



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS – CFCH
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS – DCG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – PPGeo

**AVALIAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE À EROÇÃO DOS SOLOS DA
SUB-BACIA DO ALTO NATUBA – PE: AGREGAÇÃO E COBERTURA VEGETAL**

SARA FERNANDES DE SOUZA

RECIFE

2009



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS – CFCH
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS – DCG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – PPGeo

**AVALIAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE À EROÇÃO DOS SOLOS DA
SUB-BACIA DO ALTO NATUBA – PE: AGREGAÇÃO E COBERTURA VEGETAL**

Dissertação de mestrado apresentada por **Sara Fernandes de Souza** ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientadora: Prof. Dra. Maria do Socorro Bezerra de Araújo

Co-orientadora: Prof. Dra. Josiclêda Domiciano Galvêncio

RECIFE

2009

Souza, Sara Fernandes de

Avaliação da susceptibilidade à erosão dos solos da sub-bacia do Alto Natuba-PE : agregação e cobertura vegetal / Sara Fernandes de Souza . – Recife: O Autor, 2009.

83 folhas : il., fig., tab.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Geografia, 2009.

Inclui bibliografia.

1. Geografia. 2. Geomorfologia. 3. Solos – Agregação. 4. Solos - Erosão. I. Título.

**911
910**

**CDU (2.
ed.)
CDD (22. ed.)**

**UFPE
BCFCH2009/40**

DEDICATÓRIA

**Aos meus pais, Severino Flor de Souza e
Maria Fernandes de Souza;**

**As minhas irmãs, Gabriella Fernandes de
Souza, Erika Fernandes de Souza e
Luanna Fernandes de Souza;**

**A minha linda sobrinha Ana Carolina
Fernandes Nogueira.**

Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero compartilhar desta minha realização com todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

A minha amada família pelo incentivo, compreensão, cuidado e apoio para que eu concluísse mais esta etapa da minha vida com coragem e dignidade. Meus pais: Severino Flor de Souza e Maria Fernandes de Souza; Minhas irmãs: Gabriella Fernandes de Souza, Erika Fernandes de Souza e Luanna Fernandes de Souza; Minha linda sobrinha Ana Carolina Fernandes Nogueira. Obrigada pelo apoio incondicional de todos. Amo vocês!

Minha amada Tia Marleide e a sua linda família: Francisco, Alice, Paulo e Alisson. Amo vocês!

A minha orientadora Dr. Maria do Socorro Bezerra de Araújo, pela imensa colaboração, dedicação e incentivo no desenvolvimento dessa pesquisa. Serei eternamente grata! Muito Obrigada!

Ao Prof. Dr. Ricardo Augusto Pessoa Braga pelo acompanhamento nos trabalhos de campo e contribuição para esse estudo.

Com todo carinho aos pesquisadores Maria Sonia Lopes da Silva e Roberto da Boa Viagem Parahyba da Embrapa Solos – UEP Nordeste pela calorosa acolhida e imensa assistência prestada na fase final desse estudo, a qual foi de fundamental importância para sua finalização. Serei eternamente grata! Muito obrigada por tudo!

Às Professoras, Dr^a Josiclêda Domiciano Galvíncio e Dr^a Rejane Magalhães Mendonça Pimentel pela assistência no desenvolvimento do trabalho.

A Adriana Pereira da Costa e Danielle Bispo pela amizade, companheirismo e apoio.

A Olavo José Lima Ferraz pelo carinho, paciência, apoio e confiança em todos os momentos.

Aos meus colegas de curso mestrado pela amizade e aprendizado compartilhado, em especial a Elvis Berg e a Cristiana Coutinho Duarte. Obrigada por fazer parte desta história.

A Edson Carneiro de Miranda e a Gustavo Ribeiro da Silva Amorim pela ajuda incondicional nos trabalhos de campo para as coletas de material e ainda pela ajuda nas análises em laboratório. Sendo de fundamental importância para a realização

deste trabalho o profissionalismo, a dedicação e o bom humor dessas duas pessoas que guardo comigo um imenso carinho e gratidão.

A Lucas Cavalcanti pela bela amizade, companheirismo e apoio. Obrigada!

A todos os que fazem o Grupo de Pesquisa Geo-Ambiental da UFPE, especialmente: Jéssica Menezes pela ajuda no banco de dados; Daniel Lira pela contribuição na coleta de materiais em campo; A Cristiane Barbosa da Silva pela ajuda as análises em laboratório; A Manuella Vieira e a Tiago Henrique Oliveira pela contribuição nos trabalhos de gabinete.

Aos lindos amigos que adquiri nesse caminhada: Hewerton Alves e Ivaneide Santos.

A Universidade Federal de Pernambuco pela oportunidade de ingresso, aprendizagem e começo de uma carreira, que espero obter sucesso e felicidade.

Ao Laboratório de Tecnologia Mineral do departamento de Engenharia de Minas da UFPE, em especial ao técnico de laboratório Marcelo Gomes pela receptividade e auxílio durante minhas análises.

Aos professores e funcionários do Departamento de Ciências Geográficas, pelo rico aprendizado.

A Deus, Pai de Bondade, pela vida, e pelo chamado a colaborar e a usufruir de sua obra.

A todos não citados, mas que de alguma maneira colaboraram nessa jornada, meu muito obrigada!

RESUMO

O uso intensivo dos solos através do manejo inadequado promove alterações em suas propriedades físicas, reduzindo a estabilidade de agregados e aumentando a vulnerabilidade aos processos erosivos. A área de estudo foi a sub-bacia do Alto Natuba, a qual apresenta características importantes como solos férteis e índices pluviométricos anuais favoráveis a agricultura. O objetivo deste trabalho foi avaliar a susceptibilidade à erosão dos solos da sub-bacia do Alto Natuba – PE, através da cobertura vegetal, da agregação e morfologia dos agregados dos solos, em três posições (terço superior, médio e inferior) de uma encosta, utilizando três tipos de uso (mata, mata em regeneração e cultivo) em cada posição, e duas profundidades, 0-10 e 10-20 cm, em solo denominado de Argissolo Amarelo, que de acordo com a classificação americana é classificado como *Ultisol*. A cobertura vegetal foi avaliada pela Análise dos componentes principais (ACP). A agregação do solo foi analisada após o peneiramento em malhas de 2,00, 1,00, 0,50 e 0,25 mm para a determinação do peso e percentagem do diâmetro dos agregados agrupados pelo diâmetro e calculado o Diâmetro Médio Ponderado (DMP) e o Diâmetro Médio Geométrico (DMG). A morfologia dos agregados foi avaliada em imagens digitais para as variáveis: área, perímetro, comprimento do maior eixo, comprimento do menor eixo, alongamento, arredondamento e compactidade, utilizando-se o programa *Image J*. Os resultados apontam um solo com baixa vulnerabilidade aos processos erosivos, em função de uma boa cobertura vegetal e adequadas características estruturais dos agregados. Análise por Componentes Principais apresentou como resultado o aumento de 5,82% da cobertura vegetal da bacia do rio Natuba, de 1989 a 2007. A análise estrutural do solo identificou elevado peso de agregados maiores > 2,00 mm no cultivo, em todas as posições da encosta, em ambas as profundidades, em relação à mata e a mata em regeneração. Foram detectadas apenas pequenas alterações nos índices das variáveis morfológicas entre os tipos de uso, para as duas classes de diâmetro estudadas, em ambas as profundidades.

Palavras-Chave: estabilidade de agregados, estrutura do solo, vegetação, Zona da Mata.

ABSTRACT

The intensive use of the soils through the unsuitable management promotes alterations in its physical properties reducing the stability of aggregates and enhancing the vulnerability to the erosive processes. The area of study was the sub-basin of the Alto Natuba, which presents important characteristics like fertile soils and favorable annual pluviometric indices. The objective of this work was evaluate the susceptibility the soils to the erosion of the sub-basin of the Alto Natuba – PE, through the vegetation cover, the aggregation and morphology of the aggregates of the soils, at three positions (superior, middle and inferior) of a slope, using three types of use (wild, in regeneration and under cultivation forest) in each position, and two profundities, 0-10 and 10-20 cm, in a soil named Yellow Argissol, classified by the American classification as Ultisol. The vegetation cover was evaluated by the Principal Components Analysis (PCA). The aggregation of the soil was analyzed after mesh screen of 2.00, 1.00, 0.50, and 0.25 mm to determinate the weight and percentage of the diameter of aggregates grouped by the diameter and calculated the Ponderate Middle Diameter (PMD) and the Geometrical Middle Diameter (GMD). The morphology of the aggregates was evaluated in digital images to the variables: area, perimeter, length of the greatest and lower axle, lengthening, roundness and compactness, when the software Image J was used. The results point to a soil with low vulnerability to the erosive processes, in function of a good vegetation cover and appropriate structural characteristics of the aggregates. Principal Components Analysis showed the increase of 5.82% of the vegetation cover of the basin of the River Natuba, from 1989 to 2007. The structural analysis of the soil identified greatest weight of larger aggregates > 2.00 mm in the cultivation soil, in all the positions of the slope, in both profundities, regarding the wild and in regeneration forest. Small alterations were detected for the indexes of the morphological variables among the types of use to both diameter classes investigated, on both profundities.

Key-Words: stability of aggregates, soil structure, vegetation, Forest Zone.

LISTA DE FIGURAS

Introdução Geral

Figura 1	Localização da sub-bacia do Alto Natuba no município de Pombos, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco.....	24
Figura 2	Bacia hidrográfica do rio Tapacurá, localizada no Estado de Pernambuco, congregando 14 sub-bacias.....	24
Figura 3	Localização da sub-bacia do Alto Natuba no município de Pombos, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco.....	25
Figura 4	Complexos geológicos da sub-bacia do Alto Natuba no município de Pombos, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco.....	26
Figura 5	Altimetria da sub-bacia do Alto Natuba no município de Pombos, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco.....	27
Figura 6	Modelo Digital de Elevação da sub-bacia do Alto Natuba no município de Pombos, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco.....	28
Figura 7	Declividade (%) da sub-bacia do Alto Natuba no município de Pombos, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco.....	29
Figura 8	Mapa de Solo da sub-bacia do Alto Natuba no município de Pombos, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco.....	30
Figura 9	Uso do solo da sub-bacia do Alto Natuba no município de Pombos, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco.....	32
Capítulo 1		
Figura 1.1	Imagem (A) Landsat 5-TM 214.66 de 10/07/1989 com aproximadamente 5% de interferência de nuvens e sombras. Imagem (B) Landsat 5-TM 214.66 de 29/08/2007 com visibilidade total, da sub-bacia do rio Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco.....	36
Figura 1.2	Imagens Landsat-5 TM de 10/07/1989 da sub-bacia do rio Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco. (A) – imagem da banda 3; (B) – imagem da banda 4; (C) – imagem da soma das bandas 3 e 4.....	37

Figura 1.3	Imagens Landsat-5 TM de 29/08/2007 da sub-bacia do rio Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco. (A) – imagem da banda 3; (B) – imagem da banda 4; (C) – imagem da soma das bandas 3 e 4.....	38
Figura 1.4	Imagem da ACP da soma das bandas 3 e 4 da imagem Landsat-5 TM 10/07/1989 da sub-bacia do rio Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco (A). (B) – imagem da primeira componente principal gerada pela ACP; (C) – imagem da segunda componente principal gerada pela ACP.....	39
Figura 1.5	Imagem da ACP da soma das bandas 3 e 4 da imagem Landsat-5 TM 29/08/2007 da sub-bacia do rio Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco (A). (B) – imagem da primeira componente principal gerada pela ACP; (C) – imagem da segunda componente principal gerada pela ACP.....	39
Figura 1.6	Precipitação de 1989 da sub-bacia do rio Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco.....	40
Figura 1.7	Precipitação de 2007 da sub-bacia do rio Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco.....	40
Figura 1.8	Imagem CP2 Landsat-5 TM de 10/07/1989 da sub-bacia do rio Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco, resultante da ACP da soma das bandas 3 e 4, com a classificação da vegetação densa.....	42
Figura 1.9	Imagem CP2 Landsat-5 TM de 29/08/2007 da sub-bacia do rio Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco, resultante da ACP da soma das bandas 3 e 4, com a classificação da vegetação densa.....	43
Figura 1.10	Mapa de vegetação densa da bacia do rio Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco, da imagem 2007 com assentamentos e fragmentos florestais demarcados.....	44
Figura 1.11	Imagem CP2 Landsat-5 TM de 10/07/1989 da sub-bacia do Alto Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco, resultante da ACP da soma das bandas 3 e 4, com a	

	classificação da vegetação densa.....	46
Figura 1.12	Imagem CP2 Landsat-5 TM de 29/08/2007 da sub-bacia do Alto Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco, resultante da ACP da soma das bandas 3 e 4, com a classificação da vegetação densa.....	46
Figura 1.13	Imagem CP2 Landsat-5 TM de 10/07/1989 da sub-bacia do Médio Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco, resultante da ACP da soma das bandas 3 e 4, com a classificação da vegetação densa.....	47
Figura 1.14	Imagem CP2 Landsat-5 TM de 29/08/2007 da sub-bacia do Médio Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco, resultante da ACP da soma das bandas 3 e 4, com a classificação da vegetação densa.....	47
Figura 1.15	Imagem CP2 Landsat-5 TM de 10/07/1989 da sub-bacia do Baixo Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco, resultante da ACP da soma das bandas 3 e 4, com a classificação da vegetação densa.....	48
Figura 1.16	Imagem CP2 Landsat-5 TM de 10/07/1989 da sub-bacia do Baixo Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco, resultante da ACP da soma das bandas 3 e 4, com a classificação da vegetação densa.....	48
 Capítulo 2		
Figura 2.1	Área de estudo na sub-bacia do Alto Natuba, com respectivos usos. Pombos - PE, 2008.....	53
Figura 2.2	Representação da área de estudo na sub-bacia do Alto Natuba, com respectivos usos e pontos de coleta. círculo verde = transecto 1; círculo amarelo = transecto 2; círculo azul = transecto 3; círculo vermelho = transecto 4.....	54
Figura 2.3	(A) Peneiras utilizadas no método de peneiramento via seca. (B) Agitador mecânico com o respectivo jogo de peneiras submetido a movimentos rotatórios com vibração.....	55

Capítulo 3

Figura 3.1	Imagem original dos agregados da classe de 4,76 a 2,00 mm (A) e da classe de 2,00 a 1,00 mm (B) gerada no scanner.....	67
Figura 3.2	Imagem original dos agregados da classe de 4,76 a 2,00 mm (A) e da classe de 2,00 a 1,00 mm (B) processada pelo programa <i>ImageJ</i>	67

LISTA DE TABELAS

Introdução Geral

Tabela 1	Classes da declividade (%) da sub-bacia do Alto Natuba no município de Pombos, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco, baseadas na Resolução do CONAMA nº 289/01 de classificação de Capacidade de Uso das Terras.....	28
-----------------	---	----

Capítulo 2

Tabela 2.1	Distribuição das classes de tamanho dos agregados em função dos tipos de uso nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, na sub-bacia do Alto Natuba, município de Pombos, Zona da Mata Centro, Pernambuco-2008.....	59
-------------------	--	----

Tabela 2.2	Diâmetro Médio Ponderado das áreas de mata, mata em regeneração e cultivo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, na sub-bacia do Alto Natuba, município de Pombos, Zona da Mata Centro, Pernambuco-2008.....	60
-------------------	---	----

Tabela 2.3	Diâmetro Médio Geométrico das áreas de mata, mata em regeneração e cultivo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, na sub-bacia do Alto Natuba, município de Pombos, Zona da Mata Centro, Pernambuco-2008.....	61
-------------------	--	----

Tabela 2.4	Densidade do solo das áreas de mata, mata em regeneração e cultivo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, na sub-bacia do Alto Natuba, município de Pombos, Zona da Mata Centro, Pernambuco.....	61
-------------------	---	----

Capítulo 3

Tabela 3.1	Variável área considerando o tipo de uso do solo e a profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm da amostragem para a classe de agregados de 4,76 a 2,00 mm a 2,00 a 1,00 mm de diâmetro, na sub-bacia do Alto Natuba, município de Pombos, Zona da Mata Centro, Pernambuco-2008.....	70
-------------------	--	----

Tabela 3.2	Variável perímetro considerando o tipo de uso do solo e a	
-------------------	---	--

	profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm da amostragem para a classe de agregados de 4,76 a 2,00 mm a 2,00 a 1,00 mm de diâmetro, na sub-bacia do Alto Natuba, município de Pombos, Zona da Mata Centro, Pernambuco-2008.....	71
Tabela 3.3	Variável alongamento considerando o tipo de uso do solo e a profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm da amostragem para a classe de agregados de 4,76 a 2,00 mm a 2,00 a 1,00 mm de diâmetro, na sub-bacia do Alto Natuba, município de Pombos, Zona da Mata Centro, Pernambuco-2008.....	72
Tabela 3.4	Variável arredondamento considerando o tipo de uso do solo e a profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm da amostragem para a classe de agregados de 4,76 a 2,00 mm a 2,00 a 1,00 mm de diâmetro, na sub-bacia do Alto Natuba, município de Pombos, Zona da Mata Centro, Pernambuco-2008.....	73
Tabela 3.5	Tabela 3.5 – Variável compactidade considerando o tipo de uso do solo e a profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm da amostragem para a classe de agregados de 4,76 a 2,00 mm a 2,00 a 1,00 mm de diâmetro, na sub-bacia do Alto Natuba, município de Pombos, Zona da Mata Centro, Pernambuco-2008.....	74

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	17
2. HIPÓTESE	18
3. OBJETIVO	18
3.1 Objetivo Geral.....	18
3.2 Objetivos Específicos	18
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
4.1 Estrutura Do Solo.....	19
4.2 Erosão	21
4.3 Sensoriamento Remoto	22
5. ÁREA DE ESTUDO	23
5.1 Localização Geográfica	23
5.2 Geologia.....	25
5.3 Relevo	26
5.4 Solos	29
5.5 Clima	30
5.6 Vegetação e uso do solo	31
CAPÍTULO 1 - Avaliação da cobertura vegetal densa na sub-bacia do rio Natuba no Estado de Pernambuco	33
1. Introdução.....	33
2. Materiais e Métodos	35
2.1 Análise por componentes principais.....	35
2.1.1 Identificação da cobertura vegetal em cada imagem composta.....	37
2.2 Precipitação.....	40
3. Resultados e Discussão	41
4. Conclusões.....	49

CAPÍTULO 2 - Avaliação da susceptibilidade dos agregados à erosão do solo na sub-bacia do Alto Natuba no Estado de Pernambuco	50
1. Introdução.....	50
2. Materiais e Métodos	52
2.1 Estabilidade de Agregados	54
3. Resultados e Discussão	57
4. Conclusões	64
CAPÍTULO 3 - Morfologia de agregados da sub-bacia do Alto Natuba no Estado de Pernambuco	65
1. Introdução.....	65
2. Materiais e Métodos	66
3. Resultados e Discussão	68
4. Conclusões	74
6. CONCLUSÃO GERAL.....	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75

1. INTRODUÇÃO GERAL

O solo é um recurso básico e vital, que suporta toda a cobertura vegetal da terra, sem a qual os seres vivos não poderiam existir (Bertoni e Neto, 1990). É um dos recursos naturais mais abundantes da superfície terrestre e de grande importância para a produção de alimentos (Gallardo, 1998). O solo tem como uma das suas principais funções o fornecimento de elementos essenciais ao desenvolvimento e produção de vegetais. Desempenha uma grande variedade de funções vitais, de caráter ambiental, ecológico, social e econômico, constituindo um importante elemento paisagístico, patrimonial e físico para o desenvolvimento de infra-estruturas e atividades humanas (Vieira, 1975).

O uso do solo requer cuidados essenciais, uma vez que a intensa atividade humana acarreta alterações de suas características químicas, físicas e biológicas (Bertoni e Neto, 1990; Oliveira et al. 2007). As terras se desestruturam e se tornam menos produtivas pela composição de quatro fatores principais: perda da estrutura do solo, perda de matéria orgânica, perda dos elementos nutritivos e perda de solo, os quais são gerados pelo seu mau uso (Bertoni e Neto, 1990). Uma forte diminuição da camada superficial do solo pode induzi-lo a uma espessura inconciliável com muitas espécies da flora, visto que a mesma possui um triplo papel de suporte físico da vegetação ou volume para crescimento de raízes, espaço para armazenamento de água e de nutrientes em formas disponíveis para absorção das plantas (Sampaio et al., 2003).

O presente trabalho abordará o fator estrutura do solo como parâmetro para a avaliação da susceptibilidade a erosão, onde a cobertura vegetal e agregação serão as duas principais propriedades analisadas.

A cobertura vegetal é o fator, que isoladamente, mais influencia o processo erosivo (Foster, 1982), pois a serve como proteção ao solo contra os efeitos degradadores da precipitação e temperatura, além de fornecer matéria orgânica, seja por deposição de seus resíduos ou renovação do sistema radicular, que atuam como agente de formação e estabilização de agregados do solo (Silva e Mielniczuk, 1997). Os agregados são a forma como a estrutura do solo se organiza (Brady, 1989), os quais possuem a capacidade de controlar o processo erosivo do solo, através de sua estabilidade (Melo et al., 2008). Dessa forma, os solos tornam-se mais susceptíveis a erosão à medida que a cobertura vegetal é retirada e acontece a

introdução de práticas de manejo inadequada, a qual desestabilizará os agregados do solo (Centurion et al., 2001). A avaliação da susceptibilidade de agregados é de extrema importância no parâmetro de avaliação do efeito do manejo na agregação de solos (Sá et al., 2000).

A área de estudo da referente pesquisa é a sub-bacia do Alto Natuba, onde se desenvolve basicamente, a agricultura familiar, tendo como principal atividade econômica a produção de hortaliças folhosas em larga escala, com uso contínuo e desordenado sem utilização de práticas de manejo e conservação do solo. Este modo de uso está levando à perda gradativa da qualidade dos solos.

Diante do exposto, estudos de avaliação da susceptibilidade à erosão dos solos da sub-bacia do Alto Natuba, na Zona da Mata Centro, do Estado de Pernambuco, através da agregação e cobertura vegetal, torna-se importante para fornecer subsídios para adoção de práticas de uso e manejo adequados, visando a sua sustentabilidade.

2. HIPÓTESE

As práticas agrícolas da sub-bacia do Alto Natuba podem estar causando diminuição da agregação dos solos e conseqüentemente propiciando uma maior vulnerabilidade aos processos erosivos.

3. OBJETIVO

3.1 Objetivo Geral

Avaliar a susceptibilidade à erosão dos solos em área sob cultivo na sub-bacia do Alto Natuba - PE, através da análise da cobertura vegetal, da avaliação da agregação, e da morfologia de agregados.

3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar as mudanças ocorridas na cobertura vegetal, no período de dezoito anos, através de método estatístico aplicado a dados orbitais: Análise por componentes principais (ACP).

- Avaliar a susceptibilidade dos agregados do solo à erosão em alguns pontos delimitados na sub-bacia do Alto Natuba.
- Analisar variáveis morfológicas de agregados do solo em alguns pontos delimitados na sub-bacia do Alto Natuba.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Estrutura do solo

Os agregados são formados a partir do arranjo das partículas minerais do solo associadas à matéria orgânica, os quais são independentes por possuírem forma e tamanho definidos (Oliveira et al., 1992). A maneira como as partículas se arranjam no solo implica no condicionamento da infiltração e absorção da água pluvial, e na capacidade de perda da camada superficial do solo, através do destacamento das frações do solo (Guerra et al., 2005).

