

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

Ana Isabel Cabral

Instituto de Investigação Científica Tropical (ICT)

Trav. Conde da Ribeira, 9, 1º, 1300-142 Lisboa, Portugal Tel/Fax: 213640046 PBX 213616340 e-mail: anaicabral70@gmail.com

Resumo

Este trabalho tem como objectivo obter um mapa de coberto do solo para Angola, utilizando imagens diárias provenientes do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) para quatro meses do ano de 2003. 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 para 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 permite actualizar a cartografia para vários anos de modo a detectar as alterações ocorridas.

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 restante continente Africano tem sentido estas alterações que se podem reflectir nas condições de vida humana uma vez que podem afectar os recursos naturais, como a água potável, a qualidade do ar e a estabilidade do clima. 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 solo em África foi inicialmente baseado em medições do 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 de coberto do solo para o continente africano 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. 1993) 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 uma gestão coerente e sustentável. 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). Este 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 Area de estudo

A República de Angola fica situada na costa ocidental do continente africano entre os paralelos 4°22' e 18°02' sul e os meridianos 11°41' e 24°05' leste. 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 km², 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 no norte e em Cabinda, savanas que interpenetram com as florestas e se estendem por áreas e coberturas descontínuas de arbustos e ervas a sul e sueste que se encontram limitadas pelas grandes extensões desérticas do Namibe.

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 nas zonas interiores 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, com um período quente e húmido e outro fresco e seco, sendo as variações da temperatura muito pequenas.

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 caracteriza-se por ter uma órbita circular, quase polar, hélio-sincrónica, situa-se a 705 km de altura e a hora solar de passagem pelo nó descendente é às 10:30 da manhã (URL1). O *MODIS* visualiza a mesma superfície terrestre a cada 1-2 dias e abrange uma área de observação de cerca de 2330 km. 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 em larga escala da biosfera e pode ser de grande utilidade no ciclo global do carbono, uma vez que pode medir a actividade fotossintética das plantas terrestres e marinhas permitindo estimativas da quantidade utilizada e absorvida na produção das plantas. O registo permanente da superfície por este sensor permite também observar as mudanças a nível do coberto do solo.

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).

Tabela 1 - Características do sensor *MODIS*

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

As imagens *MODIS* são disponibilizadas pela NASA através do site *Earth Observing System Gateway*. Foram utilizadas imagens diárias do ano 2003 correspondentes aos meses de Fevereiro, Maio, Agosto e Novembro. Estes meses foram escolhidos de forma a contemplar a variabilidade sazonal da vegetação e 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 do satélite completa-se em aproximadamente 99 minutos, permitindo ao satélite 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 uma faixa de varrimento de 185 km (URL2).

Tabela 2 - Características do sensor *TM* e *ETM+*

<i>Thematic Mapper-TM</i>								
<i>Bandas</i>	1	2	3	4	5	6	7	
<i>Região</i>	0.45-0.52	0.52-0.60	0.63-0.69	0.76-0.90	1.55-	10.42-	2.08-2.35	
<i>espectral (μm)</i>					1.75	12.50		
<i>Resolução (m)</i>	30	30	30	30	30	120	30	
<i>Enhanced Thematic Mapper-ETM+</i>								
<i>Bandas</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Região</i>	0.45-0.52	0.52-0.60	0.63-0.69	0.76-0.90	1.55-	10.42-	2.08-2.35	0.52-
<i>espectral (μm)</i>					1.75	12.50		0.90
<i>Resolução (m)</i>	30	30	30	30	30	60	30	15

Tabela 2 - Características do sensor *TM* e *ETM+*

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.

