

Monitoramento do desmatamento e seus impactos nas mudanças climáticas na bacia do Rio Turvo Sujo

Tatiane Assis Vilela¹
Taís Virgínia Gottardo¹
William Tse Horng Liu¹
Carlos Antônio Oliveira Vieira¹

¹Universidade Federal de Viçosa - UFV
Departamento de Engenharia Civil - DEC
Setor de Engenharia de Agrimensura, Viçosa - MG
{tatianeavilela, taisvgottardo}@yahoo.com.br
{will_liu, carlos.vieira}@ufv.br

Abstract. The paper investigates the impacts of deforestation on regional climatic changes of the TurvoSujo River Basin, MG during the past 23 years. Landsat images of 1984, 1990, 2000 and 2007 were used to calculate the deforestation rate. Annual NDVI data (“Normalized Difference Vegetation Index”) for the period of 1984 to 2007 generated from NOAA satellites were used to calculate deforestation tendency. This tendency was compared to temporal evolution of temperature and precipitation to investigate the impacts of deforestation on local climate changes. The results showed that vegetative area increased from 20.76% in 1984 to 24.4% in 1990, 29.56% in 2000 and 23.87% in 2007. It indicated that the studied basin was under reforestation during the years before 2000 and deforestation and land degradation afterward. From the temporal evolution analysis, it was observed that NDVI was closely related to precipitation but related inversely to temperature. From the tendency analysis of NDVI, precipitation and temperature, it was observed that NDVI increased slightly from 6.60 to 6.64, precipitation from 1200 mm to 1220 mm and temperature from 19.6 °C to 20.5 °C. It is concluded that a time series of annual NDVI generated from the NOAA satellites provides us an important source to investigate the deforestation impacts on regional climatic changes as well as the reforestation effects on minimizing local climatic changes. It is suggested that suitable actions of reforestation and natural resources management should be taken to reverse the current tendency of temperature increase in the Basin.

Palavras-chaves: NDVI, Land Degradation, Multitemporal Analysis, Índices de Vegetação, Degradação do Solo, Análise Multitemporal.

1. Introdução

As vegetações e florestas nativas exercem uma função importante na diminuição da amplitude diária da temperatura através da evapotranspiração e na retenção de umidade de água no solo pelas raízes profundas em uma determinada região. Precipitação e temperatura são os dois parâmetros frequentemente usados para monitorar a tendência da mudança climática de uma determinada região. Os usos inadequados dos recursos naturais e os desmatamentos não controlados das florestas tropicais e subtropicais resultam na aceleração da desertificação e nas mudanças de microclima.

As imagens digitais dos satélites ambientais podem ser usadas para o monitoramento das evoluções dinâmicas de usos do solo, dos ecossistemas e dos eventos catastróficos da superfície terrestre. Gallego (2004) resumiu que as imagens geradas pelos satélites podem ser usadas para estimar as áreas de usos do solo de três maneiras:

a) identificação, classificação, delineamento e estimativa das áreas ocupadas pelas várias classes de usos do solo baseadas nas imagens de satélites. Os dados de observações na superfície terrestre são usados para treinamento no processo da classificação, validação dos métodos de classificação e análise dos *pixels* de mistura;

b) as imagens de satélites podem auxiliar o levantamento das amostras de várias maneiras, incluindo: definição das unidades das amostras, estratificação das amostras, documentação gráfica para o levantamento e o controle de qualidade da coleta de dados em campo;

c) as técnicas de regressão estatística, os *softwares* utilizados nas análises de imagem e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) podem ser aplicados para monitorar e prever as evoluções espaciais e temporais da superfície, combinando as informações de imagens de satélites com as obtidas por meio de levantamentos em campo.

