

Uso de série temporal de imagens Landsat-TM para avaliar a extensão da desertificação na região de Gilbués, sul do estado do Piauí

Carolina Monteiro de Carvalho¹
Raimundo Almeida-Filho¹

1 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{monteiro, rai}@dsr.inpe.br

Abstract

Diamond mining activities, combined with the traditional agricultural practices of vegetation burning, have been responsible for an increasing desertification process in the region of Gilbués, south of Piauí State. In this article, Landsat-TM images acquired in 2005, 2001, 1994 and 1986, during the dry season and at begin of the rainy season were evaluated to map extend of the desertification in the region, and also to understand the process progress during this time frame. Linear spectral mixture modeling was applied over the sets of images to produce three fraction images: soil, vegetation, and shade. Afterwards, a segmentation algorithm was applied to the soil-fraction images, followed by an unsupervised region classification technique. Three classes of land use/land cover were mapped: bare soil, degraded cerrado/caatinga vegetation, and cerrado/caatinga vegetation. Results showed that due to the contribution of the green vegetation extend of the land use/land cover classes in the region depend on whether images area acquired during the dry season or during the rainy season. Results lead to the conclusion that desertification in Gilbués is increasing though the years. This study can also contribute with desertification studies in Brazil, helping to define causes and consequences, and being a decision support for authorities, helping to deal with mitigation actions.

Palavras-chave: degradação do solo, classificação de imagens, ISOSEG, modelo linear de mistura espectral, série temporal

Key words: land degradation, images classification, ISOSEG, spectral mixture linear modeling, time series

1. Introdução

A região sul do estado do Piauí, mais precisamente os municípios de Gilbués, Barreiras do Piau, Monte Alegre do Piauí e São Gonçalo do Gurguéia, compreende uma área em avançado processo de desertificação, que teve início com a lavoura de subsistência e a prática de queimadas, tendo se agravado a partir de meados da década de 40 do século passado, com a descoberta de diamantes na região, explorados até a exaustão. Nos dias de hoje, o processo de degradação ambiental é também motivado pelo desmatamento para a implantação de pastagens, expondo os solos arenosos e friáveis da região, que favorecem processos erosivos. Na estação seca ficam expostos à ação do vento e na época chuvosa à lavagem pelo escoamento superficial, dois processos responsáveis pelo problema ambiental na região. A **Figura 1** é uma composição colorida obtida com imagens Landsat TM, que mostra a região degradada em Gilbués e entornos, destacada em tons magenta, que denunciam a existência de solos nus ou com cobertura vegetal rala.



Figura 1: Área afetada pelo processo de degradação, nos entornos do município de Gilbués, PI. (Landsat TM 345RGB).

O presente estudo teve como objetivo avaliar o emprego de imagens do Landsat (TM) de 2005, 2001, 1994 e 1986 para estimar a extensão da área em processo de desertificação da região e também avaliar seu progresso ao longo dos anos. Os resultados foram obtidos através da aplicação de técnicas de segmentação e classificação por região em imagens adquiridas na estação seca e no início da estação de chuvas. A escolha desses dois períodos teve como objetivo verificar como a precipitação pluviométrica, e a conseqüente regeneração da vegetação, poderia influenciar na obtenção dos resultados, ou seja, na classificação final.

2. Área de estudo

A área de estudo está inserida na faixa de transição entre o domínio dos cerrados do Brasil Central e o domínio do semi-árido do nordeste brasileiro. Desta forma, sua cobertura vegetal caracteriza-se por uma variação entre cerrado e caatinga, predominando, no entanto, espécimes pertencentes ao cerrado (DNPM, 1972). A região tem temperaturas médias variando entre 23 e 33

°C e precipitação pluviométrica anual média de cerca de 1100 mm, com duas estações distintas, uma de chuvas e outra de seca que se estende de abril a setembro.

A **Figura 2** mostra os dados de precipitação pluviométrica mensal obtidos para a região de estudo, correspondentes ao ano de 2005, 2001, 1994 e 1986, e as setas indicam quando foram adquiridas as imagens Landsat-TM.