São imprescindíveis duas condições fundamentais para que possa haver formação de agregados no solo. Primeiramente é necessário que ocorra a atuação de uma força mecânica qualquer que promova a aproximação das partículas do solo, a qual pode ser gerada pelo crescimento das raízes, pela ação de animais de hábitos terrestres, pelo fenômeno da expansão e contração do solo, ou pela floculação (Kiehl, 1979). A segunda condição seria o desempenho de um agente cimentante, como a argila, sílica coloidal, compostos orgânicos, metais polivalentes, carbonato de cálcio, óxido e hidróxidos de ferro e alumínio para consolidar a união das partículas de solo após a atuação mecânica (Carpenedo e Mielniczuk, 1990).

A organização dos agregados do solo constitui sua propriedade estrutural (Brady, 1989). A estrutura do solo proporciona a capacidade de tolerância da flora e da fauna, por administrar as condições do ambiente devido à habilidade de controlar o processo erosivo, a circulação e infiltração hídrica, a absorção de nutrientes, o desenvolvimento das raízes, entre diversas outras ações. Assim, a estrutura é considerada um fator-chave para a manutenção do solo (Melo et al., 2008).

Para Oliveira et al. (1992), as características da estrutura do solo são identificadas por seus tipos de forma de agregados, por suas classes de dimensão, e pelos níveis de desenvolvimento (estabilidade). Para Ruellan e Dosso (1993) os

horizontes do solo podem proporcionar dois tipos de estruturas: a primeira se refere às estruturas fragmentares (com presença de agregados); e a segunda menciona as estruturas contínuas (sem presença de agregados). É comum um mesmo perfil apresentar diferentes formas de agregados em seus distintos horizontes (Galeti, 1972).

A qualidade do solo tem como uma de suas principais propriedades a formação de macroagregados estáveis (Mielniczuk et al., 2003). Edwards e Bremmer (1967) afirmaram que os agregados desenvolvem-se de várias formas e tamanhos, agrupando-se em macroagregados ($> 250 \mu\text{m}$) e microagregados ($< 250 \mu\text{m}$). Inicialmente ocorre a formação de microagregados, ou seja, agregados com o diâmetro menor que 0,25mm, que possuem em sua gênese a influência de material mineral entre si com compostos orgânicos, sendo desse modo relacionado à existência de um pequeno fluxo de energia originado de um baixo índice de organização que gera um solo composto predominantemente por microagregados, denominado de solo com estrutura simples (Salton et al., 2008). Já os macroagregados são agregados com tamanho superior a 0,25mm formados posteriormente aos microagregados devido ao crescimento de raízes e hifas de fungos associadas a resíduos vegetais, insetos e outros organismos, que propicia o desenvolvimento de estruturas mais complexas que surgem por meio do alto fluxo de força e matéria, acarretando dessa maneira um elevado grau de arranjo das partículas formando estruturas amplas e complexas (Salton et al., 2008). Assim, estabilidade estrutural é uma medida de resistência dos agregados à erosão. Desta forma, o equilíbrio dessas estruturas possuirá enorme importância para definição dos níveis de erosão que poderão ocorrer em determinado solo (Guerra et al., 2005).

Em função do manejo, nível e tempo de utilização, o solo sofre alterações em suas propriedades, dentre as quais se destaca a estrutura (Wendling et al., 2005). Vários são os agentes causadores da desestabilização do solo e que podem ser de cunho passageiro (intensas precipitações ocorridas em curto período) ou prolongado (uso intensivo), gerando solos mais suscetíveis aos processos erosivos (Wendling et al., 2005).

Muitos são os autores que analisaram os efeitos das práticas de manejo sobre a avaliação dos agregados. Alvarenga et al. (1986) e Volk e Cogo (2008) avaliaram que o plantio direto aumentou os níveis de agregação devido ao menor

revolvimento do solo e a uma maior incorporação de resíduos orgânicos. Calonego e Rosolem (2008) constataram que a ausência de vegetação promove a redução da agregação. Para Perin et al. (2002) a conservação dos agregados é fator chave para alcançar altas produtividades, visto que alta agregação conduz a condições físicas e conseqüentemente químicas e biológicas favoráveis. Neste sentido, a avaliação de agregados é amplamente utilizada como parâmetro para a análise da qualidade física do solo (Wendling et al., 2005).

4.2 Erosão

A erosão é um fenômeno que ocorre no solo, no subsolo e na rocha em decomposição, através das águas, ventos e geleiras, e que se desenvolve por meio da desagregação, transporte e deposição dos materiais dos horizontes superficiais e subsuperficiais do solo, causando o seu rebaixamento (Galetti, 1972). De acordo com Brady (1989), a erosão é o efeito relativo ao solo de maior poder destrutivo em esfera mundial, sendo assim considerado o mais trágico por poder resultar na perda total de solo. O processo erosivo é uma das formas mais generalizadas de degradação das características do solo e também a mais irreversível das deteriorações, visto que o solo origina-se de um processo de formação muito lento, ou seja, suas camadas atuais, em geral, são resultado de centenas ou milhares de anos, e a sua degradação ocorre de forma muita acelerada em relação a sua formação, assim em poucos anos, um solo pode ser totalmente erodido (Sampaio et al., 2003).

A erosão diferencia-se para cada solo devido à influência que suas distintas propriedades (características físicas, principalmente estrutura, textura, permeabilidade e densidade; químicas e biológicas) exercem sobre ele (Bertoni e Neto, 1990).

O uso intensivo do solo, aliado às condições inadequadas de manejo, convergem para a deterioração de suas propriedades físicas e isso se deve, principalmente, às modificações de sua estrutura (Olszewski et al., 2004). O uso agrícola torna o solo mais vulnerável à erosão com a diminuição de sua infiltração, devido ao manejo que resulta no decréscimo da quantidade de agregados > 2,0 mm

(Bognola et al., 1998). Assim, o uso e o manejo aplicado corretamente são a principal forma de elevar o nível de resistência do solo à erosão (Volk e Cogo, 2008).

4.3 Sensoriamento remoto

Sensoriamento remoto é definido por Novo (1992) e Rosa (1995), como a tecnologia que permite a aquisição de informações sobre objetos sem que haja contato físico com eles. Atualmente o sensoriamento remoto é de grande importância no monitoramento de diversos fenômenos ambientais (Silva et al., 2005). Deste modo, diversas são as aplicações do sensoriamento remoto: atualizações da cartografia; desenvolvimento de mapas; monitoramento de áreas minerais, de bacias de drenagem, da agricultura, florestas, desastres ambientais (enchentes, erosão, deslizamentos de terras, secas); desmatamentos; identificação de áreas de preservação permanente e avaliação do uso do solo (Sausen et al., 1990)

As imagens de satélite são bastante utilizadas para diversos tipos de pesquisa, e esse crescente uso acontece principalmente por consequência do baixo custo dos seus produtos, fato comprovado quando comparados a tradicionais técnicas, como: métodos fotogramétricos e topográficos (Rosendo, 2005). Dessa forma, é o principal recurso utilizado para o monitoramento de fenômenos naturais e análise dos impactos do uso da terra sobre as regiões naturais, pois oferece viabilidade e agilidade nos dados adquiridos pelas imagens de satélite (Gomes e Maldonado, 1998), uma vez que possui capacidade de gerar imagens com resoluções que permitem uma interpretação rápida e em detalhe dos objetos, espaço ou fenômenos analisados. Do modo que diversas são as áreas que buscam auxílio nesta técnica para obter mais facilidade ao analisar seus objetos de estudo.

Existe na literatura um vasto número de trabalhos que utilizam a aplicação de dados orbitais na caracterização do uso da terra. Rosendo e Rosa (2007) estudaram a detecção de mudanças no uso da terra e cobertura vegetal. Franco et al. (2007) utilizaram imagens Landsat-5 para estudo de degradação ambiental no semi-árido nordestino. Barbalho et al. (2007) estudaram o uso da terra a partir de imagens Landsat-5 em região sub-úmida no centro-oeste brasileiro. Teotia et al. (2003) utilizaram o sensoriamento remoto e SIG para avaliar a capacidade do uso da terra

no semi-árido nordestino. Maldonado et al. (2001) aplicaram análise por componentes principais para detecção de mudanças no uso do solo.

O sensoriamento remoto apesar de ser um método rápido, viável e de grande importância ao monitoramento ambiental, necessita de um processamento digital das imagens para que seus dados sejam utilizados com maior precisão. Portanto, formas de processamento através de métodos estatísticos e matemáticos são direcionados para essa aplicação, entre eles, a análise por componentes principais.

5. ÁREA DE ESTUDO

5.1 Localização geográfica

O local de estudo foi a sub-bacia do Alto Natuba, município de Pombos, localizada na Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco (Fig. 1), que se insere na bacia hidrográfica do rio Tapacurá (Braga, 2001) (Fig. 2).

A sub-bacia do Alto Natuba localiza-se no município de Pombos e faz parte da sub-bacia do rio Natuba (Fig. 3).

O Alto Natuba possui uma área de 5,95 km² que corresponde a 15,34% do território da sub-bacia do rio Natuba (Silva, 2007).

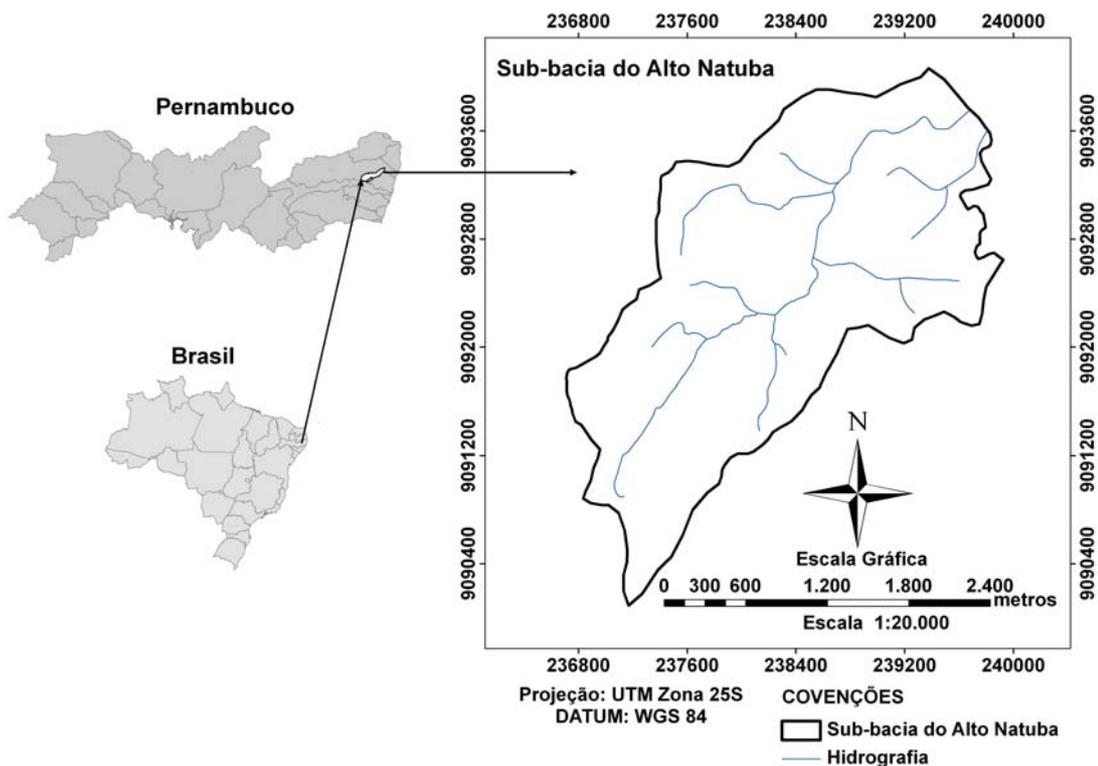


Figura 1 – Localização da sub-bacia do Alto Natuba no município de Pombos, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco.

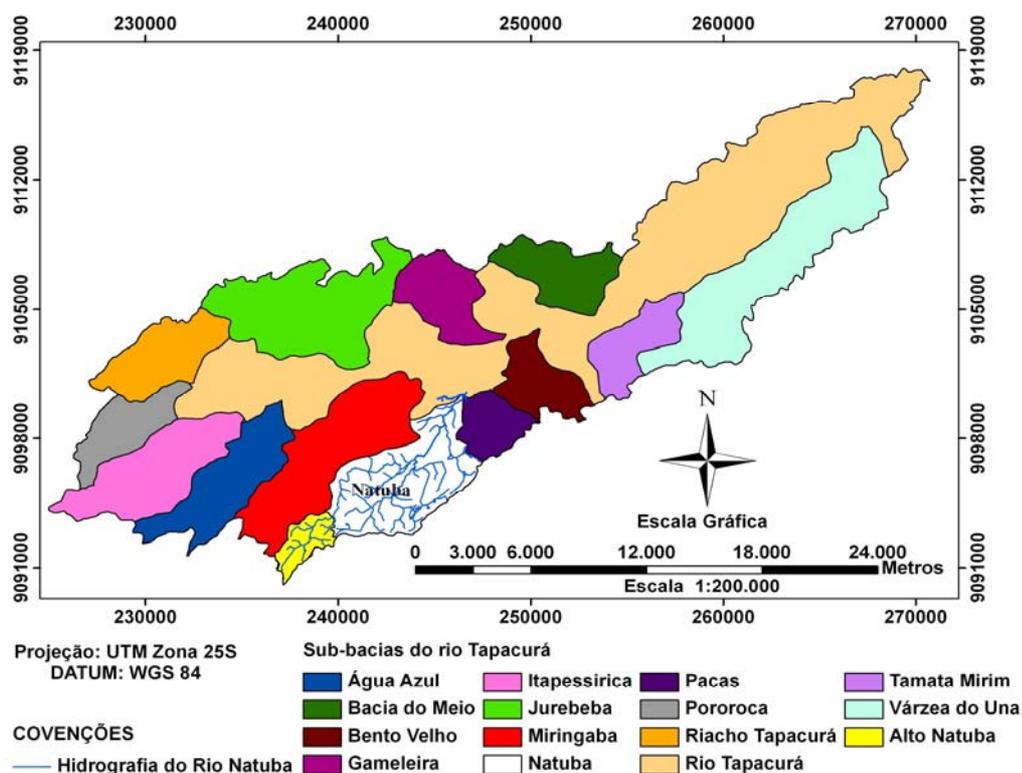


Figura 2 – Bacia hidrográfica do rio Tapacurá, localizada no Estado de Pernambuco, congregando 14 sub-bacias.

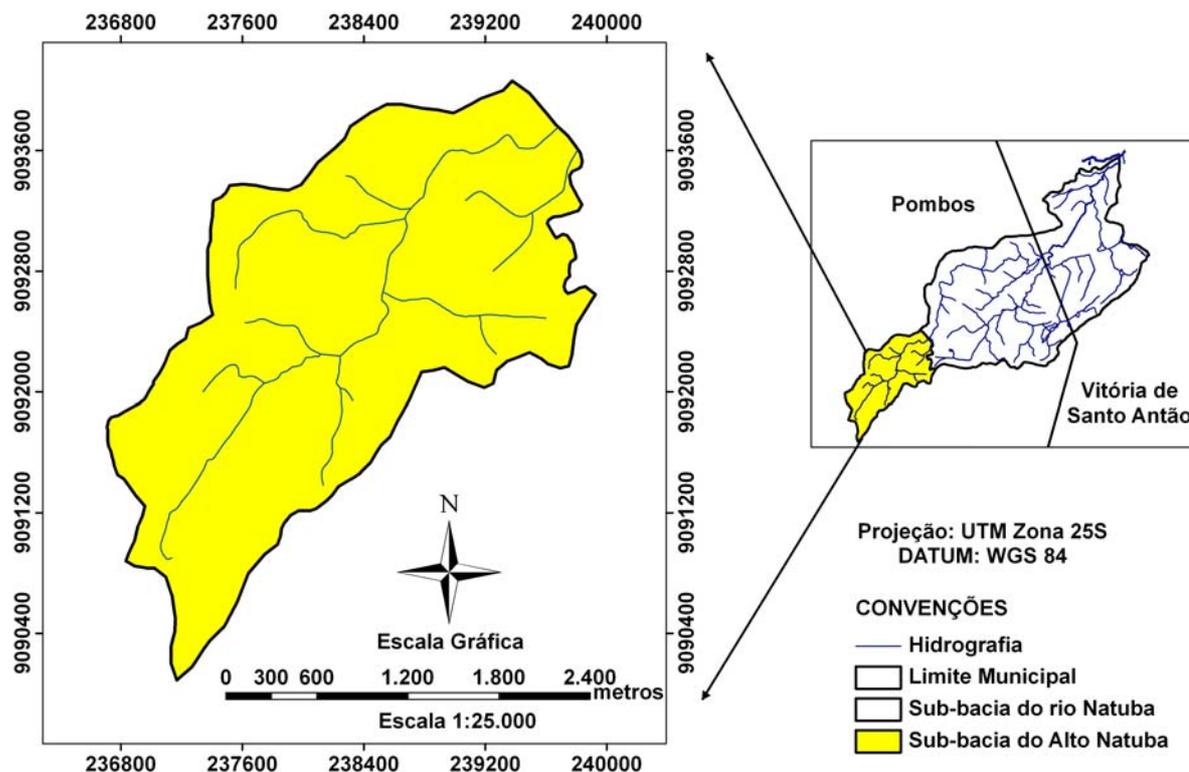


Figura 3 – Localização da sub-bacia do Alto Natuba no município de Pombos, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco.

5.2 Geologia

O Alto Natuba está inserido nos complexos geológicos de: My4sm (rochas metaplutônicas leucogranitóides contendo biotita e muscovita) formado no Mesoproterozoico; e no complexo Ny3m (Monzonitos e granodioritos com enclaves máficos e filiação alcalina-metaluminosa) originado no Neoproterozoico, (Gomes e Santos, 2001) (Fig. 4).

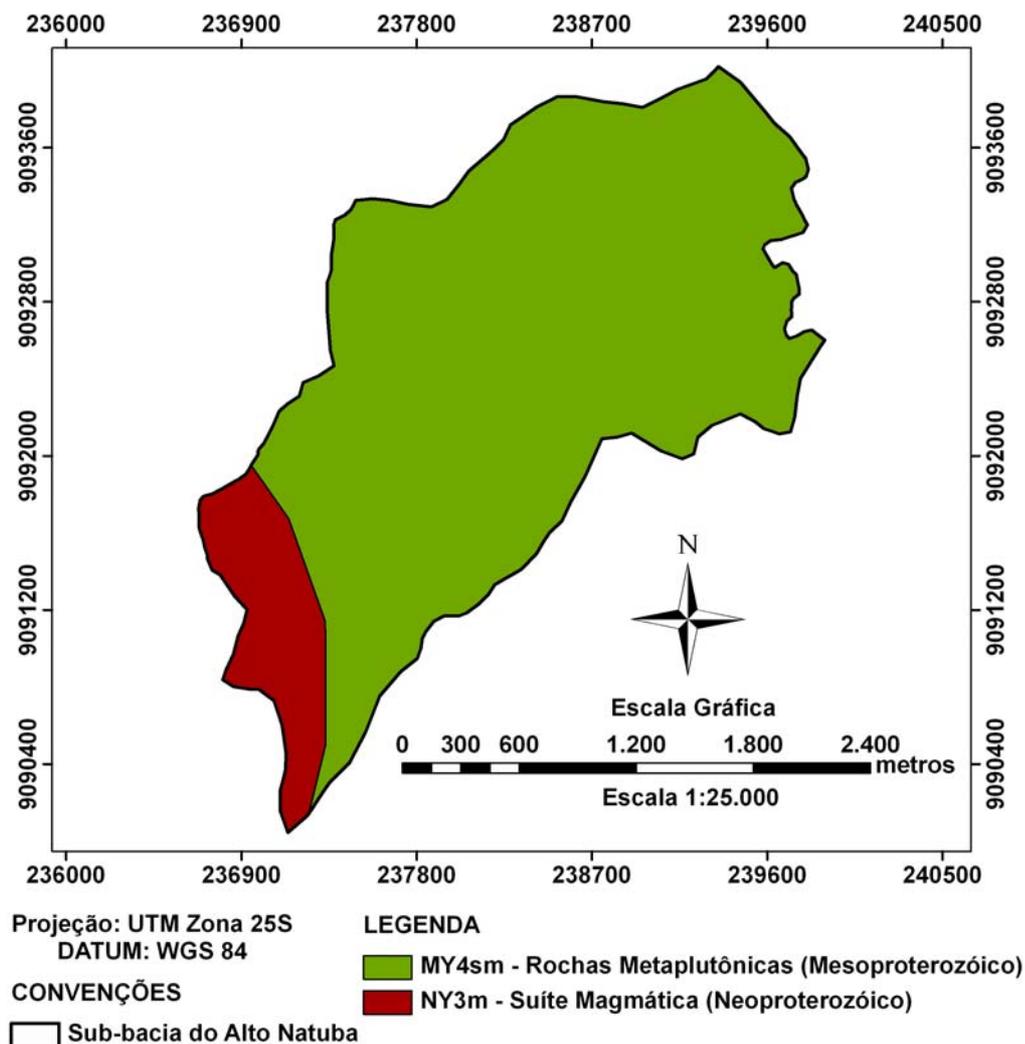


Figura 4 – Complexos geológicos da sub-bacia do Alto Natuba no município de Pombos, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco.

5.3 Relevo

Toda a área do Alto Natuba insere-se na Unidade Morfoestrutural do Planalto da Borborema, caracterizada pela presença de Suítes Magmáticas (gerada pela atividade magmática associada com a orogênese brasileira na Província da Borborema) (Gomes e Santos, 2001).

O Alto Natuba possui cotas altimétricas entre 380 a 570 metros, havendo assim uma diferença de 190 metros entre o ponto mais alto e o mais baixa da sub-bacia (Fig. 5 e 6).

A Tabela 1 apresenta as classes de declividade da área, baseadas na classificação de Capacidade de Uso das Terras do Conama, representadas na Figura 7.

