

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

Carolina Monteiro de Carvalho<sup>1</sup>  
Raimundo Almeida-Filho<sup>1</sup>

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

**Abstract.** Informal 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 during the dry season and at begin of the rainy season were evaluated to map extend of the desertification in the region. Linear spectral mixture modeling was applied over the two 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. Four classes of land use/land cover were mapped: bare soil, soil with sparse vegetation, 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.

**Palavras-chave:** desertificação, imagens Landsat TM, modelo linear de mistura espectral.

**Key words:** desertification, Landsat TM images, spectral mixture linear modeling.

### 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, tem sido foco de reportagens da grande imprensa nacional, em vista do avançado processo de desertificação que se verifica naquela região. Esse processo 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. Com a chegada de milhares de garimpeiros, foram abertos (dentre outros) os garimpos do Boqueirão, Pau D'olho, Compra Fiado, Vai Que Tem, Avenida, Priquito e Monte Alegre. Exauridos os aluviões diamantíferos, foi deixado um rastro de destruição. 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. Na estação seca eles 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, mostrando a região do 'deserto' de Gilbués destacado em tons magenta, que denunciam a existência de solos nus ou com cobertura vegetal rala.

O presente estudo teve como objetivo avaliar o emprego de imagens do sensor Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat-5 para estimar a extensão da área em processo de desertificação naquela região. 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 do ano de 2005. A escolha desses dois períodos teve como fito verificar como a precipitação pluviométrica, e a conseqüente regeneração da vegetação, poderia influenciar na obtenção dos resultados.

Técnicas de sensoriamento remoto há muito têm sido utilizadas em estudos de desertificação (e.g. Robinove *et al.*, 1981; Matheson, 1987), visto que podem oferecer uma análise em escala espacial e temporal desses processos. As informações que podem ser produzidas com base nos dados dessa tecnologia oferecem suporte para a tomada de decisões, tais como medidas de prevenção e recuperação (e.g. Geerken & Ilaiwi, 2004).

No semi-árido, e especialmente em áreas sob processos de desertificação, o solo constitui o principal componente da resposta espectral nos sistemas sensores, porque o índice de cobertura vegetal do terreno em geral é menor do que 30%. Solos claros ou avermelhados são mais frequentes, devido ao baixo teor de matéria orgânica e umidade. Essas características favorecem a utilização de sensoriamento remoto nesse tipo de estudo, por permitir caracterizar com detalhe mudanças de uso do solo e alterações na cobertura vegetal.



**Figura 1:** Composição colorida com imagens Landsat-TM (3R4G5B) obtidas em junho de 2005 mostrando a área de solos expostos (tons magenta) na região de Gilbués, sul do estado do Piauí. A cena cobre cerca de 60 x 30 km.

