



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

ANÁLISE DA VEGETAÇÃO POR MEIO DA SUBTRAÇÃO DE IMAGEM NDVI NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DO HORIZONTE, ALEGRE, ES

Jéferson Luiz Ferrari¹, Alexandre Rosa dos Santos², Ricardo Ferreira Garcia³

RESUMO

Este estudo teve por objetivo avaliar as mudanças da cobertura vegetal na sub-bacia hidrográfica do córrego do Horizonte, Alegre – ES, ocorridas nas últimas décadas, por meio da subtração entre pares de imagens NDVIs. Foram utilizadas imagens originais do sensor *Thematic Mapper* (TM) a bordo do satélite Landsat 5, com datas de passagens de 01/06/1987 e 31/05/2010. Os resultados evidenciam a eficiência da técnica de subtração de imagens NDVIs para detectar padrões de mudanças da cobertura vegetal na sub-bacia. Os mapas gerados revelaram redução dos valores de NDVIs entre as duas datas analisadas, onde foi notado que 70,18% da sub-bacia encontram-se dentro da classe de não-mudança, sugerindo um bom estado de conservação. Todavia, quando se analisa a classe de desmatamento ficou constatado que 49,32% deste, ocorreram na zona de cabeceira, região de extrema importância para o abastecimento do lençol freático, sinalizando assim, a necessidade de uma política de educação ambiental específica para evitar futuros problemas.

Palavras-chave: sensoriamento remoto; cobertura vegetal; índice de vegetação; NDVI.

ANALYSIS OF VEGETATION THROUGH SUBTRACTION OF NDVI IMAGE IN SUB-BASIN OF THE HORIZONTE STREAM, ALEGRE, ES

ABSTRACT

This study aimed to assess changes in vegetation cover in the sub-basin of the stream Horizonte, Alegre - ES that occurred in past decades, through the subtraction of pairs of images NDVIs. Original images were used sensor *Thematic Mapper* (TM) aboard Landsat 5, dated 01/06/1987 and 31/05/2010 passages. The results show the efficiency of the technique of subtraction NDVIs to portray the changes in vegetation cover in the sub-basin. The generated maps showed decreased levels of NDVIs between the two dates analyzed, it was noted that 70.18% of the sub-basin are within the class of non-change, suggesting a good state of repair. However, when considering the class of deforestation was found that 49.32% of this occurred in the area of head, region of extreme importance for the supply of groundwater, thus signaling the need for a specific policy on environmental education to prevent future problems.

Keywords: remote sensing; vegetation cover; vegetation index; NDVI.

Trabalho recebido em 03/02/2011 e aceito para publicação em 28/07/2011.

¹ Doutorando em Produção Vegetal pela Universidade Estadual Norte Fluminense – UENF. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – IFES - Campus de Alegre – CP 47, CEP 29500-000 - Alegre – ES; e-mail: ferrarijuliz@gmail.com

² Doutor em Engenharia Agrícola. Professor Associado da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES – CCA-UFES/NEDETEC - CEP 29500-000 – Alegre, ES; e-mail: mundogeomatica@yahoo.com.br

³ Doutor em Engenharia Agrícola. Professor Associado da Universidade Estadual Norte Fluminense – UENF/LEAG – Av. Alberto Lamego, 2000 – CEP 28013-602 - Campos dos Goytacazes, RJ; e-mail: garcia@uenf.br

1. INTRODUÇÃO

A intervenção humana nos ecossistemas naturais para a implantação de atividades agropecuárias e ou extrativistas tem afetado a composição dos biomas brasileiros (DUARTE, 2004; MARTINELLI *et al.*, 2010). A substituição da vegetação original por culturas e ou atividades urbanas, além de alterar a biodiversidade dos biomas, pode até mesmo, interferir a capacidade de uma floresta em gerar precipitação (SALATI *et al.*, 1979).

No estudo desses impactos negativos, o monitoramento da cobertura vegetal é de fundamental importância para garantir a preservação do meio-ambiente e o desenvolvimento sustentável (JEPSON, 2005). Atualmente, com a facilidade de acesso a informações provenientes do processamento de imagens orbitais, o monitoramento da cobertura vegetal terrestre pode ser realizado com custos reduzidos e de forma eficiente por meio do sensoriamento remoto (MASS, 1999). Imagens de satélites são, em fato, conjuntos de dados em formato matricial, cujos vetores x, y (localização) e z (valores radiométricos) são passíveis das mais variadas transformações algébricas para fins de realce espectral, espacial e análises estatísticas (MOREIRA, 2007).

Nos estudos envolvendo este tipo de monitoramento, é muito comum a utilização de sensores eletro-ópticos, como os da série Landsat, que geram imagens multiespectrais e multitemporais, a partir da detecção da energia refletida pelos alvos localizados na superfície em específicas faixas do espectro eletromagnético, principalmente na região do vermelho e do infravermelho próximo, onde a vegetação interage mais intensamente com a radiação solar incidente (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). Geralmente, segundo estes autores, a superfície da vegetação absorve a radiação na faixa do visível (0,400 – 0,700 μm) e reflete na faixa de infravermelho próximo (0,725 a 1,100 μm), possibilitando assim a caracterização de dosséis foliares.

Duas transformações espectrais são particularmente importantes: os índices de vegetação, largamente utilizados como intermediários na obtenção de parâmetros biofísicos e no acompanhamento da dinâmica sazonal e fenológica; e os chamados modelos de mistura espectral que, ao decompor o sinal do pixel em seus vários constituintes (solo, vegetação, água etc.), facilitam o mapeamento de classes e variações fitofisionômicas, bem como de importantes fatores abióticos, controlando estas distribuições (MOREIRA, 2007).