Coppin et al. (2004) apresentaram uma revisão dos métodos de detecção das evoluções dinâmicas dos ecossistemas. Apontaram também que as técnicas baseadas nos dados multitemporais e multiespectrais, adquiridos pelos satélites, demonstraram alto potencial na identificação, classificação, delineamento, mapeamento e detecção das evoluções de usos do solo. Congalton (1991) inferiu que dado à complexidade das imagens classificadas utilizando o sensoriamento remoto, há uma necessidade de se avaliar a confiabilidade espacial dos resultados. Uma das formas de se avaliar a classificação é através do índice *Kappa*. Valores mais próximos de 1, obtidos com esse índice, inferem melhor desempenho do processo de classificação. A Equação (1) mostra como o *Kappa* pode ser obtido. Valores de *Kappa* maiores que 0,7 são considerados satisfatórios.

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}} \quad (1)$$

Em que:

r é o número de linhas ou colunas da matriz de confusão;

x_{ii} é o número de observações dos elementos da diagonal da matriz;

N corresponde ao número total de observações.

$X_{i+} = \sum_j X_{ij}$ é a soma dos valores da linha i ;

$X_{+i} = \sum_j X_{ji}$ é a soma dos valores da coluna i ;

Rouse et al. (1973) apresentaram um índice de vegetação, chamado NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), para inferir o grau de verde da superfície terrestre ocupada pela vegetação. O NDVI é calculado pela Equação (2) a seguir:

$$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS) \quad (2)$$

Em que:

NDVI = *Normalized Difference Vegetation Index*;

NIR = Banda do infravermelho próximo (a banda 2 de 0,725 – 1,10 µm, satélite da série NOAA);

VIS = Banda do Visível (a banda 1 de 0,550 – 0,680 µm, satélite da série NOAA).

Segundo Rouse et al. (1973) maiores valores de NDVI referem-se a um grau de verde mais elevado e em consequência, em maior densidade de vegetação. Para o monitoramento

dos impactos de desmatamento nas mudanças climáticas, é necessário investigar a taxa de desmatamento inferido pelo NDVI e as tendências de variabilidade de temperatura e de precipitação em um longo período do tempo. Liu et al. (2005a) apresentaram um estudo de impactos de desmatamento nas mudanças climáticas do município de Terenos, Estado do Mato Grosso do Sul durante o período de 1981 a 2005 usando os dados anuais de temperatura, precipitação e NDVI. Os resultados mostraram que o desmatamento aumentou de 32% para 65%, a temperatura média anual aumentou de 22,5 para 24,6 °C e a precipitação total anual diminuiu de 1.500 mm para 1.250 mm.

Assim, evidenciando que os usos impróprios do solo e os manejos inadequados dos recursos naturais resultam na degradação dos recursos ambientais e conseqüentemente causam mudanças climáticas regionais, e que muitas das degradações ambientais são causadas pelos conflitos de interesse e pelas negligências dos seus exploradores, procurou-se direcionar este estudo de forma a investigar as causas e resultados dos desmatamentos ocorridos no passado, bem como seus impactos nos recursos naturais e nas mudanças climáticas regionais, utilizando para isso dados de sensoriamento remoto.

2. Materiais e Métodos

2.1 Caracterização da Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Rio Turvo Sujo possui área total de 406,44 km² e pertence à bacia hidrográfica do Rio Doce. Esta bacia está compreendida entre as coordenadas geográficas 42°40' e 43°00' de longitude oeste e 20°39' e 20°55' de latitude sul, abrangendo parte dos municípios de Viçosa, Cajuri, Coimbra e Teixeiras, no Estado de Minas Gerais (Figura 1).

