

## Avaliação da dinâmica da cobertura vegetal na bacia Forquilha, Ceará, Brasil pelo uso do NDVI

Joseilson Oliveira Rodrigues<sup>1</sup>  
Eunice Maia de Andrade<sup>1</sup>  
Luiz Carlos Guerreiro Chaves<sup>2</sup>  
Francisco Dirceu Duarte Arraes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará - UFC  
Caixa Postal 12168 - 60455-970 - Fortaleza - CE, Brasil  
wilson\_agronomia@hotmail.com  
eandrade@pq.cnpq.br  
dirceutid@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME  
Av Rui Barbosa 1246, Aldeota, CEP 60115-221, Fortaleza - CE, Brasil  
luizcarlos@funceme.br

**Abstract.** Four Landsat 5 images from a specific time of four-year were used to investigate the variation of NDVI and to estimate the possible processes of degradation on Forquilha watershed, Ceará, Brazil, during the four years. The images used were gotten from the Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), corresponding to the years of 1985, 1996, 1997 and 2004. The temporal variability Normalized Different Vegetation Index (NDVI), were investigate using the algorithm SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithms for Land*). The results show changing on the watershed scenery during the time of study, in which the biggest alterations was in the period of 1996 to 1997. Getting the evidence of total precipitation influence on the months before according to the variation of NDVI, in which the biggest reduction found was in the year of 1997, when was confirmed a long dry period on the Forquilha watershed. It was confirmed an increase in the NDVI values on the dam surrounded area and in the bouders from the main river which indicates the practice of agricultural management and repairer zone preserved.

**Palavras – chave** – índice de vegetação, semi-árido, sensoriamento remoto, Sebal, vegetation index, semi-arid, remote sensing, Sebal.

### 1. Introdução

A região nordeste do Brasil apresenta uma característica marcante no tocante da variabilidade inter e intra-anual da precipitação pluviométrica, tendo essa, passado ao longo do tempo por vários episódios de secas, que associados a intervenção antrópica, tem culminado em freqüentes processos de degradação. Essas ações do clima e do homem influenciam de maneira expressiva as condições de cobertura vegetal de uma região, que quando removida, pode trazer uma série de outros problemas como, perda da estrutura e fertilidade dos solos, sedimentação, redução da diversidade das espécies presentes no bioma, e até degradação completa de uma região, dependendo de sua intensidade (Li, et al. 2004; Barbosa, et al. 2006). A conscientização desses problemas cresceu, e os estudos sobre mudanças globais e seus impactos têm sido destacados no campo das ciências da natureza. Dentro desse campo, a variável biofísica, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) tem dado importante contribuição no entendimento das modificações que ocorrem sobre um ecossistema (Prasad, et al. 2007; Gurgel, et al. 2003). Essa variável apresenta alta variabilidade espaço-temporal, e apresenta-se fortemente influenciada por processos climáticas, principalmente pela precipitação (Li et al. 2004; Anyamba e Tucker, 2005).

A quantificação do NDVI em escala regional ou de bacias hidrográficas tem sido conduzida empregando técnicas de sensoriamento remoto com auxílio de diversos modelos, entre os quais está o SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithms for Land*). Trata-se, pois de um algoritmo semi-empírico desenvolvido inicialmente por Bastiaanssen (1995) e validado em diferentes ecossistemas do globo (Bastiaanssen et al. 1998). Através dele torna-se possível a estimativa de parâmetros essenciais ao monitoramento da degradação ambiental, como o NDVI. O objetivo desse estudo foi avaliar alterações no cenário da bacia Forquilha, através da análise do NDVI em longos e curtos espaços de tempo.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Localização e Características da bacia

A bacia Forquilha está localizada na bacia do Acaraú, entre as coordenadas geográficas 3°48'27" S a 3°50'63" S e longitudes 40°11'20" W a 40°13'15" W (Figura 1), com uma área de 189,2 km<sup>2</sup>. O clima da região é do tipo BSw'h', clima semi-árido com precipitações pluviométricas máximas de outono e temperaturas médias superiores a 18 °C. O regime pluviométrico da área em estudo, como em todo o estado, se caracteriza por uma alta variabilidade espacial e temporal; portanto, o principal problema com relação à pluviometria na região é em decorrência muito mais na irregularidade do regime do que da altura pluviométrica anual (Meireles, 2007). As alturas pluviométricas mensais do período investigado, correspondente aos anos de 1985, 1996, 1997 e 2004, estão presentes na Figura 2.

