



Revista Portuguesa de Estudos

Regionais

E-ISSN: 1645-586X

rper.geral@gmail.com

Associação Portuguesa para o
Desenvolvimento Regional
Portugal

Cabral, Ana Isabel

Cartografia de coberto do solo para o território angolano utilizando imagens de satélite
modis

Revista Portuguesa de Estudos Regionais, núm. 15, 2007, pp. 65-78
Associação Portuguesa para o Desenvolvimento Regional
Angra do Heroísmo, Portugal

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=514351903004>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

CARTOGRAFIA DE COBERTO DO SOLO PARA O TERRITÓRIO ANGOLANO UTILIZANDO IMAGENS DE SATÉLITE MODIS

Ana Isabel Cabral - Instituto de Investigação Científica Tropical (IICT) - E-mail: anaicabral70@gmail.com

RESUMO:

Este trabalho tem como objectivo obter um mapa de coberto do solo para Angola, utilizando imagens diárias, de quatro meses de 2003, provenientes do sensor *Moderate Resolution Imaging Spetroradiometer* (MODIS). Como aquelas imagens estão sujeitas a contaminação atmosférica e à existência de nuvens no momento de registo, é necessário recorrer a um critério de composição multitemporal para tentar eliminar estes efeitos. A aplicação deste critério gera imagens síntese mensais que são usadas num algoritmo de classificação em árvore. Para construir o classificador, e validar o resultado obtido, recolheram-se amostras dos vários tipos de coberto do solo nos mapas de coberto do solo existentes a diferentes escalas, na bibliografia sobre vegetação em Angola e em imagens de satélite *Landsat*. A avaliação dos resultados foi baseada no método de validação cruzada, que utiliza o mesmo conjunto de dados na validação e na classificação, e no método que recorre a um conjunto de dados independentes ao classificador.

Como resultado obtém-se um mapa actualizado e uniforme para 2003, por um método expedito que permitirá ser usado para fazer a cartografia de diferentes anos de modo a detectar as alterações ocorridas ao longo do tempo.

ABSTRACT:

The objective of this work is to obtain a land cover map of Angola, using daily images of four months of 2003, from the Moderate Resolution Imaging Spetroradiometer (MODIS) sensor.

Since those images are subject to atmospheric contamination and to the existence of clouds, it is necessary to apply a multitemporal composite criterion to remove these effects. The application of this criterion produces monthly composite images that are used in a classification algorithm tree. The selection of image data for training the classifier and for accuracy assessment was supported by maps at different scales, vegetation books, expert knowledge, and Landsat Thematic Mapper imagery.

The classification accuracy was based on cross-validation method, which uses the same dataset in the validation and in the classification and in a method based on an independent dataset. The result is an up-to-date and uniform map for 2003, with a method which allow to be used to produce maps of different years in order to detect land cover changes.

1. INTRODUÇÃO

A constante alteração da superfície terrestre pelo homem tem vindo a exigir informação cada vez mais detalhada e contínua, para uma boa gestão da sustentabilidade dos ecossistemas. Angola, como o resto do continente Africano, tem sentido estas alterações que podem afectar os recursos naturais, como a água potável, a qualidade do ar e a estabilidade do clima, com reflexos nas condições de vida humana. Os estudos sobre o coberto do solo são uma fonte importante na monitorização destas alterações e têm sido cada vez mais utilizados pelos próprios governos que utilizam esta informação na gestão do seu território e em estudos ambientais. A cartografia de coberto do solo em África foi inicialmente baseada em medições de terreno e mais tarde em dados de detecção remota, como fotografias aéreas e imagens de satélite. Estas últimas permitiram uma melhoria significativa pela representação contínua e uniforme da superfície terrestre.

Vários trabalhos têm sido feitos para África no âmbito da cartografia de coberto do solo. É o caso de um mapa para todo o continente produzido com imagens do sensor *AVHRR* (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) (Tucker *et al.*, 1985), de uma classificação global da superfície com imagens do sensor *MODIS* (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) (Strahler *et al.*, 1999) e da cartografia dos ecossistemas terrestres (Olson *et al.*, 2001).

Para Angola, vários projectos têm sido desenvolvidos a nível local, contudo, a maior parte do território apresenta ainda uma grande deficiência de informação o que dificulta a sua aplicação a todo o espaço do país. Este trabalho tem como objectivo obter informação sobre o coberto do solo em Angola,

utilizando imagens de satélite do sensor *MODIS* relativas a quatro meses do ano de 2003 (Fevereiro, Maio, Agosto e Novembro). O mapa de coberto do solo obtido visa contribuir para a tomada de decisões de ordenamento e gestão do território, a nível nacional e provincial, e contribuir para a detecção de alterações dos padrões territoriais.

2. ÁREA DE ESTUDO E DADOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A República de Angola fica situada na costa ocidental do continente africano, entre os paralelos $4^{\circ}22'$ e $18^{\circ}02'$ sul e os meridianos $11^{\circ}41'$ e $24^{\circ}05'$ leste (DEPPI, s/d). É limitada a norte e a leste pela República Democrática do Congo, a leste pela Zâmbia, a sul pela Namíbia e a oeste pelo Oceano Atlântico. Ocupa uma área de cerca de $1.246.700\text{ km}^2$, tem uma linha de costa de 1.650 km e uma fronteira terrestre cerca de três vezes maior. A província de Cabinda situa-se a norte, separada de Angola pelo estuário do rio Congo e por território pertencente ao Zaire e faz fronteira a norte com o Congo. O relevo é caracterizado por uma faixa costeira baixa que se estende desde a Namíbia até Luanda, e por planaltos interiores que inclinam para leste e sudeste, alguns deles com altitudes superiores a 1500 m. A vegetação é muito diversificada, com floresta tropical, para norte, savanas que interpenetram com as florestas e se estendem por áreas e coberturas descontínuas de arbustos e ervas, para sul e sueste, que se encontram limitadas pelas grandes extensões desérticas do Namibe, para o litoral sudeste.

