

MAPEAMENTO DA COBERTURA E USO DA TERRA NA BACIA DO RIO CHAMBAS, UTILIZANDO IMAGENS DO SATÉLITE ALOS.

MAPPING OF LAND COVER AND LAND USE IN THE CHAMBAS RIVER BASIN, USING IMAGES FROM ALOS SATELLITE.

Temática: Cartografía y tecnologías de la información geográfica

Tatiana Geler Roffe¹, Alvaro Penteadó Crósta², Archimedes Perez Filho²

1 Instituto de Geografía Tropical, CITMA, Cuba, tatianageler@yahoo.com,
Calle 13 No. 409 esq. F, Vedado, La Habana, Cuba, CP 10400

2 Instituto de Geociências, UNICAMP, Brasil.

RESUMO

A cartografia da cobertura e uso da terra é de grande importância, desde que mostra o nível de relevância alcançado pelas tecnologias de percepção remota e a processamento digital de satélites de imagens (PDI) no conhecimento e o monitoramento do espaço geográfico, como também o apoio que brinda para a tomada de decisões no planejamento e administração dos recursos naturais. Este trabalho visa descrever os resultados da cartografia da cobertura e uso da terra na bacia do rio Chambas, na província de Ciego de Ávila, utilizando imagens multiespectrais do sensor AVNIR-2 do satélite ALOS. Descreve-se a base teórica e conceitual do sistema de classificação e nomenclatura utilizada, o procedimento metodológico utilizado durante o Processamento Digital de Imagens (PDI) e os métodos mais eficazes de classificação. Como resultado, obteve-se o mapa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizado (NDVI) e o mapa da cobertura e uso da terra com uma resolução espacial de 10 metros durante o não 2009 e se realizou a análise dos tipos de coberturas e usos predominantes na bacia Chambas. O resultado da padronização das classes na imagem correspondente à área de estudo permitiu a identificação e classificação de 18 categorias diferente de cobertura e uso da terra na bacia do rio Chambas, onde é observado uma prevalência das áreas de cana de açúcar e mosaicos de cultivos para 38,56% da área total.

Palavras-Chave: *Sensoriamento Remoto, Processamento Digital de Imagens, Cobertura e uso da terra.*

ABSTRACT

The cartography of land cover and land use is of great importance; as it shows the level of significance achieved by remote sensing technologies and satellite digital image processing (PDI) in the knowledge and monitoring of geographic space and its support in the planning and management of natural resources in decision-making. This work aims to present the results of mapping coverage and land use in the river basin chambas in Ciego de Avila, using multispectral images of AVNIR-2 satellite sensor ALOS. Theoretical and conceptual basis for the classification system and nomenclature used, the methodological procedure used during the digital images processing (PDI) and the most effective methods of classification, are described. As a result, the map of normalized differential vegetation index (NDVI) and the land coverage and use with a spatial resolution of 10 meters for 2009, was obtained and analysis of the types of coverages and predominant use is made in Chambas basin. The result of the standardization of classes in the image corresponding to the study area allowed the identification and classification of 18 categories different from land covering and use in the Chambas river basin, where it is observed a prevalence of the areas of sugar cane and

crops mosaics with 38.56% of the total area.

Key words: *Remote Sensing, Digital Image Processing Satellites, Land cover and land use.*

INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia espacial colocou o momento da disponibilidade de produtos de satélites imageadores da terra como marco de uma nova era dos estudos de Uso da Terra, pois ao mesmo tempo em que lhe dá uma nova metodologia de pesquisa, revela a concepção teórica que orienta a apreensão espacial e temporal do uso da terra no seu conjunto para a gestão da apropriação do espaço geográfico global ou local (IBGE, 2006).

As imagens de satélite têm sido uma das principais fontes de informação para a produção de novos mapas, por melhor auxiliar a determinação do uso e da cobertura do solo, além de ter um custo relativamente baixo e periodicidade de informações.