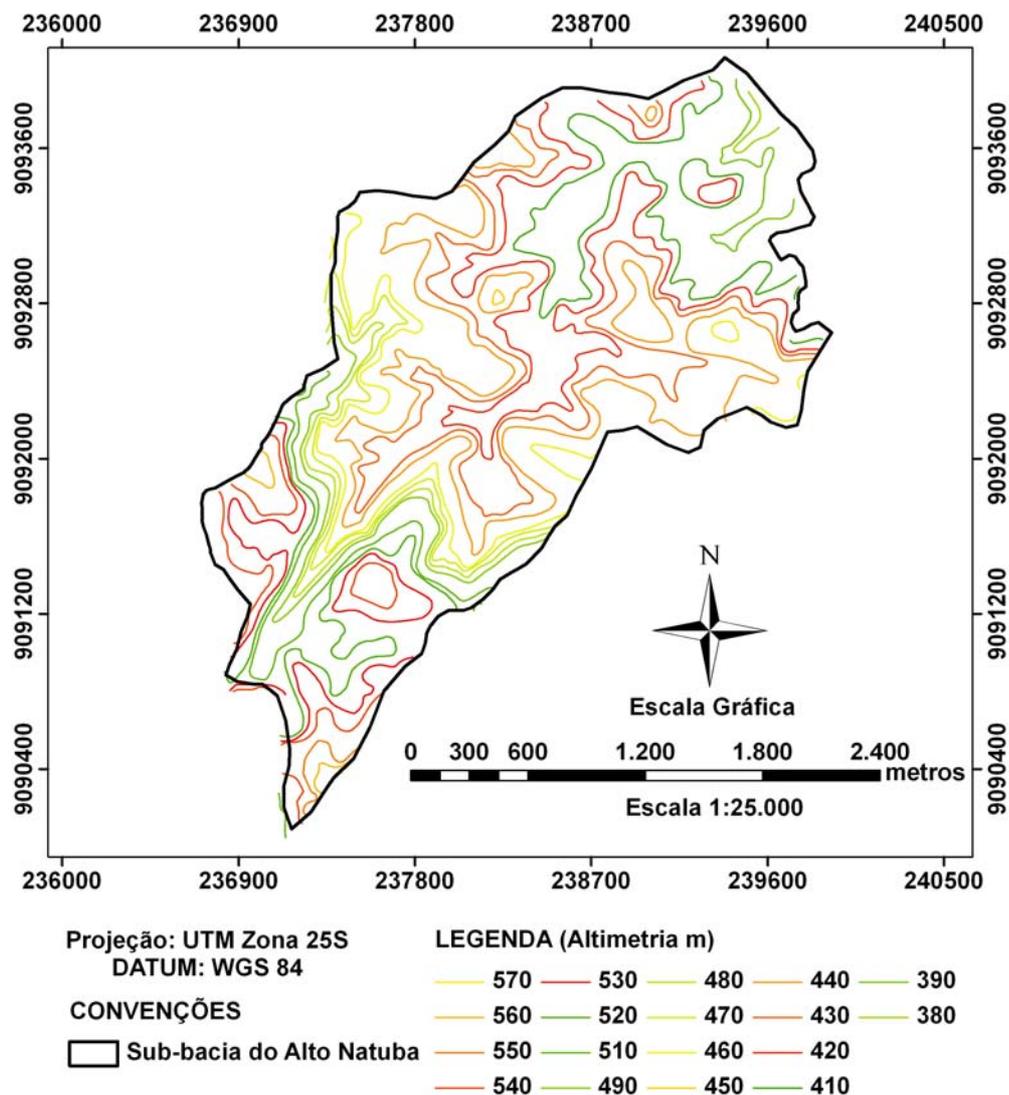


Figura 5 – Altimetria da sub-bacia do Alto Natuba no município de Pombos, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco.

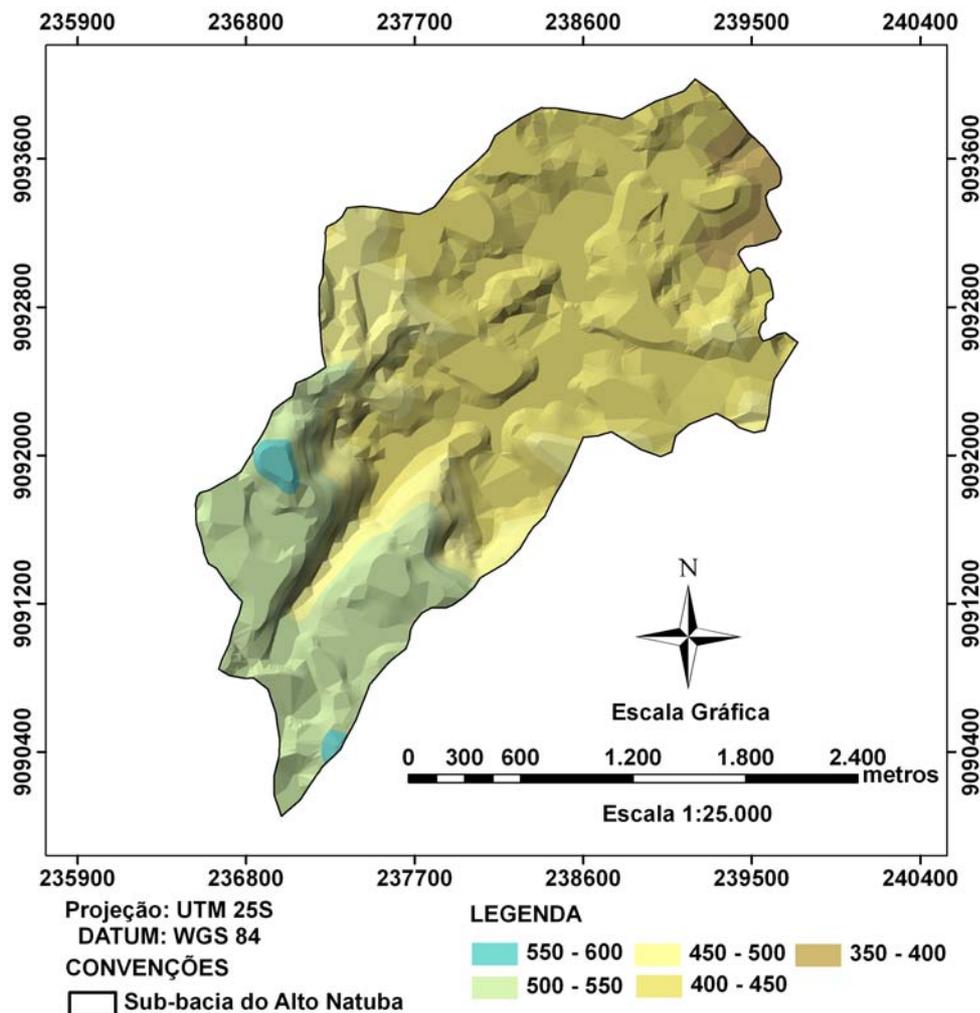


Figura 6 – Modelo Digital de Elevação da sub-bacia do Alto Natuba no município de Pombos, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco.

Tabela 1 – Classes da declividade (%) da sub-bacia do Alto Natuba no município de Pombos, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco, baseadas na Resolução do CONAMA nº 289/01 de classificação de Capacidade de Uso das Terras.

Classes de Relevo	Classes de Declividade (%)	Área (%)
Plano	0 – 5	34,47
Suave Ondulado	5 – 10	20,04
Ondulado	10 – 15	14,44
Muito Ondulado	15 – 25	21,10
Forte Ondulado	25 – 47	9,95
Áreas de Uso Restrito	47 – 100	0,00
Área de Preservação Permanente	> 100	0,00

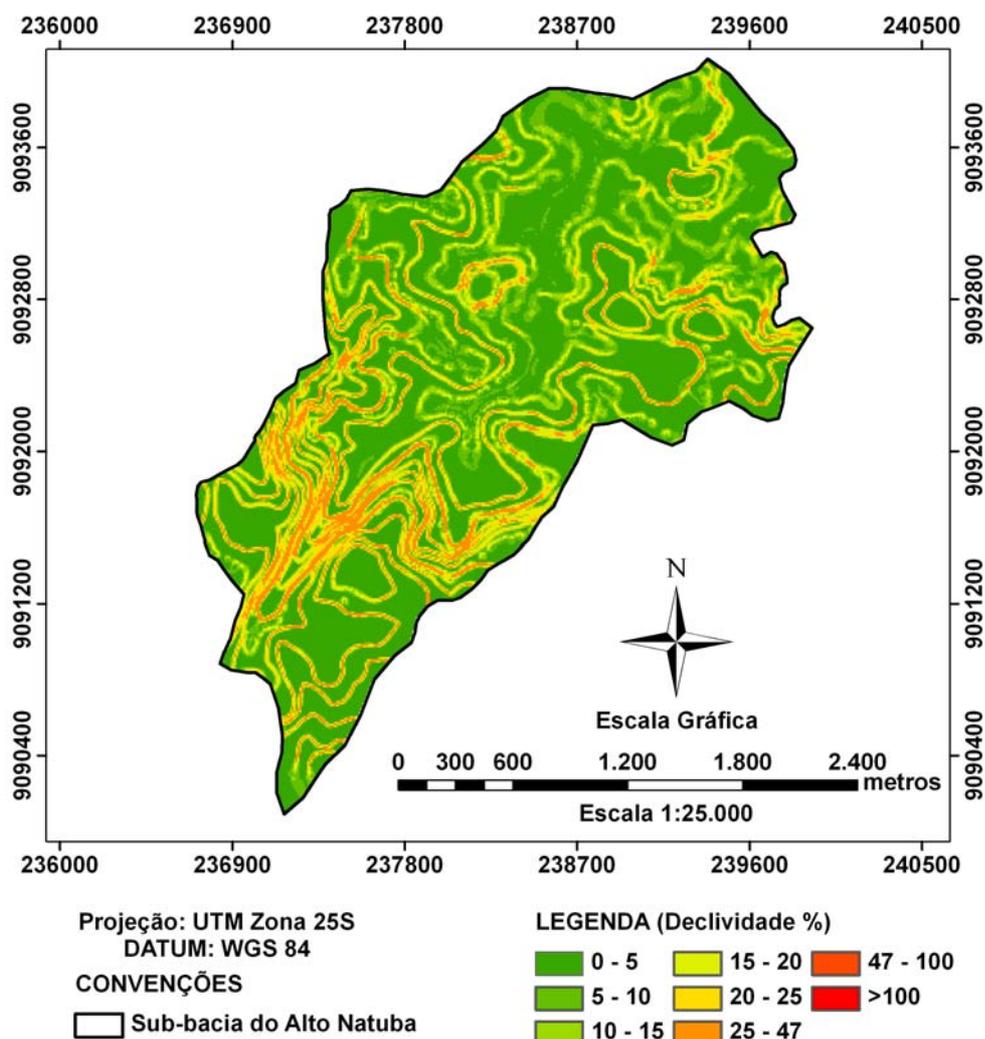


Figura 7 – Declividade (%) da sub-bacia do Alto Natuba no município de Pombos, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco.

5.4 Solos

Os principais tipos de solos ocorrentes no Alto Natuba são o Argissolo Amarelo e o Gleissolo (Silva et al., 2001) (Fig. 8). Segundo a Embrapa (2006) o Argissolo e o Gleissolo são definidos como:

- Argissolo: solos formados por material mineral com argila de baixa atividade ou alta combinada com saturação de bases baixa ou caráter alítico, e horizonte B textural rigorosamente abaixo de horizonte A ou E.
 - Argissolo Amarelo: solos com matiz 7,5 YR ou mais amarelos na maior parte do primeiro metro do horizonte B (inclusive BA).

- Gleissolo: solos constituídos por material mineral compreendendo-se como hidromórficos, onde apresentam logo abaixo do horizonte A ou E, ou H um horizonte glei dentro de 1,5 m da superfície.

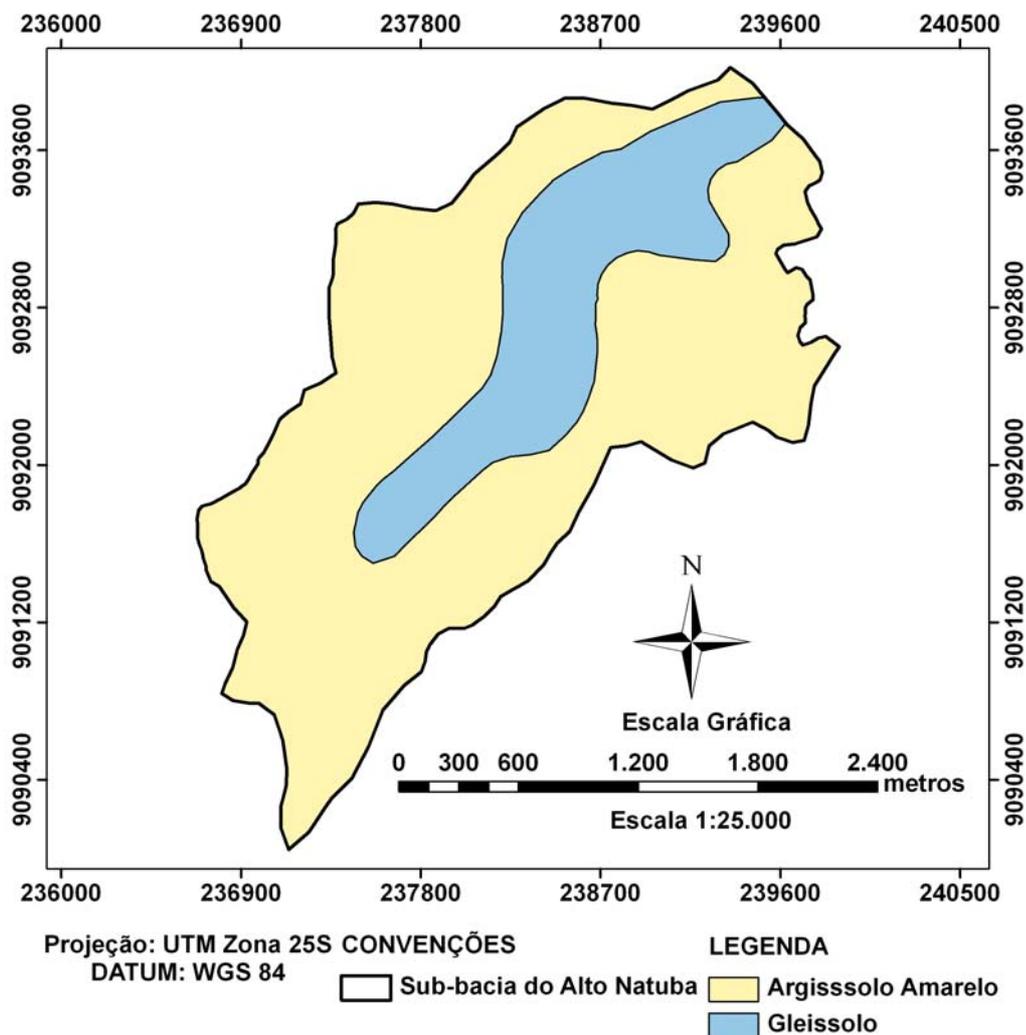


Figura 8 – Mapa de Solo da sub-bacia do Alto Natuba no município de Pombos, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco. Fonte: Adaptado de Silva et al. (2001).

5.5 Clima

De acordo com os dados pluviométricos dos postos de Vitória de Santo Antão e Engenho Serra Grande a área apresenta uma precipitação média anual entre 1.008 mm e 1395 mm com o período chuvoso entre os meses de março a julho, ou seja, chuvas de outono-inverno, concentrando-se nessa estação em torno de 70% da precipitação média anual (Braga et al., 1998).

O clima do Alto Natuba é denominado como Tropical chuvoso ou Megatérmico úmido, com período chuvoso de março a julho (outono-inverno) e temperatura média anual de 23,8°C, variando entre a mínima de 19,3°C e a máxima de 30,9°C (Silva, 2007).

A área de estudo encontra-se em uma zona de transição entre a mata pernambucana e o agreste, apresentando características mais úmidas ao leste e mais secas ao oeste da região.

5.6 Vegetação e uso do solo

A vegetação nativa da sub-bacia do Alto Natuba é caracterizada por dois tipos distintos: Mata Atlântica, representada por um importante remanescente conhecido como Mata do Ronda, que possui cerca de 512 ha de extensão, e a Caantiga que é encontrada nas escarpas da Serra das Russas (Braga, 2005).

A cobertura vegetal de Mata Atlântica foi em grande parte degradada devido à expansão da monocultura da cana-de-açúcar, a qual a partir do início da década de 1990, com a crise da cana-de-açúcar, foram gradativamente substituídos pela horticultura folhosa (Braga et al., 1998).

As formas de utilização do solo da região do Alto Natuba foram classificadas, segundo Braga (2001), como: mata, policultura, cana-de-açúcar, horticultura (Fig. 9).

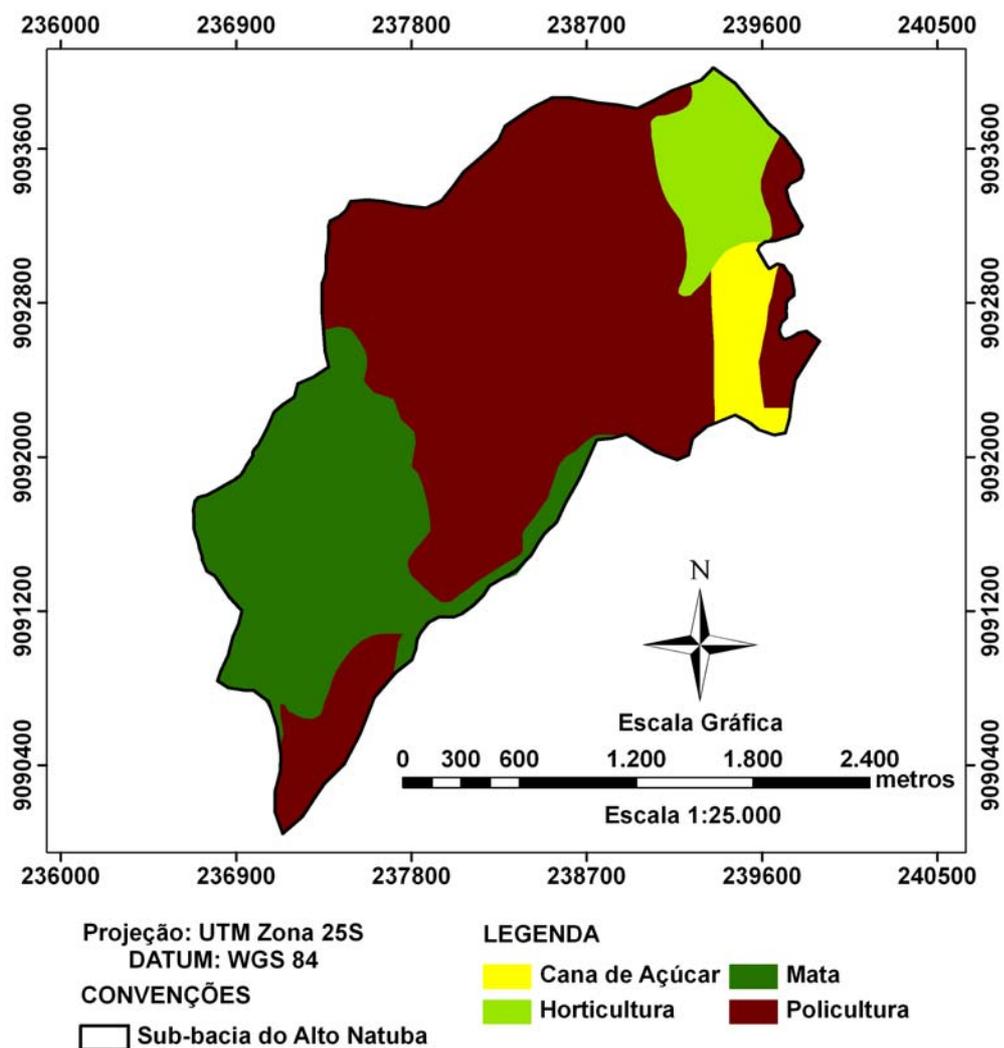


Figura 9 – Uso do solo da sub-bacia do Alto Natuba no município de Pombos, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco. Fonte: Adaptado de Braga (2001).

CAPÍTULO 1

Avaliação da cobertura vegetal densa na sub-bacia do rio Natuba no Estado de Pernambuco

1. Introdução

A cobertura vegetal desempenha um papel indispensável à proteção e conservação dos solos (Andrade e Oliveira, 2004), pois é o fator, que isoladamente, mais influência a intensidade do processo erosivo (Foster, 1982), uma vez que age como uma capa protetora do solo contra a erosão (Bertoni e Neto, 1990) Assim, os solos tornam-se mais susceptíveis a erosão à medida que a cobertura vegetal é retirada (Centurion et al., 2001).

Dentre as técnicas para a avaliação de cobertura vegetal, o sensoriamento remoto, é atualmente de grande importância no monitoramento ambiental, pois oferece viabilidade e agilidade nos dados adquiridos pelas imagens de satélite (Gomes e Maldonado, 1998), uma vez que possui capacidade de gerar imagens com resoluções que permitem uma interpretação rápida e em detalhe dos objetos, espaço ou fenômenos analisados. Contudo é necessário o processamento digital das imagens para que seus dados sejam utilizados com maior precisão. Portanto, formas de processamento através de métodos estatísticos e matemáticos são direcionados para essa aplicação, entre eles, a análise por componentes principais.

A análise por componentes principais (ACP) que também é conhecida como transformação por principais componentes, ou ainda como transformada de Karhunen-Loeve, é considerada como uma das funções mais poderosa de processamento de imagens em relação à manipulação de dados multitemporais. ACP é definida como um método estatístico que pode ser usado facilmente para fazer correlações entre imagens de satélite (Crosta, 1992)

Segundo Centeno (2004), o sensoriamento remoto utiliza bandas espectralmente próximas e altamente correlacionadas entre si. Por isso, parte da informação contida em um conjunto de bandas pode ser redundante. Assim, o método de análise por componentes principais elimina essa repetição de dados, resumindo as informações que interessam em um conjunto menor de bandas a partir

de combinações lineares das bandas originais, consistindo na geração de novas bandas, não correlacionadas (Sena et al., 2000).

A principal função da ACP é determinar a extensão da correlação existente entre as bandas e, através de uma transformação matemática apropriada, remover esta correlação. Assim, a ACP é aplicada da seguinte forma: um conjunto de N imagens de entrada, depois de processadas pela ACP, vai produzir um outro conjunto de N imagens de saída com nenhuma correlação entre si. O primeiro conjunto de saída será chamado de primeira componente principal ou CP1, o segundo conjunto de saída será chamado de CP2, o terceiro, de CP3, e assim por diante. A primeira componente principal ou CP1 irá conter a informação que é comum a todas as bandas N originais. A CP2 conterá a feição espectral mais significativa do conjunto. As CPs seguintes conterão feições espectrais cada vez menos significantes, até a última CP, que conterá a informação que sobrar, ou seja, a menos significativa (Crosta, 1992).

Para a aplicação da ACP não há necessidade da utilização de um conjunto com todas as bandas da imagem, podendo-se selecionar e compor imagens apenas as bandas de interesse para o objeto da pesquisa, que no referido trabalho se resume às bandas que melhor expressam as respostas da vegetação. Portanto, nos estudos de detecção de mudanças, pode-se desenvolver a aplicação do método somente com duas imagens de duas datas diferentes, na mesma faixa espectral. Desta forma, a CP1 possuirá as informações comuns entre as bandas, que em geral diminui à medida que a o período de tempo entre as imagens aumenta. A CP2 terá a expressão das mudanças ocorridas de uma data para outra, sendo assim, o conjunto de componentes de maior importância para análise de mudanças na cobertura do terreno (Maldonado, 1999).

A área de estudo referente a pesquisa é a sub-bacia do rio Natuba, a qual apresenta como principal atividade econômica local a produção de hortaliças em larga escala, abastecendo o todo o Grande Recife e chegando a ser responsável por 60% do consumo de hortaliças na região. Essas características constituem-se em oportunidade para o desenvolvimento local, porém, trazem elementos de pressão e risco de degradação ambiental.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é caracterizar e analisar as mudanças ocorridas na cobertura vegetal no período de dezoito anos, na sub-bacia do Rio Natuba.

2. Materiais e Métodos

A sub-bacia do rio Natuba foi a área de estudo referente aplicação da técnica da ACP para a detecção de mudanças na cobertura vegetal. Optou-se por analisar toda a área, uma vez que a localização geográfica do Alto Natuba entre a Zona da Mata e o Agreste propicia imagens quase sempre carregadas de nuvens, assim não havendo possibilidade de analisá-la isoladamente, pois uma das imagens disponíveis, do ano de 1989, apresenta a interferência de nuvens e sombras.