Vários rios importantes se podem destacar no território angolano, como o Zaire, o Cuanza e o Cunene, que mais para o interior têm vales profundos

e irregulares que se alargam nas proximidades do oceano. O clima é diversificado, tropical no norte e subtropical e desértico no sul, sendo temperado no interior de maior altitude. Esta diversidade deve-se à conjugação da altitude com o factor continentalidade, a diferenças latitudinais e a efeitos da corrente oceânica fria. Existem duas estações distintas definidas pela precipitação, uma quente e húmida e outra fresca e seca, sendo as temperaturas térmicas anuais baixas.

2.2 DADOS UTILIZADOS

2.2.1 IMAGENS MODIS E LANDSAT

O sensor *MODIS* é um dos principais instrumentos instalados a bordo do satélite *TERRA*, um dos sistemas de observação da superfície terrestre desenvolvidos pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). Este satélite tem uma órbita circular, quase polar, hélio-sincrónica, a 705 km de altura e a hora solar de passagem pelo nó descendente é às 10:30 da manha (URL1). O *MODIS* visualiza a mesma superfície terrestre a cada 1-2 dias e abrange uma faixa de observação de cerca de 2330 km de largura. Este sensor regista os dados em 36 bandas espectrais, entre 0.4 e 14.4 micrómetros, e que se distribuem em diferentes grupos de resolução espacial, variando dos 250 aos 1000 metros.

O *MODIS* é adequado para a monitorização de mudanças da biosfera em larga escala, nomeadamente a nível do coberto do solo. Pode ser de grande utilidade no ciclo global do carbono, uma vez que permite estimar a quantidade utilizada e absorvida na produção e na actividade fotossintética das plantas terrestres e marinhas.

Neste trabalho utilizam-se apenas as sete primeiras bandas espectrais que representam a reflectância espectral dos diferentes tipo de coberto do solo, representados na gama do espectro electromagnético (Tabela 1).

As imagens *MODIS* são disponibilizadas pela NASA através do site *Earth Observing System Gateway* (<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>). Foram utilizadas imagens diárias do ano 2003 correspondentes a Fevereiro, Maio, Agosto e Novembro. Estes meses foram escolhidos de forma a contemplar a variabilidade sazonal da vegetação e a permitir uma maior distinção dos diferentes tipos de coberto vegetal.

Os satélites *Landsat* têm órbitas repetitivas, circulares e heliosíncronas (passam à mesma hora solar em qualquer ponto terrestre observado) e estão a uma altitude de 705 km. A órbita completa-se em aproximadamente 99 minutos, permitindo ao satélite

TABELA 1
Características do sensor *MODIS*

| MODIS | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Bandas | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Região | | | | | | | |
| Espectral (μm) | 0.620-0.670 | 0.841-0.876 | 0.459-0.479 | 0.545-0.565 | 1.230-1.250 | 1.628-1.652 | 2.105-2.155 |
| Resolução (m) | 250 | 250 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 |

dar 14 voltas à terra por dia e uma cobertura total do planeta em 16 dias. Cruza a linha do equador entra as 10:00 e as 10:15 (hora local) numa órbita descendente, ou seja, de norte para sul, e caracteriza-se por uma faixa de varrimento de 185 km (URL2).

As principais diferenças espectrais entre os sensores *TM* do satélite *Landsat 5* e *ETM+* do satélite *Landsat 7* são a adição de uma banda pancromática com resolução de 15 m, a passagem das bandas do infravermelho térmico a uma resolução espacial de 60 m e uma melhoria na calibração do sensor *ETM+* (Tabela 2).

Neste trabalho obteve-se uma cobertura completa de imagens *Landsat TM* e *ETM+* referentes aos anos de 2000 e 2001 disponíveis por Internet no *Global Land Cover Facility*, um centro da Universidade do *Maryland*. Estas imagens são usadas para, em conjunto com os dados auxiliares, permitir uma melhor identificação dos diferentes tipos de coberto do solo.

2.2.2 DADOS AUXILIARES

É ainda utilizada a Carta Fitogeográfica de Angola (Figura 1) à escala 1:2 500 000 (Barbosa, 1970b), a memória descritiva da vegetação de Angola (Barbosa,

1970a) e adicionalmente, as descrições de vegetação feitas por Castanheira (2006). A utilização conjunta destes diferentes tipos de informação permite uma melhoria significativa na identificação dos diferentes tipos de coberto do solo.

