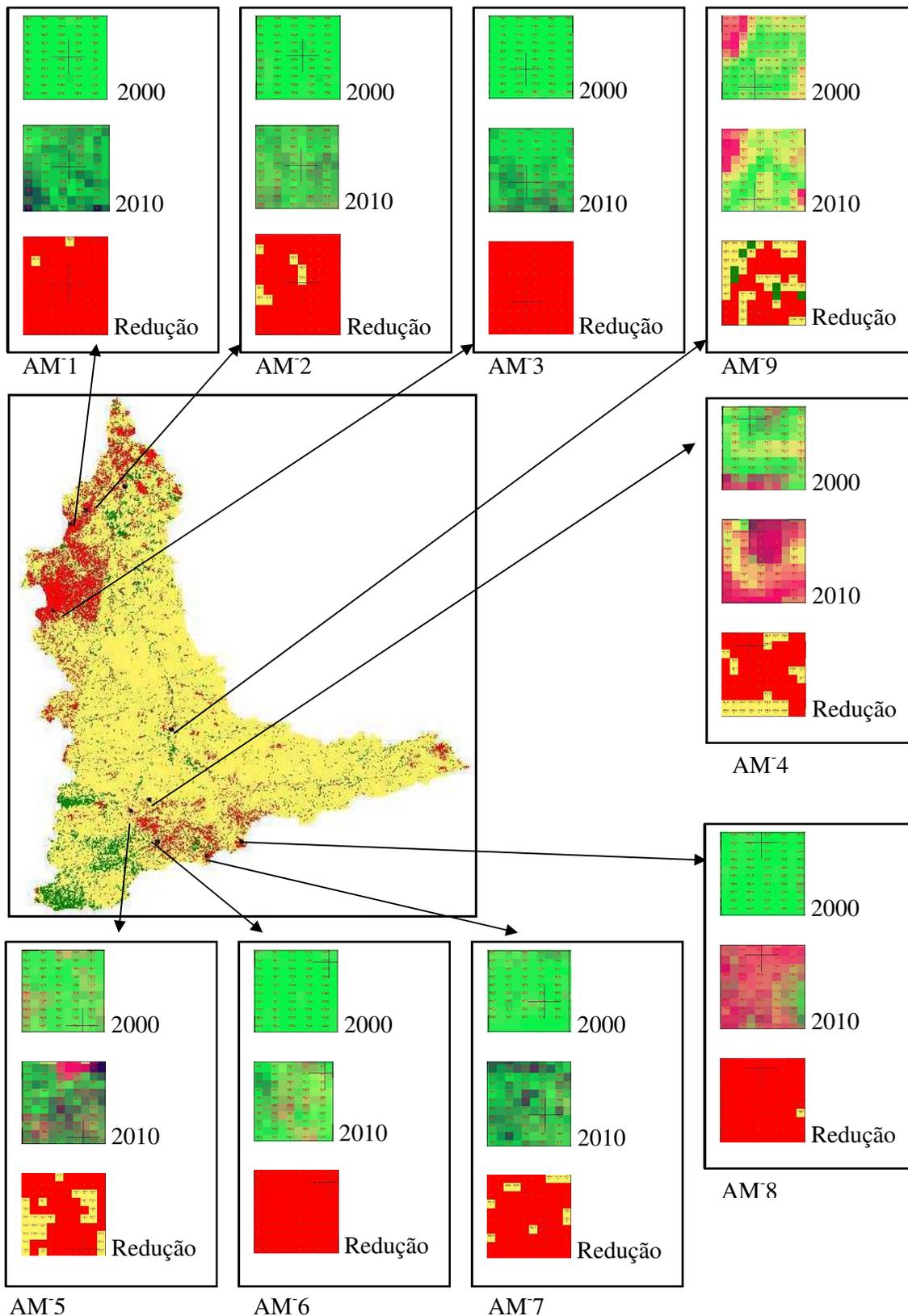
Na área amostral C, também uma área de pecuária extensiva de bovinos, a imagem demonstra incremento da cobertura vegetal proporcionada pelo recuo das águas do reservatório da Barragem da Farinha e aproveitamento da área para incremento do cultivo irrigado do capim elefante, realizado até 2010, hoje proibido e fiscalizado pela AESA.

4.4 Identificação de áreas de mudança negativa, sob o ponto de vista da alteração da cobertura vegetal e prováveis causas

A visualização da imagem diferença classificada (Figura 66) mostra que as áreas de mudança negativa (AM)²⁵, sob o ponto de vista da alteração da cobertura vegetal na área de estudo, no intervalo de tempo considerado, ocorrem nas porções oeste, noroeste e sul, e, assim, foram distribuídas as áreas amostrais (Quadro 11).

²⁵ AMi : área de mudança negativa de “i” até “n”.

FIGURA 66 – Imagem diferença 2000_2010 classificada: Áreas de mudança negativa



AM5
FONTE – Silva (2011)

QUADRO 11 – Anotações da inspeção de campo realizada na sub-bacia hidrográfica do rio Espinharas, em áreas amostrais de redução da cobertura vegetal: 2000 / 2010

AMOST./ PTS. / DATA	COORD. UTM	ALT.	MUNIC./ ESTADO	VEGETAÇÃO / SITUAÇÃO	SOLO	RELEVO	PRINCIPAL USO DA ÁREA	OBSERVAÇÕES	FIGS.
AM1 P1 20/10/201 1	X ₁ : 669 977m E Y ₁ : 9 262 997m S X ₂ : 670 277m E Y ₂ : 9 263 297m S X: 670 138m E Y: 9 263 150m S	276m	Serra Negra do Norte – RN	Caatinga arbustiva arbórea fechada (T3) Aroeira, catingueira, joazeiro. Preservada, árvores com altura média de 4m a 5m.	Pedregoso, textura argilosa, pouco profundo, grande quantidade de serapilheira	Ondulado: morros entrecortados por drenos Encosta de morro com presença de vários drenos	Pecuária extensiva de bovinos	Vegetação sob os efeitos do longo período de estiagem . Não há sinais de exploração madeireira. Cristas de serras com afloramentos de rochas graníticas, vegetação de porte menor e mais rala.	67(A) 64
AM2 P1 20/10/201 1	X ₁ : 673 037 m E Y ₁ : 9 265 727m S X ₂ : 673 337m E Y ₂ : 9 266 027m S X: 673 203m E Y: 9 265 884m S	228m	Serra Negra do Norte –RN	Caatinga arbustiva arbórea fechada (T3) Angico, aroeira, catingueira, mororó, pau-ferro. Preservada, árvores com altura média de 3,5m a 4m.	Pedregoso, pouco profundo, grande quantidade de serapilheira	Ondulado Com ondulações / sopé do morro	Sem uso	Vegetação sob os efeitos do longo período de estiagem. Não há sinais de exploração madeireira.	70 70
AM3	X ₁ : 666 287m E Y ₁ : 9 245 597m S X ₂ : 666 587m E Y ₂ : 9 245 897m S		São José de Espinharas – PB	Caatinga arbustiva arbórea fechada (T3)	Muito pedregoso, afloramento de rochas / profundo, presença de serapilheira	Ondulado / Dominado por morros	Pecuária extensiva de caprinos	Vegetação sob os efeitos do longo período de estiagem. Não há sinais de exploração madeireira.	67(B); 68

Continua. . .