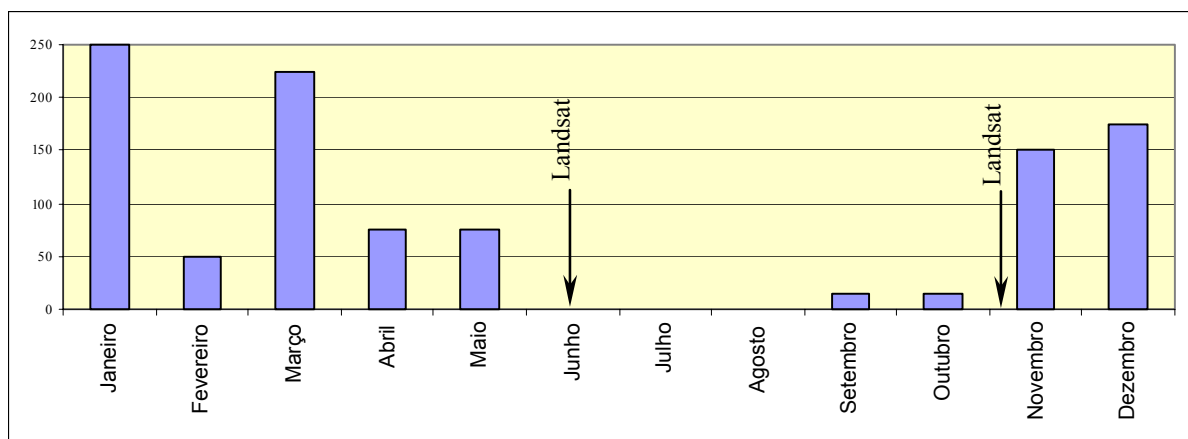
## 2. Área de estudo

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. Como consequência, 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 1100mm, 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 na região de estudo, correspondentes ao ano de 2005, quando foram obtidas as imagens Landsat-TM usadas no estudo. Como se pode constatar, não houve precipitação no mês de junho, quando foi obtida a cena da estação seca (14/6/2005). No mês de novembro, quando foi obtido o outro conjunto de imagens (5/11/2005), a estação de chuvas estava em seu início. Entre a aquisição da primeira cena em junho e da segunda em novembro, a precipitação pluviométrica foi apenas de 30 mm (verificada nos meses de setembro e outubro), valor abaixo das médias anuais para período.

Na região ocorrem arenitos, siltitos e conglomerados do Paleozóico da Bacia Sedimentar do Parnaíba. O relevo é dominado por chapadas com altitudes variando entre 400 e 500 metros, sendo que as áreas mais afetadas pela erosão situam-se nos níveis topográficos mais baixos (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 revolimento 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.



**Figura 2.** Dados de precipitação pluviométrica mensal (mm) correspondentes a 2005, ano em foram obtidas as imagens Landsat-TM usadas no estudo (junho e novembro).

### 3. Processamento das Imagens

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 exoatmosfera (Markham & Barker, 1986; Hall *et al.*, 1991). 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. De modo a preservar a integridade radiométrica, um interpolador com base em vizinho mais próximo foi usado. Os procedimentos de correção mencionados 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; Shimabukuro e Smith, 1991). O modelo de mistura espectral de três componentes (vegetação, solo e sombra, por exemplo) pode ser expresso pela seguinte equação:

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

onde  $ri$  é a resposta do pixel na banda  $i$ ;  $a$ ,  $b$  e  $c$  são as proporções de vegetação, solo e sombra, enquanto  $ei$  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. Este é 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. Uma nova região se inicia, cuja média inicial é o valor do novo "pixel-semente". 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).