Para a avaliação da cobertura vegetal foi utilizada a técnica da Análise por Componentes Principais – ACP, segundo a metodologia descrita por Maldonado (1999). A ACP foi aplicada sobre a composição das bandas 3 e 4 de cada imagem para se obter a quantidade de vegetação densa existente na área. As bandas 3 e 4 foram escolhidas por apresentarem o menor e maior pico de reflectância para a vegetação densa e sadia.

2.1 Análise por componentes principais

Foram utilizadas imagens *Landsat – 5 TM* em formato digital, órbita 214, ponto 66 de 10 de julho de 1989 e 29 de agosto de 2007. Foram escolhidas essas imagens por terem sido as que possuíam as melhores condições de visibilidade. Por serem do período chuvoso, a vegetação apresentou seu pico máximo de reflectância encontrando-se verde e sadia.

A imagem de 1989 apresentou 4,23% de sua área com interferência de nuvens e sombras e a imagem de 2007 apresentou visibilidade total (Fig. 1.1).

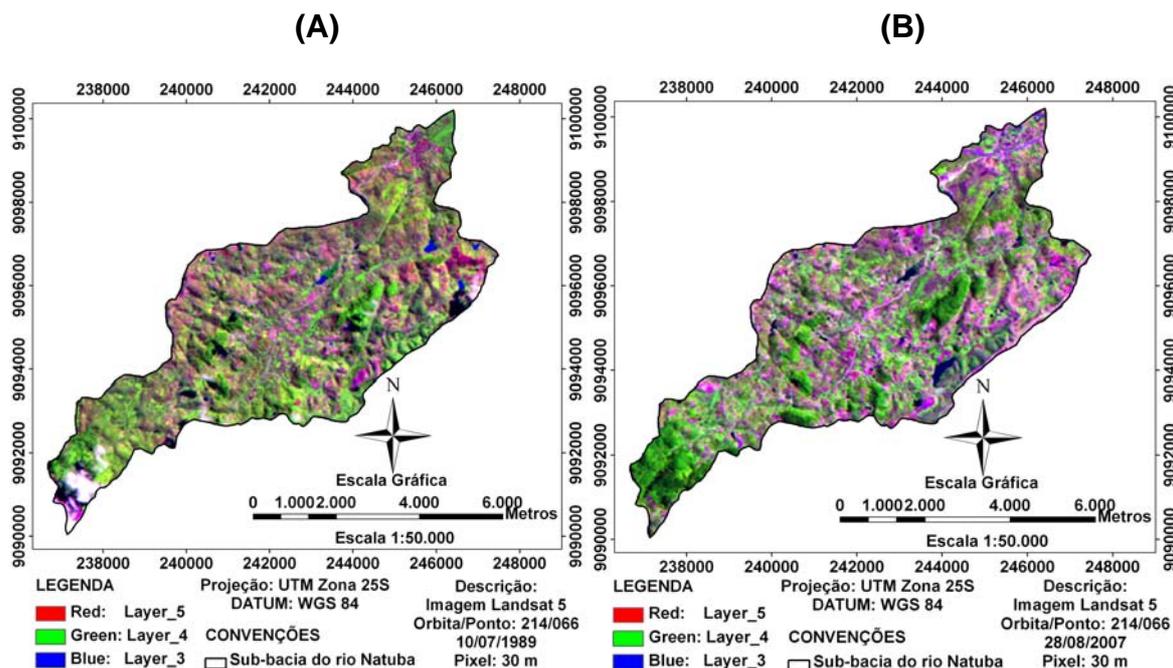


Figura 1.1 – Imagem (A) Landsat 5-TM 214.66 de 10/07/1989 com 4,23% de interferência de nuvens e sombras. Imagem (B) Landsat 5-TM 214.66 de 29/08/2007 com visibilidade total, da sub-bacia do rio Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco.

O *software* manipulado no processamento digital foi o *ERDAS IMAGE 9.1*, disponibilizado na versão demonstrativa, o qual executou as seguintes funções:

- Empilhamento das bandas correspondentes
- Reprojecção das imagens.
- Registro das imagens
- O recorte da área de estudo.
- Mascaramento das nuvens
- Aplicação da Análise por componentes principais
- Classificação das imagens

Para registro das imagens e a confecção dos mapas utilizou-se o *software* *ARC GIS 9.1*, disponível do Observatório do Departamento de Ciências Geográficas.

As imagens tiveram suas bandas 3 e 4 reprojctadas para as coordenadas UTM WGS 84 South – zona 25. Esse processo de reprojeção foi executado pelo módulo *Data Preparation* na função *Reproject Images* do programa *ERDAS IMAGE 9.1*. A seguir a imagem foi registrada através de um vetor de pontos de GPS no programa *ARC GIS 9.1* na extensão *Georeferencing*, ferramenta *Add Control Point*, a qual tem como função o georreferenciamento da imagem por vetor, e por fim na ferramenta *Rectify* criou-se um novo arquivo para salvar a nova imagem registrada.

2.1.1 Identificação da cobertura vegetal em cada imagem composta

Para a aplicação da ACP foi necessário primeiramente o empilhamento das imagens das bandas selecionadas. O empilhamento foi feito através da sobreposição das bandas 3 e 4 de cada data, produzindo assim sobreposição que gerou uma única imagem para 1989 e outra para 2007 (Fig. 1.2 e 1.3). O empilhamento foi efetuado no módulo *Image Interpret*, nas funções *Utilities* e *Layer Stack*.

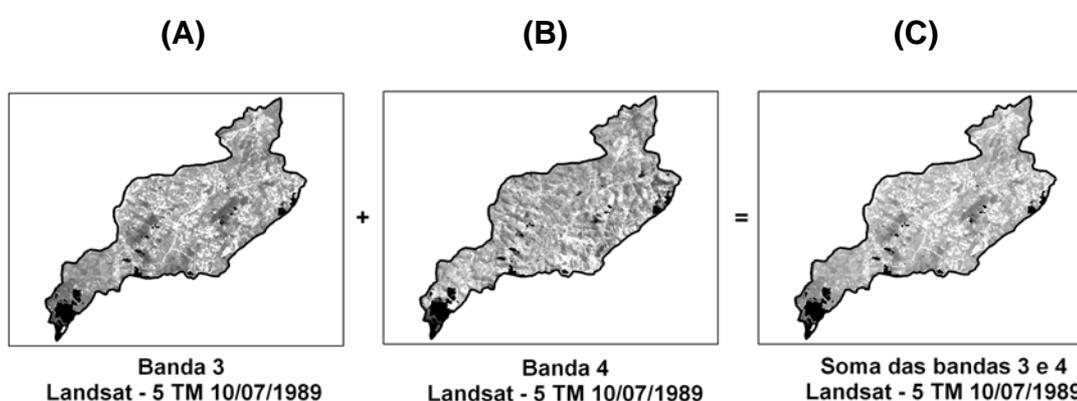


Figura 1.2 – Imagens Landsat-5 TM de 10/07/1989 da sub-bacia do rio Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco. (A) – imagem da banda 3; (B) – imagem da banda 4; (C) – imagem da soma das bandas 3 e 4.

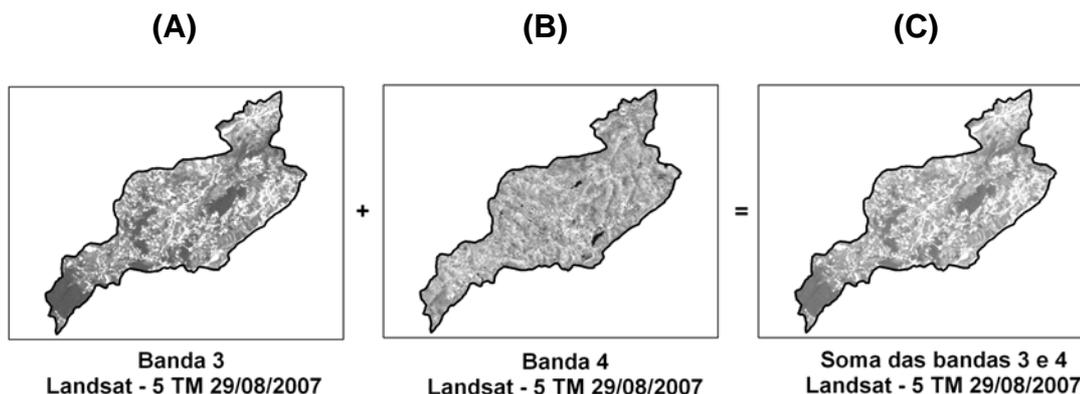


Figura 1.3 – Imagens Landsat-5 TM de 29/08/2007 da sub-bacia do rio Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco. (A) – imagem da banda 3; (B) – imagem da banda 4; (C) – imagem da soma das bandas 3 e 4.

Em seguida, foi efetuado o recorte da área de estudo, com os seguintes procedimentos: O mapa da área da bacia do rio Natuba foi sobreposto sobre a imagem e depois efetuado o recorte da sub-bacia do Alto Natuba. O recorte foi realizado no módulo *Data Preparation* na função *Subset Image*.

Para efetuar o processamento da análise de componentes principais, as imagens compostas de cada data foram processadas no módulo *Image Interpreter* e funções *Spectral Enhancement* e *Principal Components* para fazer correlações entre as bandas de cada imagem (Fig. 1.4 e 1.5). A primeira correlação resultou numa imagem contendo as informações comuns entre as bandas da imagem composta, que foi denominada de primeira componente principal ou CP1. A segunda correlação resultou numa imagem contendo as informações distintas entre as bandas da imagem composta, que foi denominada segunda componente principal ou CP2. Somente são utilizadas as CP2 de cada imagem para análise da cobertura vegetal existente, pois são nelas onde estão contidas as informações não correlacionadas entre as bandas.

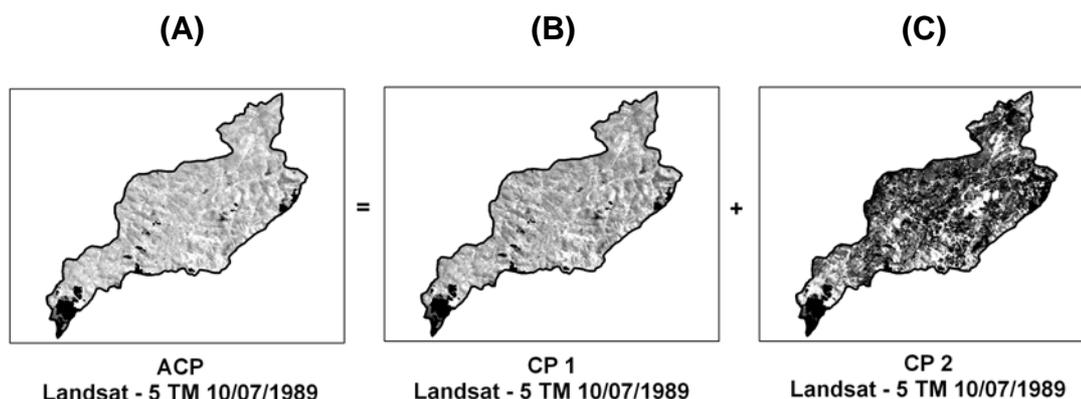


Figura 1.4 – Imagem da ACP da soma das bandas 3 e 4 da imagem Landsat-5 TM 10/07/1989 da sub-bacia do rio Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco (A). (B) – imagem da primeira componente principal gerada pela ACP; (C) – imagem da segunda componente principal gerada pela ACP.

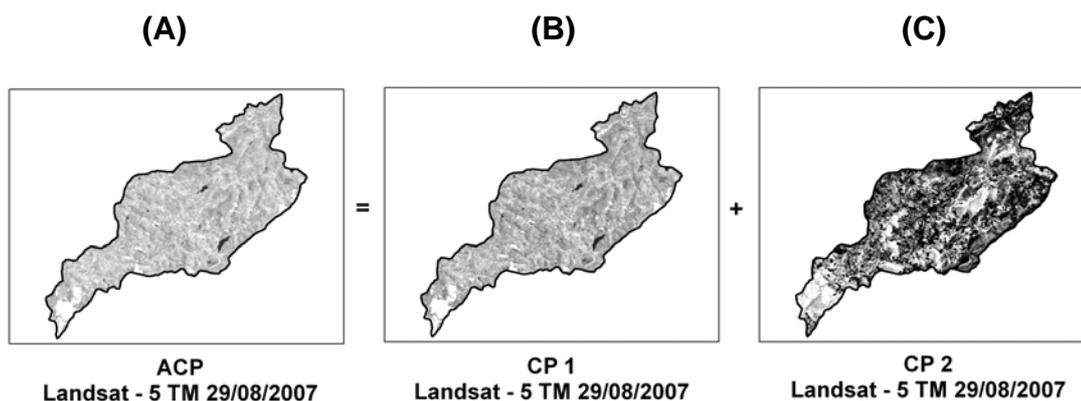


Figura 1.5 – Imagem da ACP da soma das bandas 3 e 4 da imagem Landsat-5 TM 29/08/2007 da sub-bacia do rio Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco (A). (B) – imagem da primeira componente principal gerada pela ACP; (C) – imagem da segunda componente principal gerada pela ACP.

Para identificar a quantidade de cobertura vegetal densa apresentada pela imagem CP2 de cada período, foi efetuada uma divisão das imagens em três classes, executada pelo módulo *Data Preparation* na função *Unsupervised Classification*. A terceira classe é a que representa a vegetação densa. A partir dessa classificação pôde ser determinada a porcentagem de vegetação existente na CP2 de 1989 e na CP2 de 2007.

2.2 Precipitação

Há duas estações climáticas bem definidas, uma de março a agosto (período chuvoso) e outra de setembro a fevereiro (período seco), na sub-bacia do rio Natuba, de acordo com a variação mensal da precipitação do posto pluviométrico de Vitória de Santo Antão para os anos de 1989 e 2007 (Fig. 1.6 e 1.7).

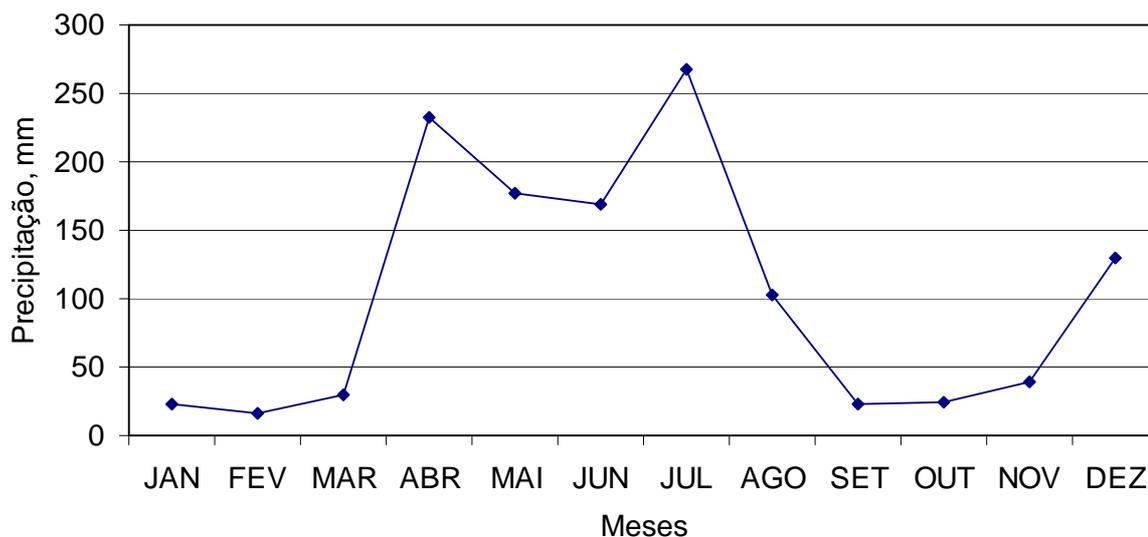


Figura 1.6 – Precipitação de 1989 da sub-bacia do rio Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco. Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA.

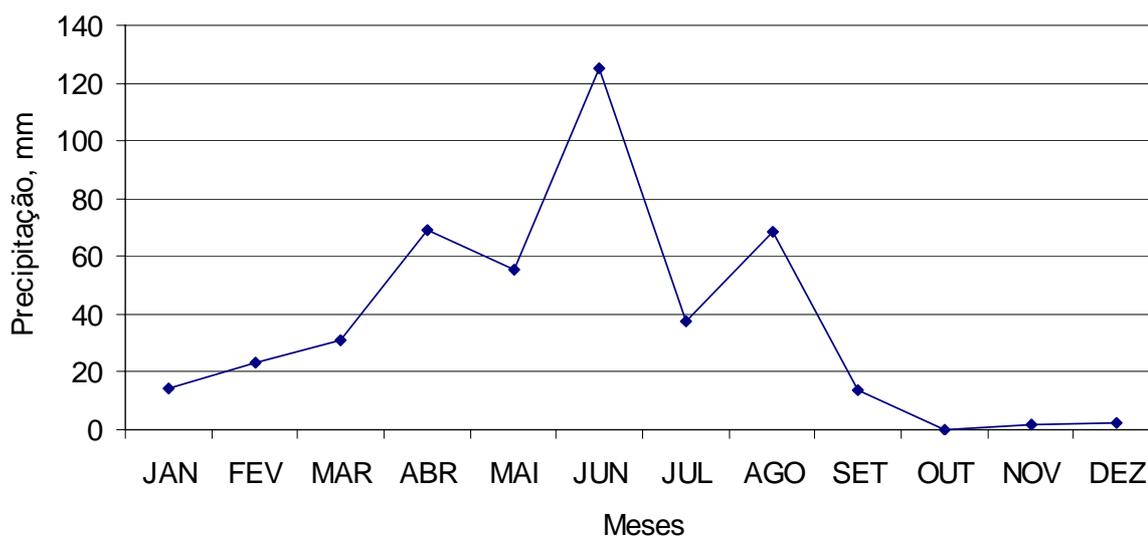


Figura 1.7 – Precipitação de 2007 da sub-bacia do rio Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco. Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA.

3. Resultados e Discussão

A resposta da vegetação na área é diretamente correlacionada com as precipitações ocorridas no período da passagem do satélite no início do mês de julho 1989 e do final do mês de agosto de 2007. A imagem processada é do período úmido, segundo Carvalho (1986) a época úmida é considerada a mais apropriada para discriminação entre solo exposto e vegetação. Nesse período a cobertura vegetal se apresenta com elevado potencial de reflectância, havendo boa distinção entre o solo e a vegetação.

A Figura 1.8 é representada pela CP2 da imagem de 1989 que indica a quantidade de vegetação densa existente nesse período classificada em duas classes distintas. A primeira identificou-se como área não classificada que se destina aos espaços que não possui vegetação densa e área de nuvens e sombras, que ocupou 71,85% do total da bacia; a segunda classe corresponde as áreas de cobertura vegetal densa com 28,15%, que se apresenta em sua maior parte de forma concentrada em vários pontos da imagem, representando as terras de cultivo de cana-de-açúcar (a região possuía nessa época engenhos de produção de cana-de-açúcar, como o Engenho Serra Grande localizado no Alto) e fragmentos florestais (Braga, 2001).

A Figura 1.9 apresenta a CP2 da imagem de 2007. Nota-se que a cobertura vegetal densa deste período foi de 33,97% do total da região. A vegetação densa aumentou em 5,82% entre 1989 a 2007. É perceptível que a cobertura vegetal de 2007 se apresenta mais concentrada, ou seja, houve o aumento das áreas já vegetadas, identificadas em 1989, e pouco aparecimento de novas áreas verdes. Desta forma, esse crescimento da vegetação concentrado nessas áreas pode estar provavelmente relacionado com as atividades econômicas locais ligadas ao uso da terra (agricultura, pecuária, silvicultura) e ao surgimento de áreas de reserva ambientais, corroborando com os resultados apresentados por Silva, (2006), no estudo intitulado de onde uso e ocupação do solo em áreas de preservação permanente da bacia hidrográfica do Natuba, afluente do Tapacurá – PE, onde foi diagnosticado que as principais atividades econômicas na área são a agricultura e pecuária e detecção de áreas de preservação de fragmentos florestais, como a Mata do Ronda localizada no Alto Natuba que possui um remanescente de Mata Atlântica

considerado de grande importância biológica pelo Atlas da Biodiversidade de Pernambuco (Pernambuco, 2002).

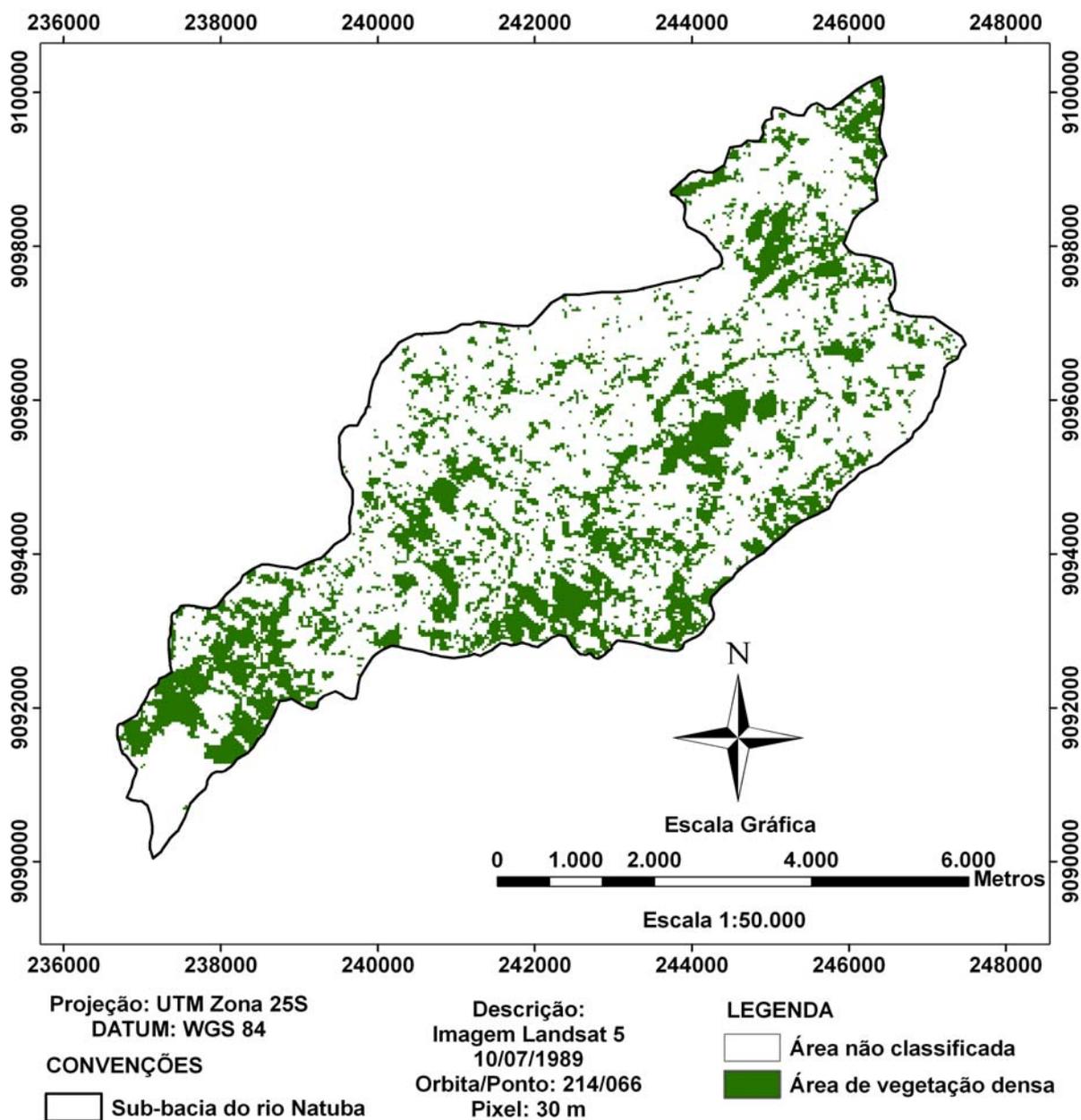


Figura 1.8 – Imagem CP2 Landsat-5 TM de 10/07/1989 da sub-bacia do rio Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco, resultante da ACP da soma das bandas 3 e 4, com a classificação da vegetação densa.