3. METODOLOGIA

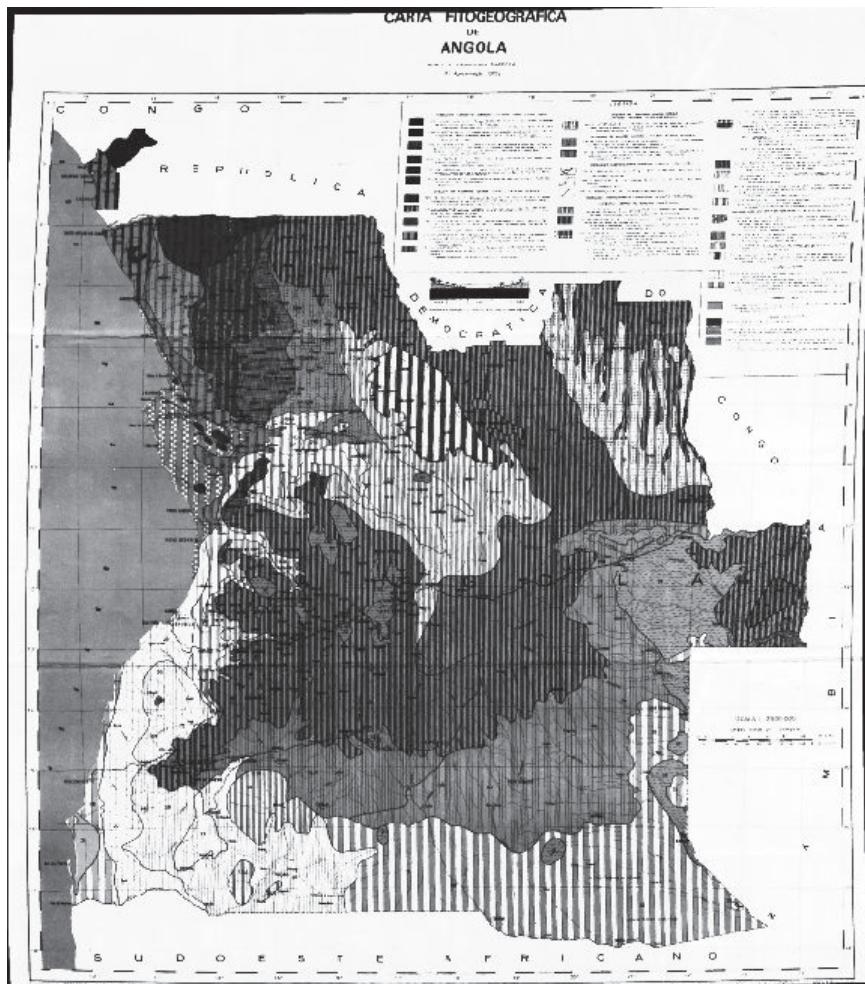
3.1 COMPOSIÇÃO MULTITEMPORAL

As imagens de satélite recolhidas pelos sensores estão sujeitas às condições atmosféricas existentes no momento em que são registadas (nuvens, sombras de nuvens, etc.), o que pode dificultar a identificação dos tipos de coberto do solo e consequentemente a precisão dos mapas obtidos. Estes efeitos podem ser minimizados ou eliminados recorrendo a procedimentos de correcção atmosférica ou a métodos de composição multitemporal de imagens. Os trabalhos de Holben *et al.* (1986), Qi e Kerr (1994, 1997), Cihlar *et al.* (1994) e Sousa *et al.* (2003) são exemplos da aplicação de critérios multitemporais às imagens de satélite. A composição multitemporal consiste em gerar uma imagem composta, resultante da síntese formada por *pixels* seleccionados de um conjunto de imagens de uma mesma área,

TABELA 2
Características do sensor *TM* e *ETM+*

| Thematic Mapper-TM | | | | | | | |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|
| Bandas | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Região espectral (μm) | 0.45-0.52 | 0.52-0.60 | 0.63-0.69 | 0.76-0.90 | 1.55-1.75 | 10.42-12.50 | 2.08-2.35 |
| Resolução (m) | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 120 | 30 |
| Enhanced Thematic Mapper-ETM+ | | | | | | | |
| Bandas | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Região espectral (μm) | 0.45-0.52 | 0.52-0.60 | 0.63-0.69 | 0.76-0.90 | 1.55-1.75 | 10.42-12.50 | 2.08-2.35 |
| Resolução (m) | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 60 | 30 |
| | | | | | | | |
| Bandas | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Região espectral (μm) | 0.45-0.52 | 0.52-0.60 | 0.63-0.69 | 0.76-0.90 | 1.55-1.75 | 10.42-12.50 | 2.08-2.35 |
| Resolução (m) | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 60 | 30 |
| | | | | | | | |
| Bandas | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Região espectral (μm) | 0.45-0.52 | 0.52-0.60 | 0.63-0.69 | 0.76-0.90 | 1.55-1.75 | 10.42-12.50 | 0.52-0.90 |
| Resolução (m) | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 60 | 15 |

FIGURA 1
Carta Fitogeográfica de Angola



correspondente a um período curto de tempo. Estas imagens têm de estar georreferenciadas espacialmente de forma a assegurar que o *pixel* com a mesma localização geográfica é igual em todas as datas. Este *pixel* é avaliado segundo um determinado critério e o que melhor o satisfizer é seleccionado para formar a imagem síntese, composta por *pixels* de diferentes datas. Este processo é repetido para as várias bandas que constituem a imagem. Neste trabalho utilizou-se um critério de composição multitemporal, baseado no terceiro valor mais baixo do albedo, definido como a média aritmética entre as bandas do vermelho e infravermelho próximo (Cabral *et al.*, 2003). Teoricamente, o albedo é definido como uma medida de reflectividade de um corpo ou de

uma superfície. Este critério consiste em gerar uma imagem dos valores do albedo e em seleccionar a data correspondente ao terceiro valor mais baixo. Esta imagem das datas é usada para gerar as bandas síntese mensais de Fevereiro, Maio, Agosto e Novembro.

3.2 DEFINIÇÃO DA LEGENDA

A legenda dos diferentes tipos de coberto do solo adoptada baseou-se no esquema de classificação da *Food and Agriculture Organization* (FAO), que estabelece classes em função das características estruturais e funcionais da vegetação (Di Gregório e Jensen, 2000), visando harmonizar as classificações

de coberto do solo feitas por diferentes equipas para facilitar as comparações entre resultados (tabela 3).