O uso de tecnologias de sensoriamento remoto é bastante viável no que concerne aos estudos sobre uso atual da terra e cobertura vegetal, uma vez que propicia agilidade e dinâmica na obtenção de dados terrestres através de imagens de satélites. Dentre as técnicas mais utilizadas no Sensoriamento Remoto, está o Processamento Digital de Imagens (PDI), entre outras.

O processamento digital de imagens envolve a manipulação e interpretação de imagens digitais com o auxílio do computador. Esta forma de sensoriamento remoto, na verdade começou na década de 1960 com um número limitado de pesquisadores analisando dados de scanners multiespectrais aéreos e fotografias aéreas digitalizadas. No entanto, não foi até o lançamento do Landsat-1 em 1972 que os dados de imagem digital se tornaram amplamente disponível para aplicações de sensoriamento remoto da terra (LILLESAND & KIEFER, 2004).

A função mais importante do PDI de sensoriamento remoto é fornecer ferramentas que facilitem a identificação e extração de informações contidas nas imagens para interpretações posteriores, o resultado deste processo é a produção de outras imagens com informações específicas extraídas e realçadas a partir de imagens brutas (CRÓSTA, 1993).

O objetivo deste trabalho é a realização do mapeamento da cobertura e uso da terra na bacia do rio Chambas, usando imagens multi-espectrais do sensor AVNIR-2 do satélite ALOS, baseado no uso das Geotecnologias.

Área de estudo

A bacia do rio Chambas localiza-se na vertente norte de Cuba, no extremo noroeste da província de Ciego de Ávila, com uma extensão territorial de 385,26 Km² e está contida em polígono de coordenadas 700160 e 722305 m E, e 247346 e 287445 m N (Figura 1).

O clima é típico de regiões tropicais com dois períodos bem definidos: a estação seca de Novembro a Abril que concentra 20% da precipitação anual e uma úmida de Maio a Outubro, com os restantes 80%.

O relevo na porção centro-sul da bacia Chambas, é ondulado a pré-montanhoso, o que faz parte da Serra do Jatibonico do Norte, encontrando alturas que variam entre 120 e 445 metros (SMN). Desde o povoado Chambas até a foz do rio do mesmo nome, a topografia é plana, com algumas ondulações no sopé da cidade de Punta Alegre.

A bacia Chambas está constituída por uma rede hidrográfica bem definida e tem vários afluentes importantes que tributam para o rio principal em seu curso superior, como é o caso de Cañada Blanca, Las Pojas, Los Limpios, Arroyo Cieguito e Guaranal.

Historicamente, esta bacia tem tido um desenvolvimento econômico essencialmente agrícola, podendo-se citar como principais culturas: cana-de-açúcar, arroz, gado, e tabaco.