Os solos predominantes são os Argissolos apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, com argila de atividade alta, além de uma faixa de Luvisolos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural e alta atividade de argila e saturação por bases com relevo suave ondulado e ondulado (Embrapa, 2006). A vegetação predominante é do tipo caatinga hiperxerófila.

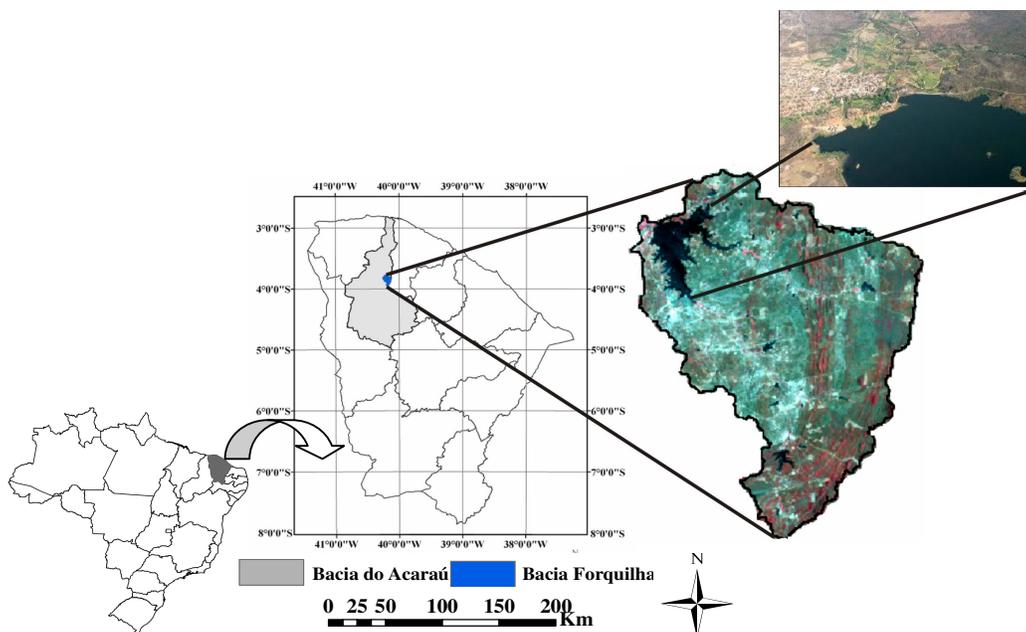


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica Forquilha – CE, na região Nordeste do Brasil, com detalhe do reservatório Forquilha.

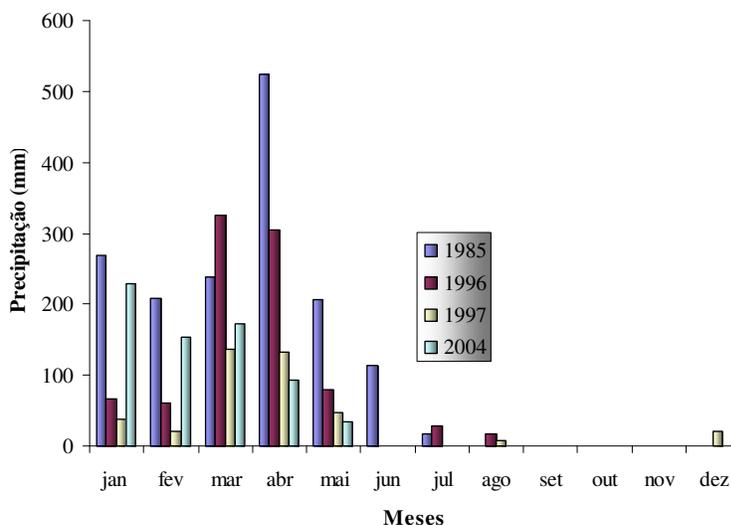


Figura 2. Dados pluviométricos da bacia para os anos de estudo (posto Forquilha).