Os índices de vegetação são, provavelmente, a maneira mais simples e eficiente de se realçar o vigor da vegetação verde, ao mesmo tempo, que minimizam as variações na irradiância solar e os efeitos do substrato do dossel vegetal (JACKSON; HUETE, 1991). Na literatura são encontrados mais de quarenta índices de vegetação gerados com dados de satélites, sendo quase todos obtidos de medidas de reflectâncias nas faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo no espectro eletromagnético (LIU, 2007). De todos eles, o tipo mais comumente utilizado é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDG ou NDVI, em inglês) de autoria de Rouse *et al.* (1974), conforme descreve Jensen (2009).

Muitos cientistas têm conseguido resultados positivos quanto a aplicabilidade do NDVI para classificar a distribuição global de vegetação em conexão com o clima (GURGEL *et al.*, 2003), inferir variabilidades de parâmetros biofísicos da vegetação como a produção de fitomassa (COSTA *et al.*, 2002), o índice de área foliar (XAVIER; VETTORAZZI, 2004), o uso da terra

(REIS *et al.*, 2005), o desenvolvimento do ciclo vegetativo (DE LA CASA; OVANDO, 2007; MERCANTE *et al.*, 2009), e a produtividade de culturas (WANG *et al.*, 2004; SIMÕES *et al.*, 2009, GROHS *et al.*, 2009; JUNGES; FONTANA, 2009) entre outros.

A ausência de informações ligadas às alterações no estado da cobertura vegetal na presente área deste estudo é um dos aspectos que justificam este trabalho. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar as mudanças da cobertura vegetal na sub-bacia hidrográfica do córrego do Horizonte, ocorridas nestas últimas duas décadas, por meio da subtração entre pares de imagens NDVIs, derivadas de imagens originais obtidas pelo sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite Landsat-5.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A sub-bacia hidrográfica do córrego do Horizonte é uma unidade territorial de 13,17 km² que fica situada no município de Alegre, ES, nas coordenadas geográficas de 20°45'51" latitude Sul e 41°27'24" longitude Oeste (Figura 1).

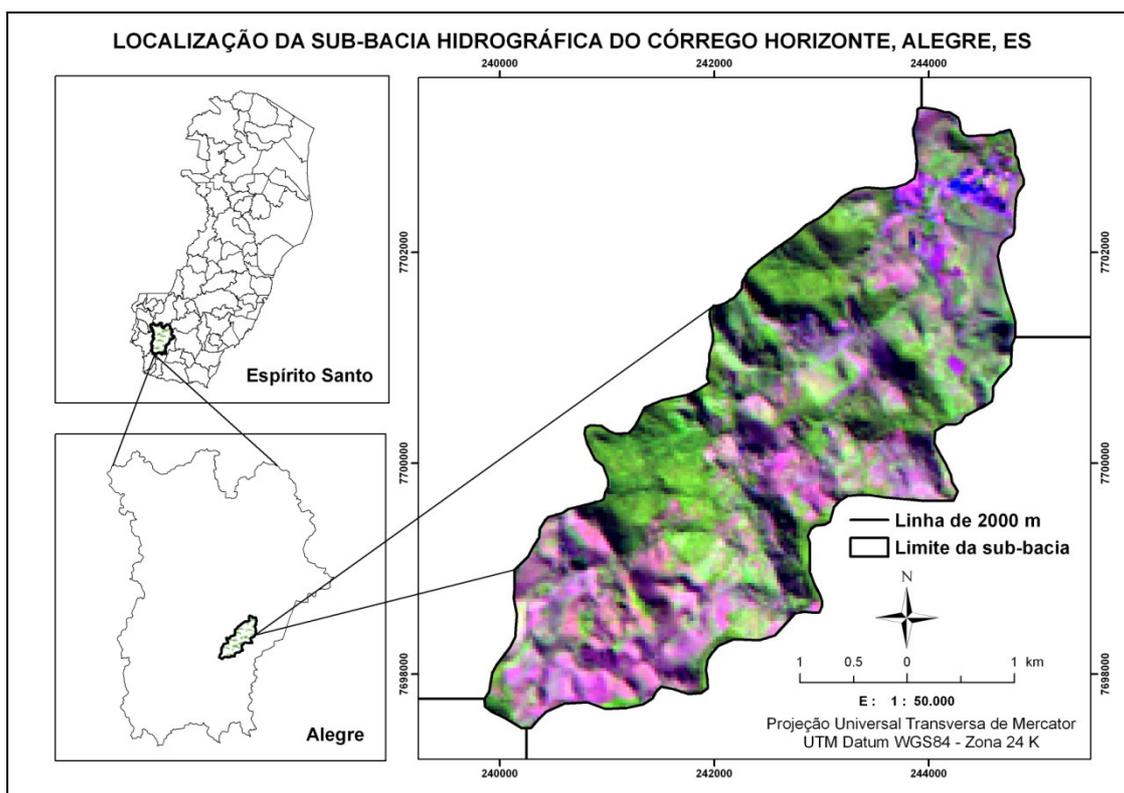


Figura1. Localização da sub-bacia hidrográfica do córrego do Horizonte, ilustrada por composição colorida Landsat 5 – 3B4G5R, com data de 31/05/2010

Segundo a classificação internacional de Köppen, o clima da região é do tipo “Cwa”, ou seja, tropical quente úmido, com inverno frio e seco, temperatura média de 23,1° C e precipitação anual média de 1.341 mm. Lima *et al.* (2008), estudando a variabilidade temporal de uma série histórica de 63 anos de dados de precipitação para o município de Alegre, constataram que existem duas estações bem definidas, seca e chuvosa, com a maior precipitação média de 242,2 mm em dezembro, e o menor valor médio de 26,7 mm em junho.