3.3 DADOS DE REFERÊNCIA

O conjunto de amostras representativas de cada tipo de coberto do solo é obtido recorrendo à Carta Fitogeográfica de Angola, ao conhecimento de campo de especialistas em botânica, à interpretação visual de imagens *Landsat* e à bibliografia existente sobre vegetação. Estas amostras são recolhidas de modo a assegurar a máxima homogeneidade e precisão possíveis. O seu número não é proporcional à extensão de cada classe na área de estudo, dada a limitação imposta pela informação auxiliar e o conhecimento no terreno. A grande dificuldade que surge na recolha de amostras incide principalmente na “confusão” existente entre alguns tipos de coberto do solo, o que se reflecte no número de *pixels* recolhidos para cada classe. As classes menos representativas são a “Agricultura”, “Água” e “Áreas

ardidas”. A primeira devido à sua semelhança com a de “Mosaico Agricultura-vegetação arbórea”.

É feita uma análise à separabilidade espectral entre as classes de coberto do solo representadas pelos *pixels* correspondentes às áreas definidas no conjunto de referência, através da distância de *Jeffries-Matusita* (J-M) (Richards et al., 1999). Esta medida permite melhorar a definição das áreas amostradas para cada classe, redefinindo o número de classes amostradas, agregando as semelhantes e separando as distintas. A distância de *Jeffries-Matusita* tem um limite máximo de 2 para classes que espectralmente se separam completamente e de 0 para as espectralmente idênticas. Após a correcção das áreas de referência extraem-se os valores espetrais correspondentes a cada *pixel* nas 28 bandas, sendo a amostra total constituída por 38479 *pixels*.

TABELA 3
Classes de coberto do solo e número de amostras usadas para treino do classificador

| ID-Tipo de Coberto do solo | Número de pixels |
|---|-------------------------|
| 1-Floresta fechada de folha persistente | 374 |
| 2-Bosque caducifólio fechado (40-65% de coberto de árvores) | 6109 |
| 3-Bosque caducifólio aberto (15-40% de coberto de árvores) | 1027 |
| 4-Floresta Mista | 1442 |
| 5-Mosaico Floresta - Vegetação natural | 2079 |
| 6-Mangal | 313 |
| 7-Arbustos de folha caduca | 1191 |
| 8-Arbustos caducifólios com árvores esparsas | 1266 |
| 9-Savana herbácea | 3978 |
| 10-Savana herbácea com árvores esparsas | 1294 |
| 11-Savana herbácea com arbustos esparsos | 794 |
| 12-Mato inundado e savana herbácea | 310 |
| 13-Agricultura | 59 |
| 14-Mosaico Agricultura – vegetação arbórea | 300 |
| 15-Solo nu | 3224 |
| 16-Água | 114 |
| 17-Áreas ardidas | 196 |

3.4 FILTRAGEM DO CONJUNTO DE REFERÊNCIA

A recolha das amostras de referência pode estar sujeita a erros de identificação, devido a alterações do tipo de coberto do solo entre a data em que as imagens foram adquiridas e a informação que é usada como referência. A utilização do método desenvolvido por *Brodley and Friedl* (1999) permite identificar e eliminar observações com uma probabilidade errada de legenda e melhorar significativamente a qualidade dos dados, através da análise do conjunto de dados de referência (*pixel a pixel*), relativamente ao tipo de coberto do solo atribuído a cada *pixel* pela aplicação de um algoritmo de classificação. Este processo, apesar de reduzir o número de observações, torna o conjunto de amostras mais coerente, fiável e homogéneo o que melhora significativamente os dados resultantes do classificador. Para o efeito constrói-se uma árvore de classificação usando um algoritmo de árvores de classificação e regressão desenvolvido por *Breiman et al.* (1984), através do software CART (*Steinberg e Colla*, 1997). Nela são definidos vários parâmetros, incluindo a selecção de um critério que avalia o grau de impureza do nó, a especificação das probabilidades à priori e os custos dos erros de classificação para cada classe de variável dependente. São também considerados, a selecção do número mínimo de observações para os nós terminais, a especificação do valor de um parâmetro de complexidade que penaliza árvores grandes e determina o tamanho óptimo da árvore e a selecção de um procedimento de avaliação da precisão. A árvore construída usa o critério *twoing* (*Breiman et al.*, 1984) para a separação de nós, o mais adequado quando se têm muitas classes. Consideraram-se iguais probabilidades à priori, iguais erros de custo da classificação e um número mínimo de observações nos nós terminais de 30. Além disso, é usado o método de validação cruzada 10 vezes para estimação do erro de classificação.

Como resultado, a cada observação são associados dois atributos, um na fase de recolha da informação dos dados de referência e outro pela árvore de classificação. Todos os *pixels* cujos atributos não coincidem são considerados erradamente identificados e removidos do conjunto de dados de referência, que após esta filtragem dispõe de 32622 amostras. Este conjunto é dividido em dois: 75% das observações disponíveis para cada classe é usado para treinar o classificador e os restantes 25% são usados no processo de validação. Estabeleceram-se 17 classes de coberto do solo com um número de amostras variável para treinar o classificador (tabela 3), em função da área ocupada por cada classe no território Angolano.