QUADRO 11 – Anotações da inspeção de campo realizada na sub-bacia hidrográfica do rio Espinharas, em áreas amostrais de redução da cobertura vegetal: 2000 / 2010

AMOST./ PTS. / DATA	COORD. UTM	ALT.	MUNIC./ ESTADO	VEGETAÇÃO / SITUAÇÃO	SOLO	RELEVO	PRINCIPAL USO DA ÁREA	OBSERVAÇÕES	FIGS.
P1 20/10/201 1	X: 666 418m E Y: 9 245 702m S	292m		Angico, mufumbo, pau-ferro, aroeira, catingueira. Preservada, árvores com altura média de 4m.	Pedregoso, afloramento de rochas / presença de serapiheira	Com ondulações/ topo de morro	Pecuária extensiva de caprinos		39
AM4 P1 30/10/201 1	X ₁ : 685 997m E Y ₁ : 9 207 737m S X ₂ : 686 297m E Y ₂ : 9 208 037m S X: 686 096m E Y: 9 207 992m S	274m	São José do Bonfim – PB	Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) Jurema preta, mandacaru	Pedregoso, raso, de textura argilosa	Moderadamente ondulado: Morros Levemente inclinado / Encosta de morro	Pecuária extensiva de bovinos Sem uso	Poucos indivíduos arbóreos – joazeiros e oiticas – margeando o Riacho do Apertado, em cujo leito se cultivava o capim braquiária.	60; 77 57; 78
AM5 P1 30/10/201 1	X ₁ : 682 187m E Y ₁ : 9 205 457m S X ₂ : 682 487m E Y ₂ : 9 205 757m S X: 682 409m E Y: 9 205 482m S	295m	São José do Bonfim – PB	Caatinga arbustiva arbórea fechada (T3) Indivíduos arbóreos, com altura média de 5m a 6m: marmeleiro, angico, juazeiro, aroeira, catingueira, pau d' arco, mororó, juremas e cactáceas	Pedregoso, raso, textura argilosa Presença de serapilheira	Moderadamente ondulado: morros entrecortados por drenos Suave ondulado: topo de morro	Sem uso	Evidências de corte raso da cobertura vegetal e queima dos galhos mais finos, resultantes do desbaste. Algumas árvores tombadas e abandonadas, provavelmente pela ação das chuvas ou pela ação dos ventos no período de estiagem.	80 79

Continuação. . .

QUADRO 11 – Anotações da inspeção de campo realizada na sub-bacia hidrográfica do rio Espinharas, em áreas amostrais de redução da cobertura vegetal: 2000 / 2010

AMOST./ PTS. / DATA	COORD. UTM	ALT.	MUNIC./ ESTADO	VEGETAÇÃO / SITUAÇÃO	SOLO	RELEVO	PRINCIPAL USO DA ÁREA	OBSERVAÇÕES	FIGS.
AM6	X ₁ : 687 587m E Y ₁ : 9 199 157m S X ₂ : 687 887m E Y ₂ : 9 199 457m S		Maturéia – PB	Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) Árvores com altura média de 4m a 5m Aroeira, catingueira, angico, jurema preta, jurema branca, jurema branca Frutíferas: cajueiro, umbuzeiro, pitombeira	Pedregoso, raso, argiloso, presença de bastante serapilheira	Montanhoso	Pecuária extensiva de bovinos	Vegetação submetida aos rigorosos efeitos do período de estiagem Cultivo de sisal numa pequena área.	21; 71; 74
P1 06/11/201 1	X: 687 857m E Y: 9 199 414m S	765m		Cobertura vegetal removida	Argiloso	Plano, topo de montanha, com afloramentos rochosos	Sem uso	Evidências de corte raso da vegetação (juremas) para obtenção de lenha, provavelmente para carvão. Carvoeira inativa recentemente nas proximidades.	72; 73
AM7	X ₁ : 697 667m E Y ₁ : 9 196 367m S X ₂ : 697 967m E Y ₂ : 9 196 667m S		Teixeira – PB	Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) Predomínio de jurema preta Alguns poucos indivíduos arbóreos com altura de 4 a 5m: aroeira, angico, umbuzeiro	Pouco pedregoso, argiloso	Ondulado	Pecuária extensiva de bovinos		
P1 06/11/201 1	X: 697 876m E Y: 9 196 478m S	721m		Cobertura vegetal removida pelo corte e broca		Plano, topo de montanha	Sem uso	Área utilizada para agricultura de subsistência de milho e feijão no período das chuvas.	75

Continuação. . .

QUADRO 11 – Anotações da inspeção de campo realizada na sub-bacia hidrográfica do rio Espinharas, em áreas amostrais de redução da cobertura vegetal: 2000 / 2010

AMOST./ PTS. / DATA	COORD. UTM	ALT.	MUNIC./ ESTADO	VEGETAÇÃO / SITUAÇÃO	SOLO	RELEVO	PRINCIPAL USO DA ÁREA	OBSERVAÇÕES	FIGS.
AM8	X ₁ : 704 747 m E Y ₁ : 9 199 307m S X ₂ : 705 047m E Y ₂ : 9 199 607m S	773m	Cacimbas – PB	Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2)	Pouco pedregoso, textura argilosa	Ondulado	Pecuária extensiva de caprinos		55
P1 06/11/201 1	X: 704 894m E Y: 9 199 572m S				Presença de restos de cultura de milho	Plano, topo de montanha			Área utilizada para agricultura de subsistência de milho e feijão no período das chuvas.
AM9	X ₁ : 690 437m E Y ₁ : 9 221 837m S X ₂ : 690 737m E Y ₂ : 9 222 137m S	239m	Patos – PB	Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2)	Pedregoso, textura argilosa	Plano	Sem uso	Evidências de cultivo de capim elefante. Presença nos arredores de algarobas com média de altura de 6m.	82
P1 08/11/201 1	X: 690 555m E Y: 9 221 881m S			Jurema preta, jurema vermelha					

FONTE – Silva (2011)

4.4.1 As áreas amostrais

As porções oeste e noroeste são áreas, em sua maior parte, com altitudes em torno de 250m, com ocorrência de morros e encostas de montanhas, nos seus limites oeste, de até 550m de altitude, entrecortados por drenos, registrando-se a ocorrência de caatinga arbustiva arbórea fechada (T3). Aí estão as áreas amostrais AM1 e AM2, no município de Serra Negra do Norte – RN, e AM3, no município de São José de Espinharas – PB, com médias(μ), 108,19; 111,84; e 102,55, respectivamente (Figura 66) (Apêndice E).

Constatou-se que as áreas AM1(Figura 67(A)) e AM3 (Figura 67(B)) são áreas tradicionalmente aproveitadas com a pecuária extensiva de bovinos e caprinos (Figura 68), respectivamente, no período em que há incremento da massa foliar pela resposta fisiológica da vegetação às condições favoráveis de pluviometria, ficando sem uso no período em que essa se dá de forma desfavorável, sendo o rebanho removido para as áreas mais baixas onde as pastagens irrigadas são mantidas por água vinda da perfuração de poços (Figura 69). Na área AM2 (Figura 70), não há evidências de uso para tal fim, sendo ausentes os sinais de exploração madeireira nas mesmas.

A explicação para a mudança negativa na cobertura vegetal demonstrada pelas médias(μ) está no fato de que a ausência e as baixas médias pluviométricas registradas em 2010, especificamente, nos meses de julho (0,8mm), agosto (0,0mm), setembro (0,0mm), período que antecede a data das imagens, ao contrário das registradas em 2000 – 20,6mm; 37,4mm e 26,9mm –, evidenciou fortemente os efeitos do longo período de déficit hídrico na resposta fisiológica da vegetação.

FIGURA 67 – Caatinga arbustiva arbórea fechada (T3) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Serra Negra do Norte – RN (20/10/2011) (A) e no município de São José de Espinharas – PB (20/10/2011) (B)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 68 – Pecuária extensiva de caprinos na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de São José de Espinharas – PB (20/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 69 – Pecuária extensiva de bovinos na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Serra Negra do Norte – RN (20/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 70 – Caatinga arbustiva arbórea fechada (T3) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Serra Negra do Norte – RN (20/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

Na porção sul, encontra-se uma área de altitudes entre 350m e 1.186m, a Serra de Teixeira, de ocorrência de diversas tipologias da caatinga, conforme as condições de solo apresentadas: caatinga arbustiva arbórea aberta (T2), em solos rasos e pedregosos; caatinga arbustiva arbórea fechada (T3), em solos profundos e bem drenados; e caatinga arbórea fechada (T4), em solos profundos e férteis, que apresentam boa capacidade de retenção de umidade.

Aí estão as áreas amostrais AM6, AM7 e AM8 (Figura 66), nos municípios de Maturéia – PB, Teixeira – PB e Cacimbas – PB, com médias(μ) 97,25; 112,04; e, 99,73, respectivamente (Apêndice E).

São áreas classificadas como de caatinga arbustiva arbórea aberta (T2), com elevações em torno de 750m de altitude, em cujos topos foram encontradas evidências de corte raso da vegetação e aproveitamento da madeira sob a forma de lenha e carvão e queima do material não aproveitado (broca), como processo de preparação para o cultivo do milho e feijão – AM 6 (Figuras 71, 72, 73 e 74), AM7 (Figura 75) e AM8 (Figura 76) – no período das chuvas, e que, após a colheita destes últimos, a área é aproveitada para a pecuária extensiva, no caso da área AM8, de ovinos.