## 2.2. Aquisição e tratamento da Imagem (Correções Geométricas e recorte)

As imagens utilizadas foram geradas pelo sensor TM a bordo do satélite LANDSAT 5, compreendendo a órbita/ponto 218/63 e liberadas pela Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O período avaliado nesse estudo compreende as seguintes datas: 29/09/1985 (dia Juliano=272); 11/09/1996 (dia Juliano=254); 30/09/1997 (dia Juliano=273) e 13/09/2004 (dia Juliano=256), todas representativa da estação seca na bacia em estudo. As avaliações das mudanças ocorridas na bacia foram realizadas tanto para todo o período (1985/2004), como para curtos intervalos de tempo (1996/1997), considerando-se como indicador dessas mudanças as alterações da variável biofísica Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

Antes de iniciar o processo de tratamento digital de imagens propriamente dito, realizou-se um pré-processamento, que consiste de empilhamento das bandas, recorte, correções geométricas, processos esses extremamente necessários para melhoria da qualidade dos dados (Versiani et al., 2007).

O processamento iniciou-se com o recorte da área de interesse, processo realizado para limitar a área de interesse, diminuir o tamanho do arquivo e reduzir o tempo de processamento computacional, esse foi conduzido a partir de um arquivo shapefile pré-definido da bacia Forquilha empregando a ferramenta AOI do Software Erdas Imagine 8.5. Devido a da banda termal (banda 6), apresentar resolução espacial diferente das demais, 60x60 m para o Satélite Landsat 5 TM, precedeu-se a reamostragem da imagem, permitindo uma resolução de 30x30 m para cada pixel, em todas as bandas espectrais. Posteriormente, estimou-se o parâmetro biofísico NDVI empregando o algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithms for Land*) por meio da ferramenta *Model Maker* do Programa Erdas Imagine 8.5. conforme os passos a seguir, descritos por Allen et al., (2002):

A radiância espectral dos canais (1, 2, 3, 4, 5 e 7) foi estimada pela equação proposta por Markham e Baker, (1987):

$$L_{\lambda_i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} \times ND \quad (1)$$

em que:  $L_{\lambda_i}$ : radiância espectral da  $i$ -ésima banda ( $W m^{-2} st^{-1} \mu m^{-1}$ );  $a_i$  e  $b_i$ : coeficientes de calibração de cada banda ( $W m^{-2} st^{-1} \mu m^{-1}$ );  $i$ : bandas (1, 2, ..., 7) do Landsat 7 e ND:

número digital de cada pixel na imagem (Allen et al., 2002). Os coeficientes de calibração são encontrados na imagem ou fornecidos por Allen et al. (2002).

A reflectância monocromática de cada banda ( $\rho_{\lambda_i}$ ) foi estimada segundo a equação sugerida por Bastiaansen (1995):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{k_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (2)$$

em que:  $L_{\lambda_i}$ : radiância espectral ( $\text{W m}^{-2} \text{st}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ );  $k_{\lambda_i}$ : irradiância solar espectral no topo da atmosfera ( $\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$ );  $Z$ : ângulo zenital solar e  $d_r$ : quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol ( $r_0$ ) e a distância Terra-Sol ( $r$ ) em determinado dia juliano do ano.

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), foi computado pela seguinte relação empírica (Allen et al., 2002):

$$NDVI = \frac{\rho_{iv} - \rho_v}{\rho_{iv} + \rho_v} \quad (6)$$

em que:  $\rho_{iv}$ : reflectância da banda 4 (infravermelho próximo) e  $\rho_v$ : reflectância da banda 3 (vermelho).

### 3. Resultados e Discussão

Os resultados das imagens de NDVI entre os anos de 1985 e 2004 estão explicitados nas Figuras 3a e b; a Figura 3c representa o resultado algébrico (subtração) entre as imagens a e b, expressando aumento ou redução dessa variável decorrido um período de 19 anos de análise. Os valores negativos indicam corpos hídricos, perfeitamente confirmados pelo reservatório forquilha a noroeste (NO) da imagem, e alguns outros reservatórios de menor porte dispersos sobre a área (coloração azul).