3.5 ÁRVORES DE CLASSIFICAÇÃO

De acordo com pesquisas efectuadas, a aplicação de famílias ou conjuntos de árvores de classificação são mais eficientes e permitem uma melhor precisão do mapa de coberto do solo (*Breiman*, 1996, *Bauer e Kohavi*, 1999) do que a utilização de classificadores em árvore simples. Neste trabalho, recorreu-se ao software CART, que constrói árvores de classificação binárias.

O método de classificação de família de árvores, também designado por *bagging*, consiste em gerar dez conjuntos de amostras a partir do conjunto original escolhido para treinar o classificador, por amostragem com reposição. Cada um destes conjuntos é usado para gerar dez mapas de coberto do solo que são comparados entre si, quanto à classe seleccionada. Para cada *pixel*, a classe mais frequente, ou seja a que tem mais votos, é a seleccionada para atribuir ao *pixel*, obtendo-se assim o mapa de coberto do solo final.

Cada uma destas dez árvores é construída segundo os mesmos parâmetros: critério *twoing* para separação de nós, probabilidades iguais à priori para cada classe, custo de classificação iguais para cada classe e nós terminais com pelo menos 30 observações. Utiliza-se ainda o modelo de combinações lineares de variáveis, que permite uma melhor separação dos padrões espaciais e, consequentemente, uma melhor definição das classes espectralmente semelhantes. A precisão dos classificadores é avaliada com base no método de validação cruzada 10 vezes, para estimativa do erro de classificação.

3.6 AVALIAÇÃO DA FIABILIDADE DO CLASSIFICADOR

A avaliação da precisão do mapa de coberto do solo final é feita comparando a informação obtida nesse mapa e o conjunto de dados de validação, através de uma matriz de confusão (Foody, 2002). Trata-se de uma matriz quadrada, onde as linhas representam as classes reais dadas pelos dados de validação e as colunas as classes resultantes do processo de classificação. A diagonal principal representa os *pixels* correctamente classificados, ou seja, os que apresentam concordância entre o tipo de coberto do solo atribuído pelo classificador e o que existe no terreno. Os *pixels* fora da diagonal principal correspondem aos incorrectamente classificados e portanto a erros de omissão (por exclusão) e a erros de comissão (por inclusão) (Foody, 2002).

Pode medir-se, também, o coeficiente *kappa* que expressa a diferença entre a concordância observada entre os dois mapas e a que seria obtida se a classificação fosse realizada ao acaso, com valores entre 0 e 1.

4. RESULTADOS

4.1 COMPOSIÇÃO MULTITEMPORAL

A imagem composta para o mês de Maio resulta da aplicação do critério de composição multitemporal e constitui uma síntese construída a partir das imagens diárias existentes para aquele mês (Figura 2).

Por observação visual verifica-se que é uma imagem homogénea, com poucas nuvens e sombras de nuvens e com uma certa coerência espectral. A remoção de nuvens de determinadas áreas, como é o caso do enclave de Cabinda, torna-se difícil quando ocupam o mesmo local em todas as imagens diárias.

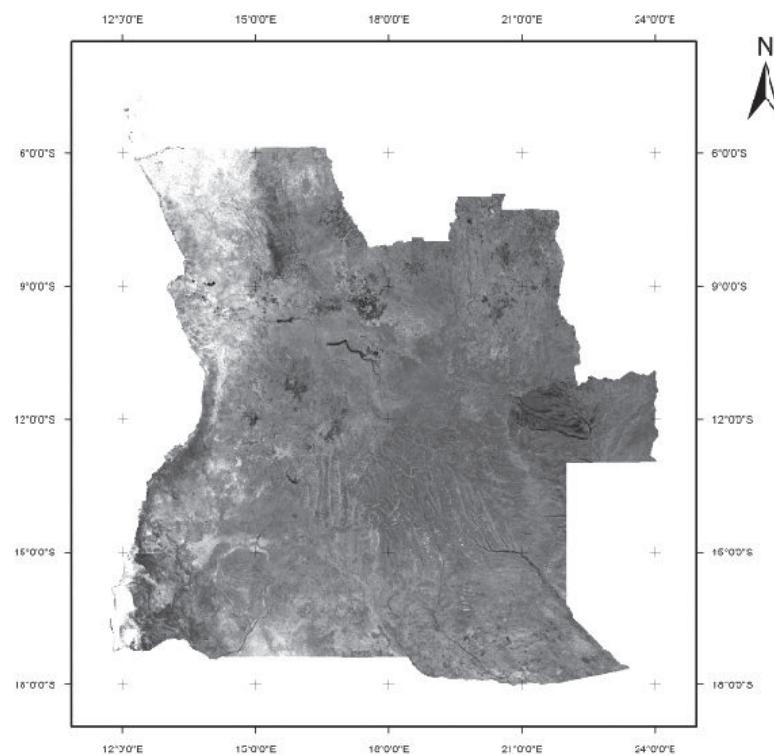
4.2 ÁREAS DE REFERÊNCIA

A distribuição das áreas de referência para a região de estudo é obtida por observação visual dos vários tipos de informação existentes (Figura 3).