FIGURA 71 – Corte raso da vegetação em área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Maturéia – PB (06/11/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 72 – Madeira para produção de carvão em área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Maturéia – PB (06/11/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 73 – Carvoeira em área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Maturéia – PB (06/11/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 74 – Restos do cultivo de milho e feijão na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Maturéia – PB (06/11/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 75 – Corte raso da vegetação e broca na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Teixeira – PB (06/11/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 76 – Restos do cultivo de milho e feijão na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Cacimbas – PB (06/11/2011)



FONTE – Silva (2011)

Na área em que predomina um relevo suave ondulado, com altitudes em torno de 250m, na porção central e na direção sul, próximo às encostas da Serra de Teixeira, observam-se algumas áreas de mudança negativa, e aí estão as áreas amostrais AM4 e AM5, no município de São José do Bonfim – PB; e AM9, no município de Patos – PB, com médias(μ) 113,94; 115,64; e 114,72, respectivamente (Figura 66) (Apêndice E).

A área AM4 localiza-se nas proximidades do riacho Apertado, afluente do rio da Cruz, um dos formadores do rio Espinharas, com presença de caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) e uma grande extensão, fazendo parte do leito do riacho Apertado, de cultivo do capim braquiária, sendo área de pecuária extensiva de bovinos (Figuras 77 e 78).

FIGURA 77 – Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 78 – Pastagens cultivadas na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

A área AM5, também localizada no município de São José do Bonfim – PB, próximo aos limites com o município de Mãe D'Água – PB, é uma área de caatinga arbustiva arbórea fechada (T4) (Figura 79), que, apesar do longo período de estiagem na área, ainda conserva boa parte de suas folhas, atribuindo-se a redução da cobertura vegetal, parte à redução da massa foliar pelos efeitos da longa estiagem e parte à exploração madeireira na área evidenciada pelo corte raso da vegetação em alguns pontos, para reposição de estacas nas cercas. Foram encontrados, também, troncos amontoados à beira dos caminhos e estrada, aguardando transporte (Figuras 80 e 81).

FIGURA 79 – Caatinga arbustiva arbórea fechada (T3) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 80 – Corte raso da vegetação em área de Caatinga arbustiva arbórea fechada (T3) na sub-bacia do rio Espinharas, no município de São José do Bonfim – PB (30/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

FIGURA 81 – Transporte de madeira retirada da área de Caatinga arbustiva arbórea fechada (T3) às margens da estrada, na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Mãe D'Água – PB (30/10/2011)



FONTE – Silva (2011)

A área AM9 está localizada ainda na área urbana do município de Patos – PB e é uma área de caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) (Figura 82), às margens dos rios da Farinha e da Cruz, próxima à confluência desses para formação do rio Espinharas, que, tradicionalmente, era aproveitada logo após o período das chuvas para cultivo de pastagens – capim elefante – , a exemplo de vários outros pontos ao longo das margens do rio Espinharas, para sustento de bovinos. A demonstração da redução da cobertura vegetal da imagem 2000 para a imagem de 2010 é explicada, também, pela proibição do cultivo dessas pastagens pela AESA, motivo pelo qual a área encontra-se sem uso e o solo mais exposto.

FIGURA 82 – Caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) na área da sub-bacia do rio Espinharas, no município de Patos – PB (08/11/2011)



FONTE – Silva (2011)

5 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados e discutidos a partir da proposta do trabalho executado permitiram concluir que a área da sub-bacia do rio Espinharas, no tocante à cobertura vegetal, foi profundamente transformada pela intervenção humana ao longo de séculos, fato comum nas áreas tropicais, em que a pressão sobre os recursos naturais é cada vez maior, e mostraram que:

- Predominam baixos valores de IVDN, entre 0 e 0,1, registrados em 65,1%, no ano 2000, e em 66% da área estudada, no ano 2010, indicando uma grande ocorrência e permanência de solos expostos ou cobertos por uma vegetação rala;
- Apesar da redução dos valores mínimos e máximos dos Índices de Vegetação por Diferença Normalizada – IVDN, do ano de 2000 para o ano de 2010, a maior parte da área estudada – 80%, do total – teve sua situação quanto à cobertura vegetal, inalterada;
- A redução dos valores de IVDN ocorreu, em sua grande parte, em função dos fatores pluviométricos, o que, no ano 2000, possibilitou uma resposta fisiológica da vegetação mais favorável do que no ano de 2010, já que o bioma caatinga mostra o seu poder de regeneração através da recuperação imediata da sua massa foliar em resposta aos eventos de chuvas;
- Além dos fatores pluviométricos, a redução dos valores de IVDN – 12,6% da área foi classificada como área que sofreu redução da cobertura vegetal – foi e continua sendo, também, decorrente das práticas de corte raso da vegetação para produção de estacas, carvão, fornecimento de lenha para uso doméstico ou comercial e preparo da área para a agricultura;
- A situação de inalteração da cobertura vegetal na maior parte da sub-bacia do rio Espinharas – toda a sua extensão central, de relevo predominantemente plano e suave ondulado – não significa uma situação ótima, apenas demonstra uma situação de permanência de um alto grau de antropismo e degradação, a que vem sendo submetida desde o século XVII, através de práticas culturalmente reproduzidas de ocupação do território, que não favoreceram sua preservação, com drástica e progressiva redução das espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas;
- O incremento nos valores de IVDN, registrados em 7,4% da área, resultou, principalmente, do cultivo de pastagens irrigadas e não irrigadas em solos de aluvião, à medida que as águas dos reservatórios foram recuando. Outro fator que possivelmente também contribuiu foi o fato de que a porção extremo sudoeste da área, na imagem de 2000, encontrava-se encoberta por nuvens. Como na imagem 2010, essa área estava livre de nuvens, os valores IVDN aí registrados foram um pouco mais elevados, registrando assim um ganho;

- A cobertura vegetal predominante em toda área central da sub-bacia, de relevo plano e suave ondulado e de solos rasos, é classificada na literatura como caatinga arbustiva arbórea aberta (T2) e se encontra, em sua maior parte, constituída de malva branca, faveleira e jurema preta, espécies rústicas características de áreas degradadas;

Diante do que foi exposto, confirma-se o fato de que a área da sub-bacia do rio Espinharas apresenta alto grau de antropismo, configurando, em 2010, 66% da área, fato que merece atenção dos órgãos gestores, pois a devastação da cobertura vegetal expõe os solos à uma degradação que dificulta a reconstituição dessa vegetação, que, por sua vez, compromete as condições hídricas da sub-bacia hidrográfica.

As modificações a que foram submetidas e a que se submetem a cobertura vegetal e o solo, pela ação do homem – corte, queima, cultivo e pecuária extensiva – e, pela ação dos diferentes agentes erosivos, precisam ser investigadas de forma mais específica, não só nesta área, mas na região semiárida como um todo, pois o bioma caatinga reflete essas interrelações e se apresenta com fisionomias variadas, nem sempre identificadas com a descrição nas classificações apresentadas na literatura, gerando dificuldades e problemas quando se tenta classificá-la e enquadrá-la, necessitando adequá-la aos aspectos identificados em campo.

Essas investigações deverão fornecer resultados que possam orientar ações interventivas no sentido de enriquecimento da vegetação visando à recuperação e manutenção do estrato arbustivo e arbóreo do bioma caatinga e à oferta e à qualidade da água na região semiárida nordestina.