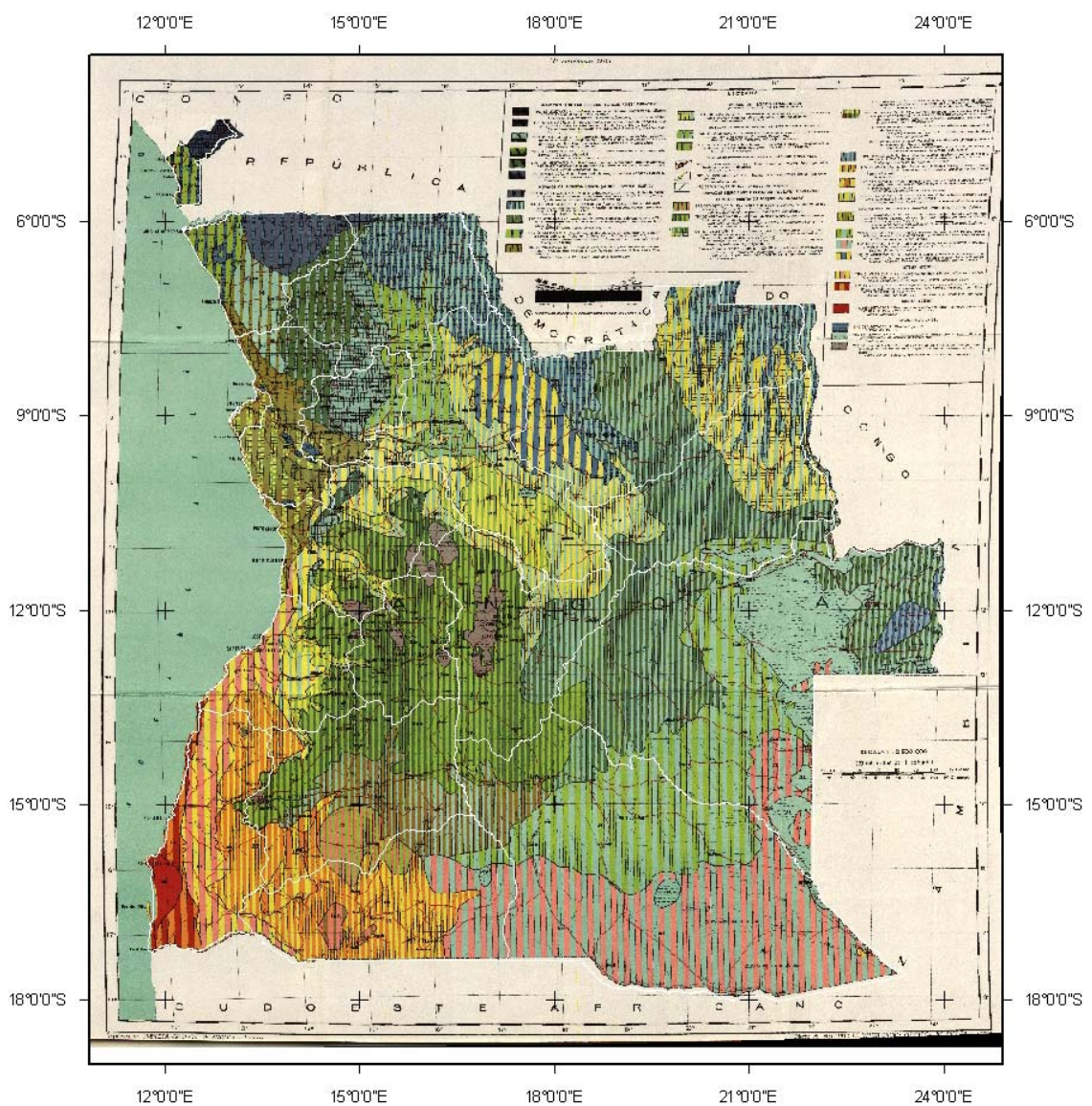


Figura 1 – Carta fitogeográfica de Angola

2.2.2 Dados auxiliares

É ainda utilizada a carta fitogeográfica de Angola à escala 1:2 500 000 (*Barbosa, 1970b*) (figura 1), 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 (nuvens, sombras de nuvens, etc.) existentes no momento em que são registadas 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 critérios de composição multitemporal consistem em gerar uma imagem composta resultante da síntese formada por *pixels* seleccionados de um conjunto de imagens de uma mesma área, correspondentes a um período curto de tempo. Estas imagens têm de estar co-registadas espacialmente de forma a assegurar que o *pixel* com a mesma localização geográfica é igual em todas as datas. Assim, o mesmo *pixel* para todas as datas e com igual localização 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*). 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 para os meses de Fevereiro, Maio, Agosto e Novembro.