Essa variável quando avaliada em longo prazo, pode ser um importante indicador tanto da desertificação e redução de fitomassa da Caatinga como da recuperação de áreas degradadas. Constataram-se claramente alterações no cenário da microbacia entre os dois períodos, sendo os maiores valores encontradas para a imagem de 2004. Mesmo tendo a bacia, passado por modificações de caráter antrópico durante o período, uma vez que sabe-se não se trata de uma bacia preservada em sua totalidade, já que práticas agrícolas, principalmente as margens do rio Forquilha são constatadas, mesmo assim observou-se um aporte de vegetação, demonstrado o poder recuperação desse bioma quando avaliado em períodos ao longos de tempo. Barbosa et al. (2006), relatam sobre a capacidade de recuperação da vegetação Caatinga em períodos de estiagem. Trata-se, pois de um importante resultado, haja visto que mesmo sendo a Caatinga de alta susceptibilidade a degradação (Barbosa et al. 2006), essa mostrou-se com alto poder de recuperação quando avaliada a longo prazo. Essa capacidade regenerativa em espaços longos de tempo se explica pelo próprio regime hídrico da bacia entre os anos avaliados. Conforme constatações de Gurgel et al. (2003), sabe-se que o NDVI é uma variável significativamente influenciada pelo regime de precipitação pluviométrica de uma região. Para o ano de 1985 o total precipitado na bacia Forquilha foi de 1578, sendo portanto considerado um ano atípico em relação a lamina pluviométrica anual. Já o ano de 2004 apresentou uma altura pluviométrica anual de 681,6 mm, representando uma diferença de 130%. No entanto o total precipitado em 1985 não promoveu um incremento no extrato vegetativo superior ao observado no ano de 2004. Como as aquisições das imagens foram realizadas nos mesmos meses (setembro), representando a estação seca, constatou-se um aporte de vegetação na maior parte da bacia.