Os solos da região são representados por: Latossolo Vermelho Amarelo Álico A

moderado, Latossolo Una Álico A moderado, Cambissolo Álico Tb A moderado, com texturas de média a argilosa, e relevo variando de fortemente ondulado a montanhoso revestido por floresta subperinifólia (IBGE, 1994).

Para retratar as mudanças na cobertura vegetal foram utilizadas imagens orbitais do sensor *Thematic Mapper* (TM), a bordo do satélite LANDSAT 5, disponibilizadas pela Divisão de Geração de Imagens (DGI) da Coordenação Geral de Observação da Terra (OBT) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo endereço eletrônico <http://www.dgi.inpe.br>. De acordo com a

NASA (2010), este sensor opera em sete bandas, sendo que cada banda representa uma faixa do espectro eletromagnético conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Bandas espectrais do sensor *Thematic Mapper* (TM), a bordo do satélite LANDSAT 5

| Nº da banda | Faixa do espectro (µm) | Região do espectro | Resolução espacial (m) |
|-------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 | 0,45 – 0,52 | Azul | 30 |
| 2 | 0,52 – 0,60 | Verde | 30 |
| 3 | 0,63 – 0,69 | Vermelho | 30 |
| 4 | 0,76 – 0,90 | Infravermelho próximo | 30 |
| 5 | 1,55 – 1,75 | Infravermelho médio | 30 |
| 6 | 10,4 – 12,50 | Infravermelho térmico | 120 |
| 7 | 2,08 – 2,35 | Infravermelho distante | 30 |

A escolha por este sistema sensor, lançado em 01/03/1984, foi devido ao fato de que as imagens LANDSAT 5 TM representam a maior e a mais antiga série de dados orbitais existentes. Foram escolhidas as imagens com datas de passagens de 01/06/1987 e 31/05/2010, órbita 216 cena 74, priorizando o período seco da região e fator cobertura de nuvens zero para o quadrante da área analisada.

Nestas imagens foram realizados, no ambiente computacional ArcGIS 9.3®, os processamentos representados na Figura 2, tendo sempre a projeção final do projeto o sistema UTM/WGS84.

As correções geométricas foram feitas com o objetivo de manter a

integridade geométrica dos mapas, sem as distorções causadas pelo processo de aquisição. O método utilizado para as correções sistemáticas de ambas as imagens foi o modelo polinomial do segundo grau. Os pontos de controle foram extraídos da hidrografia do Estado do Espírito Santo, devidamente corrigida e fornecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Após esta etapa, as imagens georreferenciadas foram recortadas, *buffer* de 2000 m para além do polígono da sub-bacia hidrográfica, de modo a gerar as bandas TM3 (vermelho) e TM4 (infravermelho próximo) das duas datas de passagens.

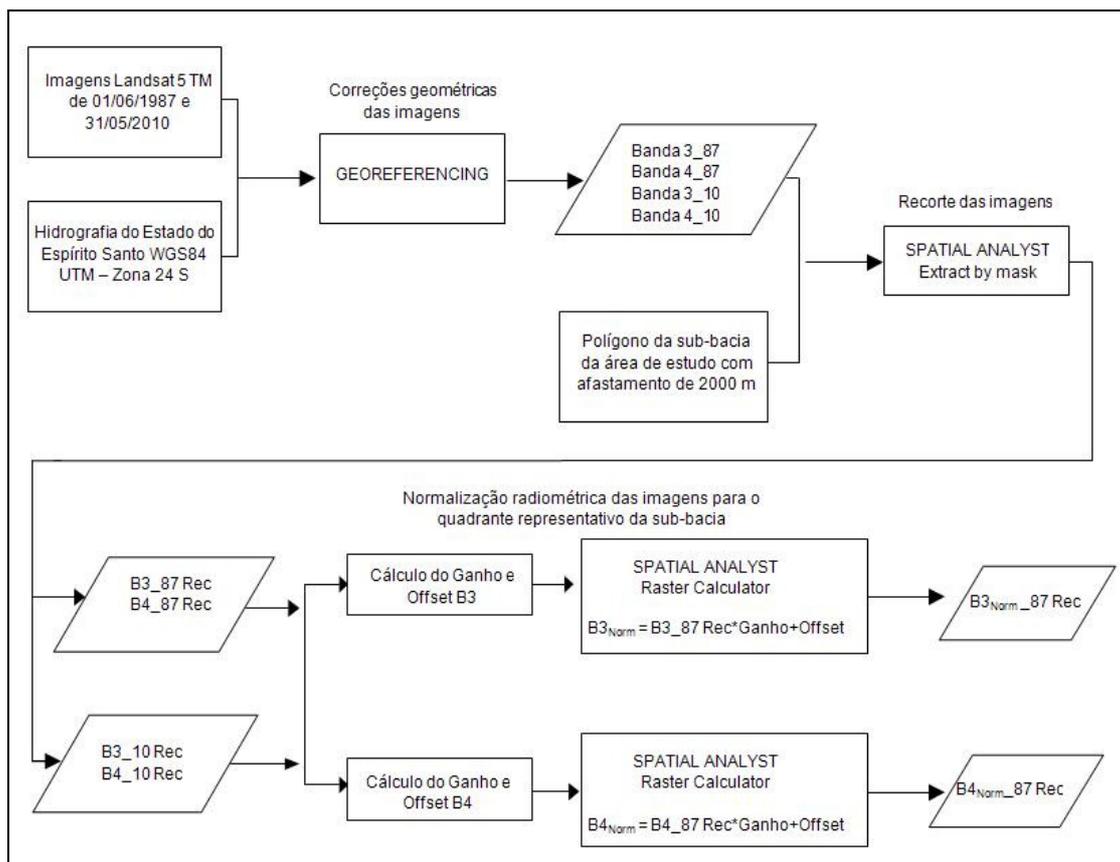


Figura 2. Representação esquemática dos processamentos utilizados para as correções geométricas e radiométricas das imagens