3.2 Definição da Legenda

A legenda dos diferentes tipos de coberto do solo adoptados adoptou um esquema de classificação definido pela *Food and Agriculture Organization* (FAO), que permite definir classes com base em características estruturais e funcionais da vegetação (*Di*

Gregório e Jensen 2000) visando harmonizar classificações de coberto do solo feitas por diferentes equipas e futuras comparações de resultados (tabela 3).

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 queimadas	196

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 algumas classes 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 queimadas*. A primeira devido à semelhança entre as classes *mosaico Agricultura-vegetação arbórea* e *Agricultura*.

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 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 correção das áreas de referência extraem-se os valores espectrais correspondentes a cada *pixel* nas 28 bandas. A amostra total é constituída por 38479 *pixels*.

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. Assim, utiliza-se um método desenvolvido por *Brodley and Friedl* (1999) que permite identificar e eliminar observações com uma probabilidade errada de legenda, o que melhora significativamente a qualidade dos dados. Este método é aplicado, através da construção de uma árvore de classificação, que permite analisar o conjunto de dados de referência *pixel a pixel*, relativamente ao coberto do solo a ele atribuído.

A árvore de classificação é construída usando o 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, 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* para a separação de nós, que é considerado 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 atribuído pela árvore de classificação. Todos os *pixels* cujos atributos não coincidem são considerados erradamente identificados e removidos do conjunto de dados de referência.

Obtém-se, assim, um conjunto de dados de referência filtrado, com 32622 amostras, que é dividido em dois: 75% das observações disponíveis para cada classe é usado para treinar o classificador e 25% de cada classe é usado no processo de validação. Estabeleceram-se 17 classes de coberto do solo com um número de amostras variável para treinar o classificador (tabela 3). A variação no número de amostras é função da área ocupada por cada classe no território Angolano.

3.5 Árvores de classificação

Pesquisas sobre o método de árvores de classificação demonstraram que a aplicação de famílias ou conjuntos de árvores, quando comparado com classificadores em árvore única, são mais eficientes e permitem melhorar a precisão do mapa de coberto do solo obtido (*Breiman 1996, Bauer e Kohavi 1999*). Este método é o escolhido no processo de classificação desenvolvido neste trabalho, recorrendo 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 treinar um classificador gerando dez mapas de coberto do solo que são comparados entre si, quanto à classe escolhida. Para cada *pixel*, a classe mais escolhida, ou seja a que tiver mais votos, será 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 à priori para cada classe iguais, custo de classificação para cada classe iguais 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 conseqüentemente 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 no mapa final e o conjunto de dados de validação, sendo a relação entre eles estabelecida através de uma matriz de confusão. 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 *pixels* 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 concordância 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 utilizado, 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 todas as imagens diárias estão cobertas de nuvens no mesmo local.