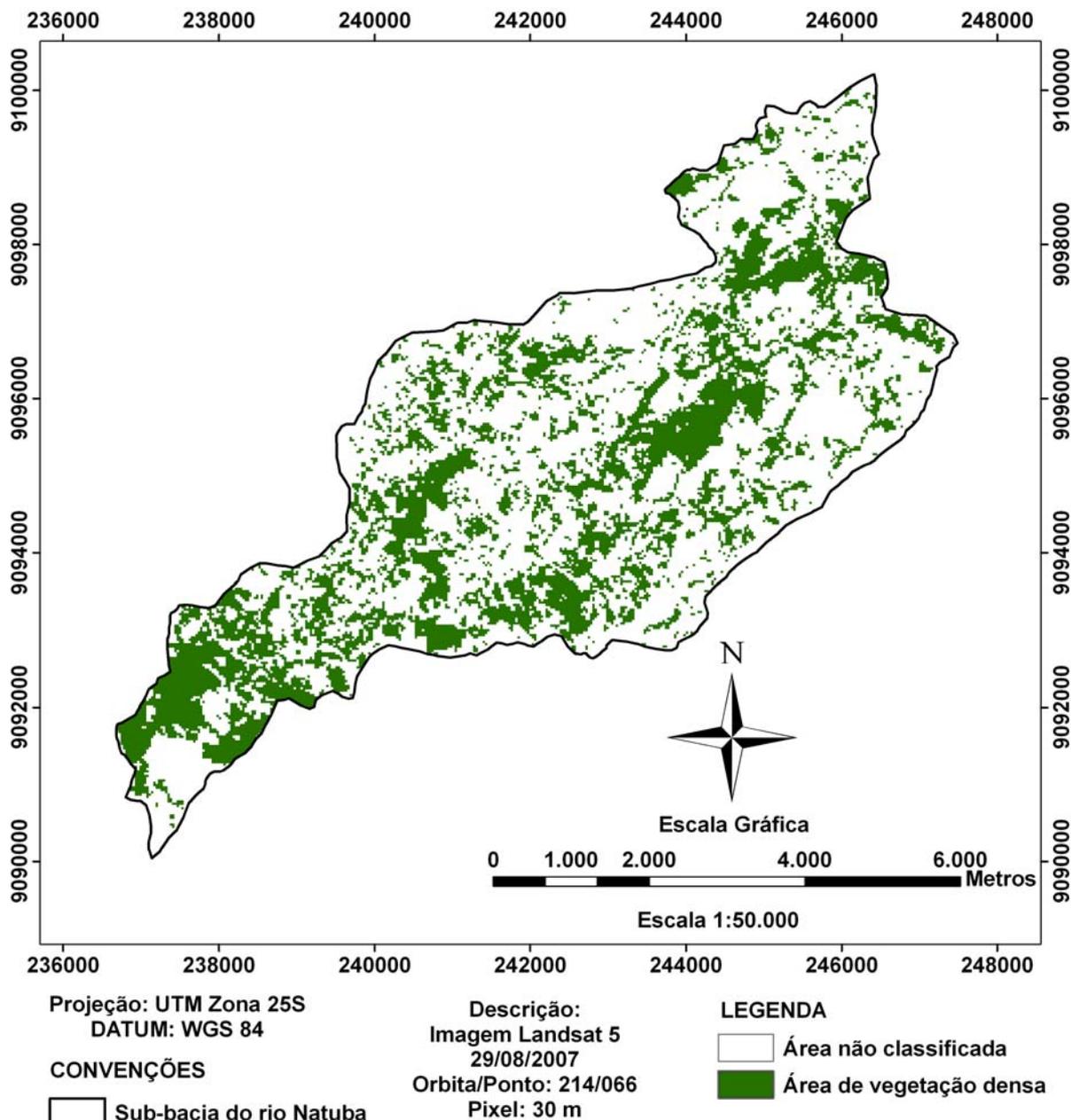


Figura 1.9 – Imagem CP2 Landsat-5 TM de 29/08/2007 da sub-bacia do rio Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco, resultante da ACP da soma das bandas 3 e 4, com a classificação da vegetação densa.

Outros fatores também estão relacionados a esse aumento de cobertura vegetal durante esse período de dezoito anos, tais como: o aumento da agricultura familiar, proveniente da criação de três assentamentos implantados pelo INCRA, denominados de Chico Mendes, Divina Graça e Serra Grande, e que incluem 240 famílias; o desenvolvimento da agricultura em toda a área da bacia, com crescimento da produção de hortaliças (cultivo orgânico e convencional), mas

principalmente na região do baixo Natuba que se tornou uma área de grande cultivo que abastece praticamente 60% do mercado da região metropolitana do Recife – PE (Fig. 1.10).

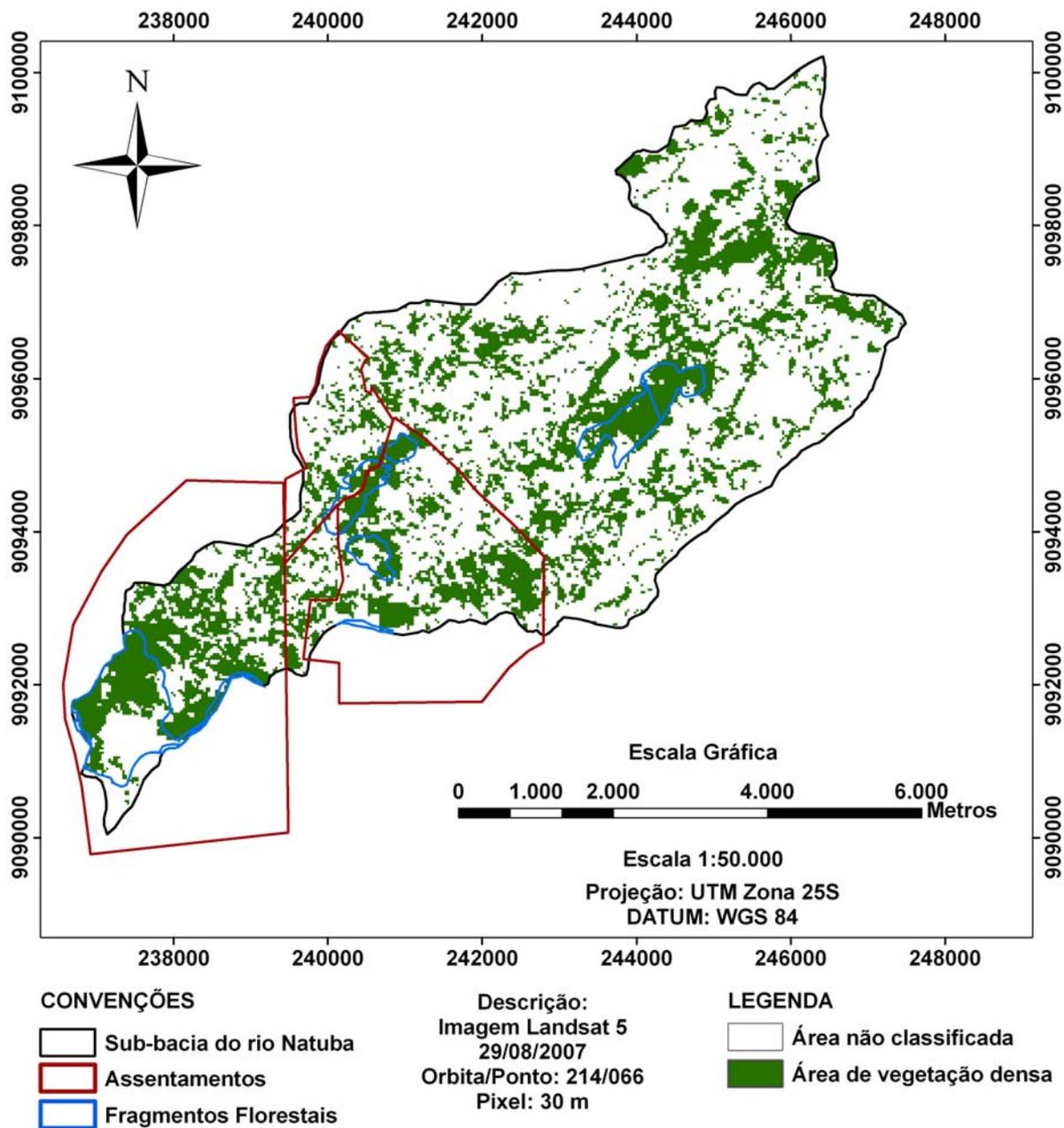


Figura 1.10 – Mapa de vegetação densa da bacia do rio Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco, da imagem 2007 com assentamentos e fragmentos florestais demarcados.

Após a análise de toda a sub-bacia do rio Natuba, avaliaram-se separadamente suas três regiões: Alto, Médio e Baixo Natuba, que representam: 15,34%, 61,15%, 23,51% da área total do Natuba, respectivamente.

O Alto no ano 1989 continha 38,89 (Fig. 1.11). Na Figura 1.12, a área de vegetação densa foi de 50,02% em 2007, ou seja, um aumento de 11,13% em relação ao período de 1989.

No Médio Natuba, no ano de 1989, a vegetação densa representou 26,68% (Fig. 1.13). Para o ano de 2007 o Médio Natuba (Fig. 1.14) obteve um aumento de 3,01% de vegetação densa (29,69%).

Na Figura 1.15 a vegetação densa existente indicou 24,84% da área do Baixo Natuba. Nele foi gerado um pequeno acréscimo de 3,41% de vegetação, entre 1989 e 2007 (28,25%) (Fig. 1.16).

As áreas não contabilizadas de nuvens e sombras poderão ocasionar possível variação de 4,23% no percentual de área de vegetação densa na sub-bacia do rio Natuba. Onde 2,76% encontram-se no Alto Natuba, 0,54% no Médio Natuba, e 0,93% no Baixo Natuba. No entanto, apesar dessa possível variação, a sub-bacia do rio Natuba ainda apresenta um aumento considerável de área de cobertura vegetal densa.

Diante do exposto é evidente que a sub-bacia do rio Natuba apresenta bons índices de vegetação, dessa forma contribuindo para a amenização do processo erosivo sobre o solo. Isso ocorre porque, segundo Guerra et al., (2005) a vegetação é a defesa natural do solo, pois atua como agente de proteção do solo contra os efeitos degradadores da precipitação e temperatura, além de fornecer matéria orgânica, seja por deposição de seus resíduos ou renovação do sistema radicular, que atuam como agente de formação e estabilização de agregados do solo (Silva e Mielniczuk, 1997).

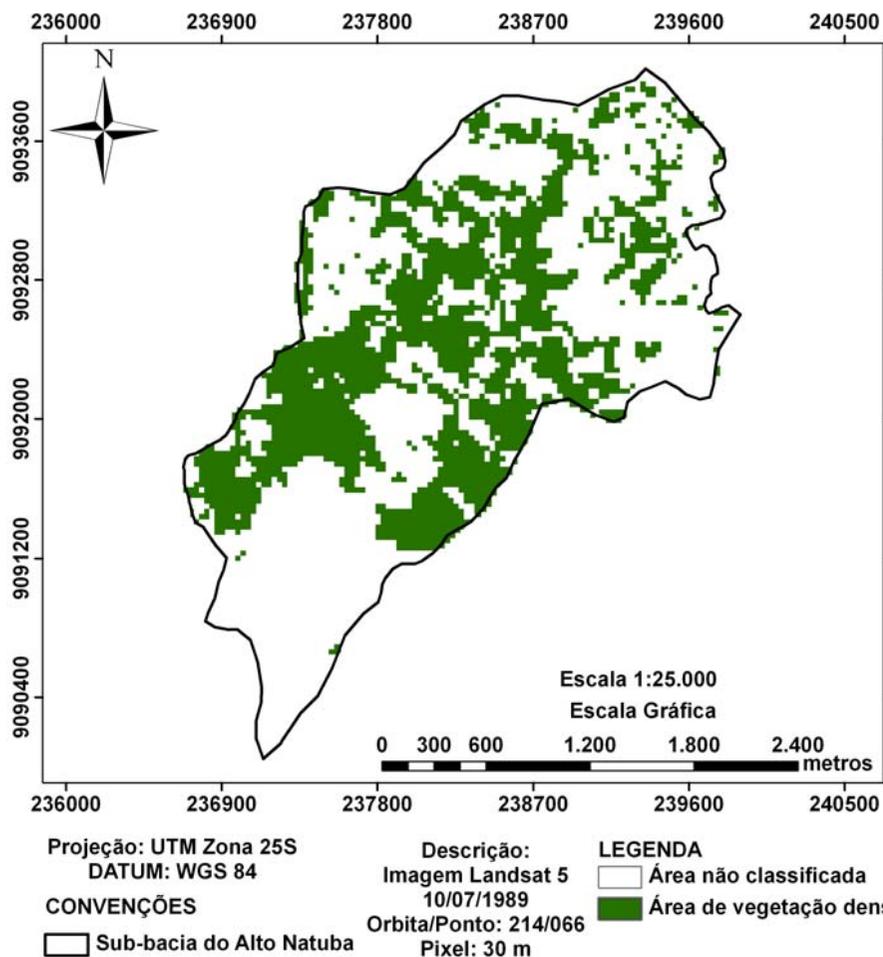


Figura 1.11 – Imagem CP2 Landsat-5 TM de 10/07/1989 da sub-bacia do Alto Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco, resultante da ACP da soma das bandas 3 e 4, com a classificação da vegetação densa.

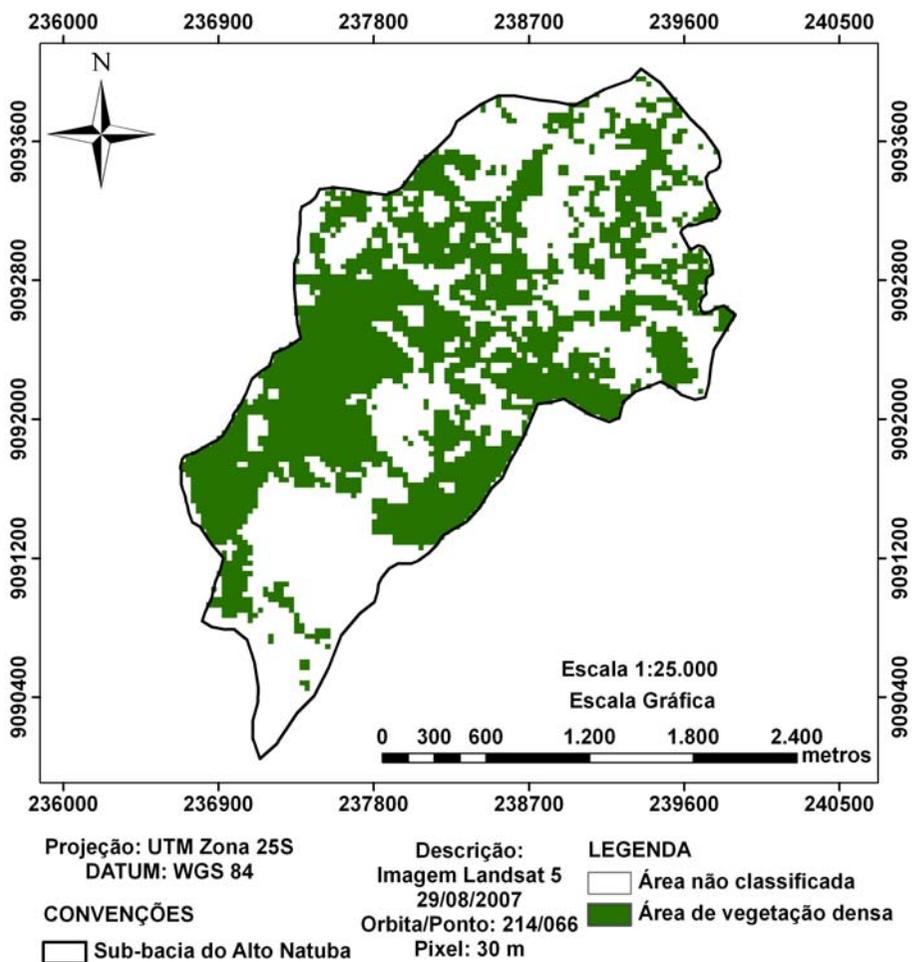


Figura 1.12 – Imagem CP2 Landsat-5 TM de 29/08/2007 da sub-bacia do Alto Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco, resultante da ACP da soma das bandas 3 e 4, com a classificação da vegetação densa.

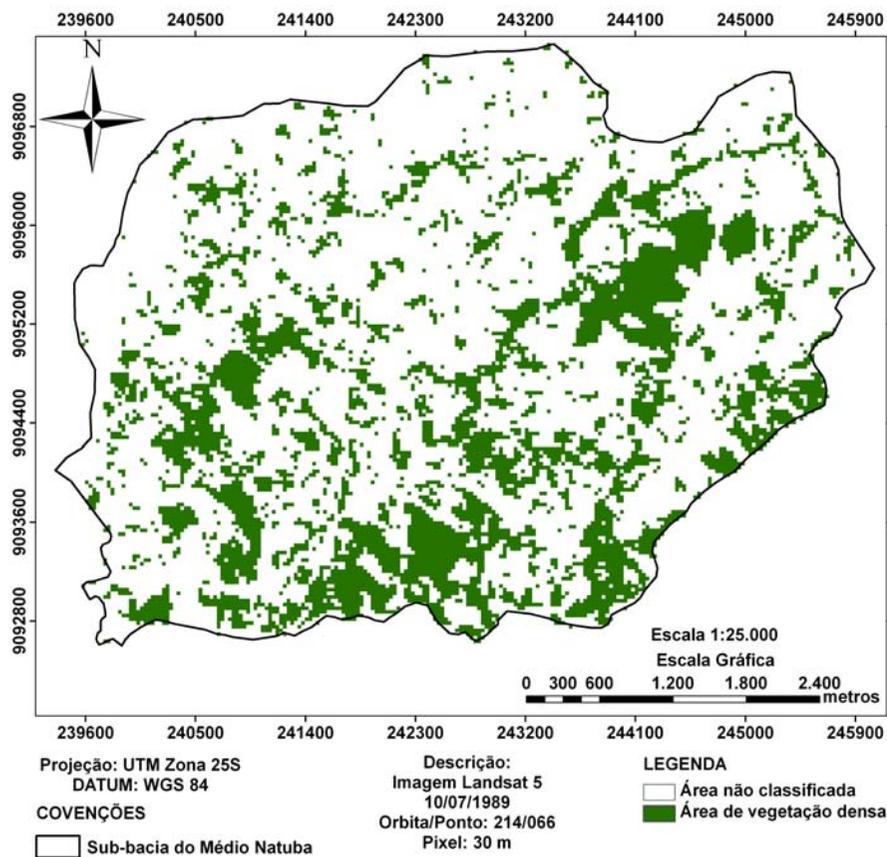


Figura 1.13 – Imagem CP2 Landsat-5 TM de 10/07/1989 da sub-bacia do Médio Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco, resultante da ACP da soma das bandas 3 e 4, com a classificação da vegetação densa.

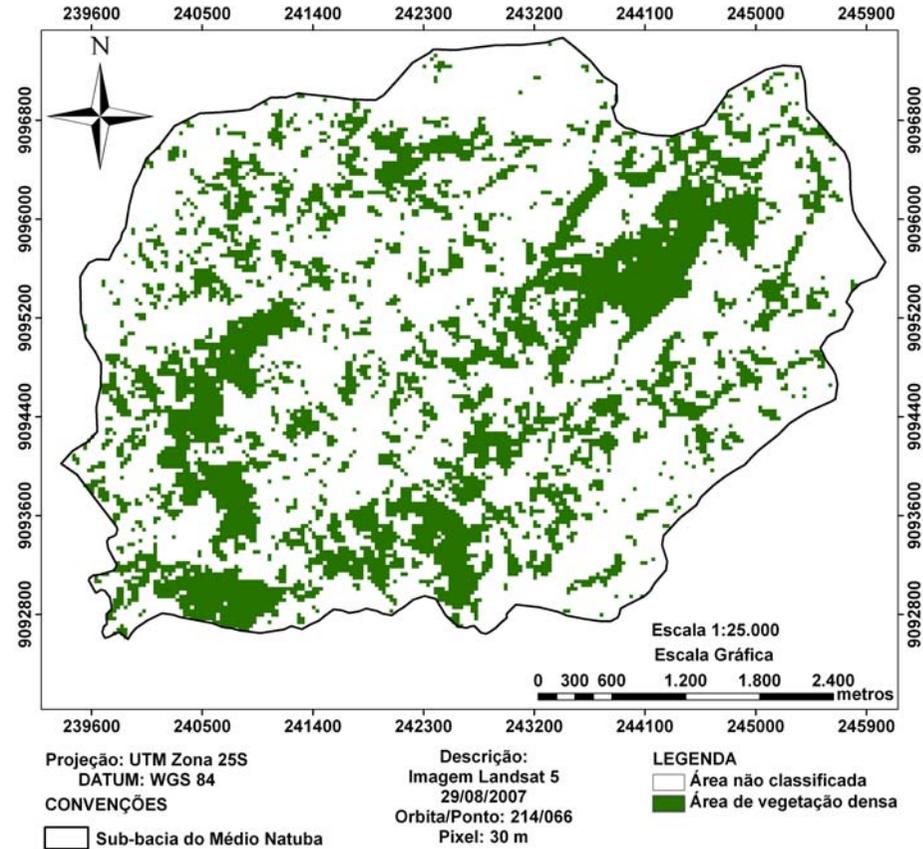


Figura 1.14 – Imagem CP2 Landsat-5 TM de 29/08/2007 da sub-bacia do Médio Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco, resultante da ACP da soma das bandas 3 e 4, com a classificação da vegetação densa.