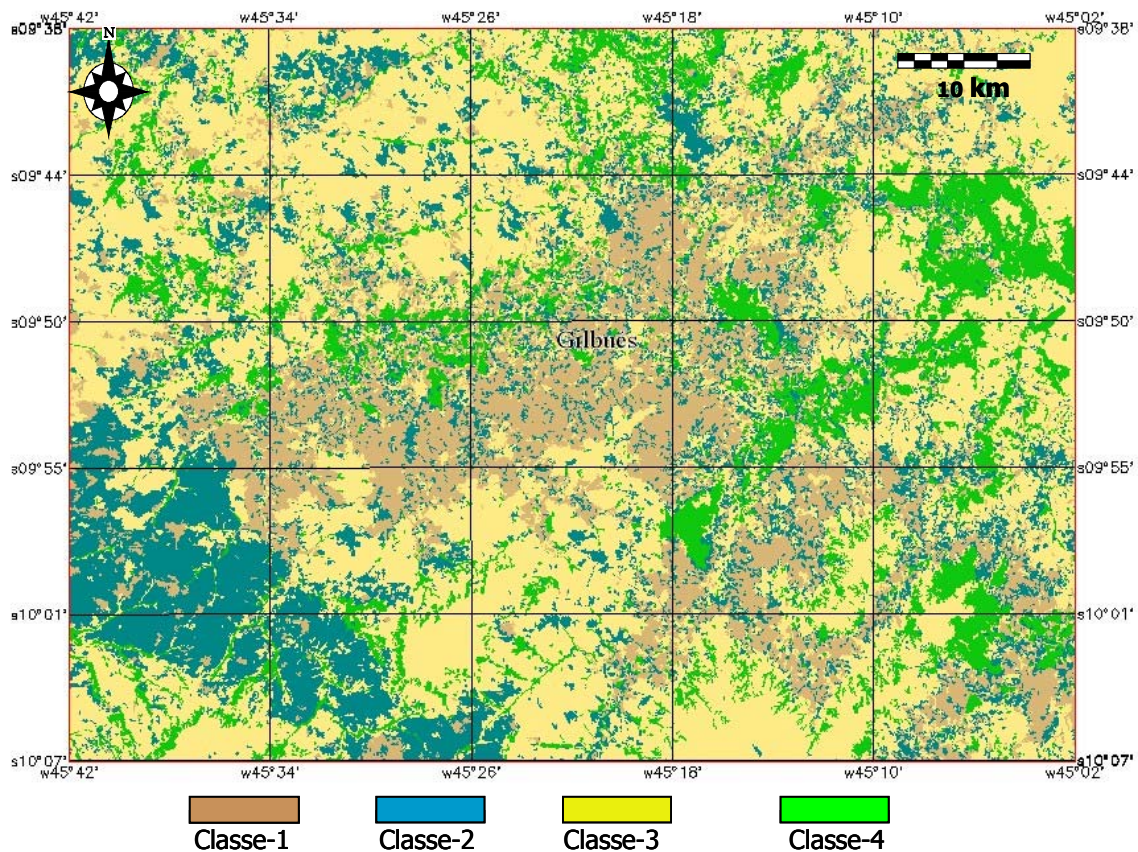
Uma vez obtidas as imagens segmentadas, passou-se à fase de classificação temática das regiões, com a aplicação de um algoritmo de classificação não-supervisionada por regiões (Isoseg), que se baseia em técnicas de agrupamento aplicadas sobre um conjunto de regiões. O algoritmo utiliza média e matriz de covariância para estimar o centro das classes. O processo define os segmentos que possuem a mesma similaridade estatística, através da definição de um limiar de aceitação. A definição do limiar de aceitação é outro ponto crítico do processo. Se for baixo muito baixo aumenta-se o número de classes geradas e vice-versa. Vários limiares de aceitação 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).

Usando essa metodologia foi possível definir quatro classes de uso da terra: Classe-1 (predominância de solos nus), Classe-2 (solos com vegetação rala), Classe-3 (vegetação degradada) e Classe-4 (cerrado ou caatinga). A definição dessas classes foi feita com base na análise visual das imagens originais, comparadas com os componentes solo, vegetação e solo.