A correção radiométrica, etapa fundamental quando se analisa séries temporais de imagens, foi realizada por meio do Método de Uniformização das Médias e Variâncias (UMV) utilizando as imagens do ano de 2010 como imagens de referência. Neste método, a uniformização das médias e variâncias é feita por meio de uma transformação linear $f(x) = ax + b$. Nas Equações 1, 2 e 3 são mostrados os cálculos das uniformizações das imagens, bem como dos Ganhos e dos *Offsets*, necessários aos processos de normalização das bandas TM3 (vermelho) e TM4 (infravermelho próximo) do ano de 1987.

$$S' = S \cdot \text{ganho} + \text{offset} \tag{1}$$

$$\text{ganho} = \sqrt{\frac{\sigma_R^2}{\sigma_S^2}} \tag{2}$$

$$\text{offset} = \mu_R - \sqrt{\frac{\sigma_R^2}{\sigma_S^2}} \cdot \mu_S \tag{3}$$

Em que, S' é a imagem uniformizada; S a imagem de ajuste; σ_R^2 a variância da imagem de referência; σ_S^2 a variância da imagem de ajuste; μ_R a média da imagem de referência; e μ_S a média da imagem de ajuste.

Os NDVIs (Figura 3) foram obtidos por meio dos valores médios dos números digitais dos *pixels* para as janelas de reflectância de superfície das bandas TM3 (vermelho) e TM4 (infravermelho próximo), sendo este índice dado pela Equação 4.

$$NDVI = \frac{(IV - VM)}{(IV + VM)} \quad (4)$$

Em que, NDVI é índice de vegetação por diferença normalizada; IV a banda do infravermelho; e VM a banda do vermelho.

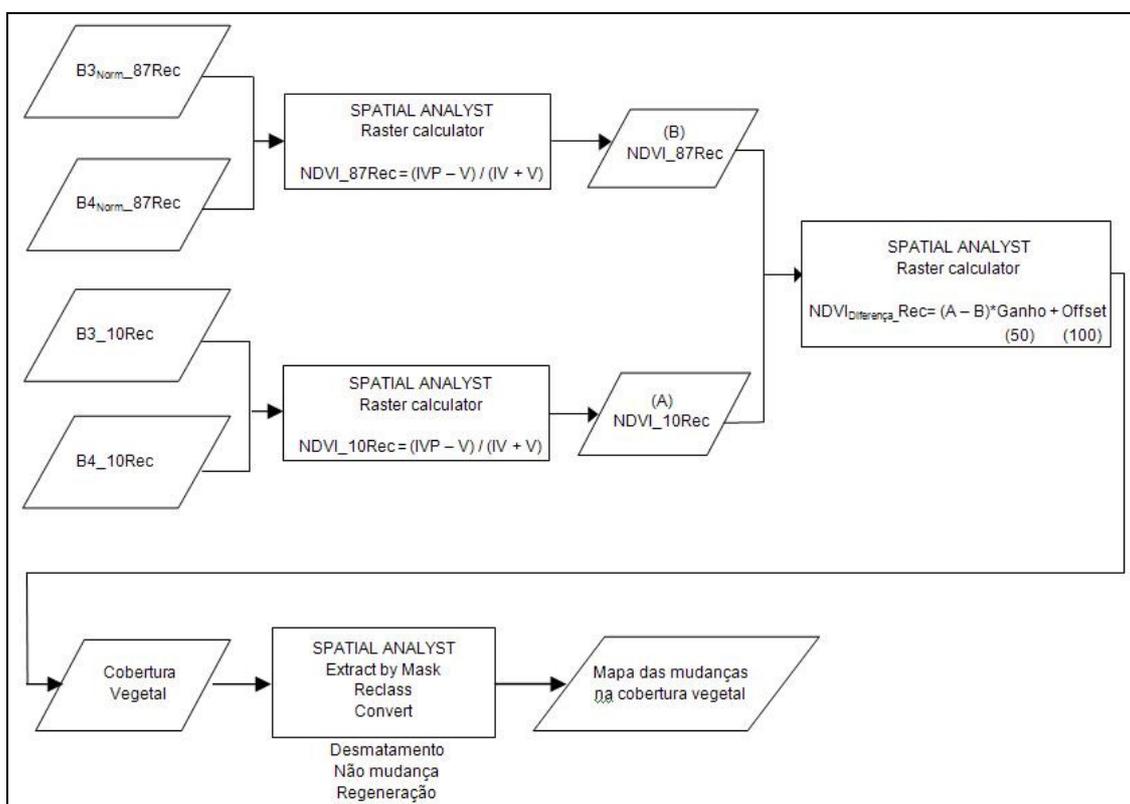


Figura 3. Representação esquemática dos processamentos utilizados para a obtenção dos NDVIs e para a avaliação das mudanças na cobertura vegetal

Com os NDVIs calculados, fez-se a subtração da imagem de 2010 em relação à imagem de 1987, produzindo uma imagem residual que representa as mudanças ocorridas entre essas duas datas (MAAS, 1999). No cálculo da subtração de imagens (Equação 5), foi adotado valores de 50

para o Ganho e de 100 para o *Offset* de modo a deslocar os valores digitais dos *pixels* para valores positivos, evitando assim a compressão dos dados e a perda de informação.

$$NDVI_{Diferença} = (A - B) * Ganho(50) + Offset(100) \quad (5)$$

Em que, $NDVI_{Diferença}$ é a subtração de imagens dos índices de vegetação por diferença normalizada; A corresponde a Imagem NDVI do ano de 2010; e B a Imagem NDVI do ano de 1987.