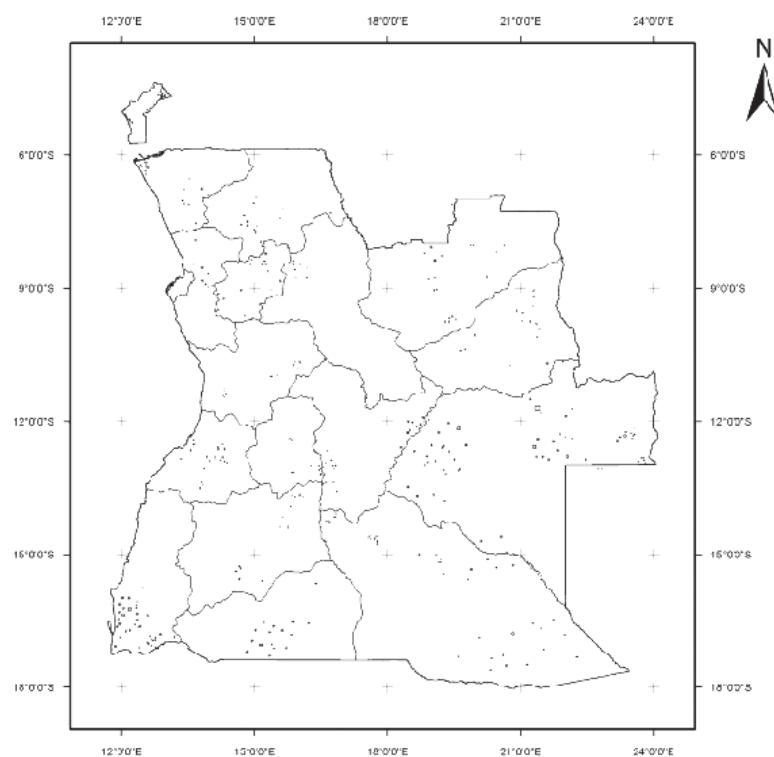
Os valores de separabilidade espectral, calculados com base nas áreas de referência (Figura 3) e obtidos pela distância de *Jeffries-Matusita*, estão acima dos 1.7 para todas as combinações emparelhadas, o que significa uma boa separabilidade espectral entre as classes.

FIGURA 2

Imagen em tons de cinzento da banda do infravermelho próximo, da imagem *MODIS* do mês de Maio, gerada pelo critério de composição multitemporal do terceiro valor mais baixo do albedo

**FIGURA 3**

Distribuição das áreas de referência

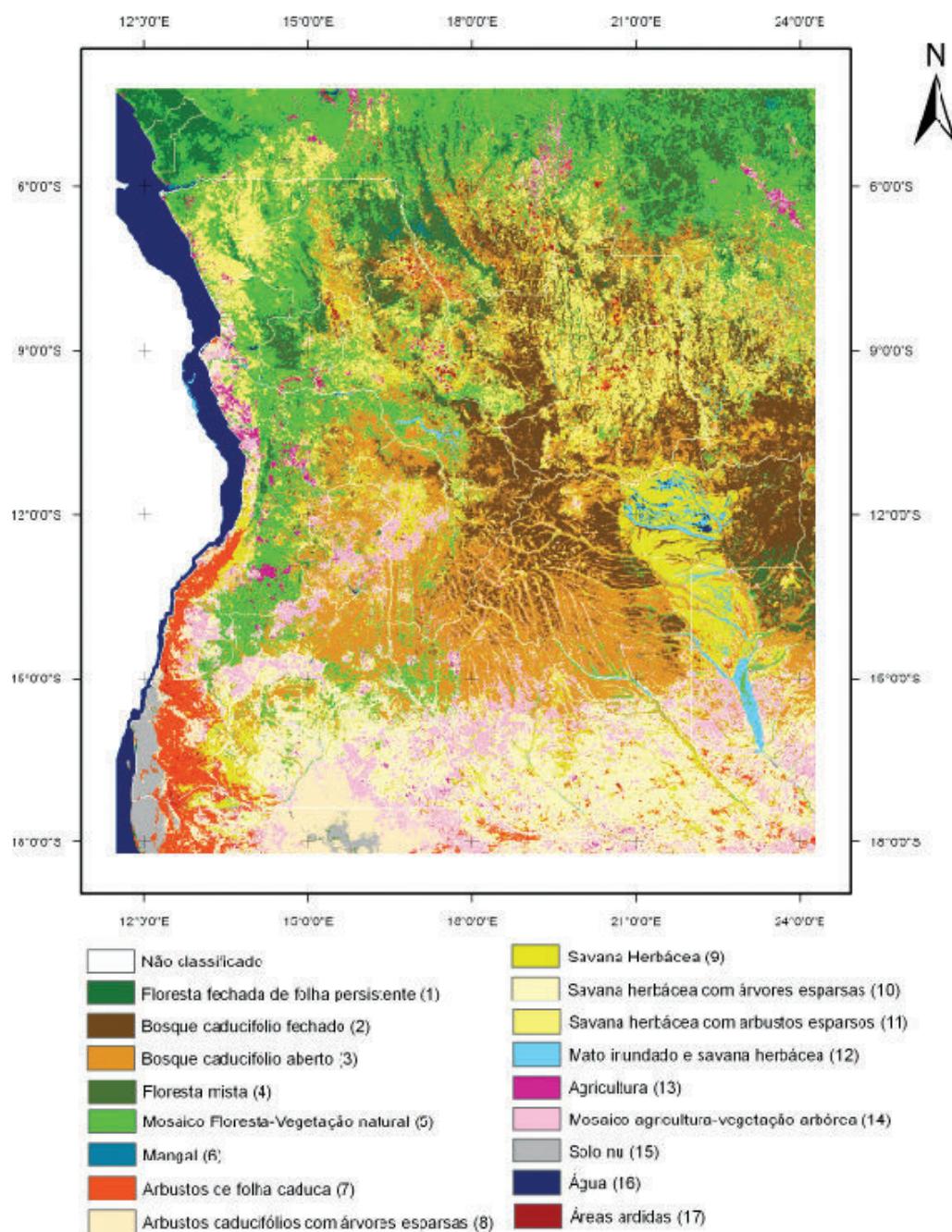


4.3 ÁRVORE DE CLASSIFICAÇÃO

No mapa de coberto do solo para Angola (Figura 4), a percentagem de concordância é obtida através do método de validação cruzada, interno ao classificador, que utiliza o mesmo conjunto de dados quer para treinar o classificador quer para validação.