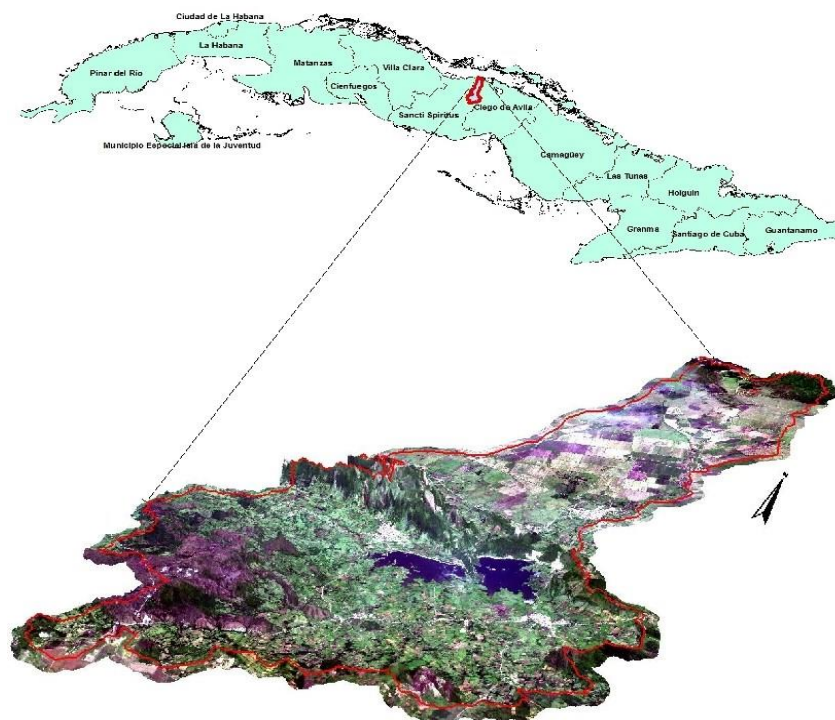


Figura 1 Mapa de localização da área de estudo, bacia do rio Chambas.

Os conceitos sobre uso e cobertura da terra e sua aplicação na bacia Chambas.

Conhecimento do uso e cobertura da terra tornou-se cada vez mais um importante fator na sociedade moderna devido à necessidade de garantir a sua sustentabilidade frente a questões ambientais, sociais e econômicas relacionadas com ele e que são motivo de debate sobre desenvolvimento sustentável.

Assim, o seu conhecimento permite a criação de planos em diferentes níveis, a fim de superar os problemas que surgem com o desenvolvimento descontrolado, a deterioração da qualidade ambiental, a perda de terras agrícolas, a destruição de zonas húmidas importantes, e perda de espécies e habitat dos animais selvagens. Por esta razão, o conhecimento dos dados de cobertura e uso da terra são necessários para o análise dos processos e os problemas ambientais, a fim de tomar decisões.

Ambas, a teoria e a prática nos mostram que, a cobertura da terra (LC) e uso da terra (LU) estão intimamente relacionados, por tanto muitas classificações propostas de uso da terra são, na verdade, uma mistura da cobertura vegetal e o uso da terra, onde a vegetação natural e semi-natural é descrita em termos de cobertura do solo e as áreas agrícolas e urbanas em termos de uso do solo. A definição de florestas, em especial é uma combinação de cobertura vegetal e uso da terra. (XIAONING, 2009).

LC é definida como a cobertura (bio)-física observada na superfície da Terra (DI GREGORIO e JANSEN, 1998). Essa observação pode ser feita pelo olho humano, por fotografias aéreas, por sensores dos satélites, ou apenas com base nos mapas existentes. A definição abrange a vegetação e as características de origem humana, incluindo a rocha nua, solo exposto e corpos d'água.

LU pode ser visto como atividades humanas realizadas em um determinado tipo de cobertura da terra para produzir, alterá-la ou mantê-la. Estabelece uma relação direta entre cobertura da terra e as ações humanas em seu meio ambiente (DI GREGORIO e JANSEN, 1998).

Dois aspectos-chave de LU são os produtos e benefícios do uso da terra e operações aplicadas na terra para produzir esses produtos e benefícios. LU é difícil de se "observar", sendo necessários trabalhos de campo e dados do terreno, bem como levantamentos e questionários.

Em geral, existem diversas fontes de informação sobre o uso e cobertura da terra e sobre as mudanças que estão acontecendo, e quase todos carecem de coerência, tanto no plano local quanto

regional e nacional.

Os principais problemas estão na aplicação e interpretação de dados existentes. Estes incluem alterações nas definições das categorias e métodos de coleta de dados por órgãos de origem, a cobertura de dados incompletos, os dados de diferentes anos, e o uso dos sistemas de classificação incompatíveis. Além disso, é quase impossível a agregação dos dados disponíveis, devido aos diferentes sistemas de classificação utilizados.

Não existe uma classificação internacional, de comum acordo, para o uso e cobertura da terra. O Corine Land Cover como classificação e classificações da FAO, parecem ser as mais utilizadas.