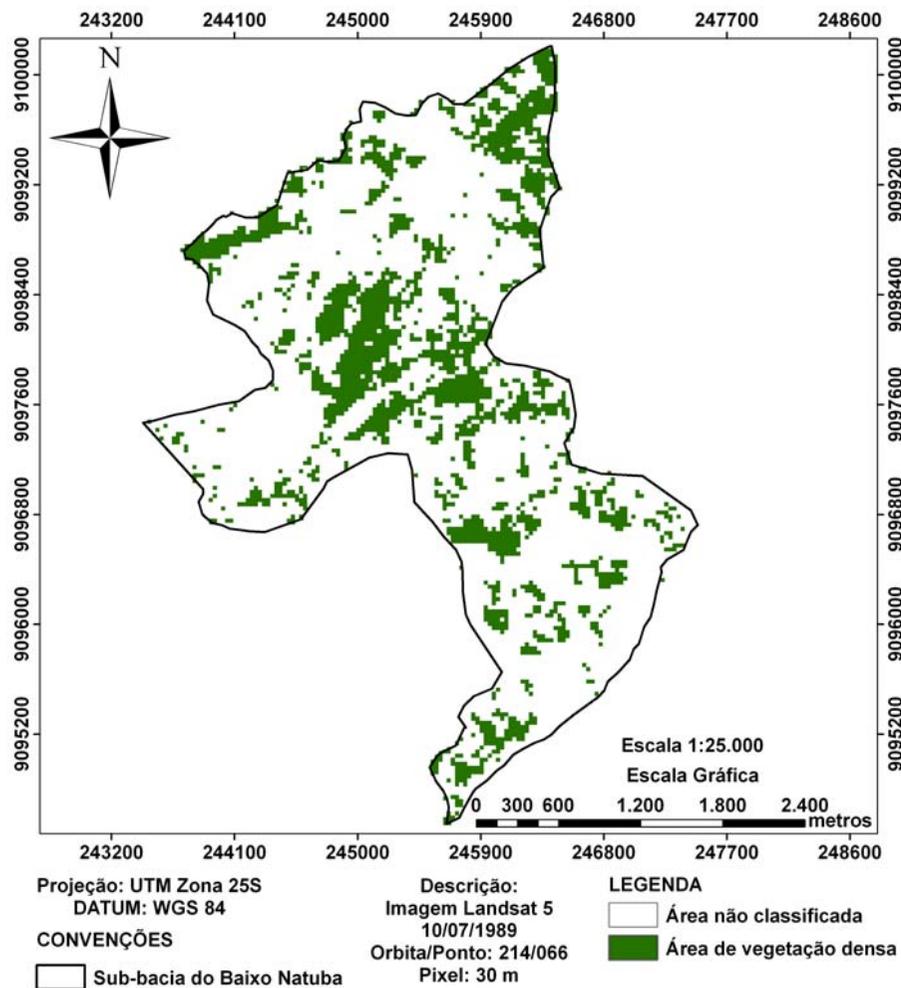


Figura 1.15 – Imagem CP2 Landsat-5 TM de 10/07/1989 da sub-bacia do Baixo Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco, resultante da ACP da soma das bandas 3 e 4, com a classificação da vegetação densa.

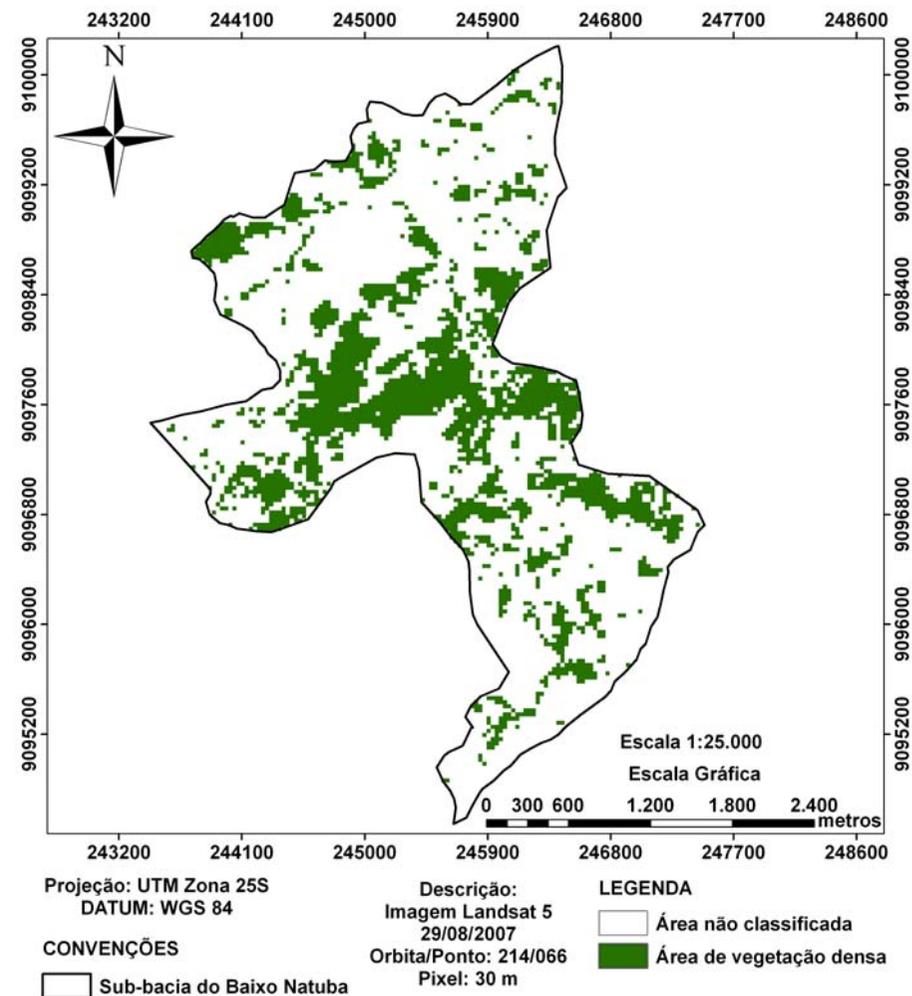


Figura 1.16 – Imagem CP2 Landsat-5 TM de 29/08/2007 da sub-bacia do Baixo Natuba, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco, resultante da ACP da soma das bandas 3 e 4, com a classificação da vegetação densa.

4. Conclusões

Houve aumento de 5,82% da cobertura vegetal na sub-bacia do rio Natuba, entre o período de 1989 a 2007.

O Alto Natuba foi a área da sub-bacia do rio Natuba que apresentou a maior quantidade de vegetação densa para a imagem de 2007, com 50,02%.

O médio Natuba apresentou um aumento de 3,01% de vegetação densa para o período de dezoito anos (1989 e 2007) analisado.

A sub-bacia do Baixo Natuba apresentou alteração de 3,41% vegetação densa entre 1989 e 2007.

Apesar de haver 4,23% de áreas não contabilizadas de nuvens e sombras que poderá ocasionar possível variação do percentual de área de vegetação densa, a área da sub-bacia do rio Natuba ainda apresenta um aumento considerável de cobertura vegetal densa.

CAPÍTULO 2

Avaliação da susceptibilidade dos agregados à erosão do solo na sub-bacia do Alto Natuba no Estado de Pernambuco

1. Introdução

A perda de qualidade estrutural do solo tem como um dos seus principais agentes a degradação das propriedades físicas. Práticas de manejo inadequadas que fazem uso desordenado de maquinaria, revolvimento e agrotóxicos, conjuntamente com alguns tipos de culturas (cada espécie expõe o solo de maneira distinta de acordo com suas necessidades), provocam alterações nas propriedades físicas do solo, sobretudo na estrutura (Bertol et al., 2001). Diversas são as formas pelas quais essas modificações são refletidas nas propriedades físicas, pois a estrutura original do solo sob determinado um sistema de manejo pode ser alterada em função do rompimento dos agregados maiores, desencadeando diminuição no volume de macroporos e, conseqüentemente, acréscimo na quantidade de microporos e densidade do solo (Carpenedo e Mielniczuk, 1990).

O peso e a estabilidade dos agregados são parâmetros importantes para a avaliação da vulnerabilidade dos solos aos processos erosivos. O peso refere-se à quantidade de agregados existente no solo, enquanto a estabilidade trata-se da resistência desses agregados aos processos erosivos. Assim, um solo pode ter elevado peso de agregados, contudo uma baixa resistência aos processos erosivos (Guerra e Botelho, 1996).

A formação e destruição da estrutura do solo é um processo dinâmico e sua manutenção através do uso de práticas adequadas é um dos principais objetivos do manejo do solo. O sistema de manejo aplicado corretamente proporciona melhorias na reestruturação das condições físicas, químicas e biológicas do solo (Costa et al., 2003; Silva et al., 2000). A prática de preparo do solo é o elemento que mais influência em seu desempenho físico devido a sua atuação direta sobre a estrutura (Oliveira et al., 2003).

A condição estrutural do solo pode ser analisada segundo parâmetros relacionados a sua forma, a exemplo da densidade do solo e dos índices de agregação, o DMP e o DMG (Albuquerque et al., 1995).

A densidade do solo é um indicador para a avaliação das condições da estrutura, pois quanto menos denso for o solo, maior será a formação e estabilização de agregados. Isso é possível devido a maior presença de raízes bem desenvolvidas, da alta porosidade, maior infiltração, maior peso de matéria orgânica, entre outros. Diversos autores abordaram os efeitos da densidade sobre a qualidade da estrutura do solo (Albuquerque et al. 1995; Bertol, 2001; Corrêa, 2002).

A estrutura do solo é analisada no campo de acordo com o tipo (forma), a classe (tamanho) e o grau de desenvolvimento (estabilidade). No entanto no laboratório o estudo é feito em função de duas características principais dos agregados, avaliação da estabilidade e a distribuição de seus tamanhos (Kiehl, 1979). Vários métodos podem ser aplicados para se determinar o nível de susceptibilidade dos agregados à erosão, entre estes o Diâmetro Médio Ponderado (DMP) e o Diâmetro Médio Geométrico (DMG) (Castro Filho, 1998). O DMP, segundo Castro Filho (1998) é proporcionalmente maior quanto mais elevado for o percentual de agregados grandes retidos nas peneiras de malhas maiores. O DMG é uma estimativa da quantidade de dimensão dos agregados de maior ocorrência (Kemper e Chepil, 1965).

Vários são os autores que utilizaram o DMP e o DMG como índices de agregação para avaliar a susceptibilidade do solo à erosão. Volk e Cogo (2008), Wendling et al. (2005), Calonego e Rosolem (2008), Zonta et al. (2006), Perin et al. (2002) e Silva et al. (2000), utilizaram o DMP e o DMG para avaliar a agregação do solo, sob diferentes formas de manejo

A sub-bacia do alto Natuba apresenta características importantes como solos férteis e adequados índices pluviométricos anuais (Silva, 2006). A agricultura é desenvolvida basicamente por agricultura familiar, tendo como principal atividade econômica a produção de hortaliças folhosas em larga escala, com uso contínuo e desordenado sem utilização de práticas adequadas de manejo e conservação do solo, o que está provocando à perda gradativa da qualidade dos solos.

Diante do exposto, o referido trabalho tem como objetivo avaliar a susceptibilidade dos agregados do solo à erosão em alguns pontos delimitados na sub-bacia do Alto Natuba, no município de Pombos, na Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco.

2. Materiais e Métodos

A área de estudo foi a sub-bacia do Alto Natuba, no município de Pombos, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco. O local de coleta das amostras de solo foi em uma encosta da propriedade denominada de parcela 86 (delimitada pelo INCRA), assentada em um argissolo amarelo. A referida área foi escolhida por apresentar diferentes formas de uso, onde foi possível encontrar de forma contínua: Mata (M) – preservada pelo período de dez anos; Mata em regeneração – período de quatro anos de repouso (C-R4); Cultivo convencional – parte da área cultivada com cana-de-açúcar há 2 anos e outra parte com feijão há 3 anos.

A área total da parcela analisada corresponde a 9,5 ha. A mata possui uma área 3 ha. A área da mata em regeneração corresponde a 0,5 ha. O tamanho da área de cultivo com cana-de-açúcar corresponde a 1 ha, e a área de feijão a 0,1 ha. Utiliza-se esterco bovino como fertilizante nas áreas de cultivo de feijão e cana-de-açúcar. Para o cultivo do feijão e da cana-de-açúcar, a limpeza da área é feita inicialmente com fogo. As ferramentas utilizadas no preparo da terra para o cultivo do feijão e da cana-de-açúcar são estrovena, enxada e foice.

Nos diferentes tipos de uso da área (Fig. 2.1), foram coletadas amostras de solo deformadas, em quatro transectos (T1, T2, T3 e T4) (Fig. 2.2), no sentido topo - base, com 10 m de distância entre si, no terço superior, médio e inferior de uma encosta, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Totalizando 24 amostras por uso e 72 em toda a encosta. A coleta das amostras de solo foi realizada com auxílio de um sacho de duas pontas e uma colher de jardinagem, tendo-se o cuidado de não destruir os torrões, posteriormente acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados.

Mata**Mata em regeneração****Cultivo Convencional****Cana-de-açúcar****Feijão**

Figura 2.1 – Área de estudo na sub-bacia do Alto Natuba, com respectivos usos. Pombos - PE, 2008.

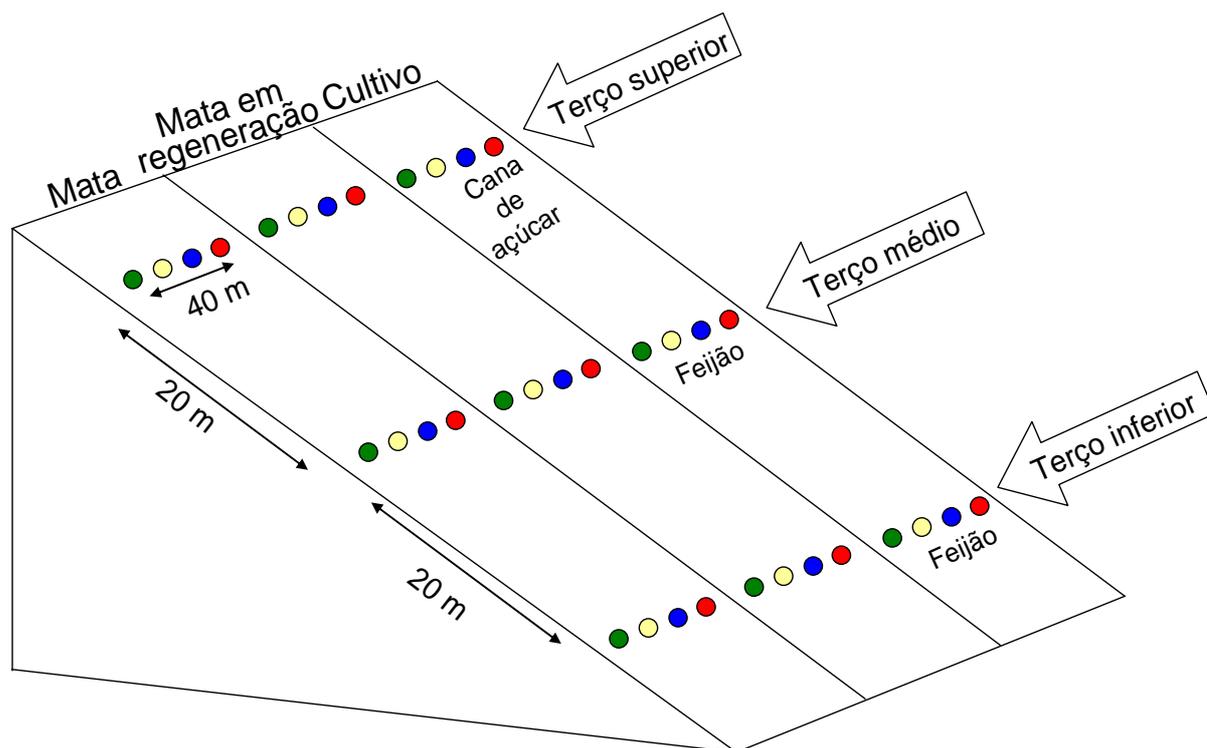


Figura 2.2 – Representação da área de estudo na sub-bacia do Alto Natuba, com respectivos usos e pontos de coleta. círculo verde = transecto 1; círculo amarelo = transecto 2; círculo azul = transecto 3; círculo vermelho = transecto 4.

2.1 Estabilidade de Agregados

Foi utilizado o método indireto de peneiramento a seco (Embrapa, 1997). O método por via seca consiste em medir a quantidade e a distribuição dos agregados estáveis a agitação mecânica, através de um agitador mecânico, com intensidade de trabalho no nível máximo, com o respectivo jogo de peneiras submetido a movimentos rotatórios com vibração, o qual obterá estabilidade total quando nenhuma partícula passar para as peneiras inferiores (Fig. 2.3).

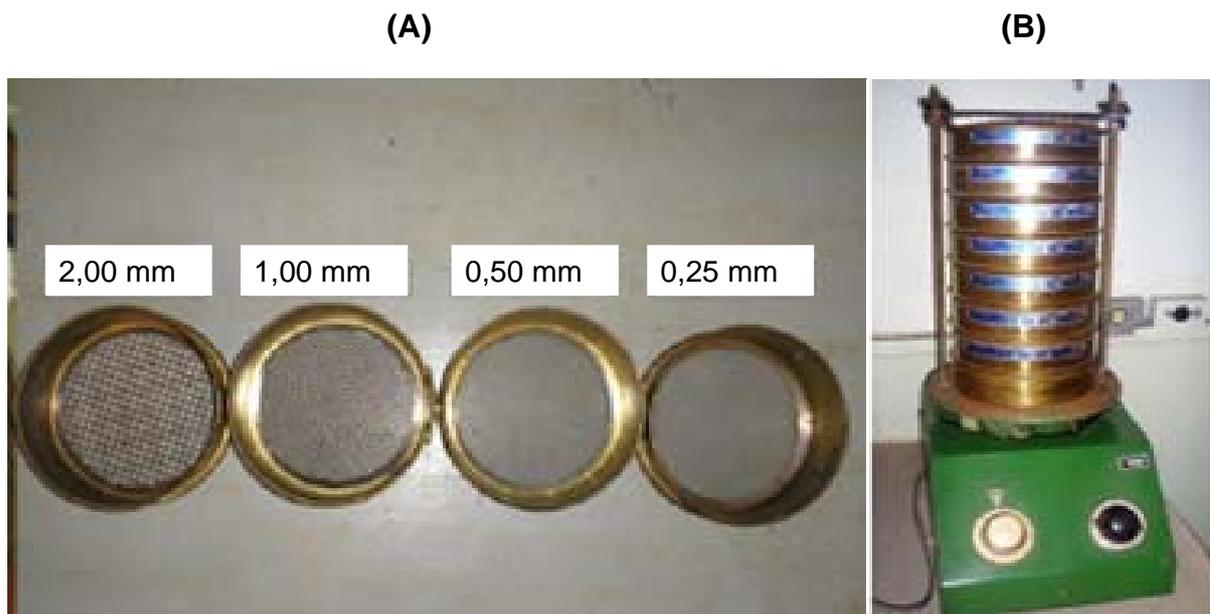


Figura 2.3 – (A) Peneiras utilizadas no método de peneiramento via seca. (B) Agitador mecânico com o respectivo jogo de peneiras submetido a movimentos rotatórios com vibração.

Para determinar os índices de agregação é indispensável o preparo adequado da amostra a ser analisada Castro Filho (1998). As amostras foram secas ao ar por 15 dias, destorroadas manualmente com cuidado para não destruir os agregados. Posteriormente, foram passadas em peneira de malha de 4,76 mm e retidas na de 2,00 mm para sua homogeneização. Após a homogeneização das amostras foram pesadas 100 gramas em triplicata. A primeira amostra foi utilizada para a determinação do peso seco, a qual foi armazenada em uma lata de alumínio de peso conhecido e levada à estufa a 105°C por uma noite. Em seguida colocada no dessecador para esfriar e ser pesada. As outras duas repetições foram colocadas na parte superior de um conjunto de peneiras constituído por malhas de 2,00 – 1,00 – 0,50 – 0,25 mm de abertura. Quantificou-se o solo retido em cada peneira e, ainda, aquele que passou na última peneira, obtendo-se cinco classes de agregados cujos diâmetros médios das classes foram, respectivamente, 3,38 – 1,50 – 0,75 – 0,375 e 0,125 mm, sendo peneiradas durante 15 minutos em um agitador mecânico. Com o termino do peneiramento foram retirados os agregados retidos em cada peneira e transferidos para latas de alumínio numeradas de peso conhecido, sendo em

seguida colocados na estufa a 105°C por 12 horas e determinado o peso seco das amostras.

➤ **Diâmetro Médio Ponderado (DMP)**

Calculado conforme a equação (Kemper e Chepil, 1965).

$$DMP = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i)$$

onde:

x_i = diâmetro médio das classes (mm);

w_i = proporção de cada classe em relação ao total (%);

➤ **Diâmetro Médio Geométrico (DMG)**

Calculado conforme a equação (Kemper e Chepil, 1965).

$$DMG = \left(\exp \sum_{i=1}^n (w_i \cdot \ln x_i) \right) / \left(\sum_{i=1}^n w_i \right)$$

onde:

\ln = logaritmo neperiano

w_i = peso dos agregados de cada classe (g);

x_i = diâmetro médio das classes (mm);

w_i = proporção de cada classe em relação ao total (%);

➤ **Densidade do solo**

A densidade do solo foi determinada pelo método da proveta (Embrapa, 1997). Inicialmente, pesa-se uma proveta de 100 mL com aproximação de 0,5 a 1,0 g, em seguida enche-se a proveta até 35 mL com solo, depois o solo é compactado batendo a proveta 10 vezes sobre o lençol de borracha de 5,00 mm de espessura, com distância de queda de mais ou menos 10 cm. Essa operação é repetida por mais duas vezes, até completar o 100 mL da proveta. Ao se completar o

peso da proveta, a mesma é pesada e calculada a densidade do solo de acordo com a equação abaixo:

$$D_s = \frac{m}{v}$$

onde:

D_s = Densidade do solo

m = massa (peso da amostra seca a 105°)

v = volume (volume da proveta)

Os resultados foram submetidos a análise de variância ANOVA e aplicado o teste de Tukey a 1% (STATSOFT, 2002), para a distribuição do peso das classes de agregados, o diâmetro médio ponderado, o diâmetro médio geométrico, e a densidade do solo, em ambas as profundidades de cada terço da encosta, para todos os usos.

3. Resultados e Discussão

Os usos do solo ao influenciarem a intensidade dos fluxos e a dinâmica de matéria e energia para o sistema solo, resultaram em diferentes graus de organização da massa do solo em agregados, através da distribuição de seu peso (Tab. 2.1) em cinco classes de tamanho, e em seus distintos níveis de vulnerabilidade estrutural, através do DMP (Tab. 2.2), DMG (Tab. 2.3) e a densidade do solo (Tab. 2.4).

Ao considerar o peso de solo do agregado em estrutura > 2,00 mm, verificou-se que em termos gerais, o sistema de cultivo convencional apresentou a maior quantidade de agregados organizados nesta classe de macroagregados, em relação a mata e a mata em regeneração, nas duas profundidades (Tab. 2.1).

As informações relacionadas à distribuição dos agregados do solo podem ser sintetizadas por meio do cálculo do DMP, do DMG, e da densidade.

Os dados referentes ao DMP, obtidos por peneiramento a seco, para todos os usos do solo e profundidades, encontram-se na Tabela 2.2. Os valores do

DMP variaram entre 1,51 e 3,24 mm para a profundidade de 0-10 cm e 1,19 e 3,22 mm para de 10-20 cm.