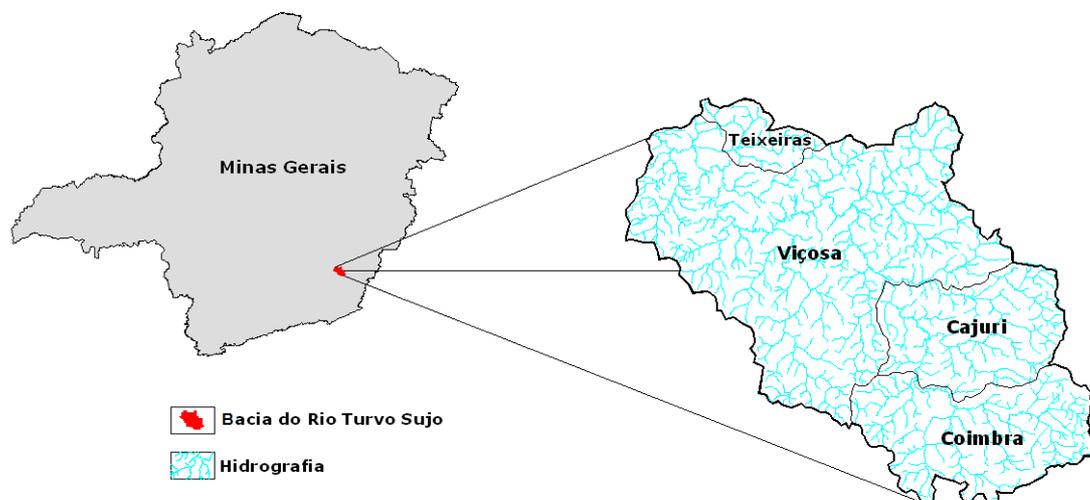


Figura 1. Área de estudo: bacia do Rio Turvo Sujo e os municípios localizados nesta bacia.

2.1.1 Usos do solo e cobertura vegetal

A bacia hidrográfica do Rio Turvo Sujo foi originalmente coberta por Mata Atlântica, hoje suas matas correspondem a uma vegetação que sofreu influência antropológica intensa, constituindo-se em vegetação secundária. Os solos da bacia são em grande parte cobertos por pastos e capoeiras, demonstrando a predominância da atividade pecuária. Os campos e áreas cultivadas apresentam-se em menores proporções. Devido às características dos solos da bacia do Rio Turvo Sujo e aos manejos inadequados, a erosão está se tornando um problema ambiental na região.

2.2 Coleta dos dados Meteorológicos e os de Satélites

Os dados meteorológicos foram coletados diretamente da estação meteorológica de Viçosa, durante o período de 1984 a 2007. Os dados anuais de precipitação e temperatura foram usados para investigar as tendências de mudanças climáticas regionais, utilizando para isso regressão linear e os *softwares* SAS e Excel. As imagens digitais do satélite Landsat adquiridas nos dias de 17/06/1984, 15/07/1990, 27/06/2000 e 02/08/2007 foram utilizadas na evolução do desmatamento durante os 22 anos passados. Os dados de NDVI gerados com os dados do NOAA AVHRR GAC (“*National Oceanic and Atmospheric Administration, Advanced Very High Resolution Radiometers, Global Area Coverage*”) com uma resolução espacial de 4 km foram adquiridos para investigar a evolução da cobertura vegetativa da bacia em estudo.

2.3 Classificação e delineamento das áreas de Vegetação e Sem Vegetação Usando as imagens digitais do satélite Landsat

O classificador Redes Neurais do *software* IDRISI disponível no Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa foi utilizado para classificar e delinear as duas classes: áreas com cobertura vegetal e áreas sem cobertura vegetal e calcular as porcentagens das áreas com e sem vegetação.

Inicialmente as imagens foram registradas e então recortadas com o limite da bacia. A partir de visitas em campo foram identificadas amostras de áreas com vegetação e de áreas sem cobertura vegetal, essas amostras foram utilizadas como referência durante o processo de classificação.

Uma rede neural artificial foi então treinada atribuindo ao classificador uma camada de neurônios ocultos variando de três a trinta neurônios. Variou-se também a taxa de aprendizado iniciando com o maior valor, igual a 0,2 e baixando para 0,1 e por fim 0,075. Utilizou um valor de *momentum* constante e igual a 0,9. A partir das classificações foi estimada a evolução da taxa do desmatamento baseada nas porcentagens das áreas com vegetação e sem vegetação.

2.4 Investigação dos Impactos do Desmatamento nas Mudanças Climáticas

A evolução temporal da taxa de desmatamento em porcentagem obtida com as imagens do Landsat foi comparada com a tendência da diminuição da cobertura vegetal inferida pelo NDVI anual durante o período de 1984 a 2007 a fim de confirmar que a evolução temporal deste índice é uma fonte importante para inferir a tendência do desmatamento. Foram comparadas as tendências positivas ou negativas dos fatores climáticos, incluindo temperatura e precipitação, tendências da evolução temporal de NDVI e da evolução da porcentagem do desmatamento para investigar os impactos das mudanças climáticas na bacia em estudo.