REFERÊNCIAS

- AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Mapa interativo. AESA, 2010a. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/sigaesaweb.html>>. Acesso em: 10/01/2011 às 16h32min.
- AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Comitê Piranhas-Açu**. AESA, 2010b. Disponível em <<http://www.aesa.pb.gov.br/comites/piranhasacu/>>. Acesso em: 10/01/2011, às 15h54min.
- AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Relatório anual sobre a situação dos recursos hídricos no Estado da Paraíba: ano hidrológico 2008-2009**. AESA, 2010c. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/relatorios/hidrologico/arquivos/Relatorio_Anuar_Hidrologico_2008_2009.pdf>. Acesso em: 03/06/2011, às 16h 29min.
- ALVES, José Jackson Amancio. Geoecologia da caatinga no semi-árido do nordeste brasileiro. In: **Climatologia e Estudos da Paisagem**. Rio Claro, Vol. 2, n. 1, janeiro/junho / 2007, pp. 58 – 71. Disponível em: < <http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/climatologia/article/viewFile/266/667>>. Acesso em: 21/02/2011, às 3h19min.
- ALVES, José Jakson Amâncio. ARAÚJO, Maria Aparecida de. NASCIMENTO, Sebastiana Santos do. Degradação da caatinga: uma investigação ecogeográfica. In: **Caminhos de geografia** - revista on line. Instituto de Geografia UFU / Programa de Pós-graduação em Geografia. Uberlândia-MG, v. 9, n. 26 Jun. / 2008 p. 143 - 155 . Disponível em: <<http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>>. Acesso em: 08/02/2011, às 18h05min.
- ALVES, Gilcean Silva. G. ROCHA, Jancerlan. A desertificação no município de Picuí – PB: o geoprocessamento aplicado a um diagnóstico ambiental. In: **II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica**. João Pessoa - PB – 2007. Disponível em: <http://www.redenet.edu.br/publicacoes/arquivos/20080922_093414_GEOM-001.pdf>. Acesso em: 11/02/2011 às 17h03min.
- ARAÚJO, Irenaldo Pereira de. **Uso e degradação dos recursos naturais no semiárido brasileiro: estudo na microbacia hidrográfica do Rio Farinha /PB**. Patos – PB: CSTR - UFCG, 2010. 134f.: il. Dissertação de Mestrado (Ciências Florestais) - Centro de Saúde e Tecnologia Rural / Universidade Federal de Campina Grande). Disponível em: <http://www.cstr.ufcg.edu.br/ppgcf/Dissertacoes/dissert_irenaldo.pdf>. Acesso em: 10/01/2011 às 18h41min.
- _____. **Diagnóstico das fontes de abastecimento hídrico na Microbacia Hidrográfica do Rio Farinha/PB**. – Patos – PB: UFCG – CSTR, 2008.60f. il. Monografia de Especialização (Educação Ambiental e Sustentabilidade). - Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande. CD-ROM.
- ARGENTO, Mauro Sérgio Fernandes. CRUZ, Carla Bernadete Madureira. Mapeamento Geomorfológico. In: CUNHA, Sandra Baptista da. GUERRA, Antonio Teixeira .(Orgs.). **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil,

2006. 345 p. Cap. 9. pp. 265 - 282.

BECKER, Carmem (Meteorologista da AESA-PB). **Climatologia média e precipitações mensais médias observadas na sub-bacia do rio Espinharas nos anos 2000 e 2010.**

Mensagem recebida por profarosangelapereira@hotmail.com em 10/08/2011.

BELTRAME, Ângela da Veiga. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas:** modelo e aplicação. Florianópolis – SC: Ed. da UFSC, 1994. 112p.

BITTENCOURT, Daiane Castro. ANDRADE, Henrique Oliveira de. FERNANDES, Raony Chaves. Análise socioambiental do município de Serra Preta – BA. In: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 5579-5586. Disponível em:

<<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.12.59/doc/5579-5586.pdf>>. Acesso em: 23/02/2011, às 17h47min.

BOTELHO, Rosangela Garrido Machado. SILVA, Antonio Soares da. Bacia Hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, Antonio Carlos. GUERRA, Antonio José Teixeira (Orgs.). **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. 2. ed.. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 280p. Cap. 6. pp. 153-192.

BRANDÃO, Marcelo Henrique de Melo. **Índice de degradação ambiental na bacia hidrográfica do rio do Peixe – PB**. 2009. Disponível em:

<http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo3/065.pdf>. Acesso em: 06/01/2011, às 16h38min.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Relatório final** - Grupo de trabalho interministerial para redelimitação do semi-árido nordestino e do polígono das secas. Brasília, Janeiro de 2005a. Disponível em:

<<http://www.integracao.gov.br/desenvolvimentoregional/publicacoes/delimitacao.asp>>. Acesso em: 08/03/2011, às 16h29min.

_____. Ministério da Integração Nacional. **Nova Delimitação do Semi-Árido Brasileiro**. Brasília, 2005b. Ministério da Integração Nacional / Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional. Disponível em:

<<http://www.integracao.gov.br/desenvolvimentoregional/publicacoes/delimitacao.asp>>. Acesso em: 08/03/2011, às 16h40min.

_____. **Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=370>>. Acesso em: 23/01/2012, às 16h43min.

_____. **Lei Federal nº 7.827, de 27 de setembro de 1989**. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L7827.htm>. Acesso em: 08/03/2011, às 15h27min.

_____. Ministério do Interior. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Departamento de Recursos Naturais. Divisão de Hidrogeologia. **Inventário dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Espinharas – PB/RN**. Recife: Divisão de Documentação, 1973. 60p.

CARVALHO, Maria Gelza Rocha Fernandes. TRAVASSOS, Maria do Socorro Barbosa. MACIEL, Valdenora da Silva. Relevo e hidrografia. In: RODRIGUEZ, Janete Lins (Coord.) **Atlas escolar da Paraíba**. 2.ed. João Pessoa: GRAFSET, 2000. 112p. Cap. 4. pp. 33-38.

CARVALHO, Francisco de Assis F..CARVALHO, Maria Gelza Rocha Fernandes. Vegetação. In: Governo do Estado da Paraíba. Secretaria de Educação. Universidade Federal da Paraíba. **Atlas Geográfico do Estado da Paraíba**. João Pessoa: GRAFSET, 1985. 110p. pp. 44-47

CAMPOS, Stillac Vaz de. **Alterações no uso do solo e da cobertura vegetal na sub-bacia rio cuiabá alto e sua influência na fluviometria, no período de 1970-2002**. Cuiabá: MT, 2004. Dissertação Mestrado (Agricultura Tropical). - Universidade Federal de Mato Grosso/ Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária / Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical. Disponível em: <<http://www.ufmt.br/famev/posgraduacao/dissert/STILLAC%20VAZ%20%20DE%20CAMP%20OS.pdf>>. Acesso em: 24/02/2011, às 11h21min.

CASTANHEIRA, Luiz Artur. **Estudo das Mudanças de Uso e Cobertura da Terra no Parque Nacional da Serra do Cipó e Entorno no Período de 1989 a 1999**. Belo Horizonte – MG, 2010. Dissertação de Mestrado (Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais). Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Geociências / Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais. Disponível em: <http://www.csr.ufmg.br/modelagem/dissertacoes/luiz_artur_castanheira.pdf>. Acesso em: 12/10/2011, às 8h 36min.

CAVALCANTE, M. B.. Ecoturismo no bioma Caatinga: o caso do Parque Estadual da Pedra da Boca, Paraíba. In: **Revista Nordestina de Ecoturismo**, Aracaju, v.2, n.1, p.25-38, 2009. Disponível em: <<http://arvore.org.br/seer/index.php/ecoturismo/article/view/51/26>>. Acesso em: 20/05/2011, às 9h19min.

COSTA, Marcos Fávero. FRAGA FILHO, Clayton Vieira. MENDES, Helder de Amorim. MARTINS, Leandro Tose. SANTOS, Alexandre Rosa dos Santos. Utilização de subtração de imagem e NDVI na avaliação da cobertura vegetal na RPPN Cafundó, Cachoeiro de Itapemirim, ES. In: **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE. P. 1918 - 1925. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1131.pdf>>. Acesso em: 05/ 10/2011, às 8h 46min.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Patos, estado da Paraíba** / Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/ PRODEEM, 2005. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/paraiba/relatorios/PATO131.pdf>>. Acesso em: 10/13/2011, às 4h21min.

CUNHA, John Elton de Brito Leite. RUFINO, Iana Alexandra Alves. Identificação das mudanças na cobertura vegetal da bacia de São João do Rio do Peixe por meio de imagens do Landsat-5 TM. In: **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 22 a 26 de novembro de 2009, Campo Grande – MS. Disponível em:

<<http://www.hidro.ufcg.edu.br/twiki/pub/GeoTermal/Publica%E7%F5esgeotermal/PAP719.pdf>>. Acesso em: 23/02/2011, às 9h56min.

CUNHA, John E. B. L..RUFINO, Iana A. A.. SILVA, Bernardo B.. CHAVES, Iêde de B.. Dinâmica da cobertura da terra da bacia hidrográfica do Rio do Peixe. In: **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 22 a 26 de novembro de 2009, Campo Grande – MS

Disponível em: <

<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte@80/2009/10.23.16.28/doc/@authorIndex.pdf> f>

Acesso em: 26/02/2011, as 9h 35min.

DRUMOND, Marcos Antônio (Coord.). **Estratégias para o Uso Sustentável da Biodiversidade da Caatinga**. Documento para discussão no GT Estratégias para o Uso Sustentável. Petrolina, 2000. Disponível em:

<<http://www.semiarido.org.br/UserFiles/file/Estrategias%20para%20uso%20sustentavel%20da%20caatinga.pdf>>. Acesso em: 23/02/2001, às 16h 43min.