As percentagens de concordância globais obtidas pela aplicação do método de validação cruzada 10 vezes, para o conjunto das 10 árvores, têm um valor médio de 95.5% de *pixels* correctamente classificados para cada árvore.

FIGURA 4
Mapa de coberto do solo para Angola



A validação do mapa de coberto do solo, feita com dados independentes dos usados para construir os classificadores, mostra uma precisão aceitável ($kappa=0.77$) e erros de omissão e comissão ligeiramente altos, de 20.3% e 22.1%. Estes valores podem ser melhorados redefinindo as amostras de cada tipo de coberto do solo, recorrendo a outros tipos de informação e comparando-os com os já existentes. A definição das amostras é o passo crucial para a obtenção de um mapa de coberto do solo preciso.

No mapa de coberto do solo final o *Bosque caducifólio fechado*, *Bosque caducifólio aberto*, *Mosaico Floresta-Vegetação natural* e *Savana herbácea com arbustos esparsos* ocupam maior área (Figura 5). As de *Mangal*, *Floresta de folha persistente*, *Agricultura*, *solo nu* e *Água* por seu lado são as de menor extensão. Estas duas últimas classes são difíceis de cartografar devido à limitação na recolha de amostras homogéneas.

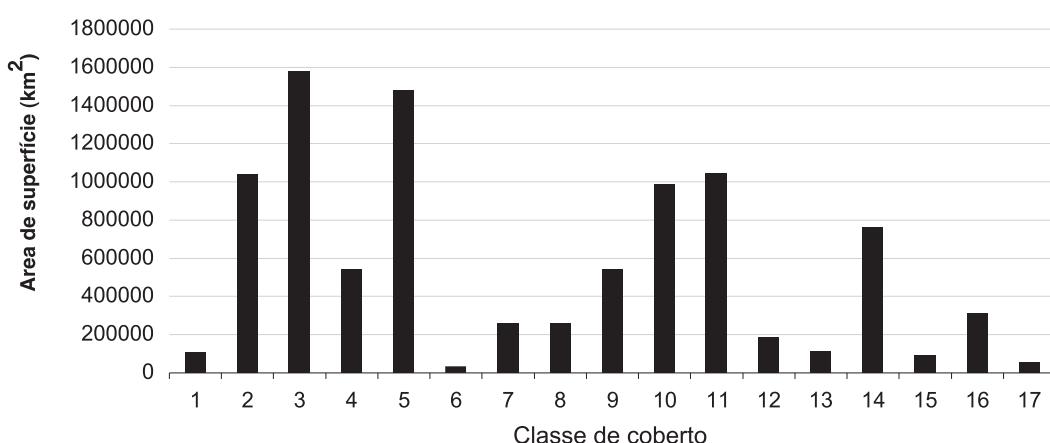
Os resultados são comparados com os obtidos no projecto *Global Land cover 2000* onde se verifica também que as áreas com maior superfície terrestre são as de *Bosque caducifólio fechado* e *Bosque caducifólio aberto* e a que apresenta menor área é a de *Mangal*.

4.4 DISCUSSÃO

Vários passos são adoptados para se obter o mapa de coberto do solo de Angola. O primeiro consiste na aplicação de um critério de composição multitemporal desenvolvido por Cabral et al. (2003) que produz imagens espacialmente mais suavizadas e mais homogéneas e com uma grande eficiência na remoção das nuvens e sombras de nuvens. Este critério mostra também reduzir significativamente o ruído nas imagens (Cabral et al., 2003), o que aumenta a separabilidade espectral das classes de coberto do solo, permitindo uma melhor precisão aquando do processo de classificação. Este critério é usado para se obter as imagens síntese mensais de Fevereiro, Maio, Agosto e Novembro. Estas imagens são usadas para recolher as amostras de cada tipo de coberto do solo que formam o conjunto de dados de referência.

O método de validação cruzada apresenta valores de concordância elevados para o conjunto de árvores o que revela uma grande coerência interna dos dados de treino. O método de validação que utiliza dados independentes mostra, através do cálculo da matriz de confusão, dos erros de omissão e comissão e do

FIGURA 5
Área ocupada por cada tipo de coberto do solo em km²
(1-17 são as classes de coberto do solo representadas na tabela 3)



coeficiente *kappa*, que o mapa de coberto do solo construído apresenta uma precisão aceitável, perto de 79.9%. No entanto, este valor pode ser melhorado, redefinindo as áreas de amostragem de cada tipo de coberto com auxílio de outras fontes de informação existentes, como fotografia aérea.

Observando visualmente o mapa de coberto do solo, pode ver-se que as três classes de *floresta* se distribuem essencialmente na região noroeste de Angola. O *bosque caducifólio* na parte central, e as savanas herbáceas e arbustos a sul. O mosaico de *Agricultura-vegetação arbórea* localiza-se principalmente a sul onde ocupa uma grande extensão. Visualmente o mapa de coberto do solo obtido (Figura 4) permite um nível de detalhe espacial maior do que o da Carta Fitogeográfica de Angola (Figura 1) onde as classes de coberto do solo se baseiam em observações pontuais do terreno, a distribuição é mais homogénea e o grau de generalização é maior. As classes de *floresta* e *bosque* embora tenham uma localização semelhante em ambos os mapas, denotam um decréscimo em área no mapa produzido, provavelmente resultante da conversão das florestas e bosques para áreas agrícolas. Este facto confirma-se através da comparação de imagens Landsat dos anos 1990 e 2000, para a região do Huambo. A norte verifica-se um aumento da *savana herbácea com árvores esparsas* por diminuição das classes de floresta e bosque caducifólio em relação a 1970 (Barbosa, 1970b).