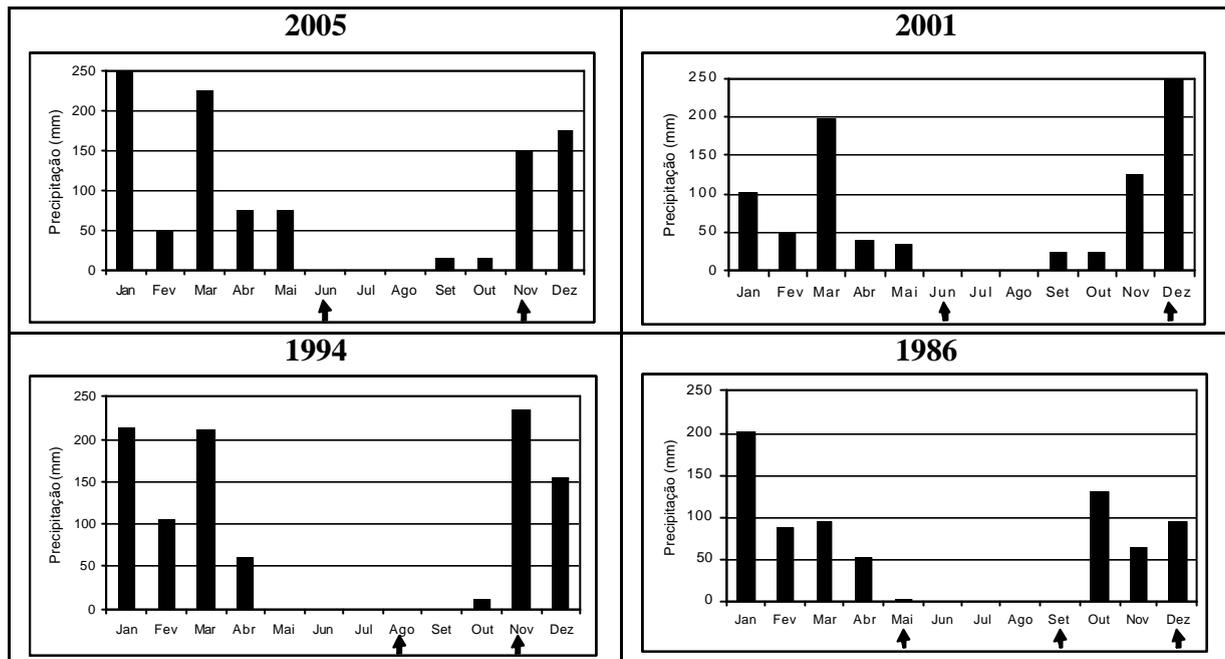


Figura 2: Dados de pluviometria da região de estudo nos anos de 2005, 2001, 1994 e 1986.

No ano de 2005, não houve precipitação no mês de junho, que foi antecedido por dois meses (abril e maio) de baixa precipitação, indicando que na época de aquisição desta imagem a cobertura vegetal encontra-se sob condições de estresse hídrico. Já em novembro, observa-se uma forte precipitação pluviométrica, precedida por dois meses de cerca de 30 mm de precipitação indicando que a cobertura vegetal na região encontrava-se com disponibilidade hídrica. Em 2001, não houve precipitação no mês de junho, que foi antecedido por dois meses (abril e maio) de baixa precipitação, indicando que a época de aquisição desta imagem a cobertura vegetal encontra-se sob condições de estresse hídrico. O oposto ocorreu com a cena adquirida no mês de dezembro. Este mês foi caracterizado por forte precipitação pluviométrica, acrescido de acentuada precipitação no mês de novembro, indicando que a cobertura vegetal na região encontrava-se com boa disponibilidade hídrica e, portanto, no máximo de seu vigor. As imagens do ano de 1994 foram adquiridas nos meses de agosto e novembro, respectivamente, época seca e chuvosa. Em agosto e nos três meses anteriores, observa-se ausência de precipitação, sugerindo que a vegetação esteja sob intenso stress hídrico. É considerado, portanto, o pico da época seca deste ano. Em novembro, entretanto, a precipitação chega a mais de 200 mm. Por fim, as imagens do ano de 1986 foram adquiridas em três diferentes épocas: início de época seca (maio), pico de época seca (setembro), e época chuvosa (dezembro). O mês de maio é precedido por meses onde houve precipitação. Já setembro, é precedido por quatro meses de ausência quase total de