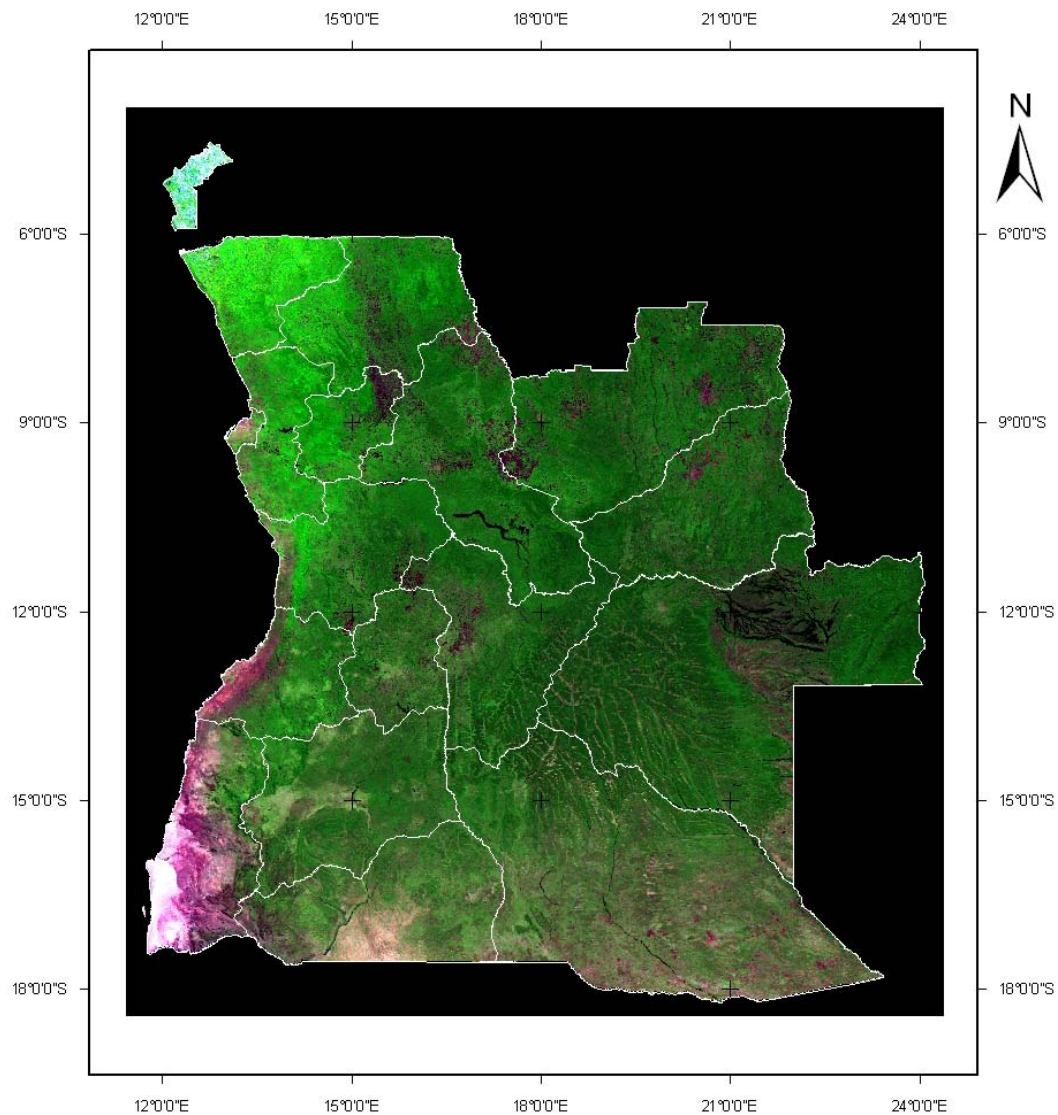


Figura 2 – Imagem RGB (IVM, IVP, Red) da imagem *MODIS* do mês de Maio gerada pelo critério de composição multitemporal do terceiro valor mais baixo do albedo

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).