3. Resultados e Discussões

A Figura 2 mostra as imagens do Landsat (Figura 2a, 2b), as obtidas após a classificação (Figura 2c e 2d) e as imagens de NDVI anual geradas com os dados de NOAA AVHRR GAC (Figura 2e e 2f). As Figuras 2a e 2b apresentam as duas imagens originais adquiridas nos anos 1984 e 2000. A partir da utilização de Redes Neurais e das bandas 3, 4 e 5 das imagens Landsat, foram geradas as imagens classificadas. Os valores de *Kappa* obtidos a partir das classificações das 4 imagens foram iguais a 0,72, 0,82, 0,86 e 0,92 para o ano 1984, 1990, 2000 e 2007 respectivamente. Esses valores de *Kappa* foram considerados satisfatórios.

As Figuras 2c e 2d apresentam as imagens classificadas para 1984 e 2000. A Tabela 1 mostra os resultados das áreas com e sem vegetação e suas porcentagens referentes a área em estudo. Foram observadas que a evolução da área de vegetação aumentou de 20,76% no ano 1984, para 24,84% em 1990 alcançando 29,56% em 2000 e diminuindo para 23,87% no ano de 2007. Estes dados indicaram aumento do reflorestamento durante o período de 1984 a 2000 e uma tendência de desaceleração após 2000. Vale ressaltar que restam somente cerca de 30% da área da bacia ocupada por vegetação desde o ano 1984. Considerando que a região é montanhosa e que a topografia é caracterizada como ondulada e fortemente ondulada, e que existe pouca área ocupada por vegetação nativa e florestal, a bacia pode apresentar maior vulnerabilidade a degradação do solo.

Tabela 1. Áreas de vegetação e sem vegetação e suas respectivas porcentagens para bacia do Rio Turvo Sujo classificadas pelas imagens Landsat adquiridas nos dias de 17/06/1984, 15/07/1990, 27/06/2000 e 02/08/2007

Ano / porcentagem	1984	%	1990	%	2000	%	2007	%
Área com vegetação (ha)	84,39	20,76	100,95	24,84	120,16	29,56	97,03	23,87
Área sem vegetação (ha)	322,05	79,24	305,49	75,16	286,28	70,44	309,41	76,13

Foram gerados também, a partir das bandas 3 e 4, os dados de NDVI anual para o período de 1984 a 2007. As Figuras 2e e 2f apresentam as imagens de NDVI dos anos de 1984 e 2000. Baseado nas comparações entre as imagens classificadas (Figura 2c e 2d) e entre as imagens de NDVI geradas com os dados NOAA AVHRR GAC (Figura 2e e 2f), observou-se que as imagens de NDVI representam bem as classes de vegetação e sem vegetação. Observou-se também que as áreas mais verdes na parte esquerda superior e na parte central das Figuras 2a e 2b coincidiram bem com as áreas mais verdes nas mesmas partes das Figuras 2c e 2d. Portanto, a evolução anual da taxa de desmatamento, ou seja, da porcentagem de vegetação, pode ser inferida pela imagem de NDVI ao invés de imagens do Landsat, uma vez que estas requerem mais tempo de processamento dos dados.

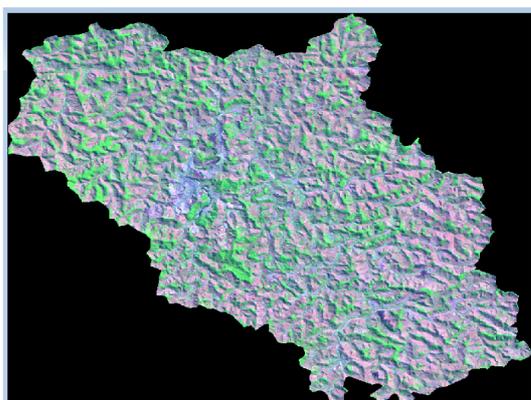


Figura 2a. Imagem composta do Landsat R/G/B 3/4/5 do ano 1984 da bacia do Rio Turvo Sujo.