#### 4. Resultados e discussões

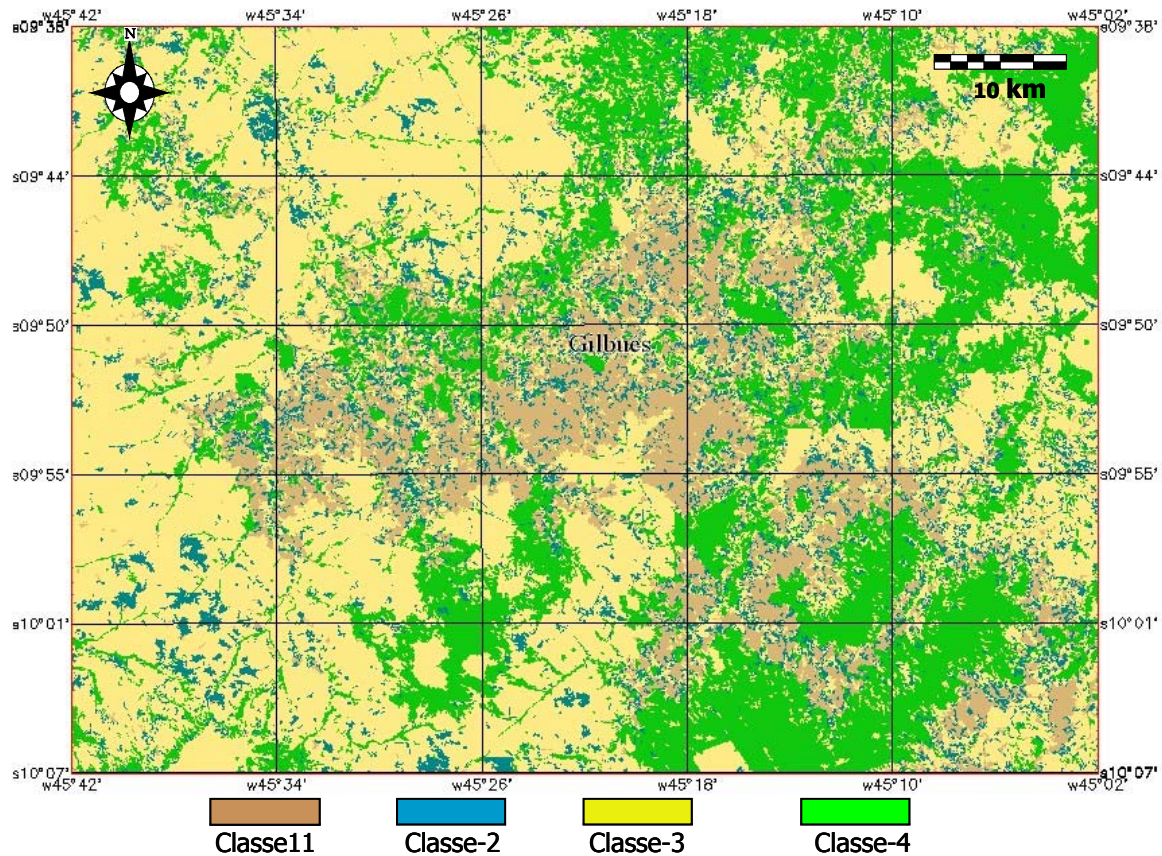
A partir das classificações das imagens adquiridas nos meses de junho e de novembro foram obtidos dois mapas temáticos das unidades de paisagens na área de estudo. A **Figura 3** é o mapa temático das classes identificadas na cena da estação seca. A Classe-1, interpretada como representando solos nus indicativos do processo de desertificação que se verifica na região, está concentrada na porção central da área de estudo. Ela ocupa cerca de 710 km<sup>2</sup>, ou 19% do total da região investigada (**Tabela 1**). A Classe-2 é caracterizada pela predominância de solos com cobertura vegetal rala. Ela predomina na porção sudoeste da área e tem superfície de cerca de 740 km<sup>2</sup>, ou 20% da área total. A Classe-3 foi interpretada como possuindo cobertura vegetal degradada, representada por cerrado e caatinga. Ela está distribuída por toda a região investigada, perfazendo cerca de 1.800 km<sup>2</sup>, ou quase metade dela (~48%). A Classe-4 representa áreas com cobertura vegetal densa de cerrado ou caatinga, perfazendo cerca de 510 km<sup>2</sup>, ou 13% da região investigada.



**Figura 3.** Mapa de uso do solo obtido por classificação automática de cena Landsat-TM adquirida na estação seca: Classe-1 (solos nus), Classe-2 (solos com vegetação rala), Classe-3 (vegetação degradada), Classe-4 (cerrado ou caatinga).