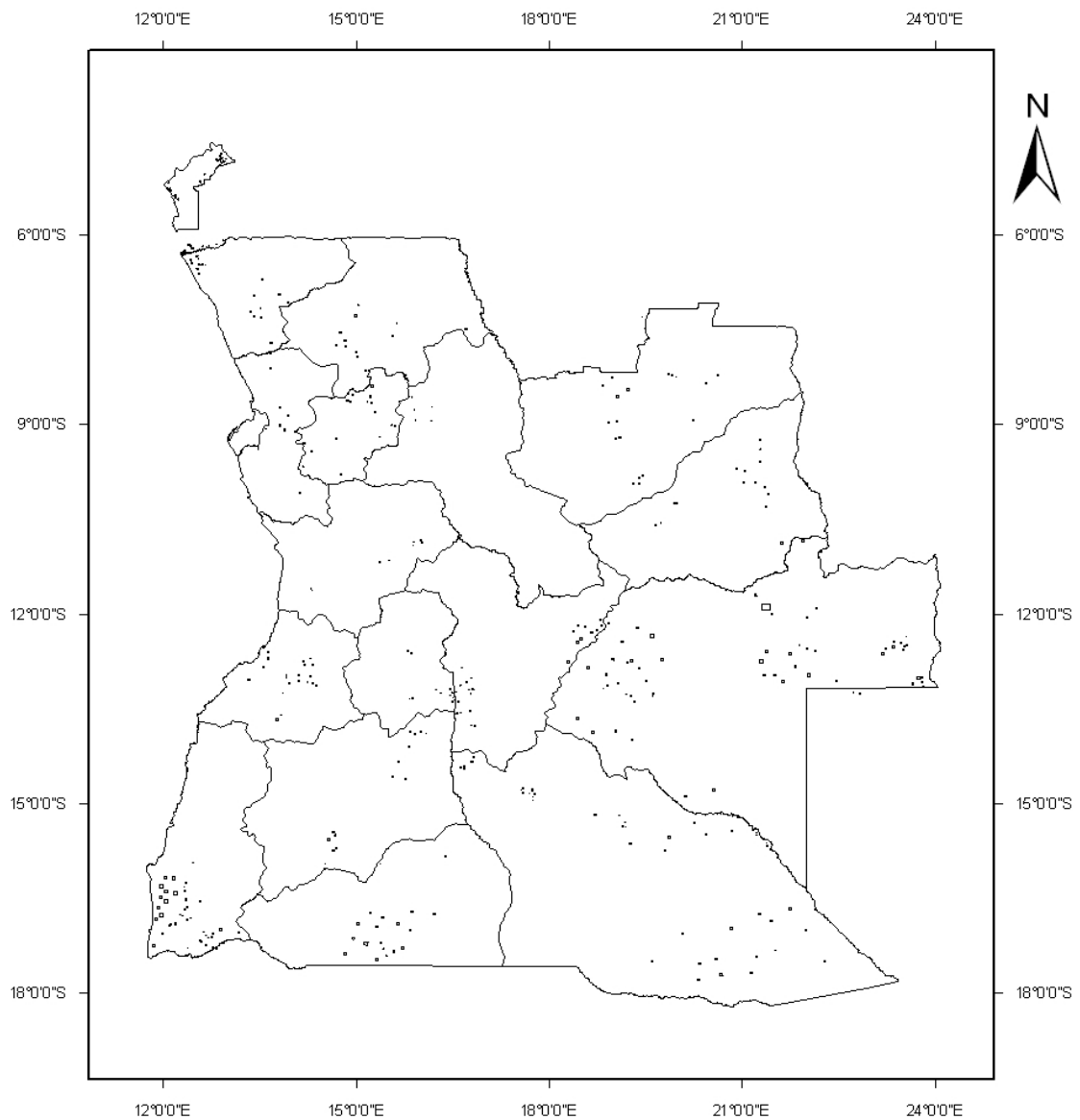


Figura 3 – Distribuição das áreas de referência

Os valores de separabilidade espectral calculados, com base nas áreas referência (figura 2), 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.

4.3 Árvore de classificação

No mapa de coberto do solo para Angola, 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 (Figura 4).