Os valores do DMP (Tab. 2.2) da mata diferiram estatisticamente em função da posição da encosta, para ambas as profundidades. O terço inferior apresentou DMP em torno de 35% mais elevado que o terço superior, e 60% mais elevado que o terço médio, nas duas profundidades. A área com mata em regeneração também apresentou valores de DMP com elevada diferença entre seus terços, em ambas as profundidades. Entretanto, o terço superior e inferior não diferiram estatisticamente ao nível de 1% de significância entre si. O terço médio apresentou o DMP, aproximadamente 40% maior que o superior e inferior, para a profundidade de 0-10 cm, e na profundidade de 10-20 cm, aproximadamente 60% maior que o terço superior e 40% que o terço inferior, diferindo estatisticamente em relação a esses dois terços (superior e inferior). Na área do cultivo os DMP não diferiram estatisticamente ao nível de 1% de significância, entre posições na encosta.

Comparanda os três usos (Tab. 2.2), verificou-se que o terço superior da mata e a mata em regeneração não diferiram ao nível de 1% de significância, nas duas profundidades, contudo diferiram do cultivo que apresentou um DMP em torno de 40% maior. No terço médio a mata em regeneração e o cultivo não apresentaram significância a 1%, em ambas as profundidades, no entanto diferiram da mata, onde o valor de DMP foi aproximadamente 50% menor. No terço inferior a mata e o cultivo não diferiram entre si, para as profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, porém diferiram da mata em regeneração que apresentou um DMP aproximadamente 40% menor.

Tabela 2.1 – Distribuição das classes de tamanho dos agregados em função dos tipos de uso nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, na sub-bacia do Alto Natuba, município de Pombos, Zona da Mata Centro, Pernambuco-2008.

Malha	MATA			MATA EM REGENERAÇÃO			CULTIVO		
	Terço Superior	Terço Médio	Terço Inferior	Terço Superior	Terço Médio	Terço Inferior	Terço Superior	Terço Médio	Terço Inferior
mm	------(g)-----								
	0-10 cm								
>2,00	54,93 Bb	33,22 Bc	92,01 Aa	48,60 Bb	92,43 Aa	47,06 Bb	94,52 Aa	89,60 Aa	88,88 Aa
1,00	10,93 Aa	14,96 Aa	2,68 Aa	11,63 Aa	3,56 Aa	6,62 Aa	2,18 Aa	3,32 Aa	3,47 Aa
0,50	8,65 Aa	15,67 Aa	1,42 Aa	11,28 Aa	0,68 Ba	11,08 Aa	0,50 Aa	0,92 Ba	0,78 Aa
0,25	4,68 Aa	11,53 Aa	0,80 Aa	9,58 Aa	0,82 Aa	10,22 Aa	0,55 Aa	1,28 Aa	1,21 Aa
< 0,25	15,95 Aa	24,85 Aa	2,70 Ab	18,43 Aa	2,38 Bb	24,46 Aa	1,94 Ba	4,50 Ba	5,37 Ba
	10-20 cm								
>2,00	50,08 Bb	19,23 Bc	88,01 Aa	30,38 Cc	93,85 Aa	49,29 Bb	91,68 Aa	89,12 Aa	89,84 Aa
1,00	11,92 Aab	11,83 Aa	6,08 Ab	17,59 Aa	2,79 Bb	11,49 Aab	2,35 Aa	2,87 Ba	2,88 Aa
0,50	11,17 ABab	19,21 Aa	1,17 Ab	16,38 Aa	0,53 Bb	11,42 Aab	1,14 Ba	1,18 Ba	0,80 Aa
0,25	7,38 Aa	11,46 Aa	1,18 Aa	10,81 Aa	0,62 Aa	9,11 Aa	1,12 Aa	2,04 Aa	1,17 Aa
< 0,25	18,92 Aa	27,78 Aa	3,31 Bb	24,48 Aa	2,12 Bb	18,18 Aa	3,34 Ba	4,52 Ba	5,07 Ba

Letras maiúsculas em uma mesma linha comparam tipos de uso da terra em uma mesma posição na encosta, quando iguais, não diferem entre si ao nível de 1% de significância.

Letras minúsculas em uma mesma linha comparam posições na encosta dentro de um mesmo tipo de uso da terra, quando iguais, não diferem entre si ao nível de 1% de significância.

Tabela 2.2 – Diâmetro Médio Ponderado das áreas de mata, mata em regeneração e cultivo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, na sub-bacia do Alto Natuba, município de Pombos, Zona da Mata Centro, Pernambuco-2008.

Posição	MATA	MATA EM REGENERAÇÃO	CULTIVO
Diâmetro médio ponderado			
-----mm-----			
0-10 cm			
Terço Superior	2,27 Bb	1,96 Bb	3,24 Aa
Terço Médio	1,51 Bc	3,20 Aa	3,11 Aa
Terço Inferior	3,16 Aa	1,85 Bb	3,07 Aa
10-20 cm			
Terço Superior	2,01 Bb	1,48 Bb	3,16 Aa
Terço Médio	1,19 Bc	3,22 Aa	3,07 Aa
Terço Inferior	3,08 Aa	1,97 Bb	3,09 Aa

Letras maiúsculas em uma mesma linha comparam tipos de uso da terra em uma mesma posição na encosta, quando iguais, não diferem entre si ao nível de 1% de significância.

Letras minúsculas em uma mesma linha comparam posições na encosta dentro de um mesmo tipo de uso da terra, quando iguais, não diferem entre si ao nível de 1% de significância.

Tabela 2.3 – Diâmetro Médio Geométrico das áreas de mata, mata em regeneração e cultivo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, na sub-bacia do Alto Natuba, município de Pombos, Zona da Mata Centro, Pernambuco-2008.

Posição	MATA	MATA EM REGENERAÇÃO	CULTIVO
Diâmetro médio geométrico			
-----mm-----			
0-10 cm			
Terço Superior	1,45 Bb	1,18 Bb	3,04 Aa
Terço Médio	0,87 Bc	2,95 Aa	2,72 Aa
Terço Inferior	2,90 Aa	0,98 Bb	2,64 Aa
10-20 cm			
Terço Superior	1,18 Bb	0,85 Bb	2,84 Aa
Terço Médio	0,70 Bb	3,01 Aa	2,67 Aa
Terço Inferior	2,76 Aa	1,18 Bb	2,68 Aa

Letras maiúsculas em uma mesma linha comparam tipos de uso da terra em uma mesma posição na encosta, quando iguais, não diferem entre si ao nível de 1% de significância.

Letras minúsculas em uma mesma linha comparam posições na encosta dentro de um mesmo tipo de uso da terra, quando iguais, não diferem entre si ao nível de 1% de significância.

Tabela 2.4 – Densidade do solo das áreas de mata, mata em regeneração e cultivo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, na sub-bacia do Alto Natuba, município de Pombos, Zona da Mata Centro, Pernambuco.

MATA	MATA EM REGENERAÇÃO	CULTIVO
Densidade do solo		
-----g cm ⁻³ -----		
0-10 cm		
1,29 B	1,39 A	1,39 A
10-20 cm		
1,31 B	1,32 B	1,41 A

Letras maiúsculas em uma mesma linha comparam diferenças entre tipos de uso da terra na encosta, quando iguais, não diferem entre si ao nível de 1% de significância.

Os valores do DMG (Tab. 2.3) variaram de 0,87 a 3,04 mm (0-10 cm) e 0,70 a 3,01 mm (10-20 cm). Observando a referida tabela percebe-se a mesma tendência de comportamento da classe de agregados > 2,00 mm, indicando que esta classe pode ser utilizada para expressar a agregação do solo, conforme Castro Filho et al. (1998) e Silva et al. (2000).

Verificou-se que as três posições na encosta diferiram estatisticamente entre si, em ambas as profundidades, na área da mata. O terço inferior da mata apresentou o DMG mais elevado em relação aos terços superior e médio, onde foi 50% mais elevado que o terço superior e 70% a mais que o médio. Para a profundidade de 10-20 cm foi observado que o terço superior e médio não diferiram, porém diferiram do terço inferior, que apresentou um DMG 60% a mais que o terço superior e 75% maior que o médio, corroborando com os resultados referentes ao DPM (Tab. 2.2). O DMG da mata em regeneração apresentou índices mais elevados para o terço médio da encosta, o qual manteve entre 60% e 70% maior que o terço superior e o inferior, em ambas as profundidades. Isto, provavelmente ocorreu em virtude da mata em regeneração do terço médio está em melhor estado de conservação e apresentar a maior peso de agregados > 2,00 mm (Tab. 2.1). No uso do cultivo, entre os terços e profundidades, observou-se que não houve diferenças significativas nos valores de DMG ao nível de 1%.

Quando se compararam os três usos, foi observado que no terço superior, em ambas as profundidades, a mata e a mata em regeneração não diferiram entre si, entretanto foram diferentes estatisticamente do cultivo, que apresentou o DMG aproximadamente 50% mais elevado. No terço médio, nas duas profundidades, a mata em regeneração e o cultivo tiveram desempenho semelhantes, porém diferiram da mata que apresentou o DMG 70% menor.

No terço inferior a mata e o cultivo apresentaram semelhança estatística ao nível de 1%, contudo diferiram da mata em regeneração que apresentou um DMG em torno de 60% menor.

Comparando os três usos em cada posição, observou-se que o cultivo, apesar de não apresentar o DMG mais elevado em todos os terços, apresentou tendência a maiores valores de DMG em relação aos demais usos.

Analisando as Tabelas 2.2 (DMP) e 2.3 (DMG) foi evidente que os maiores diâmetros foram encontrados de forma constante para o cultivo, o que ocorreu provavelmente em virtude das culturas apresentadas na área serem a cana-de-

açúcar (gramínea) e feijão (leguminosa). A cana-de-açúcar propicia benefícios de agregação as partículas do solo, através da força mecânica exercida pelas suas raízes, e o feijão pelo aumento da taxa de decomposição do material orgânico em virtude da baixa relação C/N, que contribuem para uma melhor e maior aglutinação das partículas do solo resultando em agregados maiores e menos vulneráveis aos processos erosivos (Carpenedo e Mielniczuk, 1990). Resultados semelhantes foram encontrados por Pinheiro et al. (2004) onde a atividade das gramíneas e leguminosas proporcionou a formação de macroagregados e conseqüentemente a área cultivada apresentou maior DPM e DMG. Resultados contrários foram apresentados por Carpenedo e Mielniczuk (1990), Campos et al. (1995), Da Ros et al. (1997) e Silva et al. (2000), onde as classes de agregados < 2,00 mm ocorreu na área de cultivo que obteve os menores valores de DPM. Essa diferença nos resultados se deve ao fato das áreas de cultivo analisadas pelos autores citados serem de uso intenso, contínuo e, principalmente, com mais tempo de uso, diferentemente da área cultivada analisada neste trabalho, que é de uso agrícola familiar, apenas três anos de cultivo e sem utilização de maquinaria pesada no manejo do solo.

Comparando os dados do DPM (Tab. 2.2) e DMG (Tab. 2.3) com os dados de densidade do solo (Tab. 2.4), observou-se que o DPM e DMG dos agregados foram proporcionais ao aumento da densidade do solo. Isso se deve a maior concentração de agregados na classe de diâmetro > 2,00 mm (Tab. 2.1), proporcionando predomínio de macroagregados, o que contribui para uma maior densidade do solo, em conseqüência da menor porosidade, em virtude da disposição de suas partículas, que proporciona menor espaço de vazios (Kiehl, 1979; Carpenedo e Mielniczuk, 1990; Albuquerque et al., 1995; Bertol, 2001 e Corrêa, 2007).

Verificou-se que os índices para a densidade do solo apresentados pelo cultivo estão, de maneira geral, dentro dos limites aceitáveis, pois os valores de densidade mantiveram-se entre 1,28 e 1,46 g cm⁻³, que segundo Guerra e Botelho, (1996) são ditos como níveis adequados para o solo, que não comprometem o desempenho das culturas.

4. Conclusões

O cultivo apresentou tendência de maiores pesos de agregados retidos na classe > 2,00 mm, conseqüentemente maiores valores de DMP e DMG, em todas as posições da encosta, em ambas as profundidades, em relação à mata e a mata em regeneração.

O uso do cultivo apresentou a maior densidade do solo devido maior presença de macroagregados evidenciado pelos DMP e DMG.

Os DMP e DMG não evidenciaram susceptibilidade à erosão dos solos estudados.

CAPÍTULO 3

Morfologia de agregados da sub-bacia do Alto Natuba no Estado de Pernambuco

1. Introdução

A degradação das propriedades físicas do solo, principalmente, suas alterações estruturais estão absolutamente relacionadas com o uso intensivo e as formas inadequadas de manejo, implicando diretamente na morfologia dos agregados (Olszewski et al., 2004).

Segundo Melo et al. (2008) a maior parte das características dos solos, especialmente a porosidade total e a distribuição dessa porosidade em macroporos e microporos é definida pela forma e tamanho das estruturas. Assim, agregados de forma esferoidal, sobretudo os de menor tamanho, proporciona um elevado volume de macroporos no solo, o que permite fácil percolação e infiltração de água, e ágil penetração de raízes, gerando melhor crescimento da vegetação (Ghidin et al., 2006b).

Conseqüentemente métodos que analisam a forma e o tamanho de agregados (principalmente o grau de arredondamento ou de rugosidade da superfície externa) são de elevada importância para uma melhor adequação das práticas de uso da terra (Melo et al., 2008).

O transporte e a deposição das partículas de solo são influenciados pela forma ou pelas relações de comprimento dos eixos, enquanto o arredondamento conduz a intensidade do deslocamento e o rigor do transporte dos agregados (Olszewski et al., 2004).

Alguns estudos descreveram variáveis morfológicas de agregados de solos sob diferentes tipos de uso, através da obtenção de imagens em *scanner* e posterior manipulação em *software*, como Olszewski et al. (2004) que avaliou a morfologia de agregados do solo por meio de análise de imagens; e Melo et al., (2008) que estudou a morfologia de agregados de latossolos bruno e vermelho do estado do Paraná, avaliada por imagens obtidas em *scanner*.

Considerando a importância da análise morfológica de imagens para trabalhos sobre avaliação da estabilidade de agregados, ainda é muito incipiente pesquisas utilizando essa ferramenta.

O objetivo desse trabalho foi determinar características morfológicas dos agregados do solo, como subsídio, para avaliar a susceptibilidade dos solos a processos erosivos na sub-bacia do Alto Natuba, no município de Pombos, Zona da Mata Centro do Estado de Pernambuco.

2. Materiais e Métodos

A área de estudo foi a sub-bacia do Alto Natuba, no município de Pombos, Zona da Mata centro do Estado de Pernambuco, em solos da classe Argissolo Amarelo. A coleta das amostras foi realizada em três áreas com diferentes formas de uso: mata, mata em regeneração, e cultivo convencional (vide capítulo 2). Uma sub-amostra de 100 g de solo foi peneirada durante 15 minutos em um agitador mecânico, constituído por peneiras com malhas de 2,00 – 1,00 – 0,50 – 0,25 mm de diâmetro. Após o peneiramento foram retirados os agregados retidos em cada peneira e transferidos para latas de alumínio numeradas e de peso conhecido. Em seguida, foram colocados na estufa a 105° por 12 horas para a retirada da umidade.

Foram avaliadas variáveis morfológicas das classes de diâmetros dos agregados das amostras determinadas pelo método de estabilidade de agregados por via seca. Realizou-se o estudo da forma e do tamanho de agregados, após a aquisição de imagens com o uso de scanner (HP 6100C). Onde uma pequena quantidade de agregados, com valor não estipulado, das duas maiores classes de agregados (>2,00 e 1,00 mm) foram espalhadas sobre uma placa de vidro de 20 cm x 20 cm, e organizados manualmente através do auxílio de estilete e de lupa (Fig. 3.1). A resolução utilizada foi de 600 dpi para as classes de agregados analisadas.

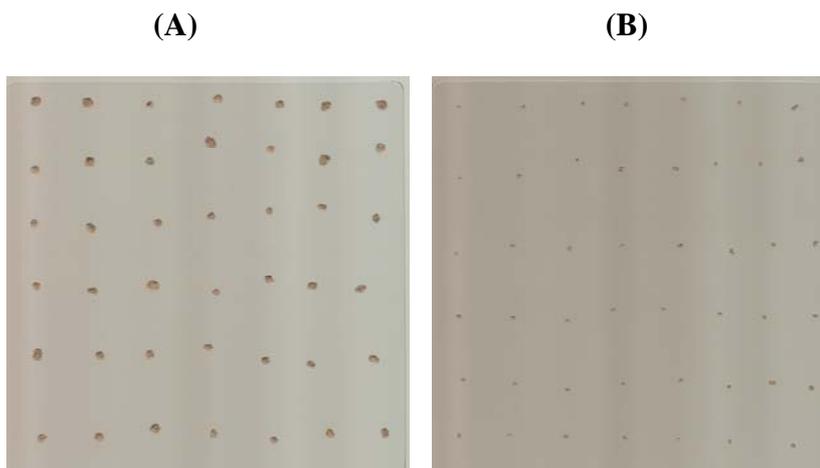


Figura 3.1 – Imagem original dos agregados da classe de 4,76 a 2,00 mm (A) e da classe de 2,00 a 1,00 mm (B) gerada no *scanner*.

Houve interferência de partículas de poeira que durante o processamento da análise das variáveis foram identificadas e numeradas, e os valores correspondentes a essas interferências foram diretamente eliminados da planilha de cálculo.

Foi utilizado o *software ImageJ*, disponibilizado gratuitamente. As imagens foram processadas e como resultados foram obtidos dados de variáveis para cada agregado separadamente, realizando-se assim uma análise morfológica particularizada (Fig. 3.2). As médias dos dados foram calculadas e analisadas em planilhas do tipo Excel.

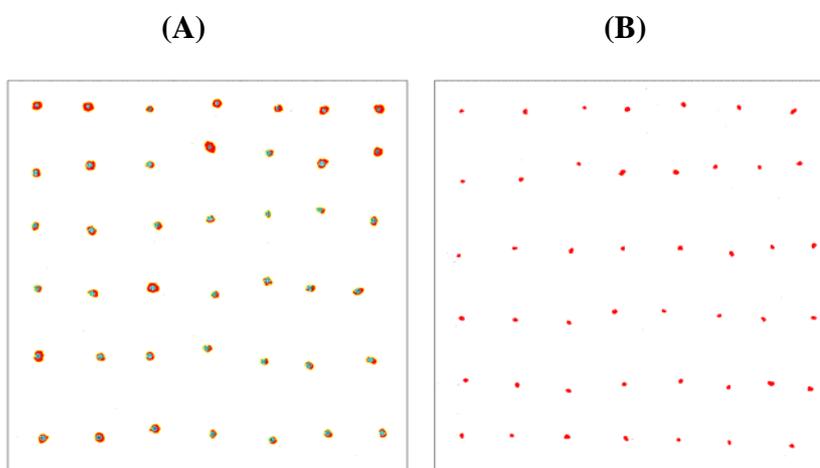


Figura 3.2 – Imagem original dos agregados da classe de 4,76 a 2,00 mm (A) e da classe de 2,00 a 1,00 mm (B) processada pelo programa *ImageJ*.

As variáveis analisadas foram: área, perímetro, comprimento do maior eixo e do menor eixo, grau de arredondamento, alongamento e compacidade, seguindo Olszewski et al. (2004) para informar acerca do tamanho, forma e rugosidade dos agregados, considerando o número de pixels no polígono (Área – Ar); o comprimento da projeção do limite exterior do agregado (Perímetro – Pm); o comprimento de uma linha traçada perpendicularmente ao maior eixo do agregado (Comprimento do maior eixo – CME); o comprimento de uma linha traçada perpendicularmente ao menor eixo do agregado (Comprimento do menor eixo); a relação entre o comprimento do menor eixo e o comprimento do maior eixo, que varia entre 0 e 1, que quanto mais próximo de 1, menor é a diferença entre os comprimentos dos eixos perpendiculares e menor o alongamento (Alongamento); a medida dependente do perímetro, que fornecerá o resultado entre 0 e 1, e que quanto maior o valor, maior o grau de arredondamento (Arredondamento – Ard), ver a Equação 1; a medida da circularidade do objeto, que é dependente da medida do comprimento do maior eixo, e varia entre 0 a 1 e que caso o valor seja igual a 1,0, o agregado é perfeitamente circular (Compacidade – Cmp), ver a Equação 2.

Equação 1:

$$Ard = (4 \pi Ar) / Pm^2$$

Equação 2:

$$Cmp = \sqrt{(4 Ar / \pi)} / CME$$

Os resultados foram submetidos a análise de variância ANOVA e aplicado o teste de Tukey a 1% (STATSOFT, 2002) para variáveis morfológicas de agregados.

3. Resultados e Discussão

Os dados da morfologia dos agregados obtidos através das imagens digitalizadas foram agrupados pelas classes de tamanhos de 4,76 a 2,00 mm e 2,00 a 1,00 mm, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm (Tab. 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5).

Foi observado na Tabela 3.1, na classe de diâmetro 4,76 – 2,00 mm, que a mata apresentou maior valor de área média para o terço inferior da encosta em ambas as profundidades, diferindo-se do terço superior e médio. O que ocorreu

provavelmente pelo fato do terço inferior apresentar maior DMP de agregados (Tab. 2.2, vide capítulo 2) em relação às demais posições, o que condiz em uma melhor agregação do solo. Já na classe de diâmetro de 2,00-1,00 mm (Tab. 3.1) não houve diferenças significativas entre usos e posições, com exceção da profundidade de 10-20 cm da mata em regeneração que deferiu do cultivo. Ainda para a variável área, dentro do uso da mata em regeneração e do cultivo não houve diferenças significativas nos terços e profundidades para os diâmetros de 4,76 – 2,00 mm e 2,00 – 1,00 mm (Tab. 3.1).

Comparando os três tipos de usos dos solos estudados, constatou-se que o cultivo, na classe de 4,76 a 2,00 mm (Tab. 3.1), apresentou agregados com área maior que os da mata e da mata em regeneração, nos terços superior e médio, em ambas as profundidades, diferindo estatisticamente destes. Resultados esses contrários aos alcançados por Melo et al. (2008), que em seu estudo de morfologia de agregados, constataram uma tendência para maiores valores de área média uniforme em solos com menor intensidade de uso. O que ocorreu em virtude da área de cultivo apresentada no referido trabalho não obter uso intenso e apresentar as culturas da cana-de-açúcar (gramínea) e do feijão (leguminosa). A cana-de-açúcar propicia benefícios de agregação as partículas do solo, através da força mecânica exercida pelas suas raízes, e o feijão pelo aumento da taxa de decomposição do material orgânico em virtude da baixa relação C/N, que contribuem para uma melhor e maior aglutinação das partículas do solo resultando em agregados maiores e menos vulneráveis aos processos erosivos (Carpenedo e Mielniczuk, 1990). Já no terço inferior a mata apresentou valores maiores, diferindo estatisticamente da mata em regeneração e do cultivo. Para a classe de 2,00 a 1,00 mm (Tab. 3.1), praticamente não houve diferença para os diferentes usos do solo, com exceção do terço superior da mata na profundidade de 10-20 cm, o qual foi inferior aos demais.

Tabela 3.1 – Variável área considerando o tipo de uso do solo e a profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm da amostragem para a classe de agregados de 4,76 a 2,00 mm a 2,00 a 1,00 mm de diâmetro, na sub-bacia do Alto Natuba, município de Pombos, Zona da Mata Centro, Pernambuco-2008.