O caso de Cuba e, especificamente, a bacia do Rio Chambas não é uma exceção. Existem alguns trabalhos isolados sobre o uso e cobertura das terras em diferentes partes do país, mas que não se materializaram em uma classificação do uso da terra rigorosa, coerente e orgânica, muito menos desenvolvida para detectar e mapear essas categorias de ocupação utilizando sensoriamento remoto aeroespacial. (Ponvert Delisle, 2002).

Dada a experiência nacional e internacional, concluímos que os sistemas de classificação mais relevantes do ponto de vista metodológico, e que mais foram consultados e aplicados em diferentes regiões do mundo são os da Circular 671 do Serviço Geológico de E.U.A de Jansen Anderson (1976), o Corine Land Cover - CLC Comissão Europeia em 2000 (BOSSARD et al., 2000), o sistema de classificação do LCCS FAO (*Land Cover Classification System*), proposto por Di Gregorio et al (1998), o Manual Técnico do IBGE de Uso da Terra do Brasil de 2006, e a Classificação das Formações Vegetais de Cuba segundo Capote Rene e Berzaín (1984).

Depois de analisar todos os trabalhos acima mencionados, a fim de selecionar um sistema de classificação que atenda as condições em Cuba e, especificamente, na bacia do rio Chambas, foi tomado como referência o projeto *CORINE Land Cover*, com algumas adaptações próprias para a área de estudo.

A nomenclatura do sistema de classificação CORINE é de árvore, hierárquica. Ele é altamente flexível, permitindo a adaptação a outras regiões do mundo. O sistema de classificação adotado para a área da bacia Chambas, no primeiro e segundo níveis de classificação, mais gerais, adotou-se a mesma nomenclatura que CORINE LC e no terceiro nível de classificação mais detalhada algumas categorias correspondem ao CORINE e outros à classificação dos tipos de formações Vegetais em Cuba segundo Capote Rene e Berzaín (1984).

MATERIAL E MÉTODOS

O mapeamento da cobertura/uso da terra da bacia hidrográfica Chambas, foi feito utilizando imagens do satélite ALOS adquiridas pelo sensor AVNIR-2 com uma resolução de 10m, em 15 de junho de 2009. As imagens foram pesquisadas por meio do site CROSS <https://cross.restec.or.jp/cross/jsp/indexEn.html>, que tem um sistema de visualização e de pesquisa, que proporciona cobertura para todo o mundo. As duas imagens utilizadas são da mesma data e hora e os códigos de identificação são ALAV2A180673150 e ALAV2A180673160. Foi utilizado também o mapa de base à escala 1:25.000 do ICGC, 1986. O software usado para o PDI e cartografia da cobertura e uso da terra foram ENVI 4.6 e ArcGIS 9.3.

Processamento Digital das Imagens

Tendo em conta a experiência internacional, o processamento digital de imagens tem sido tradicionalmente dividido em várias etapas, dependendo dos autores e as aplicações feitas.

Para o levantamento da cobertura e uso da terra as atividades de processamento realizadas foram divididas em três etapas: pré-processamento, processamento e pós-processamento, incluindo a revisão bibliográfica, seleção e aquisição de dados, processamento digital das imagens, até o trabalho de campo e saída cartográfica do mapa de cobertura e uso da terra final.

Seleção e aquisição das imagens ALOS.

O satélite ALOS é usado para cartografia, observação regional, monitoramento de desastres e levantamento de recursos (JAXA, 2008). As imagens multiespectrais utilizadas no trabalho são as geradas pelo sensor *Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2* (AVNIR-2), sensor criado para observação da Terra e zonas costeiras, é um radiômetro multiespectral que possui 4 bandas com resolução espacial de 10m, abrangendo a região do visível e infra-vermelho próximo. (Ver tabela 1).

O nível de processamento das imagens ALOS adquiridas é o máximo oferecido pela empresa, com os pixels da imagem alinhados com a rede de projeção UTM, e os coeficientes de calibração radiométrica e correção geométrica aplicados. Isto é importante para garantir a qualidade das informações originais e consumir menos tempo para as correções a serem feitas. As imagens ALOS são adquiridas em formato CEOS (*Committee on Earth Observation Satellites*) – BSQ, banda seqüencial.