precipitação. O mês de dezembro apresenta 100 mm de precipitação precedido por dois meses também relativamente úmidos.

Na região ocorrem arenitos, siltitos e conglomerados do Paleozóico da Bacia Sedimentar do Parnaíba, caracterizando uma litologia favorável a processos erosivos. O relevo é dominado por chapadas, sendo que as áreas mais afetadas pela erosão situam-se nos níveis topográficos mais baixos são constituídos por arenitos e siltitos (Sales, 1997). A região é drenada pelas bacias dos rios Uruçuí Vermelho e Gurguéia (integrantes da bacia hidrográfica do Rio Parnaíba), ocorrendo intermitência dos contribuintes menores (Galvão, 1994). Como mencionado, a intensiva exploração de diamantes contribuiu para a aceleração da erosão. Inicialmente, ela se desenvolveu nas encostas das chapadas e nos leitos dos rios, com a abertura de cisternas, túneis e galerias subterrâneas, provocando o desmoronamento de encostas e o revolvimento do solo, que se tornou inutilizável. No apogeu da mineração, o alto consumo de madeira levou ao aumento do desmatamento. No dias atuais, a atividade pecuária é o principal agente responsável pela remoção da vegetação e conseqüente exposição dos solos. Assim, a região sofre os efeitos combinados de ações passadas e presentes, que levaram à intensificação do escoamento superficial, da ação dos ventos, da temperatura do solo etc., resultando na degradação dos seus ecossistemas.

3. Metodologia de Trabalho

Inicialmente as imagens foram normalizadas radiometricamente, de modo a compensar variações nas respostas radiométricas dos sensores ao longo do tempo, assim como variações impostas pelas condições de iluminação, em decorrência de variações nos ângulos solares de elevação e azimute. Para isso, valores de números digitais foram convertidos em valores de reflectância. Após a normalização radiométrica, as imagens foram geometricamente corrigidas, com base em mosaico Landsat-TM com 28.5m de resolução, disponível em <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl> Com base em um polinômio de primeiro grau, atingiu-se uma acuidade de 0.4 pixel no procedimento de retificação geométrica. Os procedimentos de correção foram executados utilizando o software ENVI 4.2. A seguir, as imagens foram importadas para um banco de dados no sistema SPRING, na projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM).

Com as imagens no banco de dados foi executado o algoritmo Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) que estima a proporção dos componentes misturados dentro de um pixel (Shimabukuro, 1998). O modelo de mistura espectral de três componentes (vegetação, solo e sombra, por exemplo) pode ser expressos pela seguinte equação (Equação 1):

$$ri = a*vegei + b*soloi + c*sombrai + ei,$$

onde: ri é a resposta do pixel na banda i ; a , b e c são as proporções de vegetação, solo e sombra, ei é o erro resultante da operação acima na banda i .