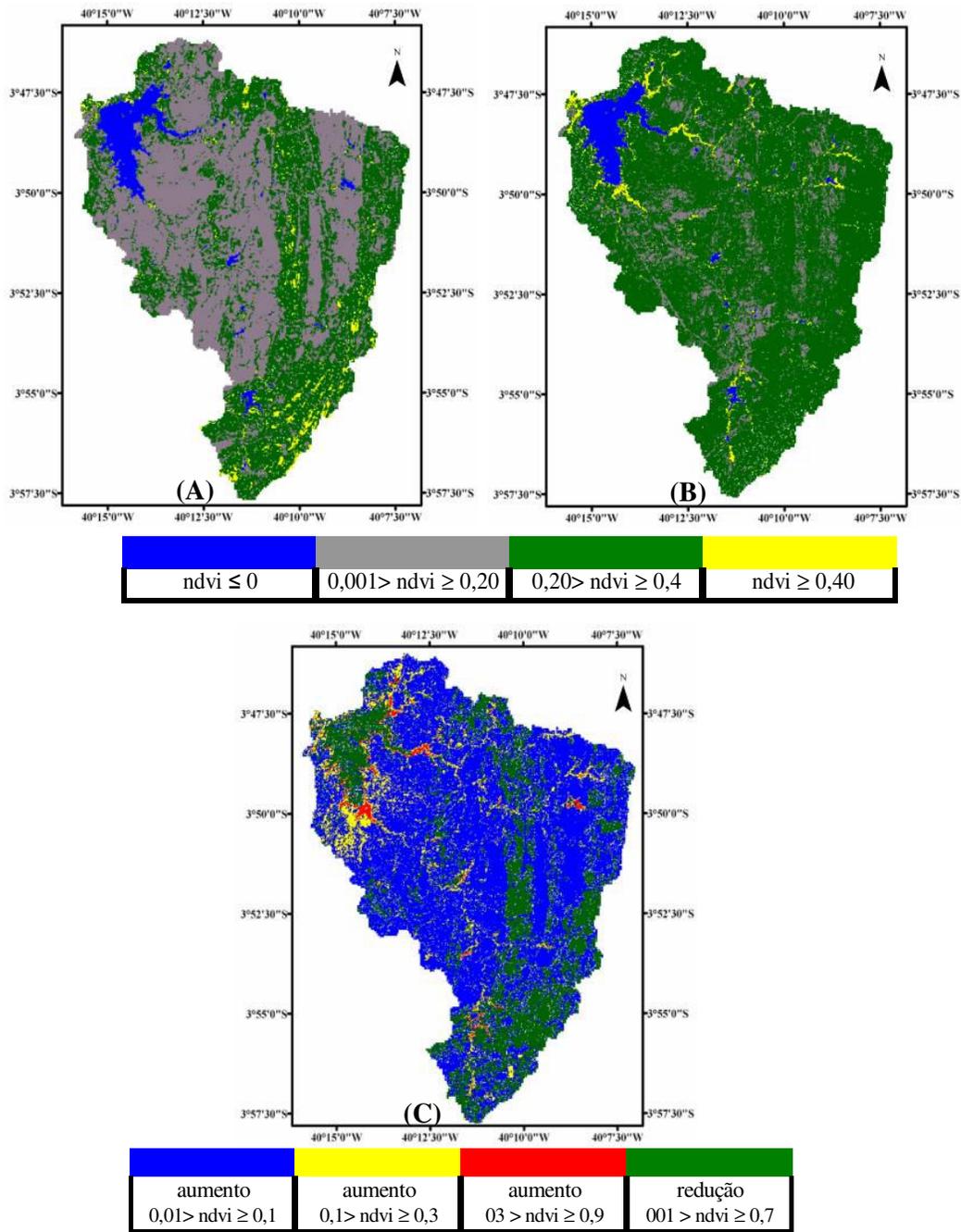


Figura 3. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para a bacia hidrográfica Forquilha – CE, em setembro de 1985 (a), setembro de 2004 (b) e álgebra (subtração) entre as duas imagens (c).

Observa-se pela imagem de 1985 (Figura 3a), pontos com altos valores de NDVI (<0,4), principalmente ao sul, representam pontos com vegetação densa, pouco característico da região semi-árida. Autores como Prasad et al. (2007), comentam que valores de NDVI dessa magnitude, são típicos de regiões úmidas com maior regime pluviométrico. Esses pontos estão localizados em pontos de maior elevação na bacia,

onde são encontrados vegetação de maior porte, e normalmente mais adaptada a manter folhagem mesmo na estação seca. Esses mesmos pontos na imagem de 2004 (Figura 3b) tiveram o NDVI reduzido, o que não se descarta a possibilidade da remoção da vegetação, uma vez que práticas extrativistas são comuns na região.

A diferença da variável NDVI entre os anos de 1985 e 2004, torna-se mais evidente pela análise da Figura 3c, que mostra a imagem oriunda da manipulação algébrica (subtração) entre 3a e b. Por essa operação constata-se que aproximadamente 61,3% da bacia, expressou aumento no NDVI na amplitude de 0,01 a 0,1, expresso pela cor azul da imagem. Observa-se também pela Figura 3c, incrementos nos valores dessa variável a jusante do reservatório Forquilha, e na parte perenizada do rio Forquilha (coloração vermelha), tal resultado, acredita-se está associado à vegetação mais adensada, o que pode expressar mata ciliar preservada. Averiguações semelhantes foram também descritas por Bastiaassen (2000), aplicando o algoritmo SEBAL em estudo sobre evapotranspiração, na bacia do Rio Gediz, Turkey.

Nota-se também um aumento de NDVI próximo ao reservatório, a noroeste da imagem, representado pela cor amarela (Figura 3c). Esse incremento apresentou magnitude de 0,1 a 0,3 e representa um percentual de aproximada 8% da imagem. Acredita-se tratar-se de áreas irrigadas, uma vez o mês de setembro na bacia, e na região nordeste de maneira geral, as chuvas cessam, e a fonte de hídrica das culturas é oriunda da irrigação, onde normalmente essa prática é conduzida em áreas perenizadas pelos reservatórios, o que converge com resultados obtidos nesse estudo.

Os valores de NDVI entre os anos 1996 e 1997, estão explicitados nas Figuras 4a e b, a Figura 4c expressa as alterações ocorridas na bacia, decorrido apenas um ano entre monitoramentos. A análise dessas figuras pode mostrar as mudanças na fitomassa da bacia para períodos curtos de tempo.

Analisando-se as Figuras 4a e b constatou-se também modificações para curtos espaços de tempo, sendo agora os maiores valores de NDVI expressos para a imagem de 1996, comparado a 1997, prevalecendo um percentual de 58,3% da área com NDVI na classe de 0,2 a 0,4. Essa mesma classe na imagem de 1997 mostrou um percentual de apenas 17,4%, já a classe de 0,01 a 0,2 apresentou um percentual de 36,1% na imagem de 1996, enquanto em 1997 o percentual foi de 78,2. Segundo Gurgel (2003), valores de NDVI menores que 0,3 são indicativos de áreas secas de baixo regime pluviométrico, o que corrobora com os resultados obtidos para 1997, ano de baixa precipitação pluviométrica (Figura 2). Os baixos valores de NDVI estão associados principalmente regime de precipitação para o mês de aquisição da imagem (setembro), coincidindo com a estação seca, onde reduz-se de sobremaneira o extrato herbáceo e arbóreo presente na bacia, contribuindo de maneira expressiva na redução do NDVI.