DUARTE, Cristiana Coutinho. SOUZA, Sara Fernandes de. GALVÍNCIO, Josiclêda Domiciano. MELO, Ivan Dornelas Falcone de. Detecção de mudanças na cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Tapacurá – PE através da Análise por Componentes Principais. In: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 5765-5772. Disponível em:

<<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.18.34/doc/5765-5772.pdf>>.

Acesso em: 01/03/2011, às 15h38min.

EGLER, Cláudio Antônio G.. MOREIRA, Emília de Rodat F.. Ocupação Territorial. In: In: Governo do Estado da Paraíba. Secretaria de Educação. Universidade Federal da Paraíba. **Atlas Geográfico do Estado da Paraíba**. João Pessoa: GRAFSET, 1985. 110p. pp.16-19.

ESTADO DA PARAÍBA. Conselho Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba. **Resolução nº 02, de 05 de novembro de 2003**. Disponível em:

<http://www.aesa.pb.gov.br/legislacao/resolucoes/cerh/02_2003_divisao_hidrografica_estado.pdf>. Acesso em: 03/02/2011, às 20h38min.

FARIAS, Lindhiane Costa de. **Diagnóstico físico-conservacionista das terras e a percepção comunitária – bacia hidrográfica da barragem Vaca Brava – Areia, PB**. Areia: PB, 2006. Dissertação de Mestrado (Manejo de Solo e Água) - Universidade Federal da Paraíba-UFPB. Disponível em: <<http://www.cca.ufpb.br/pgmsa/pdf/LindhianeCostaFarias06.pdf>> . Acesso em: 08/02/2011, às 14h12min.

FERRETI, Eliane Regina. Diagnóstico físico-conservacionista – DFC da bacia do rio Marrecas sudoeste do Paraná. IN: **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 49, p. 95-114, 2001. Editora da UFPR. Dissertação de mestrado – Programa de Pós-Graduação em Geologia – UFPR

FERNANDES, Maurício Roberto. **Sub-bacias hidrográficas unidades básicas para o planejamento e gestão sustentáveis das atividades rurais**. III Simpósio de Produção de Gado de Corte, 2002. Disponível em:

<http://www.simcorte.com/index/Palestras/t_simcorte/10_mauricio.PDF>. Acesso em: 10/09/2010, às 11h 10min.

FIGUEIREDO, Divino. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. Setembro/2005. (apostila). Disponível em:
< http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf>.
Acesso em: 27/02/2011, às 11h19min.

FITZ, Paulo Roberto. **Cartografia básica**. 2. ed. Revista e ampliada. Canoas – RS: Centro Universitário La Salle, 2005. 219 p.

_____. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160 p.

FLORENZANO, Teresa Galloti. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3. ed. ampl. e atual. São Paulo: Oficina de textos, 2011. 128p.

FRANCO, Euler Soares. LIRA, Vanda Maria de. FARIAS, Maria Sallydelândia Sobral de. PORDEUS, Roberto Vieira. LIMA, Vera Lúcia Antunes de. Uso de imagens TM/LANDSAT-5 na identificação da degradação ambiental na microbacia hidrográfica em Boqueirão – PB. In: **CAMPO-TERRITÓRIO**: revista de geografia agrária, v. 2, n. 3, p. 79-88, fev., 2007. Disponível em:
<<http://www.campoterritorio.ig.ufu.br/include/getdoc.php%3Fid%3D172%26article%3D93%26mode%3Dpdf>>. Acesso em: 27/02/2011, às 15h42min.

FRANCISCO, Paulo Roberto Megna. **Classificação e Mapeamento de mecanização das terras do estado da Paraíba utilizando sistema de informações geográficas**. Areia – PB: UFPB/CCA, 2010. 107 f. : il. Dissertação de Mestrado (Manejo de Solos e Água) – Universidade Federal da Paraíba / Centro de Ciências Agrárias. Disponível em:
<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/arquivos_publicacoes/CLASSIFICACAO%20E%20MAPEAMENTO%20DAS%20TERRAS.pdf>. Acesso em: 28/02/2011, às 8h45min.

GALINDO, Izabel Cristina de Luna. **Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no Estado de Pernambuco**. Recife – PE, 2007, 255 f.: il. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Agronomia. Disponível em:
<<http://www.pgs.ufrpe.br/files/teses/2007/Izabel%20Galindo.pdf>>. Acesso em: 03/12/2011, às 19h22min.

GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA. **Programa de ação estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca no estado da Paraíba: PAE -PB**. João Pessoa: Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia. Superintendência de Administração do Meio Ambiente, 2011. p. 137: .il. Disponível em: < <http://midia.secom.pb.gov.br/especiais/relatorio-preliminarpae-pb-15092011.pdf> > . Acesso em: 30/01/2012, às 21h14min.

GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente – SECTMA. **PERH-PB** : plano estadual de recursos hídricos : resumo executivo & atlas / Governo do Estado da Paraíba; Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente, SECTMA; Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. – Brasília, DF : Consórcio TC/BR – Concremat, 2006. 112p. : il.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo, 2010**. Disponível em:
< <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 20/04/2011, às

15h42min.

IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. **SiggaWeb i3 Geo versão 3.9: Mapa interativo**. Disponível em: <<http://www.idema.rn.gov.br/contentproducao/aplicacao/idema/principal/enviados/index.asp>> Acesso em: 18/05/2011, às 23h02min.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Catálogo de imagens**. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 18/04/2011, às 15h49min.

KARMANN, Ivo. Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, Wilson. et al. (Orgs.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 2ª Reimpressão, 2003. 568 pp. Cap. 7, pp. 113-138.

LACERDA, Alecsandra Vieira de. BARBOSA, Francisca Maria. **Matas ciliares no domínio das caatingas**. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 2006. 150p.

LOEBMANN, Daniel Gomes dos Santos Wendriner. **Classificação fitofisionômica do cerrado no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, GO, com a aplicação de uma análise combinatória com filtros adaptativos em imagens TM Landsat**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Instituto de Ciências Humanas. Departamento de Geografia. Mestrado em Gestão Ambiental. Brasília, 2008 65f.. Disponível em: <<http://repositorio.bce.unb.br/handle/10482/1817>>. Acesso em: 26/02/2011, às 16h39min.

LOPES, Eymar Silva Sampaio. **Tutorial 10 Aulas - SPRING 5.0**. Versão Windows e Linux: SPRING Básico. INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS: Janeiro de 2008. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/manuais.html>>. Acesso em: 07/03/2011, às 15h 32min.

LORENZI, H.. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa – SP: Ed. Plantarum, 1992. 382p.

LOUZADA, Franciane Lousada Rubini de Oliveira. COUTINHO, Luciano Melo. ANDRADE, Cristiane Coelho. OLIVEIRA, Viviane Ávila de Sousa. BRENDA, Paulo Henrique Moulin. SANTOS, Alexandre Rosa dos. Análise da cobertura florestal por meio da subtração de imagem NDVI na Floresta Nacional de Pacotuba, Cachoeiro do Itapemirim, ES. In: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, pp. 3995 – 4001. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.11.48/doc/3995-4001.pdf>>. Acesso em: 10/10/2011, às 9h 29min.

MACIEL, Bruno de Amorim. Unidades de conservação no bioma caatinga. In: GARIGLIO, Maria Auxiliadora. SAMPAIO, Everardo Valadares de Sa Barretto. CESTARO, Luis Antonio. KAGEYAMA, Paulo Yoshio. (Orgs.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. 368p. pp.76-81. Disponível em: <<http://www.youblisher.com/files/publications/23/133474/pdf.pdf>>. Acesso em: 07/06/2011, às 12h36min.

MALTCHIK, L. Ecologia de rios intermitentes tropicais. In: Pompêo, M. L. M. (Ed.). **Perspectivas da Limnologia do Brasil**. São Luis: Gráfica e Editora União, 198 pp., 1999.

Cap. 5, pp. 1-11. Disponível em:

<http://ecologia.ib.usp.br/portal/index.php?option=com_docman&Itemid=183&limitstart=5>.

Acesso em: 27/01/2011, às 18h50min.

MATALHO JÚNIOR, Heitor (Org.). **Glossário de termos e conceitos usados no contexto da UNCCD** - Brasília: MMA, 2009.154p.:Il.color.