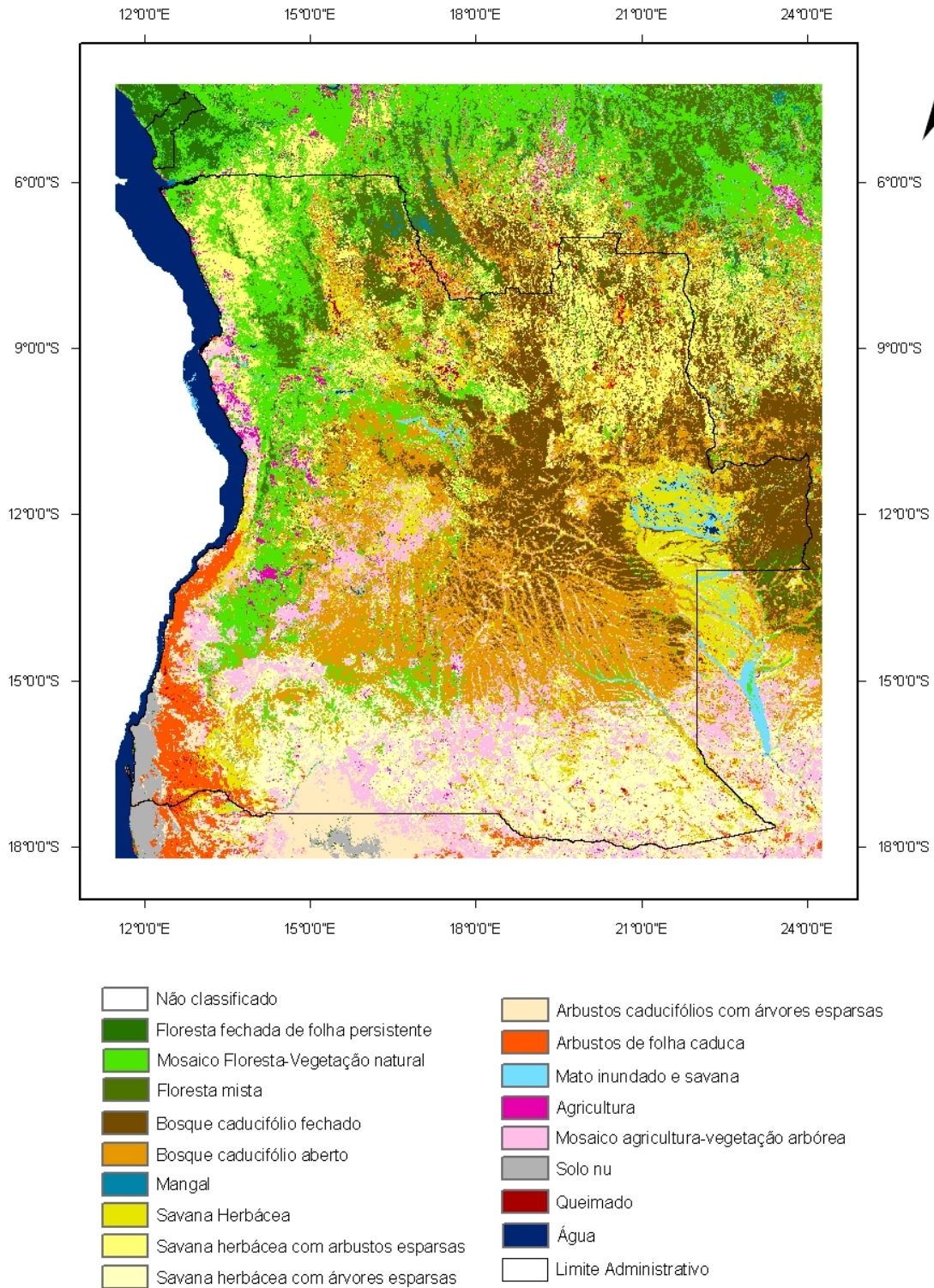


Figura 4 – Mapa de coberto do solo para Angola

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

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 as classes com maior área são as de *Bosque caducifólio fechado*, *Bosque caducifólio aberto* e *Mosaico Floresta-Vegetação natural* (figura 5) e as que apresentam menor área são as de *Mangal*, *Floresta de folha persistente*, *Agricultura* e *Mosaico Agricultura-vegetação arbórea*. Estas duas últimas classes são difíceis de cartografar devido à dificuldade de 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*.