Tabela 1: Bandas espectrais do satélite ALOS sensor AVNIR-2 e suas respectivas resoluções espaciais

Bandas	Resolução espectral (μm)	Resolução espacial (m)
Banda 1	0,42 - 0,50	
Banda 2	0,52 - 0,60	10
Banda 3	0,61 - 0,69	
Banda 4	0,76 - 0,89	

Fonte: Adaptado de JAXA (2008)

Pré-Processamento

Nesta fase, foi aplicado um conjunto de técnicas para a preparação de imagens de satélite, entre os quais: as estatísticas da imagem, correção geométrica, calibração radiométrica, correção atmosférica, recorte ou redução da dimensionalidade da área, criação de mosaicos, a criação semi-automática das classes de mar, nuvens e sombras de nuvens, criação da máscara desses objetos indesejados, e aplicação da máscara para o mosaico da área.

Correção geométrica

As imagens ALOS utilizadas chegaram previamente corrigidas geometricamente de acordo com o nível de processamento solicitado por ocasião da aquisição 1B2-G com os pixels da imagem alinhados com a rede de projeção UTM, com os coeficientes de calibração radiométrica e correção geométrica aplicados. Para aumentar a precisão, elas passaram por um processo de refinamento do georreferenciamento. A imagem ALOS multiespectral (10m) foi georreferenciada a partir de coordenadas de pontos conhecidos no mapa cartográfico da região de estudo.

A técnica utilizada foi “image to map” utilizando 20 pontos de controle em cada uma das cenas. A equação de transformação utilizada foi o “polinômio do 1º grau” e o método de reamostragem foi o interpolador “vizinho mais próximo”.

O RMS (erro médio quadrático) obtido no georreferenciamento das imagens ALOS multiespectral foi de 0,77 - 0,8 pixels, ou seja, 7,7 – 8 metros. Segundo Crosta (1992), a margem de erro recomendável é de ± 1 pixel, estando o resultado de acordo com o esperado.

Calibração radiométrica

Os números digitais (DN) em cada banda da ALOS/AVNIR-2 foram convertidos para medidas físicas de radiância do sensor (L). A conversão de DN para valores de radiância absoluta é um procedimento necessário para posteriores processamentos.

Em sensores imageadores, Rahman As-syakur, A. et al. (2010), Chander, G. et al. (2009), Teillet et al. (2001) assumem que a calibração absoluta pode ser descrita por uma equação de ajuste

para cada banda, do tipo:

$$L = DN * \alpha + \beta$$

Sendo L a radiância ($W m^{-2} \mu m^{-1} sr^{-1}$) e DN o número digital que é fornecido aos usuários através da imagem. Os coeficientes de calibração radiométrica α (*gain*) e β (*offset*) que permitem a conversão de um número digital DN em valores de radiância.

As imagens ALOS obtidas em DN foram convertidas para valores de radiância absoluta, utilizando os dados de ganhos e offset para a calibração radiométrica das imagens segundo Bouvet et al. (2007) ver tabela 2.

Tabela 2: Valores dos ganhos utilizados na conversão dos valores de DN da imagem para radiância, adaptado de Bouvet et al. (2007).

Bandas	Gain	Offset
1	0,941	0
2	0,914	0
3	0,804	0
4	0,835	0

Correção atmosférica

Existem vários métodos de correção atmosférica disponíveis, um deles que é de simples aplicação e que tem sido bem-sucedido é a técnica de subtração de objeto escuro (por sua sigla em Inglês Dark Object Subtração) e a Correção Atmosférica Baseada no Algoritmo FLAASH. (ENVI User's Guide: Spectral Tools).

O FLAASH-ENVI (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) é um módulo para correção atmosférica de diversos sensores utilizando o código de transferência radiativa MODTRAN (*Moderate Resolution Atmospheric Radiance and Transmittance Model*) (Adler-Golden, 1999; Berk et al., 2002).