Com os parâmetros média (μ), desvio padrão (σ) e variância (σ^2) da imagem resultante foi definido as classes representativas das mudanças da cobertura vegetal na sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, conforme os intervalos apresentados na Tabela 2.

As análises das mudanças da cobertura vegetal foram realizadas tanto em nível de bacia hidrográfica como em zonas de áreas semelhantes, delimitadas no sentido longitudinal da referida sub-bacia a partir de sua foz. As zonas foram assim definidas: Zona A – Próxima da foz ou exutório; Zona B – Intermediária; Zona C – Próxima da cabeceira.

Tabela 2. Intervalo e limites das classes representativas das mudanças da cobertura vegetal na sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre, ES

| Classes | Intervalos |
|--------------|-------------------------------------|
| Desmatamento | (0, $\mu - \sigma$) |
| Não mudança | ($\mu - \sigma$ a $\mu + \sigma$) |
| Regeneração | ($\mu + \sigma$ a 255) |

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estatísticos referentes aos valores digitais dos *pixels* correspondentes as bandas TM3 (vermelho) e TM4 (infravermelho próximo), das duas datas de passagens, são apresentados na Tabela 2. Nota-se que as diferenças entre as médias e variâncias ratificam a necessidade da retificação radiométrica quando é realizado o

processamento digital envolvendo imagens com datas distintas. De acordo com Hall *et al.*(1991), durante a aquisição de dados pelos sensores orbitais, existem vários fatores que causam as distorções radiométricas das imagens tais como a diferença das condições atmosféricas, iluminação e ângulos de visada entre outros.

Tabela 2. Resultados estatísticos das imagens orbitais do sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite LANDSAT 5 referentes ao quadrante da área de estudo

| Banda - Ano | Imagem | Média | Desvio padrão | Variância |
|-------------|------------|-------|---------------|-----------|
| B3_87 Rec | Ajuste | 20,12 | 5,94 | 35,34 |
| B4_87 Rec | Ajuste | 50,29 | 15,51 | 240,63 |
| B3_10 Rec | Referência | 18,31 | 5,04 | 25,41 |
| B4_10 Rec | Referência | 60,87 | 16,23 | 263,50 |

Na Tabela 3 são mostrados os resultados dos parâmetros da função de transformação linear utilizados no método de uniformização das médias e variâncias, onde é possível observar que as bandas

TM3_87 e TM4_87, agora ajustadas, apresentam médias e variâncias semelhantes às encontradas na imagem de referência (Tabela 2).

Tabela 3. Resultados dos parâmetros (Ganho e Offset) utilizados na uniformização das médias e variâncias das imagens de ajuste e imagens de referência

| Banda- Ano | Ganho | Offset | Média _{Normalizada} | Desvio padrão _{Normalizado} |
|------------|------------|--------|------------------------------|--------------------------------------|
| B3_87 Rec | 0,85 | 1,25 | 18,31 | 5,04 |
| B4_87 Rec | 1,05 | 8,24 | 60,87 | 16,23 |
| B3_10 Rec | Referência | | 18,31 | 5,04 |
| B4_10 Rec | Referência | | 60,87 | 16,23 |

De acordo com Ponzoni e Shimabukuro (2007) o Offset refere-se à quantidade em valores dos números digitais suficiente para compensar a resposta do detector mesmo quando este não recebe qualquer quantidade de radiação incidente, enquanto que o Ganho refere-se a um valor de ganho normalmente ajustado para impedir que o valor medido sature positivamente quando observa objetos claros, e negativamente quando observa objetos escuros.

As imagens de NDVI dos anos de 1987 e 2010 da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte são apresentadas na Figura 4. Visualmente, é possível notar cenários diferentes de NDVI entre os dois períodos revelados tanto na abrangência espacial das cores como nas suas próprias tonalidades. Os tons mais alaranjados nos mapas representam altos índices de vegetação, enquanto que os tons mais azulados, os baixos índices. Numericamente, de acordo com LIU (2007), o NDVI varia de -1 a +1, sendo

que valores negativos representam as nuvens, e os próximos de zero representam solo nu ou sem vegetação. Quanto mais

próximo de 1, maior o grau de verde da superfície.