MELO, Josandra Araújo Barreto de. **Diagnóstico físico-conservacionista e das vulnerabilidades como subsídio ao ordenamento territorial da Microbacia do Riacho do Tronco, Boa Vista, PB**. Campina Grande – PB: Centro de Tecnologia e Recursos Naturais / Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, 2010, 218p. Tese de Doutorado (Recursos Naturais/Gestão de recursos naturais), Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

MELO FILHO, José Fernandes de. SOUZA, André Leonardo Vasconcelos. O manejo e a conservação do solo no semi-árido baiano: desafios para a sustentabilidade. In: **Bahia Agrícola** v.7, n.3, nov. 2006. pp. 50-60. Disponível em : <http://www.seagri.ba.gov.br/pdf/socioeconomia04_v7n3.pdf >. Acesso em: 15/10/2011, às 9h 40min.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite** – Acordo de cooperação técnica MMA/IBAMA: monitoramento do bioma caatinga 2002 a 2008. Brasília, março de 2010: Centro de Sensoriamento Remoto – CSR/IBAMA, 2010a. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/relatrio_tcnico_caatinga_72.pdf >. Acesso em: 07/06/2011, às 11h28min.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Termos de referência para a elaboração do plano de recursos hídricos da bacia do rio Piranhas-Açu**. Versão aprovada pela CTPI em 27 de setembro de 2010b. Disponível em: <http://www.piranhasacu.cbh.gov.br/Documents/TDR_Piranhas_Acu_CTPI_Reuniao.pdf>. Acesso em: 21/04/2011, às 19h21min.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Mapas da cobertura vegetal dos biomas brasileiros**. Brasília, 2007. Ministério do Meio Ambiente / PROBIO / CNPQ / IBGE. Disponível em <http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/mapas_cobertura_vegetal.pdf >. Acesso em: 15/01/2011, às 21h18min.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da caatinga**. Universidade Federal de Pernambuco / Fundação de Apoio ao Desenvolvimento / Conservation International do Brasil, Fundação Biodiversitas, Embrapa/Semi-árido. Brasília: MMA/SBF, 2002. Disponível em: <<http://www.conservation.org.br/publicacoes/files/CAATINGA-EM-PDF01.pdf>>. Acesso em: 07/06/2011, às 13h48min.

MORAIS, Ione Rodrigues Diniz. **Seridó norte-rio-grandense: uma geografia da resistência**. Caicó, RN: Editora do Autor, 2005. 422p.:il.

MOREIRA, Maurício Alves. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de**

aplicação. 3. ed. atualizada e ampliada. Viçosa: Ed. UFV, 2005. 320p.

NÓBREGA NETTO, Jader Gomes da. **A eutrofização das águas do rio Espinharas no perímetro urbano da Cidade de Patos-PB.** / Jader Gomes da Nóbrega Netto – Patos – PB: FIP, 2010, 58 p.: il. Monografia (Graduação em Geografia), Faculdades Integradas de Patos.

OLIVEIRA, João Bosco de. **Bacias hidrográficas: aspectos conceituais, uso manejo e planejamento.** Fortaleza: Governo do Estado do Ceará / Secretaria dos Recursos Hídricos, 2010. 267 p. – (Série: Tecnologias e Práticas Hidroambientais para Convivência com o Semiárido - Vol.1). Disponível em:
<http://prodham.srh.ce.gov.br/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=23&Itemid=174>. Acesso em: 09/09/2010, às 22h 30min.

PACHECO, Admilson P.. FREIRE, Neison Cabral Ferreira. BORGES, Utaiguara da Nóbrega. Uma contribuição do sensoriamento remoto para detecção de áreas degradadas na caatinga brasileira. In: **Boletim Goiano de Geografia.** Goiânia – GO: UFG. v. 26 n. 1 p. 49-68 jan./jun. 2006. Disponível em:
<<http://www.revistas.ufg.br/index.php/bgg/article/viewFile/3546/3347>>. Acesso em: 07/01/2011 às 17h46min.

PANTOJA, Nara Vidal. SAITO, Érika Akemi. FONSECA, Leila. ANDERSON, Liana O..SOARES, João Viane. VALERIANO, Dalton de M.. Detecção de mudanças a partir de imagens TM/Landsat na Amazônia Sul Ocidental. In: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 6037-6044. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.16.17.55/doc/6037-6044.pdf>>. Acesso em: 14/05/2011, às 3h12min.

PEDREIRA, Bernadete da Conceição Carvalho Gomes. FIDALGO, Elaine Cristina Cardoso. ABREU, Marcelo Bueno de Abreu. Mapeamento do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu, RJ. In: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 2111-2118. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.21.14/doc/2111-2118.pdf>>. Acesso em: 10/02/2011, às 16h15min.

PEGADO, Cláudia Maria Alves. ANDRADE, Leonaldo Alves de. FÉLIX, Leonardo Pessoa. PEREIRA, Israel Marinho. Efeitos da invasão biológica de algaroba - *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. sobre a composição e a estrutura do estrato arbustivo-arbóreo da caatinga no Município de Monteiro, PB, Brasil. In: **Acta Botânica Brasílica**, vol.20, nº.4, São Paulo: Oct./Dec. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-33062006000400013&script=sci_arttext>. Acesso em: 14/03/2012, às 5h25min.

PEREIRA, Ronildo Alcântara. BARBOSA, Maria de Fátima Nóbrega. Diagnóstico socioeconômico e ambiental de uma microbacia hidrográfica no semi-árido paraibano. In: **Engenharia Ambiental** – Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 1, p. 137-153, jan/abr 2009. Disponível em:
<<http://189.20.243.4/ojs/engenhariaambiental/include/getdoc.php?id=521&article=219&mo>>
Acesso em: 22/02/2011, às 17h43min.

PESSOA, Marcos de Freitas. GUERRA, Antonia Mirian Nogueira de Moura. MARACAJÁ, Patrício Borges. LIRA, José Flaviano Barbosa de. DINIZ FILHO, Edimar Teixeira Diniz.

Estudo da cobertura vegetal em ambientes da caatinga com diferentes formas de manejo no assentamento Moacir Lucena, Apodi – RN. In: **Revista Caatinga**. Mossoró – RN: Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFRS, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. v.21, n.3, p.40-48, junho/agosto de 2008. Disponível em <<http://caatinga.ufrs.edu.br/index.php/sistema/article/viewFile/787/399>>. Acesso em: 22/02/2011, às 15h29 min.

PINTO, Lilian Vilela Andrade. FERREIRA, Elizabeth. BOTELHO, Soraya Alvarenga. DAVIDE, Antonio Cláudio. Caracterização física da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG e uso conflitante da terra em suas áreas de preservação permanente. IN: **Revista Cerne**. Lavras-MG: Universidade Federal de Lavras, v. 11, n. 1, p. 49-60, jan./mar. 2005. Disponível em: <<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/744/74411106.pdf>>. Acesso em: 24/02/2011, às 17h30min.

PONZONI, Flávio Jorge. SHIMABUKURO, Yosio Edemir. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira, 2007.

PRADO, Darién E. As Caatingas da América do Sul. In: LEAL, Inara R.. TABARELLI, Marcelo. SILVA, José Maria Cardoso da.(Editores). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. 3. ed.. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2008. 822p. il. pp. 03-73.

QUEIROZ, Luciano Paganucci de. **Leguminosas da caatinga**. Feira de Santana – BA: Universidade Estadual de Feira de Santana, 2009. 467p.: il.

RAMALHO FILHO, A.. BEEK, K. J.. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA – CNPS, 1995. 65p.

REIS, Antonio Carlos de Souza. Clima da Caatinga. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1976. pp. 325-335.

RIBEIRO, Selma Regina Aranha. LA SCAELA, Rodrigo Antonio. CONEGLIAN, Flavio Marcelo. OLIVEIRA, Pietro Martins. Classificação supervisionada de imagens orbitais de diferentes resoluções radiométricas . In: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 1013 - 1020. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.16.42/doc/1013-1020.pdf>>. Acesso em: 05/04/2011, às 11h50min.

RIBEIRO, George do Nascimento. MARACAJÁ, Vívian Patrícia Borba. Utilização de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento no estudo dos recursos naturais. In: **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**. Mossoró – RN, Brasil. V.3, n.1, p.2241 de janeiro/março de 2008. Disponível em: <<http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/viewFile/63/63>>. Acesso em: 15/05/2011, às 22h49min.