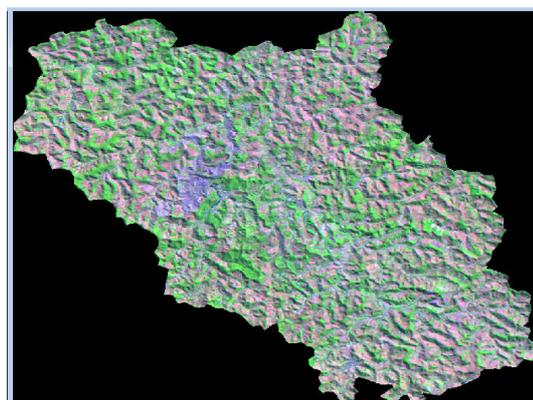


Figura 2b. Imagem composta do Landsat R/G/B 3/4/5 do ano 2000 da bacia do Rio Turvo Sujo.

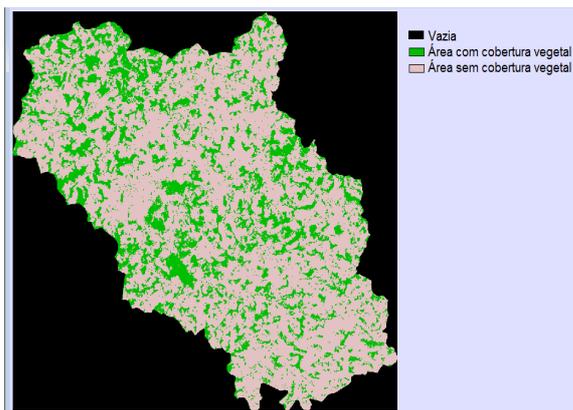


Figura 2c. Imagem Classificada do ano 1984 referente à bacia do Rio Turvo Sujo.

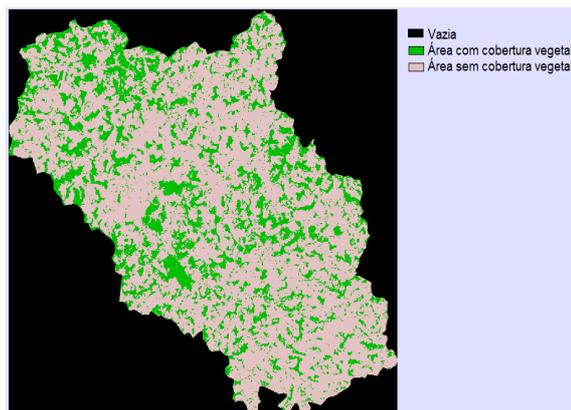


Figura 2d. Imagem Classificada do ano 2000 referente à bacia do Rio Turvo Sujo.

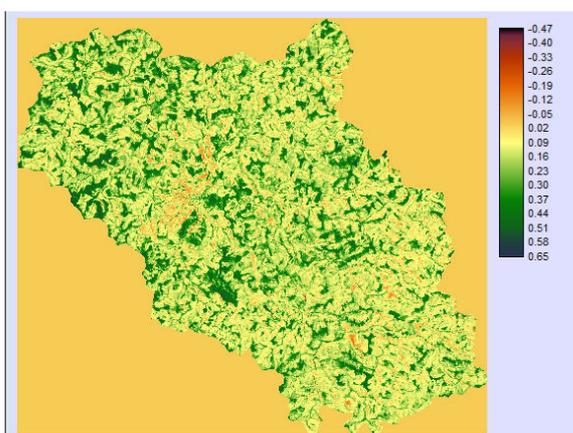


Figura 2e. NDVI do ano 1984 referente à bacia do Rio Turvo Sujo.