O MLME permitiu a obtenção de três imagens-fração: solo, vegetação e sombra, que correspondem às proporções desses componentes em cada pixel. Na imagem-fração solo, utilizada para os processamentos que se seguiram, áreas de solos expostos podem ser claramente definidas, assim como áreas com diferentes índices de cobertura vegetal do terreno, facilitando uma detalhada avaliação das unidades de paisagem presentes da área de estudo. Sobre a imagem do componente solo foi executada uma segmentação, através do método de crescimento de regiões, um processo que permite a separação de imagens em regiões homogêneas, que podem

ser descritas por características como média, variância, área, perímetro, etc. (Bins, 1992). No caso da segmentação por crescimento de regiões, o agrupamento se baseia num fator de similaridade, representado pela distância Euclidiana entre os centros dos segmentos, os quais contêm um único rótulo de identificação. O processo se inicia a partir de um "pixel-semente" que vai agrupando vizinhos que satisfazem ao critério de similaridade. O crescimento continua até que sejam encontrados pixels cujos valores não satisfazem mais a esse critério.. A definição do limiar de similaridade é uma etapa crítica do processo, pois ele determinará a densidade da segmentação: se for muito baixo, o processo agregará poucos pixels às regiões e se for muito alto, pixels representativos de muitas regiões serão incorretamente agrupados. Após vários testes, foi adotado o valor 7 como limiar de similaridade e o valor 20 como o limiar para definição de área (segmento).

Uma vez obtidas as imagens segmentadas, passou-se à fase de classificação temática das regiões, com a aplicação de um algoritmo de classificação não-supervisionada por regiões (Isoseg), que se baseia em técnicas de agrupamento aplicadas sobre um conjunto de regiões. A definição do limiar é outro ponto crítico do processo. Se for baixo muito baixo aumenta-se o número de classes geradas e vice-versa. Vários limiares foram testados, optando-se pelo de 95%. Após o processo de classificação, algumas classes podem ser reagrupadas de modo a expressar mais fielmente as unidades de paisagem da área de estudo. Essa fase de edição consiste de uma inspeção visual para corrigir erros de omissão ou comissão no processo de classificação, resultando em mapeamentos cuja precisão é similar àquela obtida por interpretação visual, como discutido por Almeida-Filho & Shimabukuro (2002).

Três classes de cobertura da terra foram definidas, com base na interpretação visual da imagem: solo exposto, caatinga/cerrado degradado e caatinga/cerrado.

4. Resultados e discussões

As imagens analisadas foram obtidas na estação seca e na estação de chuvas, com o objetivo de verificar como o resultado da classificação poderia ser alterado em função das condições pluviométricas na época da aquisição das imagens. A área total investigada compreende 3757 km². Os mapas temáticos cobriram um período de dezenove anos, distribuídos nos anos de 1986, 1994, 2001 e 2005. Foram medidas as extensões de cada classe definida, solo exposto, caatinga/cerrado degradado e caatinga/cerrado. Os resultados foram colocados em gráficos, e os resultados de estação seca e chuvosa foram comparados.

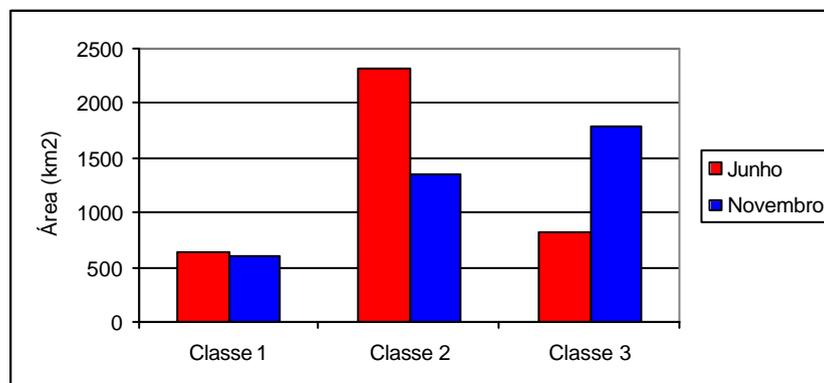


Figura 3: Comparação da extensão das classes temáticas analisadas no ano de 2005, na época seca (junho) e chuvosa (novembro).