Observa-se uma variabilidade maior do NDVI quando avaliado em curtos espaços de tempo, trata-se, pois, de uma característica da própria vegetação da Caatinga, formada por vegetação caducifólia arbustiva, que durante a estação de elevado déficit hídrico (agosto a dezembro) ocorre a queda total das folhas. De todos os anos avaliados nesse estudo, o de 1997, foi o que apresentou menores alturas pluviométricas, com precipitação de 110% menores que o ano anterior (1996), conforme constatações da Figura 2. Analisando-se cronologicamente a evolução da variabilidade do NDVI ao longo dos anos, identifica-se uma tendência cíclica de aumento e redução dessa variável ao longo do tempo, sendo fortemente influenciada pela precipitação daquele ano, mesmo estando essas concentradas nos meses de março, abril e maio. Essa variabilidade foi também observada por Li et al. (2004) e Anyamba e Tucker (2005), que atribuíram o efeito da precipitação pluviométrica, como a principal fonte indutora. A classe de NDVI correspondente ao intervalo de 0,2 a 0,4, que correspondia a 48% da área da bacia em

1985, passou a ocupar 58% da área para o ano de 1996, reduzindo esse percentual a apenas 17%, em 1997, ano considerado seco, em que o total precipitado foi de apenas 403,8 mm. Para o ano de 2004, volta a ter um aporte de vegetação na bacia, onde a classe anteriormente mencionada, foi ocupada com aproximadamente 85% da bacia. Tal resultado mostra que para estudo de degradação na Caatinga em curtos espaços de tempo, levando em consideração apenas essa variável, pode não ser um bom indicadora, uma vez que, trata-se de uma variável de elevada dinâmica.