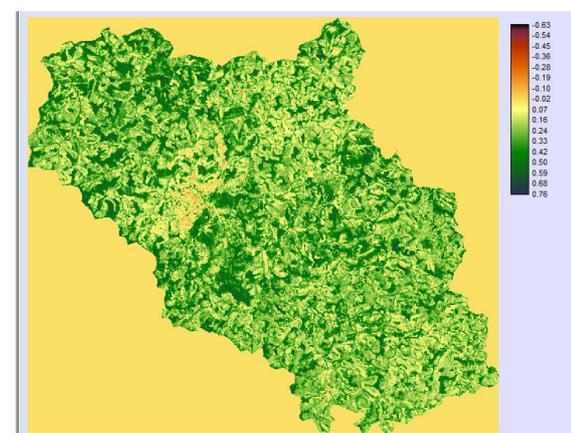


Figura 2f. NDVI do ano 2000 referente à bacia do Rio Turvo Sujo.

A Figura 3 apresenta a comparação entre a tendência e a evolução temporal de NDVI (a), Temperatura (b) e Precipitação (c) para a bacia do Rio Turvo Sujo, MG durante o período de 1984 a 2007. As tendências mostram que o NDVI anual aumentou de 6,60 para 6,74 durante o período de 1984 a 2007 (Figura 3a), a temperatura média anual aumentou de 19,6 °C para 20,5 °C (Figura 3b) e precipitação total anual aumentou de 1198 mm para 1251 mm. Comparando as evoluções de NDVI, temperatura e precipitação na Figura 3, foi observado que a variação anual de NDVI acompanhou bem a evolução da precipitação e afetou a temperatura em sentido contrário. A diminuição do NDVI após o ano de 2000 coincidiu com o aumento da temperatura e com uma instabilidade na precipitação que apresentou seu maior valor, nesta série, no ano de 2004 e seu menor valor no ano de 2007. Isto significa que houve um processo de reflorestamento nas décadas de 80 e 90 na Bacia do Rio Turvo Sujo além de um manejo inadequado de usos do solo após o ano de 2000. Os dados demonstraram que o clima da Bacia em estudo respondeu bem aos atos de reflorestamento e desmatamento.