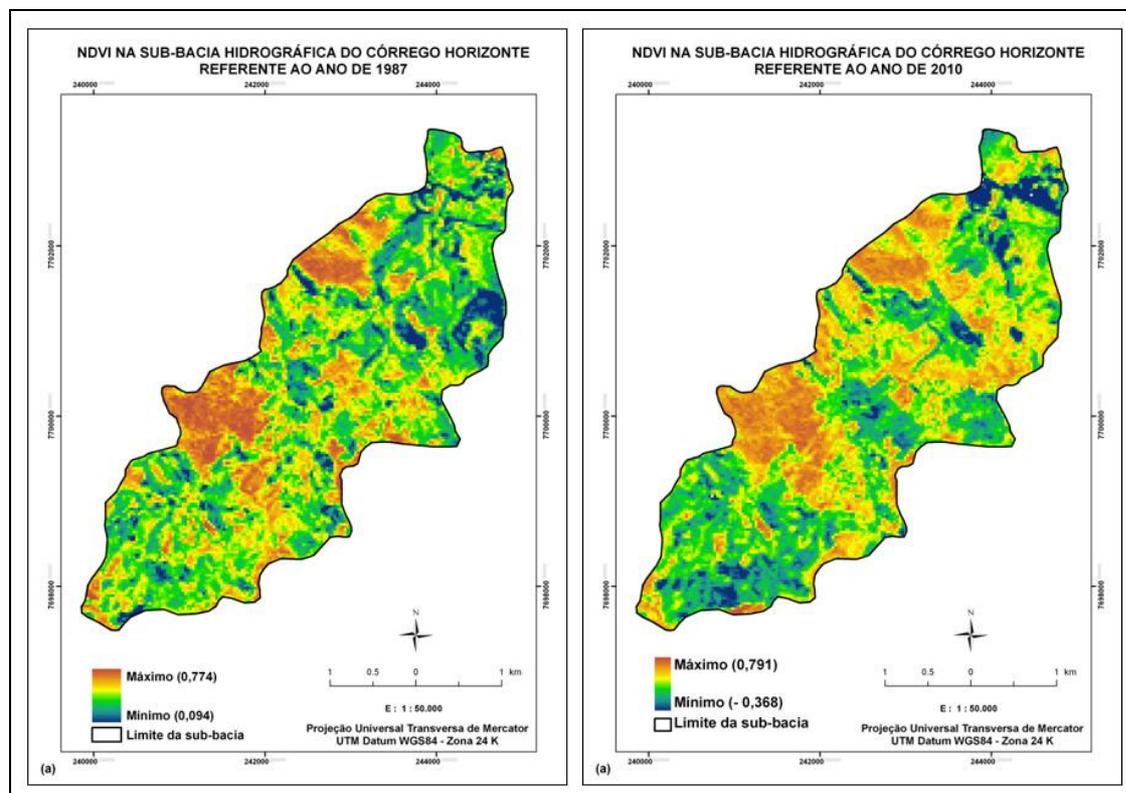


Figura 4. Imagens de NDVI na sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte: (a) - Ano de 1987 e (b) - Ano de 2010

Os resultados apresentados na Figura 4 permitem inferir que no ano de 1987 havia maior densidade de cobertura vegetal em seu estado natural, situação revelada pela maior contiguidade de áreas contendo tons alaranjados de forte intensidade.

Em geral, pode-se considerar que quanto maior for esse contraste, maior vigor tem a cobertura vegetal imageada. Observa-se que no ano de 2010, estas áreas perderam esta característica de concentração de altos valores de NDVIs.

Outra característica interessante percebida em nível de bacia é que, apesar da imagem do ano de 2010 apresentar pico de NDVI ligeiramente maior (0,791) em relação à imagem do ano de 1987 (0,774), a imagem do ano de 2010 exibiu maior amplitude (1,159) e menor média (0,212), ou seja, no geral a imagem do ano de 2010 apresentou menores valores de NDVIs, corroborando com o raciocínio de que as mudanças na cobertura vegetal na sub-bacia hidrográfica do córrego do Horizonte podem ser detectadas por diferenças de imagens de NDVI.

Num estudo de 20 anos a cerca da variabilidade de NDVI na região Nordeste do Brasil, Barbosa *et al.* (2006) destacam que mudanças da cobertura vegetal podem estar associadas a diversos fatores como ao regime pluviométrico da região, a dinâmica natural da sua vegetação, e à ação antrópica (agricultura, ocupação etc.).

Pela Tabela 4 e Figura 5 é possível verificar as classes representativas das

mudanças da cobertura vegetal na sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte por meio da subtração das imagens NDVIs. Os intervalos e limites das classes foram definidos pelos novos parâmetros da imagem resultante, tendo média = 99,00, desvio padrão = 4,74 e variância = 22, 47.

Tabela 4. Quantificação das classes representativas referentes às mudanças da cobertura vegetal na sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre, ES

| Classes | Nº de pixel | Área (km ²) | Área (%) |
|--------------|-------------|-------------------------|----------|
| Desmatamento | 2.536 | 2,19 | 16,65 |
| Não mudança | 10.073 | 9,24 | 70,18 |
| Regeneração | 2.033 | 1,74 | 13,17 |

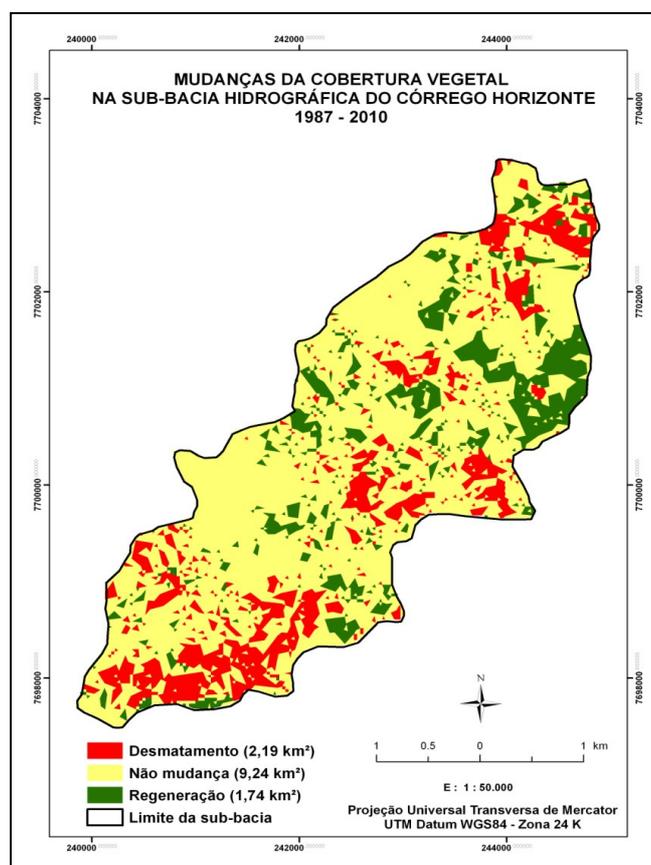


Figura 5. Mapeamento das mudanças na cobertura vegetal na sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, período 1987 a 2010.