As maiores extensões de savana herbácea e arbustos situam-se mais a sul em ambos os mapas, verificando-se um aumento da *agricultura-vegetação arbórea*.

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia desenvolvida neste trabalho inclui duas fases essenciais. A primeira consiste na obtenção de imagens mensais com efeitos atmosféricos reduzidos, livres de nuvens e sombras de nuvens, aumentando o contraste entre os diferentes tipos de coberto do solo. A segunda compreende a aplicação de um classificador que distinga os diferentes tipos de coberto do solo de modo eficiente e produza um mapa de coberto do solo preciso. A utilização do critério de composição multitemporal, desenvolvido por Cabral *et al.* (2003) mostra ser bastante eficiente, quando se pretende obter imagens com uma boa coerência e homogeneidade espacial e um baixo nível de nuvens e sombras de nuvens. Da observação visual das imagens síntese resultantes conclui-se que existe uma boa distinção das classes de coberto do solo aquando da recolha das amostras.

O algoritmo de classificação em árvore para o território de Angola envolve a recolha de um conjunto de amostras representativo de cada tipo de coberto do solo. É deste conjunto de amostras que dependem os resultados obtidos no classificador. O processo de filtragem revela melhorar a coerência das amostras, eliminando as erradamente identificadas. No entanto, verifica-se através dos resultados de precisão do mapa de coberto do solo que, apesar de existir uma certa coerência no conjunto de amostras, é necessário tentar melhorar a sua identificação, através de outras fontes de informação, como seja a fotografia aérea.

A utilização de imagens de satélite para cartografia de coberto do solo, juntamente com medições no terreno, permite obter informação com grande detalhe espacial, coerente e de forma contínua e eficiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, L.A.G., 1970a, Carta fitogeográfica de Angola. Instituto de Investigação Científica de Angola, Luanda.
- BARBOSA, L.A.G., 1970b, Carta fitogeográfica de Angola (1:2 500 000).
Instituto de Investigação Científica de Angola, Luanda.
- BAUER, E. e Kohavi, R., 1999, An empirical comparison of voting classification algorithms:bagging, boosting and variants. *Machine Learning*, vol. 36, 1, 2, 105-139.
- BREIMAN, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A. e Stone, C.J., 1984, *Classification and regression trees*. Wadsworth, Pacif Grove, C.A..
- BREIMAN, L., 1996, Bagging predictors. *Machine Learning*, 24, 123-140.
- BRODLEY, C.E. e Friedl, M.A., 1999, Identifying mislabeled training data. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 11, 131-167.
- CABRAL A., de Vasconcelos MJP., Pereira J.M.C., Bartholomé E., and Mayaux P., 2003, Multitemporal compositing approaches for SPOT-4 VEGETATION data. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 24, nº 16, 3343-3350.
- CASTANHEIRA, A.D., 2006, Características mesológicas de Angola. Instituto Português de Apoio ao Desenvolvimento, 2^a edição, Lisboa.
- CIHLAR , J., Manak, D. e D'Iorio, M., 1994, Evaluation of compositing algorithms for AVHRR data over land. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 32, 2, 427-437.
- DEPPI, ed, s/d, Angola: reconstrução nacional. realização Delroisse, ISBN 2-85518-060-0
- DI GREGORIO, A. e Jensen, L.J.M., 2000, Land cover classification system, concepts and user manual. GCP/RAF/287/ITA Africover (Food and Agriculture Organization of the United Nations Publishing Service), Rome, Italy.
- FOODY, G.M., 2002, Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, vol. 80, 185-201.
- HOLBEN, B.N., 1986, Characteristics of maximum value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 7, 11, 1417-1434.
- OLSON, D.M., Dinerstein, E., Wikramanaya, E.D.K.E., Burgess, N.D., Powell, G.V.N. e Underwood, E.C., 2001, Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on earth. *Bioscience*, 933-938.
- QI, J. e Kerr, Y., 1994, On current compositing algorithms. In proceedings of the international symposium on physical measurements and signatures in remote sensing. ISPRS commission.
- QI, J. e Kerr, Y., 1997, On current compositing algorithms. *Remote Sensing Reviews*, 15, 235-256.
- RICHARDS, J.A., Xiuping, J. e Ricken, D.E., 1999, *Remote sensing digital image analysis: An introduction*. Springer Verlag, 363 p.
- STRAHLER, A., Muchoney, D., Borak, J., Friedl, M., Gopal, S., Lambin, E. e Moody, A., 1999, MODIS land cover and land cover change algorithm theoretical basis document (ATBD). Version 5.0, Boston University, Boston, pp.72.
- STEINBERG, D. e Colla, P., 1997. *CART, Classification and Regression trees*. Salford Systems, San Diego, California.
- TUCKER, C.J., Townshend, J.R.G. e Goff, T.E., 1985, African land cover classification using satellite data. *Science*, vol. 227, 4685, 369-375.

Referências URL:

- URL1: <http://www.envi.com.br/sensor/satelite/terra/modis/modis.html>
URL2:<http://www.engesat.com.br/satelite/landsat5.htm>