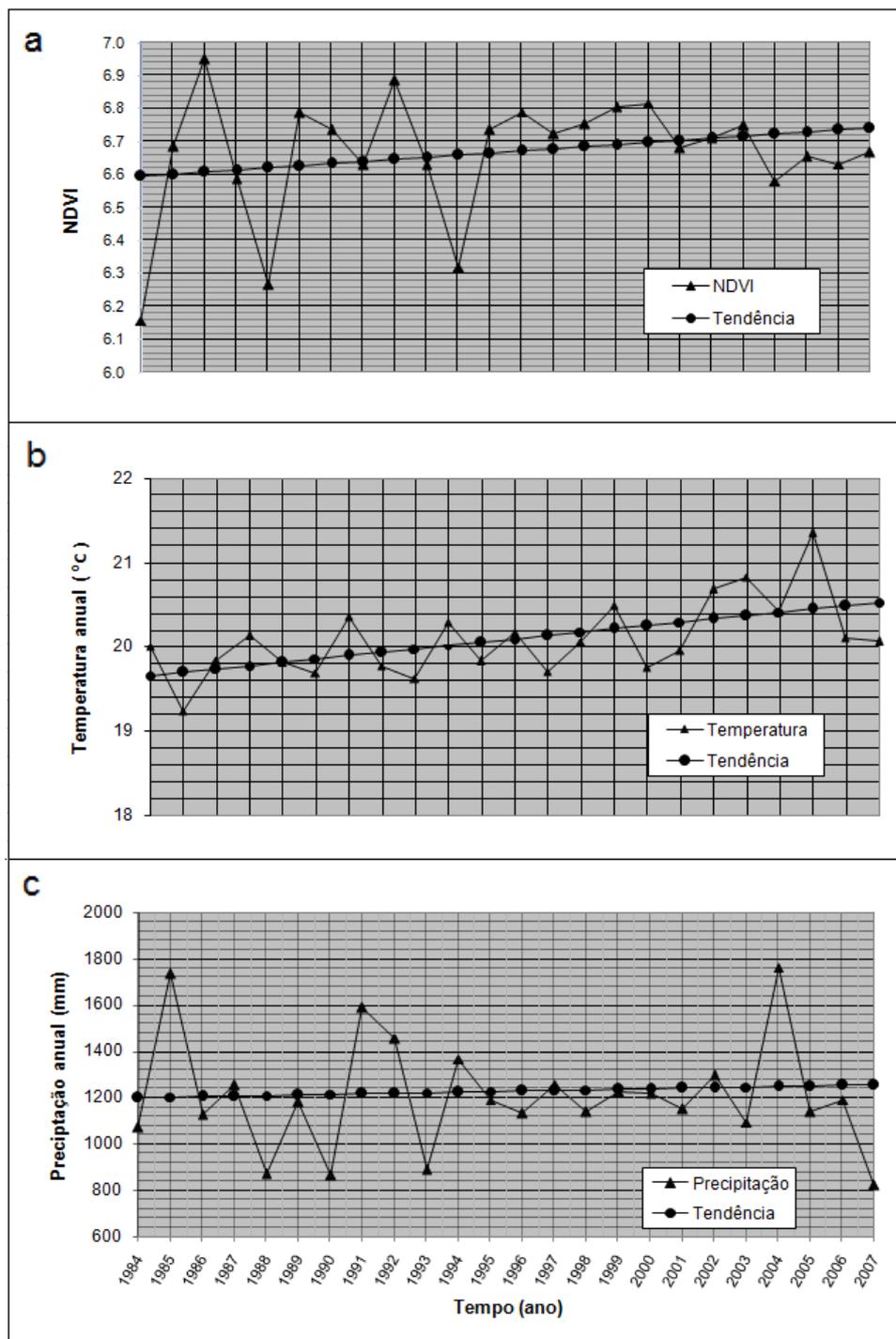


Figura 3. Comparação das tendências das evoluções temporais de NDVI anual (a), Temperatura media anual (b) e Precipitação total anual (c) para a bacia do Rio Turvo Sujo – MG durante o período de 1984 a 2007.

4. Conclusão

A evolução do NDVI anual inferiu bem as áreas de vegetação e sem vegetação classificadas pelas imagens Landsat. A taxa de desmatamento inferida pela diminuição de

NDVI anual indicou de forma satisfatória os impactos das mudanças climáticas da Bacia do Rio Turvo Sujo. O processo de reflorestamento apresentado pelo NDVI anual resultou em dados de precipitação anual e de temperatura média anual mais estáveis. Portanto, concluiu-se que os dados históricos de séries longas de NDVI gerados com os dados de satélites da série NOAA fornecem uma fonte importante para investigar os impactos dos desmatamentos e avaliar os benefícios dos reflorestamentos nas mudanças climáticas regionais. Sugerindo-se que ações adequadas no reflorestamento e na preservação dos recursos ambientais devem ser tomadas na Bacia do Rio Turvo Sujo para inverter a tendência de aumentar a temperatura e diminuir a precipitação após 2000.

5. Agradecimentos

Agradecimento ao projeto PSA/UFV por ceder a bolsa BIC para a acadêmica Taís Gottardo e a FAPEMIG pela bolsa de mestrado a acadêmica Tatiane Vilela.

6. Referências

Agência Nacional de Água (ANA). Disponível em : <<http://www.ana.gov.br>> . Acesso em: 28. fev.2008.

Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 49(12), 1671-1678.

Coppin, P.; Jonckheere, I.; Nackaerts, K.; Muys, B.; Lambin, E. Review article digital change detection methods in ecosystem *Inovaciones y mejoramientos monitoring: a review*. *International Journal of de las técnicas de detección de cambios en la Remote Sensing*, v. 25, n. 9, p. 1565-1596, 2004.

Gallego F.J., Remote sensing and land cover area estimation. *International Journal of Remote Sensing*, Volume 25, Number 15, August 2004 , pp. 3019-3047(29)

Liu, W.T.;KANAZAWA,P.; SANTIAMI,E.; KANAZAWA, P.J., 2005a. Impacto de desmatamento na mudança climática regional via satélite. *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, São Jose dos Campos, SP., Brasil. 593-600.

Rouse, J. W.; Haas, R.H.; Schell, J. A.; Deering, D.W., 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Third Symposium of ERTS, Greenbelt, Maryland, USA, NASA SP-351, V1:309-317*.