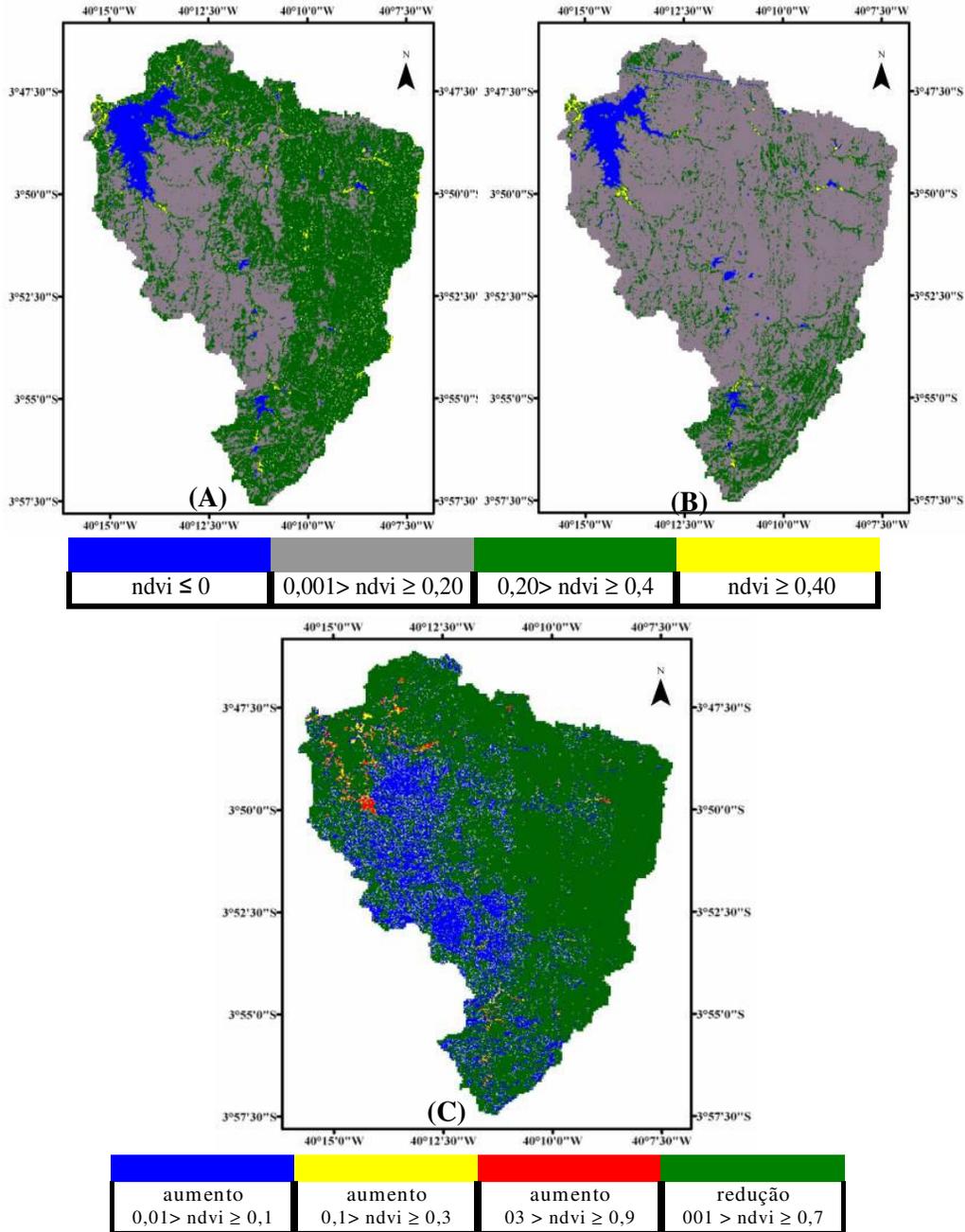


Figura 4. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para a bacia hidrográfica Forquilha – CE, para o período de setembro de 1996 (a), setembro de 1997 (b) e álgebra (subtração) entre as duas imagens (c).

Os incrementos e reduções do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), entre os anos 1996 e 1997, na bacia Forquilha são apresentados na Figura 4c. Ao contrário do comportamento entre os anos de 1985 e 2004, observou-se que aproximadamente 80% da bacia mostrou redução em sua fitomassa, perfeitamente confirmado pelo baixo regime pluviométrico em 1997.

#### 4. Conclusões

- A bacia Forquilha teve as condições de vegetação aumentadas entre 1985 a 2004, sendo esses incrementos maiores na parte perenizada do rio Forquilha, e adjacências, onde são contundentes práticas agrícolas.
- Mesmo sendo as Imagens adquiridas para um mês de setembro onde não se constatou alturas pluviométricas (setembro), houve forte relacionamento entre precipitação de meses anteriores e NDVI.
- O NDVI expressou uma maior variabilidade para intervalos curtos de tempo, e com alto poder resiliente para períodos longos.

#### 5. Referências Bibliográficas

- Allen, R. G.; Trezza, R.; Tasumi, M. **Surface energy balance algorithms for land - Advance training and users manual**, version 1.0, p. 98, 2002.
- Anyamba, A.; Tucker, C. J. Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981–2003. **Journal of Arid Environments**, v. 63, p. 596-614, 2005.
- Barbosa, H. A.; Hueti, 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.
- Bastiaanssen, W. G. M., **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain**. 1995, 273 f. Tese (Ph.D.) - Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands, 1995.
- Bastiaanssen, W. G. M., SEBAL - based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey, **Journal of Hydrology**, v. 229, p. 87-100, 2000.
- Bastiaanssen, W. G. M.; Menenti, M.; Feddes, R. A.; Holtslag, A. A. M., A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 2. Validation. **Journal of Hydrology**, n. 212-213, p. 213-229, 1998.
- Gurgel, H. C.; Ferreira, N. J.; Luiz, A. J. B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil utilizando-se a análise de agrupamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.1, p. 85-90, 2003.
- Li, J.; Lewis, J.; Rowland, J.; Tappan, G.; Tieszen, L. L. Evolution of land performance in Senegal using multi-temporal NDVI and rainfall series. **Journal of Arid Environments**, v. 59, p. 463-480, 2004.
- Markham, B. L.; Barker, J. L. Thematic Mapper band pass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v.8, n.3, p.517-523, 1987.
- Meireles, M. **Estimativa da evapotranspiração real pelo emprego do algoritmo sebal e imagem Landsat 5 - TM na bacia do Acaraú – CE**. Fortaleza, CE. 2007. 88 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2007.
- Prasad, A. K.; Sarkar, S.; Singh, R. P.; Kafafos, M. Inter- annual variability of vegetation cover an rainfall over India. **Advances in Space Research**, v. 39, p. 79-87, 2007.
- Versiani, B. V. B. N.; Rodrigues, P. C. H. Geoprocessamento como Ferramenta no Estudo de Correlação entre a Dinâmica da Cobertura Vegetal e a Evapotranspiração. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 13, n. 2, p. 201-211, 2007.
- Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.