Posição	MATA		MATA/REGENERAÇÃO		CULTIVO	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
----- Área (mm) 4,76-2,00 mm -----						
Terço superior	15,75 Bb	16,32 Bb	15,27 Ba	18,19 ABa	20,88 Aa	21,73 Aa
Terço médio	17,27 Ab	18,05 Bb	17,72 Aa	19,73 ABa	18,61 Aa	21,64 Aa
Terço inferior	24,15 Aa	22,08 Aa	17,21 Ba	16,84 Ba	18,95 Ba	17,89 Ba
----- Área (mm) 2,00-1,00 mm -----						
Terço superior	4,78 Aa	4,95 ABa	4,75 Aa	4,59 Ba	5,85 Aa	5,85 Aa
Terço médio	4,60 Aa	3,64 Aa	5,22 Aa	5,26 Aa	5,36 Aa	5,30 Aa
Terço inferior	5,57 Aa	5,51 Aa	4,41 Aa	4,57 Aa	4,96 Aa	5,07 Aa

- Letras maiúsculas em uma mesma linha comparam tipos de uso da terra em uma mesma posição na encosta, quando iguais, não diferem entre si ao nível de 1% de significância.
- Letras minúsculas em uma mesma coluna comparam posições na encosta dentro de um mesmo tipo de uso da terra, quando iguais, não diferem entre si ao nível de 1% de significância.

Os resultados do perímetro apresentaram a mesma tendência da variável área, confirmando estudos de Melo et al. (2008) e Olszewski et al. (2004), os quais consideram o perímetro como uma variável proporcional à área média, assim, quanto maior for a área, maior será o perímetro. Observando a Tabela 3.2 verificaram para as classes de diâmetros de 4,76 a 2,00 mm maiores valores de perímetro no terço inferior da mata, para ambas as profundidades, em relação à mata em regeneração e ao cultivo, corroborando com os resultados de Olszewski et al. (2004), ao afirmar que solos com usos menos intensos apresentam maiores valores para a variável perímetro, em virtude da maior proporção entre agregados e rugosidade externa maior. Para a classe de 2,00 a 1,00 mm não houve diferenças estatísticas quanto aos distintos usos e posições entre eles.

Tabela 3.2 – Variável perímetro considerando o tipo de uso do solo e a profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm da amostragem para a classe de agregados de 4,76 a 2,00 mm a 2,00 a 1,00 mm de diâmetro, na sub-bacia do Alto Natuba, município de Pombos, Zona da Mata Centro, Pernambuco-2008.

Posição	MATA		MATA/REGENERAÇÃO		CULTIVO	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
----- Perímetro (mm) 4,76-2,00 mm -----						
Terço superior	19,13 ABb	20,11 Aa	18,44 Ba	21,18 Aa	22,60 Aa	22,70 Aa
Terço médio	20,01 Aab	20,29 Aa	19,51 Aa	20,69 Aa	20,20 Aa	21,74 Aa
Terço inferior	23,77 Aa	23,49 Aa	19,46 Ba	18,99 Ba	19,95 Ba	19,08 Bb
----- Perímetro (mm) 2,00-1,00 mm -----						
Terço superior	9,96 Aa	10,56 Aa	9,99 Aa	9,48 Aa	11,73 Aa	11,53 Aa
Terço médio	9,91 Aa	8,19 Aa	10,49 Aa	10,22 Aa	10,28 Aa	10,44 Aa
Terço inferior	10,84 Aa	11,14 Aa	9,70 Aa	9,75 Aa	9,57 Aa	9,82 Aa

- Letras maiúsculas em uma mesma linha comparam tipos de uso da terra em uma mesma posição na encosta, quando iguais, não diferem entre si ao nível de 1% de significância.
- Letras minúsculas em uma mesma coluna comparam posições na encosta dentro de um mesmo tipo de uso da terra, quando iguais, não diferem entre si ao nível de 1% de significância.

Os valores apresentados pelas variáveis alongamento, arredondamento e compacidade não foram significativos ao nível de 1%, tanto na classe de diâmetro entre 4,76 a 2,00 mm como de 2,00 a 1,00 mm, ou seja, os distintos usos e posições da encosta não influenciaram nos resultados. Os valores do parâmetro alongamento, para todas as classes de agregados (Tab. 3.3) ficaram abaixo de 1,0, indicando a forma mais poliedral das estruturas, ou seja, quanto mais inferiores a 1,0 menos esféricos eles serão e, conseqüentemente, mais resistentes à erosão, apresentando, assim, uma maior diferença entre o eixo maior e menor. Resultado semelhante foi constatado por Melo et al. (2008) ao analisar o alongamento de agregados em Latossolos Bruno e Vermelho do Estado do Paraná.

Tabela 3.3 – Variável alongamento considerando o tipo de uso do solo e a profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm da amostragem para a classe de agregados de 4,76 a 2,00 mm a 2,00 a 1,00 mm de diâmetro, na sub-bacia do Alto Natuba, município de Pombos, Zona da Mata Centro, Pernambuco-2008.

Posição	MATA		MATA/REGENERAÇÃO		CULTIVO	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
----- Alongamento 4,76-2,00 mm -----						
Terço superior	0,74 ns	0,79 ns	0,77 ns	0,80 ns	0,80 ns	0,78 ns
Terço médio	0,78 ns	0,79 ns	0,77 ns	0,78 ns	0,79 ns	0,77 ns
Terço inferior	0,73 ns	0,74 ns	0,79 ns	0,79 ns	0,78 ns	0,77 ns
----- Alongamento 2,00-1,00 mm -----						
Terço superior	0,78 ns	0,79 ns	0,80 ns	0,79 ns	0,76 ns	0,77 ns
Terço médio	0,77 ns	0,80 ns	0,78 ns	0,77 ns	0,79 ns	0,80 ns
Terço inferior	0,75 ns	0,75 ns	0,78 ns	0,78 ns	0,80 ns	0,79 ns

- ns: não significativo ao nível de 1%.

Os agregados apresentaram valores de arredondamento menores que 1,0 (Tab. 3.4) o que, segundo Olszewski et al., (2004) indica estrutura mais estável e menos susceptível a uma desagregação pela ação erosiva. Verificou-se também, que o grau de arredondamento aumentou com a diminuição do diâmetro das classes, resultados semelhantes foram encontrados por Melo et al. (2008), onde em seu estudo a classe de diâmetro > 2,00 mm apresentou arredondamento menor que a classe de 2,00 mm a 1,00 mm. De maneira geral, não foram observadas diferenças significativas entre as classes de diâmetro de 4,76 a 2,00 mm e 2,00 a 1,00 mm para ambas as profundidades, em todos os terços de amostragem, para os distintos usos.

Tabela 3.4 – Variável arredondamento considerando o tipo de uso do solo e a profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm da amostragem para a classe de agregados de 4,76 a 2,00 mm a 2,00 a 1,00 mm de diâmetro, na sub-bacia do Alto Natuba, município de Pombos, Zona da Mata Centro, Pernambuco-2008.

Posição	MATA		MATA/REGENERAÇÃO		CULTIVO	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
----- Arredondamento 4,76-2,00 mm -----						
Terço superior	0,54 ns	0,51 ns	0,57 ns	0,52 ns	0,51 ns	0,53 ns
Terço médio	0,54 ns	0,55 ns	0,58 ns	0,57 ns	0,57 ns	0,58 ns
Terço inferior	0,54 ns	0,50 ns	0,58 ns	0,59 ns	0,60 ns	0,61 ns
----- Arredondamento 2,00-1,00 mm -----						
Terço superior	0,62 ns	0,57 ns	0,60 ns	0,61 ns	0,55 ns	0,57 ns
Terço médio	0,60 ns	0,67 ns	0,60 ns	0,64 ns	0,65 ns	0,62 ns
Terço inferior	0,60 ns	0,57 ns	0,60 ns	0,62 ns	0,68 ns	0,66 ns

- ns: não significativo ao nível de 1%.

De forma geral, os valores de compacidade apresentaram valores abaixo de 1,0, confirmando a baixa vulnerabilidade aos processos erosivos, em ambas as classes analisadas (Tab. 3.5). A compacidade deve apresentar menores valores para os usos menos agressivos do solo, como áreas preservadas em relação às áreas cultivadas, devido à maior rugosidade do agregado (Melo et al., 2008). No entanto, a mata, a mata em regeneração e o cultivo não apresentaram, em seus terços e profundidades, diferenças expressivas de compacidade para as classes de agregados. Assim, constatando que não há diferença no grau de vulnerabilidade entre os usos, o que ocorre, provavelmente, é devido ao fato do solo da mata em regeneração estar em repouso por quatro anos e a área sob cultivo está sendo manejada dentro dos princípios da conservação do solo.

Tabela 3.5 – Variável compactidade considerando o tipo de uso do solo e a profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm da amostragem para a classe de agregados de 4,76 a 2,00 mm a 2,00 a 1,00 mm de diâmetro, na sub-bacia do Alto Natuba, município de Pombos, Zona da Mata Centro, Pernambuco-2008.

Posição	MATA		MATA/REGENERAÇÃO		CULTIVO	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
----- Compactidade 4,76-2,00 mm -----						
Terço superior	0,86 ns	0,89 ns	0,88 ns	0,89 ns	0,89 ns	0,88 ns
Terço médio	0,88 ns	0,89 ns	0,88 ns	0,88 ns	0,89 ns	0,87 ns
Terço inferior	0,85 ns	0,86 ns	0,89 ns	0,89 ns	0,88 ns	0,87ns
----- Compactidade 2,00-1,00 mm -----						
Terço superior	0,88 ns	0,89 ns	0,89 ns	0,89 ns	0,87 ns	0,88 ns
Terço médio	0,88 ns	0,89 ns	0,88 ns	0,87 ns	0,88 ns	0,89 ns
Terço inferior	0,87 ns	0,86 ns	0,88 ns	0,88 ns	0,89 ns	0,89 ns

- ns: não significativo ao nível de 1%.

Foram averiguadas poucas modificações nos índices entre os diferentes tipos de uso do solo, terços e profundidades de amostragem em relação às variáveis consideradas, constatando assim, que a área estudada possui características estáveis na susceptibilidade à erosão.

4. Conclusões

Detectaram-se apenas pequenas alterações nos índices das variáveis morfológicas entre os tipos de uso, para as duas classes de diâmetro estudadas, em ambas as profundidades.

Mesmo utilizada por três anos consecutivos, a área cultivada não apresentou diferenças morfológicas dos agregados dos solos na sub-bacia do Alto Natuba, quando comparados com aqueles da mata em regeneração e da mata.

6. CONCLUSÃO GERAL

A área da sub-bacia do rio Natuba apresentou baixa vulnerabilidade aos processos erosivos, mediante a análise da cobertura vegetal e agregação do solo.

Constatou-se aumento na quantidade de cobertura vegetal densa, entre o período de 07 de julho de 1989 e 28 de agosto de 2007, o que proporciona solos mais protegidos contra os efeitos erosivos e conseqüentemente com estruturas mais estáveis.

A área de cultivo analisada apresentou-se com bons níveis de agregação e densidade, o que corrobora para um manejo pouco agressivo.

De forma geral, toda a área de estudo apresentou elevada quantidade de agregados estáveis > 2,00 mm, o que evidencia a alta resistência aos processos erosivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19. n.1. p: 115-119, jan/abril. 1995.

ALLISON, F. E. **Soil organic matter and its role in crop production**. Amsterdam, Elsevier. p: 315-345. 1973.

ALVARENGA, R. C.; FERNANDES, B.; SILVA, T. C. A.; RESENDE, M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo e de manejo da palhada do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p.273-277, 1986.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em 16 de novembro de 2008.

ANDRADE, J. B.; OLIVEIRA, T. S. ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO USO DA TERRA EM PARTE DO SEMI-ÁRIDO CEARENSE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.393-401, 2004.

BARBALHO, M. G. S.; BARBALHO, F. G.; ARAÚJO, M. A.; FERREIRA, R. A. F. **Análise Temporal do uso da terra no município de Cristalino-GO a partir da utilização de imagens Lansat-5TM**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais. Florianópolis, INPE, 2007.

BERTONI, J.; NETO, F. L. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2º edição, 1990. 355p.

BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, v.58, n.3, p.555-560, jul./set. 2001.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J.M.; REIS, E.F. dos; DILLY, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. **Ciência Rural**, v.30, p.91-95, 2000.

BOGNOLA, I. A.; MAIA, C. M. B. F.; DEDECEK, R. A.; ANDRADE, G. C.; MEHL, H. U.; PEIXOTO, R. T. G. Estabilidade de agregados e DMG determinados por via úmida e via seca, em latossolo vermelho-escuro sob plantios de *E. dunnii*. Campinas: Embrapa-NMA, dez. 1998. 3 p. (**Comunicado Técnico, 4**).

BRADY, N. **Natureza e propriedades do solo**. (tradução), Antônio B. Neiva Figueiredo Filho. 7ªed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1989.

BRAGA, R. A. P. **Carta Consulta ao PROMATA – Projeto: Recuperação e Produção Agroflorestal no Assentamento de Ronda – Pombos**. Sociedade Nordestina de Ecologia. Recife 2005. 22p.

BRAGA, R. A. P. **Gestão Ambiental da Bacia do Rio Tapacurá – Plano de Ação**. Universidade Federal de Pernambuco/ CTG/ DECIVIL / GRH; Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2001. 101p.

BRAGA, R. A. P.; PATRÍCIO, F.; PASSOS, F.; SANGUINETTI, M.; CABRAL, J.; COSTA, M. C. **Subsídios para o Gerenciamento Ambiental da Bacia**

Hidrográfica do Tapacurá. In: IV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 1998, Campina Grande. Anais do IV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Campina Grande, UFPB. p. 01-10. 1998.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um latossolo vermelho-escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 19, p. 121-126, 1995.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 14, p. 99-105, 1990.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 1399-1407, 2008.

CARVALHO, V.C. 1986. **Structure e dynamique de la vegetation en milieu tropical semi-aride. La Caatinga de Quixaba (Pernambouc, Brèsil): duterrain à l'analyse des donnèes MSS/LANDSAT.** Thèse e Doctorat de l'Université de Toulouse II – Le Mirail, Toulouse. 322p. (INPE-4049-RPE/524).

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o peso de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistema de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.3, p.527-38, 1998.

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais.** Curitiba: Ed. Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, 2004. 219p

CENTURION J. F.; CARDOSO, J. P.; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes

agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.2, p.254-258, 2001.

Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 289**, de 25 de outubro de 2001. Estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental de projetos de assentamentos de reforma agrária.

CORRÊA, José Carlos. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 2, p. 203-209, fev. 2002

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO C. Propriedades Físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista brasileira de ciência do solo**, vol. 27, p: 527-535, 2003.

CROSTA, Á. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas – SP: IG /UNICAMP, 1992, 170p.

DADALTO, G.G.; COSTA, L.M. & MOURA FILHO, W. Alterações em características físicas de solos cultivados com pastagem. **Revista Ceres**, vol. 36, p:317-329, 1989.

DA ROS, C.O.; SECCO, D.; FIORIN, J.E.; PETRERE, C.; CADORE, M.A.; PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.2, p.241-247, abr./jun. 1997.

EDWARDS, A. P. & BREMMER, J. M. **Microaggregates in soils**. J. Soil Sci., 18:64-73, 1967.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises de solo**. 2º edição, rev., atual. 212 p. Rio de Janeiro, 1997.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ª edição. 306 p. Rio de Janeiro, 2006.

FOSTER, G. R. **Modeling the erosion process**. In: BASSELMAN, J.A., ed. *Hidrological Modeling of Small Watersheds*. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, Chap. 8, p.297-300. 1982.

FRANCO, E. S.; LIRA, V. M.; FARIAS, M. S. S.; PORDEUS, R. V.; LIMA, V. L. A. Uso de imagens TM/Landsat-5 na identificação da degradação ambiental na microbacia hidrográfica em Boqueirão-PB. **Revista de Geografia Agrária**, v. 2, n. 3, p. 79-88, fev., 2007.

GALETI, P. A. **Conservação do solo – Reflorestamento – Clima**. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. Campinas, São Paulo. p. 277. 1972.

GALLARDO, D. J. **Usos y conservación de suelos**. Geología Ambiental. Série Ingeniería Ambiental. Instituto Tecnológico Geominero de Espana, Madrid. 1998.

GHIDIN, A.A.; MELO, V.F.; LIMA, V.C.; LIMA, J.M.J.C. Topossequências de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná. II – Relação entre mineralogia da fração argila e propriedades físicas dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 30, p:307-319, 2006b.

GOMES, A. R.; MALDONADO, F. D. **Análise de Componentes Principais em Imagens Multitemporais TM/Landsat como Subsídio aos Estudos de Vulnerabilidade à Perda de Solo em Ambiente Semi-Árido**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais. Santos, INPE, 1998.

GOMES, H. A., SANTOS, E. J. (org). **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Pernambuco**. Recife: CPRM, 2001. 214 p.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (organizadores). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 2º ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 340p.

HARRIS, R. F.; CHESTER, G.; ALLEN, O. N. **Dynamics of soil agregation**. Adv. Agron., New York, 18: 107-169, 1996.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v.1, p.499-510.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 264p.

LONGO, Márcia Regina; CARLOS, Roberto Espíndola; RIBEIRO, Admilson Írio. Modificações na estabilidade de agregados no solo decorrentes da introdução de pastagens em áreas de cerrado e floresta amazônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.3, p.276-280, 1999. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.

MALDONADO, F. D. **Análise por Componentes Principais (ACP) na caracterização da dinâmica do uso da terra em área do semi-árido brasileiro: Quixaba-PE**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) INPE, São José dos Campos. 1999.

MALDONADO, F. D.; SANTOS, J. R.; CARVALHO, V. C. C. **Rotação espectral controlada como alternativa em Análise por Componentes Principais para detecção de mudanças em região do semi-árido**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais. Foz do Iguaçu, INPE, 2001.

MELO, V. F.; MOURA, R.; TOLEDO, F.H; LIMA, V. C.; GHIDIN, A. A. Morfologia de agregados de latossolos bruno e vermelho do estado do Paraná, avaliada por imagens obtidas em *scanner*. **Revista brasileira de ciência do solo**, 32: 85-99, 2008.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F. F.; DEBARBA, L. Manejo de solos e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. Tópicos em Ciência do Solo, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG., v. 3, p. 209-248, 2003.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 2º edição, 3º reimpressão. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 1992. 308p.

NUERNBERG, N. J.; STAMMEL, J. G. & CABEDA, M. S. V. Efeito de sucessão de culturas e tipos de adubação em características físicas de um solo da encosta Sul-Rio-Grandense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 10, p: 185-190, 1986.

OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO; M. N. **Classes Gerais de solos do Brasil: Guia auxiliar para seu reconhecimento**. 2º ed. Jaboticabal, FUNEP, 1992. 201p. 42 p.

OLIVEIRA, F. R. A.; VALARINI, P. J.; POPPI, R. J. **Indicadores de qualidade do solo em área de mata e cultivado com cana**. vol 2, nº 2, 2007.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 291-299, fev. 2003.

OLSZEWSKI, N.; COSTA L. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; RUIZ, H. A.; ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C. Morfologia de agregados do solo avaliada por meio de análise de imagens. **Revista brasileira de ciência do solo**, 28:901-909, 2004.

PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Efeito da cobertura viva com leguminosas herbáceas perenes na agregação de um argissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.713-720, 2002.

PERNAMBUCO. **Atlas da Biodiversidade de Pernambuco**. 2002.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 3º edição. Urbelândia, Ed. Universidade Federal de Urbelândia, 1995. 117p.

ROSENDO, J. S. **Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do Rio Araguari – MG – utilizando dados do sensor MODIS**. 2005.130p. Dissertação (Mestrado em Geografia)–Universidade Federal de Urbelândia, 2005.

ROSENDO, J. S. & ROSA, R. **Análise da detecção de mudanças no uso da terra e cobertura vegetal utilizando a diferença de índices de vegetação**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais. Florianópolis, INPE, 2007.

RUELLAN, A. & DOSSO, M. **Regards sur le sol**. Editira: Foucher. Paris, 1993, 192p.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32: 11-21, 2008.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SAMPAIO, Y.; VITAL, T.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, G. V. **Desertificação no Brasil – Conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003. 202p.

SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; DIAS JUNIOR, M. S. Comparação entre métodos para o estudo da estabilidade de agregados em solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.9, p.1825-1834, set. 2000.

SAUSEN, T. M. ; FONSECA, S. M. C. ; STEFFEN, C. A. Curso de Treinamento. **Aplicações de Sensoriamento Remoto a Recursos Naturais**. 1990.

SENA, M. M.; POPPI, R. J; FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J. Avaliação do uso de métodos Quimiométricos em análise de solos. **Química Nova**, 23(4) (2000), recebido em 31/5/99; aceito em 13/10/99.

SILVA, B. B.; LOPES, G. L.; AZEVEDO, P. V. Determinação do Albedo de áreas irrigadas com base em imagens de LANDSAT 5-TM. **Revista Brasileira de Agromepesoologia**, v. 13, n. 2, p. 201-211, 2005.

SILVA, C. E. M. **Uso e Ocupação do Solo em Áreas de Preservação Permanente da Bacia Hidrográfica do Natuba, Afluente Do Tapacurá – PE**. Monografia. Centro de Ciências Biológicas – UFPE. Recife. 2006.

SILVA, C. E. M. **Programa de Adequação Ambiental e Proposta de Pagamento por Serviços Ecossistêmicos no Assentamento Chico Mendes (Ronda), Microbacia do Alto Natuba, afluente do Tapacurá – Pombos –PE**. Monografia. Centro Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco. Recife. 2007.

SILVA, F. B. R.; SILVA, M. A. V.; BARROS, A. H. C.; SANTOS, J. C. P.; SILVA, A. B.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, F. H. B. B.; BURGOS, N.; PARAHYBA, R. B. V.; OLIVEIRA NETO, M. B.; SOUZA NETO, N. C.; ARAÚJO FILHO, J. C.; LOPES, O. F.; LUZ, L. R. Q. P.; LEITE, A. P.; COSTA, L. G. M.; SILVA, C. P. **Zoneamento Agroecológico de Pernambuco - ZAPE**. Recife: Embrapa Solos - Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento - UEP Recife; Governo do Estado de Pernambuco (Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária). (Embrapa Solos. Documentos; no. 35). ZAPE Digital, CD-ROM. 2001.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BLANCANEUX, P. SISTEMAS DE MANEJO E QUALIDADE ESTRUTURAL DE LATOSSOLO ROXO. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.12, p.2485-2492, dezembro, 2000.

STATSOFT, Inc, **Statistic for Windows**. Release 6.0. Copyright Statsoft. Inc, Tulsa, OK, 2002.

TEOTIA, H. S.; SILVA, I. F.; SANTOS, J. R.; JUNIOR, J. F. V.; GONÇALVES, J. L. **Classificação da cobertura vegetal e capacidade de uso da terra na região do Cariri Velho (Paraíba), através de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais. Belo Horizonte, INPE, 2003.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. **Organic matter and waterstable aggregates in soils**. Journal of Soil Science, Oxford, v.33, n.1, p.141-163, Mar. 1982.

VIEIRA, L. S. **Manual da ciência do solo**. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 1975. 464p.

VOLK, L. B. S & COGO, N. P. Inter-relação biomassa vegetal subterrânea estabilidade de agregados-erosão hídrica em solo submetido a diferentes formas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 32: 1713-1722, 2008.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.5, p.487-494, maio 2005.

WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. & BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:891-900, 2004.