Esta técnica foi utilizada na correção atmosférica do mosaico conformado pelas cenas ALOS do sensor AVNIR-2 obtidas em números digitais (ND) e convertidas a valores de radiância para sua entrada em FLAASH. Foram utilizados os parâmetros encontrados na página do programa ALOS http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/about/about_index.htm e o manual do usuário de ALOS (Jaxa, 2008).

A correção atmosférica do sensor AVNIR-2 baseada no algoritmo FLAASH mostrou-se mais eficiente do que os outros métodos. A imagem resultante da correção atmosférica de saída está em refletância e foi transformada para escala entre 0 e 1.

Equalização e mosaico das imagens

O termo mosaico é um sinônimo de junção de mapas, ou seja, imagens separadas, porém adjacentes que são automaticamente agrupadas em uma única. O produto final do mosaico é uma imagem ou um mapa topologicamente consistente, com continuidade física.

Para as imagens do ALOS que cobrem a bacia de estudo utilizou-se uma área de sobreposição de 20 pixels aproximadamente e o balanceamento automático de cores na área de sobreposição com ajuste e estatística da imagem 2 a imagem 1, minimizando as diferenças na visualização das imagens, com resultados satisfatórios.

Máscara de elementos não desejados

Neste trabalho, devido à presença do mar, nuvens e sombras das nuvens, que podem afetar os resultados da classificação, três máscaras foram criadas. Para executar este procedimento foi utilizada a ferramenta "Density Slice" do ENVI, permitindo realizar uma classificação da imagem ou de cada banda do sensor separada com base na refletância (%).

Processamento

Nesta fase, foram criados índices e aplicadas técnicas para a melhoria e realce da imagem e extração de informações: índice da diferença normalizada de vegetação (NDVI), classificações não supervisionada por diferentes métodos, algoritmo de mínima fração de ruído (MNF), a criação de classes espectrais (ROI) e sua estatística, verificação da separabilidade dos ROI e classificação supervisionada por diferentes métodos.

Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O NDVI foi calculado a fim de compreender o comportamento da vegetação na bacia Chambas e como apoio na seleção de classes (ROI) para a classificação supervisionada. Este índice foi determinado a partir da imagem ALOS do mosaico corrigido atmosféricamente.

O Índice por Diferença Normalizada de Vegetação (NDVI), expressa a força da vegetação ou conteúdo de clorofila a partir das reflectâncias das bandas vermelha (R) e infravermelho próximo (IRC) (bandas 3 e 4 das imagens ALOS), que são integrados a seguinte expressão geral:

$$\text{NDVI} = (\text{IRC} - \text{R}) / (\text{IRC} + \text{R})$$

Classificação

Os métodos de classificação se dividem basicamente em duas categorias: a classificação supervisionada e a não supervisionada. Nesta segunda não há qualquer conhecimento prévio do classificador sobre os atributos das classes pertinentes a cena, enquanto que na classificação supervisionada, o classificador orienta sua busca de classes a partir de amostras de treinamento feitas anteriormente com as classes de interesse da cena.

Foram aplicados ambos métodos de classificação nas imagens do sensor AVNIR-2 para avaliar as condições e as mudanças que ocorrem na bacia Chambas. O princípio de classificação supervisionada é baseado no uso de algoritmos para se determinar os pixels que representam valores de reflexão característicos para uma determinada classe. A classificação supervisionada é a mais utilizada na análise quantitativa dos dados de sensoriamento remoto, de acordo com a Guia do ENVI em 2010.