De acordo com este mapeamento não houve mudanças em 9,24 km² (70,18 %) no interior da sub-bacia hidrográfica. O restante apresentou grandes alterações, principalmente devido ao desmatamento ou perda da cobertura vegetal (16,65 %). Cerca de 1,74 km² (13,17 km²) de regeneração, decorrente do processo de crescimento natural da floresta ao longo do período estudado, foram mapeados. Esses resultados confirmam a eficiência da metodologia de subtração de imagens NDVIs para identificar alterações da cobertura vegetal na paisagem.

O resultado de que a classe de não mudança predomina na referida bacia pode, a princípio, induzir erroneamente a existência de uma condição ótima de

preservação da cobertura vegetal no interior da sub-bacia hidrográfica do córrego do Horizonte. Todavia, quando se analisa as áreas das classes de mudanças da cobertura vegetal por zona (Tabela 5 e Figura 6a) fica evidente o cuidado com esta dedução preliminar. Dos 2,19 km² referentes ao desmatamento, 1,08 km² (49,32 %) foram detectados na Zona C (próxima da cabeceira), zona esta localizada na parte mais alta da bacia hidrográfica (Figura 6b), com altitudes que variam de 420 a 620 m, e considerada como a de maior relevância para a melhoria dos recursos hídricos em quantidade e qualidade (VALENTI; GOMES, 2005).

Tabela 5. Áreas das classes de mudanças da cobertura vegetal por zona, na sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre, ES

| Classes | Quantificação das áreas (km ²) | | | |
|--------------|--|--------|--------|-------|
| | Zona A | Zona B | Zona C | Total |
| Desmatamento | 0,56 | 0,55 | 1,08 | 2,19 |
| Não mudança | 2,87 | 3,31 | 3,06 | 9,24 |
| Regeneração | 0,96 | 0,53 | 0,25 | 1,74 |
| Total | 4,39 | 4,39 | 4,39 | 13,17 |

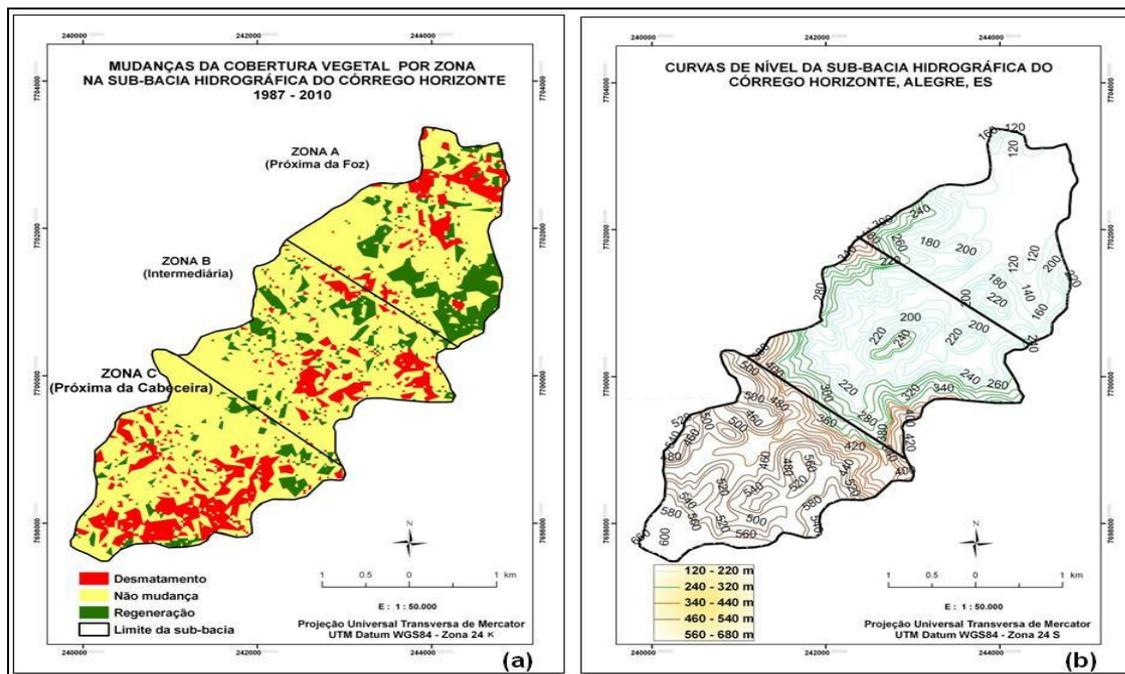


Figura 6. a) Mapeamento das mudanças na cobertura vegetal por zona, na sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, período 1987 a 2010 e b) Mapeamento das curvas de nível da bacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre, ES

Essa situação da perda de vegetação na Zona C da sub-bacia de estudo é um fator potencialmente preocupante, uma vez que, a partir desta redução, podem surgir vários outros problemas, mais ou menos grave, como por exemplo: aumento da taxa de erosão do solo, diminuição da retenção da água em superfície, diminuição do número das espécies vegetais, empobrecimento do solo, e a diminuição da produção agrícola entre outros (PRUSKI, 2006).

4. CONCLUSÕES

1 - A técnica de subtração de imagens de NDVIs possibilita detectar

padrões de mudanças da cobertura vegetal em imagens.