RODRIGUES, Joseilson Oliveira. ANDRADE, Eunice Maia de. CHAVES, Luiz Carlos Guerreiro. ARRAES, Francisco Dirceu Duarte. Avaliação da dinâmica da cobertura vegetal na bacia Forquilha, Ceará, Brasil pelo uso do NDVI. In: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 6125-6132. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.13.36/doc/6125-6132.pdf>>. Acesso em: 14/05/2011, às 3h22min.

SAMPAIO, Everardo Valadares de Sá Barretto. Características e potencialidades. In: GARIGLIO, Maria Auxiliadora. SAMPAIO, Everardo Valadares de Sa Barretto. CESTARO, Luis Antonio. KAGEYAMA, Paulo Yoshio. (Orgs.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. 368p. Pp.29-48. Disponível em: <<http://www.youblisher.com/files/publications/23/133474/pdf.pdf>>. Acesso em: 07/06/2011, às 12h36min.

SANTOS, Alexandre Rosa dos. PELUZIO, Telma Machado de Oliveira. SAITO, Nathália Suemi. **SPRING 5.1.2: passo a passo: aplicações práticas**. Alegre, ES: CAUFES, 2010. 153p.

SANTOS, Gisele do Rocio Cordeiro Mugnol. MOLINA, Nilcemara Leal. DIAS, Vanda Fattori. **Orientações e dicas para trabalhos acadêmicos**. Curitiba: Ibiapex, 2008. 165p.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Florestas do Brasil em resumo – 2010: dados de 2005-2010**. / Serviço Florestal Brasileiro. – Brasília: SFB, 2010.152 p. Disponível em: <http://www.fundoamazonia.gov.br/FundoAmazonia/export/sites/default/site_pt/Galerias/Arquivos/Publicacoes/Florestas_do_Brasil_em_resumo_SFB_2010.pdf>. Acesso em: 10/01/2011, às 23h30min.

SILVA, Rosangela Maria Pereira Silva. **Alteração da cobertura vegetal na sub-bacia do rio Espinharas no período 2000 - 2010: o geoprocessamento como ferramenta para o gerenciamento ambiental**. Patos – PB, 2011. Dissertação de Mestrado (Ciências Florestais) – Universidade Federal da Paraíba / Centro de Saúde e Tecnologia Rural / Programa de Pós – Graduação em Ciências Florestais.143p.:il.

SILVA, Mirna Karla Amorim. ROSA, Roberto. Cobertura vegetal natural e uso antrópico nas UPGRH's e bacias hidrográficas federais do bioma cerrado – MG. In: **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 19 (1): 169-183, jun. 2007. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/9346/5726>>. Acesso em: 01/03/2011, às 10h32min.

SILVA, Mirna Karla Amorim. Análise geoambiental das bacias hidrográficas federais do cerrado mineiro. 200 f.: il.. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2009. Disponível em: <http://www.ig.ufu.br/sites/ig.ufu.br/files/Anexos/Bookpage/Anexos_Mirna.pdf>. Acesso em: 03/03/2011, às 11h.

SILVA, Daniel Vitor Gomes da. ALEXANDRE, Malco Jeiel de Oliveira. NASCIMENTO, Paulo Sérgio de Rezende. PETTA, Reinaldo Antônio. Banco de dados geográficos no spring visando a análise geoambiental na região do seridó. In: **Holos**, Ano 24, Vol. 2, 2008, pp. 45-61. Disponível em <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewFile/120/154>>. Acesso em: 16/01/2011, às 16h07min.

SILVEIRA, Vicente Fernando. Geoprocessamento como instrumento de gestão ambiental. In: PHILIPPI JR., Arlindo. ROMÉRIO, Marcelo de Andrade. BRUNA, Collet Gilda.(Editores). **Curso de gestão ambiental**. Barueri, SP: Manole, 2004. – (Coleção ambiental – Vol.1)- pp. 945-968

SOUZA, Antonio Tércio de Azevedo. **Diagnóstico físico - conservacionista da bacia**

hidrográfica do açude Jatobá, Patos - PB . Patos – PB: CSTR, UFCG, 2010. 23p.. Monografia (Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Campina Grande / Centro de Saúde e Tecnologia Rural. Disponível em: <http://www.cstr.ufcg.edu.br/grad_eng_florest/mono_ef/mono_antonioterccio.pdf>. Acesso em: 18/02/2011, às 1h03min.

SOUZA, Pierre Farias de. **Análise da vegetação de um fragmento de caatinga na microbacia do açude Jatobá – Paraíba**. Patos – PB: CSTR/UFCG, 2009. 38 p.: il..Monografia (Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Campina Grande / Centro de Saúde e Tecnologia Rural. Disponível em: < http://www.cstr.ufcg.edu.br/grad_eng_florest/mono_ef/mono_pierre_farias.pdf>. Acesso em: 18/02/2011, às 11/01/2011.

SOUZA, Pierre Farias de. LIMA, Joedla Rodrigues de. ARRUDA, Petley de Medeiros. MENDONÇA, Izaque F.Candeia de. SILVA, Josuel Arcaño da. NÓBREGA, Assíria Maria Ferreira da. Estimativa do nível de cobertura dos solos e levantamento dos remanescentes arbóreos na bacia hidrográfica do açude Jatobá-PB. In: **Revista Pesquisa**. Campina Grande, v.1, n.1, p.129-135, 2007.

SOUZA, Sara Fernandes de . DUARTE, Cristiana Coutinho. ARAUJO, Maria do Socorro Bezerra de. GALVÍNCIO, Josiclêda Domiciano. Utilização de análise por componentes principais (ACP) no diagnóstico das alterações da cobertura vegetal densa na bacia do rio Natuba – PE. In: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 7189-7196. Disponível em: < <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.19.07.42/doc/7189-7196.pdf>>. Acesso em: 15/02/2011, às 14h 34min.

SOUZA, Sara Fernandes de. ARAUJO, Maria do Socorro Bezerra de. GALVÍNCIO, Josiclêda Domiciano. Mudanças do uso da terra no município de Serra Talhada-PE utilizando análise por componentes principais (ACP). In: **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 24, nº 3, set/dez. 2007, p. 85-100. Disponível em: < <http://www.ufpe.br/revistageografia/index.php/revista/article/viewFile/149/97>>. Acesso em: 15/02/2011, às 15h30min.

SPRING 5.1.7. **Cálculo de grades hidrológicas**. Disponível em: <file:///C:/Arquivos%20de%20programas/Spring517_Portugues_x86/helpport/grdidro.htm> Acesso em: 10/10/2011, às 10h 15min.

SUDEMA – Superintendência de Administração do Meio Ambiente. **Atualização do diagnóstico florestal do Estado da Paraíba**. João Pessoa: SUDEMA, 2004. 268p.

VELLOSO, Agnes L.. SAMPAIO, Everardo V. S. B.. PAREYN, Frans G. C..(Eds.). **Ecorregiões propostas para o bioma caatinga**. Recife: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil, 2002. 76 fls: Il.. Disponível em: < <http://homolog-w.mma.gov.br/index.php?ido=publicacao.publicacoesPorSecretaria&idEstrutura=203>>. Acesso em: 19/03/2011, às 14h 55min.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Parâmetros estatísticos das imagens com o recorte da área da sub-bacia do rio Espinharas

ANO / BANDA	Nº PIXELS	MIN.	MÁX.	AMPLITUDE	MÉDIA (μ)	VARIÂNCIA (s^2)	DESVIO PADRÃO(s)	ASSIMETRIA	COEF. KURTOSIS	COEF. VARIA.	MEDIANA	MODA
2000 - 3	3 667 782	1	254	253	60,9636	328,581511	18,126817	1,291064	8,139249	29,733837	59	55
2000 - 4	3 667 782	1	214	213	70,362159	217,618638	16,480857	0,923358	6,123008	23,422898	68	64
2010 - 3	3 667 782	1	254	253	59,966508	310,914977	17,632781	2,467801	18,012583	29,404382	58	55
2010 - 4	3 667 782	1	243	242	70,953244	315,072489	17,750281	1,383411	9,115485	25,016871	69	61

APÊNDICE B – Parâmetros estatísticos das imagens IVDN com o recorte da área da sub-bacia do rio Espinharas