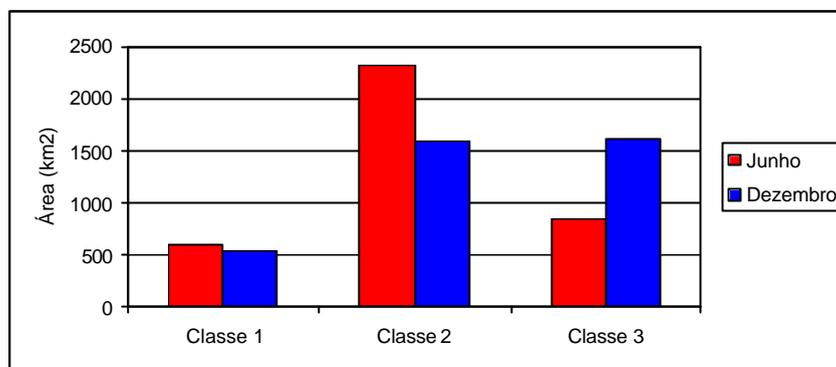


Figura 4: Comparação da extensão das classes temáticas analisadas no ano de 2001, na época seca (junho) e chuvosa (dezembro).

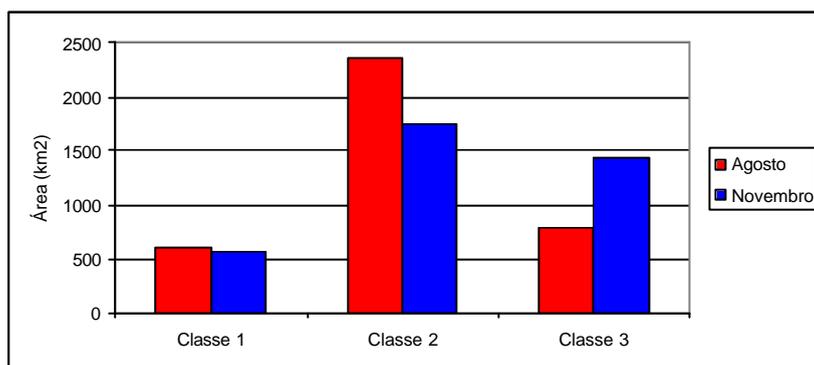


Figura 5: Comparação da extensão das classes temáticas analisadas no ano de 1994, na época seca (agosto) e chuvosa (novembro).

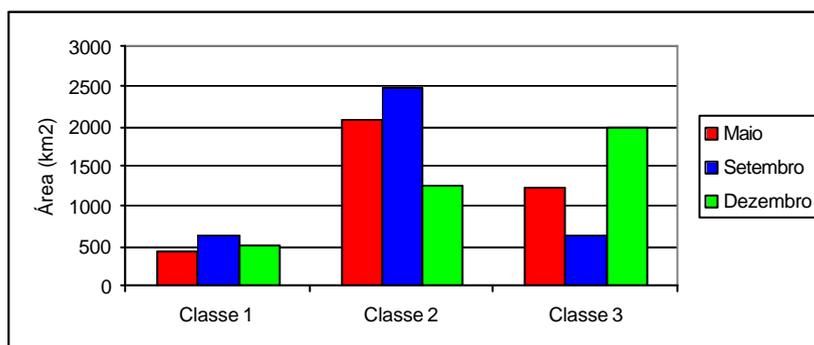


Figura 6: Comparação da extensão das classes temáticas analisadas no ano de 1986, na época seca (maio), pico da época seca (setembro) e época chuvosa (dezembro).

É possível observar uma dinâmica de transição entre as classes, na passagem da época seca para a época chuvosa e vice-versa. Ou seja, na medida em que o índice pluviométrico aumenta, a vegetação se recupera, e grada de classes mais degradadas para classes mais desenvolvidas. O mesmo ocorre na época seca, quando a escassez de água degrada a vegetação, expondo o solo erodido da região, conseqüentemente aumentando a extensão da área dominada por esta classe. Valores correspondentes à média da extensão de solo exposto da época chuvosa foram plotados em um gráfico de barras, e foi possível observar uma tendência ao aumento da extensão da área desertificada ao longo dos anos, como mostra a figura a seguir:

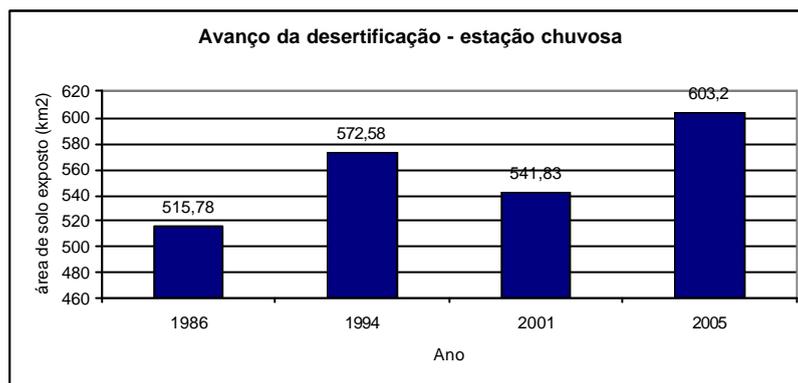


Figura 7: Gráfico de área de solo exposto na estação chuvosa.

5. Conclusões

A análise temporal das imagens Landsat TM mostrou a dinâmica das classes de uso do solo em Gilbués. O regime pluviométrico influencia sobre a distribuição das classes temáticas solo exposto, vegetação degradada e caatinga/cerrado. Pode-se observar que logo no princípio da estação chuvosa, a vegetação local (caatinga/cerrado) inicia sua recuperação do stress causado pela seca, visto que é um tipo de vegetação que responde rápido ao início da estação chuvosa. A superestimação observada nos dados do ano de 1994 (maior extensão de solo exposto da série utilizada) confirma esta afirmação, visto que a imagem Landsat da época seca de 1994 foi adquirida no maior pico de seca de toda a série temporal. Pode-se concluir também que a área afetada pelo processo de desertificação em 2005 foi mapeada e sua área foi calculada em 629 km² na época seca, e 603 km² na época de chuvas. Com base nas informações da geologia local, conclui-se que as rochas e solos da região são favoráveis a processos erosivos, tais como arenitos e siltitos. Locais que apresentam maior dissecação pela erosão são aqueles onde a litologia é mais vulnerável, como é possível observar nas imagens classificadas e no mapa geológico. Por fim, pode-se observar, com base na série temporal da época de chuvas, que o processo de desertificação vem aumentando ao longo das últimas três décadas, comprovando que a metodologia aplicada foi eficiente para este tipo de estudo.

6. Referências bibliográficas

ALMEIDA-FILHO, R.; SHIMABUKURO, Y. Digital processing of a Landsat TM time series for mapping and monitoring degraded areas caused by independent gold miners, Roraima State, Brazilian Amazon. **Remote Sensing of Environment**, v. 79, p.42-50, 2002.

BINS, L.S.; FONSECA, L.M.G.; ERTHAL, G.J.; LI, F.M. Sattelite Imagery Segmentation: a region growing approach. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996. Salvador, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996, p. 677-680. 1 CD-ROM

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Projeto Gilbués**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 1972. 108p.

GALVÃO, A.L.C.O. Caracterização geoambiental em região submetida aos processos de desertificação – Gilbués – PI, Estudo de caso. In: CONFERÊNCIA NACIONAL E SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DA DESERTIFICAÇÃO, 1994, Fortaleza, Ceará, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1994, 80 p., 1 CD-ROM.

SALES, M.C.L. **Estudo da degradação ambiental em Gilbués – PI**. Reavaliando o núcleo de desertificação. Dissertação de mestrado, FFLCH, USP – São Paulo, 1997.

Shimabukuro, Y.E., Batista, G.T., Mello, E.M.K., Moreira, J.C. e Duarte, V. Using shade fraction image segmentation to evaluate deforestation in Landsat Thematic Mapper images of the Amazon Region. **International Journal of Remote Sensing**, 1998. 19(3): 535-541.