2 - Os mapas gerados revelaram redução dos valores de NDVIs entre as duas datas analisadas, onde foi notado que 70,18% da sub-bacia encontram-se dentro da classe de não-mudança, sugerindo um bom estado de conservação. Todavia, quando se analisa a classe de desmatamento ficou constatado que 49,32% deste, ocorreram na zona de cabeceira, região de extrema importância para o abastecimento do lençol freático, sinalizando assim, a necessidade de uma política de educação ambiental específica para evitar futuros problemas.

5. REFERÊNCIAS

- BARBOSA, H. A.; HUETE, A. R.; BAETHGEN, W.E. A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v.67, p. 288-307, 2006.
- COSTA, T. C. C.; ACCIOLY, L. J. O.; OLIVEIRA, M. A. J.; BURGOS, N.; SILVA, F. H. B. B. Phytomass mapping of the “Seridó Caatinga” vegetation by the plant area and the normalized difference vegetation indices. **Scientia Agricola**, v.59, n.4, p.707-715, 2002.
- DE LA CASA, A.; OVANDO, G. Integración del Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI) y del Ciclo Fenológico de Maíz para Estimar el Rendimiento a Escala Departamental en Córdoba, Argentina. **Agriultura Técnica**, v.67, n.4, p. 362-371, 2007.
- DUARTE, R. H. Por um pensamento ambiental histórico: O caso do Brasil. **Luso Brazilian Rev.**, v. 41, n. 2, p. 144-161, 2004.
- GROHS, D. S.; BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M.; POLETTO, N. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor GreenSeeker. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.1, p. 101-112, 2009.
- GURGEL, H. C.; FERREIRA, N. J.; LUIZ, A. J. B. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p.85-90, 2003.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução de Epiphanyo, J.C. N.(Coordenador)...[et al.]. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009. 598p.
- HALL, F. G.; STREBEL, D. E.; NICKESON, J. E.; GOETZ, S. J. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multitemporal, multisensor images. **Remote Sensing of Environment**, v. 35, p. 11-27, 1991.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA: **Mapa exploratório de solos do Projeto RADAM BRASIL**, IBGE, Rio de Janeiro. Escala 1:250000, Folha Cachoeiro, SF 24-V-A, 1994.
- JACKSON, R. D.; HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary**

- Medicine**. V. 11, n. 2, p. 185-200, 1991.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução de Epiphanyo, J.C. N. (Coordenador)...[et al.]. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009. 598p.
- JUNGES, A. H.; FONTANA, D. C. Desenvolvimento das culturas de cereais de inverno no Rio Grande do Sul por meio de perfis temporais do índice de vegetação por diferença normalizada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.5, p.1349-1355, 2009.
- LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; OLIVEIRA, R. B.; CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C. Variabilidade temporal da precipitação mensal em Alegre – ES. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 39, n. 2, p. 327- 332, 2008.
- LIU, W. T. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande, RJ, Ed UNIDERP, 2007. 865p.
- MAAS, J. F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, n. 1, p. 139-152, 1999.
- MARTINELLI, L. A.; NAYLOR, R.; VITOUSEK, P. M.; MOUTINHO, P. Agriculture in Brazil: impacts, costs, and opportunities for a sustainable future. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 2, n.5-6, p. 431-438, 2010.
- MERCANTE, E.; LAMPARELLI, R. A. C.; URIBE-OPAZO, M. A.; ROCHA, J. V. Características espectrais da soja ao longo do ciclo vegetativo com imagens landsat 5/TM em área agrícola no oeste do Paraná. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.2, p. 328-338, 2009.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa, MG: UFV, 3ª edição, 2007, 320 p.
- National Aeronautics and Space Administration.- **NASA**. Disponível em <<http://landsat.gsfc.nasa.gov>> Acesso em 13 de dezembro de 2010.
- SIMOES, M. dos S.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Variáveis espectrais orbitais, indicadores de desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar.

- Scientia Agricola, Piracicaba*, v. 66, n.4, p. 451-461, 2009.
- JEPSON, W. A disappearing biome? Reconsidering land-cover change in the Brazilian savanna. **The Geographical Journal**, vol. 171, n. 2, p. 99-111, 2005.
- PONZONI, F. J.; SHIMABURUKO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. 2007. 150p.
- PRUSKI, F.F. **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: UFV. 2006. 238p.
- REIS, T. E. S.; BARROS, O. N. F.; REIS, L. C. Determinação do uso do solo do município de Bandeirantes, Estado do Paraná, através de imagem do Landsat 7 ETM+e técnicas de geoprocessamento. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 26, n. 1, p. 41-48, 2005.
- SALATI, E.; DALL'OLIO, A.; MATSUI, E.; GAT, J. R. Recycling of water in the Amazon basin: an isotopic study. **Water Resources Research**, v. 15, n. 5, p. 1250-1258, 1979.
- VALENTI, O. F.; GOMES, M. A. **Conservação de nascentes: hidrologia e manejo de bacias hidrográficas de cabeceiras**. Viçosa, Aprenda Fácil, 2005. 210p.
- WANG, J.; RICH, P. M.; PRICE, K. P.; KETTLE, W. D. Relations between NDVI and tree productivity in the central Great Plains. **Internation Journal Remote Sensing**, v. 20, n. 16, p. 3127-3138, 2004.
- XAVIER, A. C.; VETTORAZZI, C. A. Monitoramento do índice de área foliar em nível de bacia hidrográfica por meio do NDVI derivado de imagens Landsat-7/ETM+. **Scientia Agricola, Piracicaba**, v. 61, n.3, p. 243-252, 2004.