IMAGEM	Nº PIXEL	MIN.	MÁX.	AMPLITUDE	MÉDIA (μ)	VARIÂNCIA(s^2)	DESVIO PADRÃO(s)	ASSIMETRIA	COEF. KURTOSIS	COEF. VARIA.	MEDIANA	MODA
IVDN_2000	3 667 781	37	251	214	137,422426	100,09262	10,00463	1,262902	8,034424	7,280202	135	133
IVDN_2010	3 667 779	5	225	220	138,494048	61,852726	7,86465	0,633299	16,756542	5,678692	138	137
IM_DIF 2010_2000	3 667 782	0	254	254	128,071554	103,228659	10,160151	-1,014892	11,466744	7,933183	129	131

APÊNDICE C – Parâmetros estatísticos da imagem SRTM : Altimetria com o recorte da área da sub-bacia do rio Espinharas

IMAGEM	Nº PIXEL	MIN.	MÁX.	AMPLITUDE	MÉDIA (μ)	VARIÂNCIA(s^2)	DESVIO PADRÃO(s)	ASSIMETRIA	COEF. KURTOSIS	COEF. VARIA.	MEDIANA	MODA
Altimetria	3 846 647	127	1 186	1059	366,943702	37 467,332867	193,564803	1,262297	3,336773	52,750545	283	265

APÊNDICE D – Parâmetros estatísticos das amostras selecionadas na área da sub-bacia do rio Espinharas nas imagens IVDN processadas

AMOST.	ANO	Nº PIXELS	MIN.	MÁX.	AMPLITUDE	MÉDIA (μ)	VARIÂNCIA (s^2)	DESVIO PADRÃO(s)	ASSIMETRIA	COEF. KURTOSIS	COEF. VARIA.	MEDIANA	MODA
A	2000	100	146	169	23	157,22	21,223838	4,606934	0,36593	2,98068	2,930247	157	156,56
	2010	100	138	146	8	142,06	2,925657	1,710455	-0,008391	2,417714	1,204037	142	141,88
	IM_DIF	100	100	123	23	111,84	22,822626	4,777303	-0,260613	2,933667	4,271552	112	112,32
B	2000	100	51	201	150	154,33	532,021313	23,065587	-1,126117	6,53848	14,945628	153	149
	2010	100	113	180	67	147,75	187,219697	13,682825	0,531039	2,392128	9,260795	142,5	136
	IM_DIF	100	63	242	179	120,19	860,155455	29,328407	1,322617	6,033776	24,401703	116	107,62
C	2000	100	130	200	70	152,71	236,519091	15,379177	0,451186	2,610333	10,064248	152,5	137
	2010	100	131	214	83	181,65	386,371212	19,656328	-0,43072	2,429808	10,82099	182	182,7
	IM_DIF	100	125	185	60	155,84	185,24869	13,610543	-0,184811	2,408738	8,733664	155,5	154,82
D	2000	100	132	148	16	139	9,616162	3,100994	0,121945	3,57766	2,230931	139	139
	2010	100	136	152	16	143,92	12,983434	3,603253	0,140028	2,718308	2,50365	144	144
	IM_DIF	100	118	144	26	131,92	23,569293	4,854822	-0,344273	3,280631	3,680126	132	132,16
E	2000	100	137	171	34	148,22	56,799596	7,536551	0,685516	2,620949	5,084706	147	141
	2010	100	88	192	104	157,37	250,962727	15,841803	-0,535755	5,442969	10,066597	156,5	145
	IM_DIF	100	67	171	104	136,04	209,170101	14,462714	-1,232759	7,70308	10,631222	136	129
F	2000	100	129	163	34	138,93	33,520303	5,789672	1,687596	6,580087	4,16733	138	134
	2010	100	133	159	26	141,98	34,120808	5,841302	0,809899	3,277846	4,114172	141	140
	IM_DIF	100	109	150	41	130,05	52,330808	7,234004	-0,073594	3,733158	5,562479	130	134
G	2000	100	128	136	8	132,18	3,078384	1,754532	-0,241539	2,397907	1,327381	133	133
	2010	100	131	137	6	133,63	1,912222	1,382831	0,313997	2,649929	1,034821	134	133
	IM_DIF	100	124	134	10	128,45	4,04798	2,011959	0,035812	2,669177	1,566336	128	128
H	2000	100	124	136	12	129,68	5,310707	2,304497	0,566193	2,861591	1,777064	129	128
	2010	100	128	137	9	132,06	4,521616	2,126409	0,287229	2,484473	1,610184	132	133
	IM_DIF	100	121	136	15	129,38	7,147071	2,673401	-0,123761	3,171601	2,066317	129	129
I	2000	100	130	148	18	136,97	9,160707	3,026666	0,634127	4,058165	2,209729	137	137,06
	2010	100	130	144	14	137,13	10,780909	3,283429	0,205034	2,056487	2,394392	137	135
	IM_DIF	100	118	136	18	126,49	15,080707	3,883389	0,230178	2,303884	3,070115	126	130

APÊNDICE E – Parâmetros estatísticos das amostras selecionadas na área da sub-bacia do rio Espinharas nas imagens IVDN processadas: Áreas de mudança negativa

AMOST.	ANO	Nº PIXELS	MIN.	MÁX.	AMPLITUDE	MÉDIA (μ)	VARIÂNCIA (s^2)	DESVIO PADRÃO(s)	ASSIMETRIA	COEF. KURTOSIS	COEF. VARIA.	MEDIANA	MODA
AM1	2000	100	150	169	19	159,78	17,082424	4,133089	-0,038166	2,547046	2,586737	160	159
	2010	100	133	146	13	140,65	6,209596	2,491906	-0,307608	3,214258	1,771707	141	140
	IM_DIF	100	95	121	26	108,19	27,872626	5,279453	-0,090646	2,773954	4,879798	108	108
AM2	2000	100	146	169	23	157,22	21,22838	4,606934	0,36593	2,98068	2,930247	157	156,56
	2010	100	138	146	8	142,06	2,925657	1,710455	-0,008391	2,417714	1,204037	142	142
	IM_DIF	100	100	123	23	111,84	22,822626	4,777303	-0,260613	2,933667	4,271552	112	112,32
AM3	2000	100	153	178	25	167,02	24,585455	4,958372	-0,064634	2,525042	2,96873	167	168
	2010	100	136	150	14	142,57	8,28798	2,878885	0,209727	2,429487	2,019278	142	142
	IM_DIF	100	91	115	24	102,55	18,734848	4,328377	-0,042348	2,848743	4,220748	103	103,9
AM4	2000	100	130	166	36	149,81	90,822121	9,530064	-0,467311	2,263556	6,361434	152	153
	2010	100	128	149	21	137,1	22,454545	4,738623	0,492407	2,883214	3,456326	137	134
	IM_DIF	100	96	131	35	113,94	59,34899	7,703889	0,310605	2,357486	6,761356	113	111,12
AM5	2000	100	138	167	29	149,78	32,496566	5,700576	0,42871	3,538386	3,805966	150	151
	2010	100	125	145	20	138,42	8,852121	2,975251	-1,63674	8,104645	2,149438	138	138
	IM_DIF	100	99	129	30	115,64	33,182222	5,760401	-0,079241	3,279912	4,981322	116	116,72
AM6	2000	100	152	189	37	174,14	45,576162	6,751012	-0,351314	3,473191	3,876773	174	173,72
	2010	100	138	164	26	145,29	22,430202	4,736053	1,387742	5,197087	3,259724	144	143
	IM_DIF	100	81	118	37	97,25	45,401515	6,738065	0,327095	3,558809	6,928601	96	96
AM7	2000	100	142	167	25	155,47	30,696061	5,540403	-0,1311512	2,75073	3,563647	155	156
	2010	100	135	146	11	140,51	4,898889	2,213343	-0,287205	2,87565	1,575221	141	141
	IM_DIF	100	99	126	27	112,04	29,271111	5,410278	0,240606	3,218592	4,828881	112	112
AM8	2000	100	149	174	25	163,94	23,228687	4,819615	-0,845053	3,794076	2,939865	164	167
	2010	100	132	142	10	136,67	3,698081	1,923039	0,54122	3,43272	1,40768	136	136
	IM_DIF	100	91	120	29	99,73	31,148586	5,581092	1,084617	4,323872	5,962020	99	98
AM9	2000	100	125	208	83	171,53	460,150606	21,451121	-0,500105	2,335487	12,505755	174	179
	2010	100	131	184	53	159,25	199,684343	14,130971	-0,186178	2,149809	8,873451	159	159
	IM_DIF	100	80	157	77	114,25	285,193535	16,887674	-0,123351	2,343582	14,720776	114	114

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.