A **Figura 4** é o mapa temático das classes identificadas na cena Landsat-TM adquirida no início da estação de chuvas. Como indicado na **Tabela 1**, a Classe-1 ocupa uma superfície de 533 km<sup>2</sup>,

ou cerca de 14% da área total. A Classe-2 ocupa cerca de 360 km<sup>2</sup> (9,5% da área total), a Classe-3 ocupa cerca de 1.850 km<sup>2</sup> (50% da área total) e a Classe-4 ocupa aproximadamente 1.015 km<sup>2</sup> (cerca de 27% do total).



**Figura 4.** Mapa de uso do solo obtido por classificação automática de cena Landsat-TM adquirida no início da estação de chuvas: Classe-1 (solos nus), Classe-2 (solos com vegetação rala), Classe-3 (vegetação degradada), Classe-4 (cerrado ou caatinga).

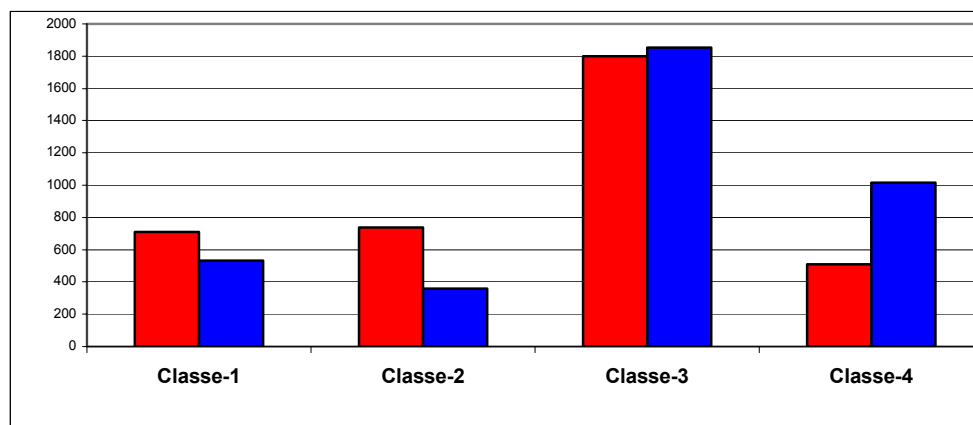
**Tabela 1:** Extensão (em km<sup>2</sup>) das classes mapeadas na área de estudo com base nas imagens Landsat-TM adquiridas na estação seca (junho) e na e no início da estação de chuvas (novembro).

Data Aquisição	Classe-1	Classe-2	Classe-3	Classe-4	TOTAL
Junho/2005	710,83	739,08	1800,72	510,69	3761,34
	18,89%	19,64%	47,87%	13,57%	100%
Novembro/2005	533,27	358,93	1854,97	1014,15	3761,34
	14,17%	9,54%	49,31%	26,96%	100%

Confrontando-se as áreas das classes mapeadas na imagem adquirida em junho com as áreas mapeadas na imagem de novembro, constata-se significativas diferenças no que diz respeito à extensão dessas áreas. É fácil deduzir que embora a imagem de novembro tenha sido adquirida

no início da estação de chuvas, a pouca precipitação pluviométrica ocorrida até então foi suficiente para alterar substancialmente as unidades de paisagens mapeadas. A relativamente pouca umidade do solo já foi capaz de revigorar a cobertura vegetal, ocasionando a passagem parcial de uma classe para outra, ou seja, parte da Classe-1 foi convertida para a Classe-2, parte desta foi convertida em Classe-3, que por sua vez teve também parte convertida em Classe-4.

A **Figura 5**, combinada com a análise dos dois mapas e da **Tabela 1**, permitem visualizar melhor do ponto de vista quantitativo e espacial essas transições de uma classe para a outra. Assim, a Classe-1, representando solo exposto ligado ao processo de desertificação na região central da área investigada, foi reduzida em cerca de 25%, que foram incorporados à Classe-2. Esta classe por sua vez cedeu quase metade de sua área medida na imagem da estação seca, que foi incorporada à Classe-3. A Classe-4 dobrou sua área de uma estação para a outra, fundamentalmente à custa da Classe que, embora tenha variado em termos de distribuição espacial, praticamente não mostrou alteração em sua extensão. O que ela cedeu à Classe-4 foi compensado pelo que incorporou da Classe-2.