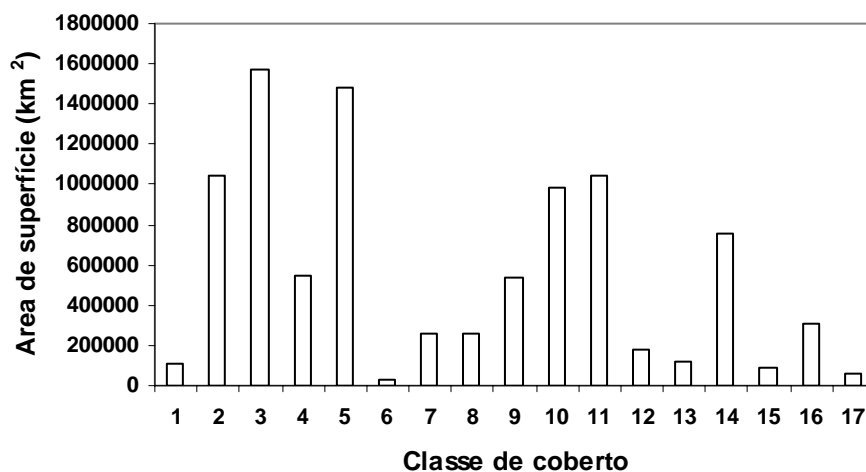


Figura 5 - Área ocupada por cada tipo de coberto do solo em km²
(1-17 são as classes de coberto do solo representadas na tabela 3)

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 com o objectivo de se reduzir os efeitos atmosféricos e as nuvens e sombras de nuvens. Para

tal, recorre-se a um critério já testado em *Cabral et al. (2003)* que produz imagens espacialmente mais suavizadas e mais homogêneas e com uma grande eficiência na remoção daqueles efeitos. 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 do coberto do solo. Este critério é usado para se obterem 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. Uma vez que, a identificação dos diferentes tipos de coberto do solo pode estar sujeita a erros de identificação devidos à diferença de datas entre os dados auxiliares e as imagens, é aplicado um processo de filtragem aos dados amostrados que permite garantir que as observações estão correctamente identificadas. Este processo, apesar de reduzir o número de observações, torna o conjunto de amostras mais coerente, fiável e homogêneo o que melhora significativamente os dados resultantes do classificador.

A avaliação do mapa de coberto do solo é feita a partir de dois métodos, o método de validação cruzada, interno ao próprio classificador, que utiliza os mesmos dados quer na construção do classificador quer na validação dos resultados obtidos e o método que utiliza um conjunto de dados independentes para validar o resultado obtido.

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 coeficiente *kappa* que o mapa de coberto do solo construído apresenta uma precisão aceitável, perto de 79.9%. No entanto, estes valores podem ser melhorados, 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. Comparando visualmente o mapa de coberto do solo obtido (Figura 4) com a Carta Fitogeográfica de Angola (Figura 1) verifica-se que o primeiro permite um nível de detalhe espacial maior. As classes de coberto do solo na carta Fitogeográfica,

construída com base em observações pontuais do terreno, têm uma distribuição mais homogénea com um grau de generalização maior. As classes de *floresta* e *bosque* têm uma localização semelhante em ambos os mapas, com um decréscimo no mapa produzido, provavelmente resultante das modificações implantadas pelas populações que estão cada vez mais a converter florestas e bosques em 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 que pode ser resultado duma diminuição das classes de floresta e bosque caducifólio em relação a 1970 (Barbosa 1970b).

As classes 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 em obter imagens mensais com efeitos atmosféricos reduzidos, e livres de nuvens e sombras de nuvens e aumentar o contraste entre os diferentes tipos de coberto do solo, na segunda em aplicar um classificador que distinga os diferentes tipos de coberto do solo de modo eficiente e a produção de um mapa de coberto do solo preciso. A aplicação 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 existir 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 das amostras mostra 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 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.

6. 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., 1999a, 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.

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.

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.

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/satelites/terra/modis/modis.html>

URL2:<http://www.engesat.com.br/satelites/landsat5.htm>