**Figura 5.** Variação na extensão (km<sup>2</sup>) das áreas das classes obtidas por classificação automática da imagem-fração solo das cenas Landsat-TM obtidas em junho (vermelho) e novembro (azul).

## 5. Conclusões

Os resultados obtidos indicam que a metodologia utilizada pode ser empregada para estimar a extensão do processo de desertificação que ocorre na região de Gilbués. A análise de imagens adquiridas em duas estações distintas mostra, no entanto, que dependendo da estação do ano, as classes de uso do solo variam em extensão, com transição de uma para outra, em função da regeneração da cobertura vegetal por efeito das chuvas. Os dados mostram que a extensão da área mais degradada aumentou em cerca de 25% da estação de chuvas para a estação seca. Em qualquer das duas situações analisadas, os resultados mostram que o processo de desertificação que se verifica na região é muito grave. A área de solos desprotegidos chega a mais de 530 km<sup>2</sup> nas imagens da estação de chuvas e se amplia para mais de 700 km<sup>2</sup> nas imagens da estação seca. Esse cenário torna-se ainda mais preocupante quando se considera a área ocupada por solos com vegetação rala, uma vez que se ações de preservação não forem tomadas, essa área será integrada àquela de solo exposto com conseqüente aumento da região desertificada.

Para que se possa ter uma idéia mais precisa se o processo de desertificação tem evoluído é altamente recomendável a análise de uma série histórica de imagens Landsat-TM cobrindo os últimos vinte ou trinta anos, o que já está sendo feito por um dos autores (CMC).

## 6. Referências bibliográficas

- Almeida-Filho, R. & Shimabukuro, Y. E. 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**, 79: 42-50, 2002.
- Bins, L.S., Erthal, G.J., e Fonseca, L. M.G. Um método de classificação não-supervisionada por regiões. **Proceedings...** of Sixth Brazilian Symposium on Graphic Computation and Image Processing. Recife, Brasil, 1992. pp. 65-68.
- 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, 80 p. 1 CD-ROM.
- Geerken, R. & Ilaiwi, M. 2004. Assessment of rangeland degradation and development of a strategy for rehabilitation. **Remote Sensing of Environment**, 90: 490-504, 2004.
- Hall, F. G., Strelbel, D. E., Nickeson, J. E., and Goetz, S. J. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multitemporal, multisensor images. **Remote Sensing of Environment**, 35: 11-27, 1991.
- Markham, B. L., and Barker, J. L. Landsat MSS and TM postcalibration on dynamic ranges of exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures. *Landsat Technical Notes nº 1*. Lanham EOSAT, 1986.
- Matheson, S.R.W.. Spectral assessment of indicators of range degradation in the Botswana hardveld environment. **Remote Sensing of Environment**, 23: 379-396, 1987.
- Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM). 1972. **Projeto Gilbués -Relatório final**. Rio de Janeiro, 108p.
- Robinove, C. J., Chavez Jr., P.S., Gehring, D. & Holmgren, R. Arid land monitoring using Landsat albedo difference images. **Remote Sensing of Environment**, 11: 133-156, 1981.
- Sales, M.C.L. Estudo da degradação ambiental em Gilbués-PI. Reavaliando o “núcleo de desertificação”. Dissertação de Mestrado, USP, 182p. 1997
- Shimabukuro, Y. E.; Smith, J. A. The least squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 29: 16-20, 1991.
- Shimabukuro, Y.E., Batista, G.T., Mello, E.M.K., Moreira, J.C. & Duarte, V. Using shade fraction image segmentation to evaluate deforestation in Landsat Thematic Mapper images of the Amazon Region. **International Journal of Remote Sensing**, 19: 535-541, 1998.