Pós-Processamento

Nesta fase, foram aplicadas técnicas para melhorar a qualidade de processamento, fazer a verificação dos resultados e a sua conversão e exportação para outros formatos. Dentre as técnicas utilizadas estão: aplicação de filtros, verificação de campo, matriz de erros e validação de matriz dos resultados, exportação dos resultados da classificação para formato vetorial e formato shape e criação do banco de dados de atributos das classes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos através do processamento digital de imagens, na área de estudo foram sistematizados em três etapas buscando uma maior acurácia. Após a aquisição das imagens do satélite ALOS, adquiridas pelo sensor AVNIR-, foi feita a correção geométrica, calibração radiométrica, correção atmosférica, recorte ou redução da dimensionalidade da área, criação de mosaicos e da máscara de objetos indesejados neste caso do mar, nuvens e sombras de nuvens. A partir deste recorte, foram feitas as outras etapas que envolvem o PDI.

Considerou-se importante destacar e cartografar o NDVI da bacia uma vez que este índice representa informação inédita para a região, além de ter sido utilizado como suporte para o mapeamento das categorias de cobertura e uso da terra existentes na bacia. Foram definidos 5 intervalos de NDVI, que resultaram nas classes mostradas na tabela 3 e na figura 2.

Tabela 3: Intervalos de valores de NDVI para a bacia Chambas e seus respectivos tipos de

cobertura e uso da terra.

Intervalos do NDVI	Tipos de coberturas e usos da terra
-0,7118 a -0,1100	Água tanto de mar como em terra (reservatórios, lagoas costeiras, etc.).
-0,1100 a 0,2000	Solo exposto, áreas urbanizadas, areias e rochas expostas, águas com sedimentos e zonas de empréstimo.
0,2000 a 0,4000	Zonas de culturas em fases iniciais de crescimento, pastos cultivados e seminaturais e vegetação esclerofila espinhosa.
0,4000 a 0,5600	Áreas de culturas desenvolvidas, vegetação arbustiva seminatural, mata ciliar degradada, manguezais e arroz.
0,5600 a 0,7607	Floresta semi-decídua densa e degradada, e silviculturas desenvolvidas, vegetação secundária de marabú desenvolvido.

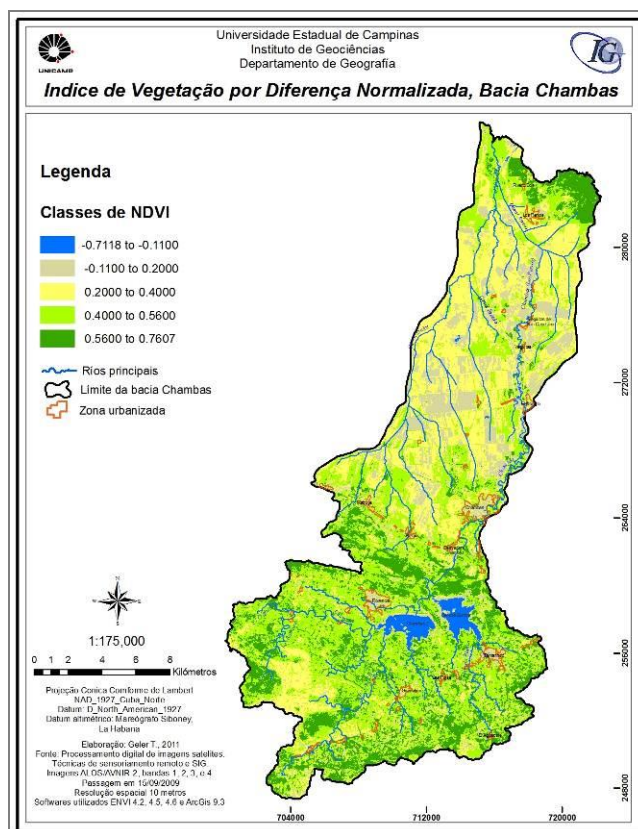


Figura 2: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) da bacia Chambas.

Para determinar a cobertura e uso da terra na bacia Chambas, foram aplicados os métodos de classificação supervisionada e não supervisionada às imagens do sensor AVNIR-2.

Nas classificações não-supervisionadas testou-se os métodos K-means e Isodata. Os melhores resultados foram obtido selecionando-se um intervalo de 5 a 11 classes com 5 interações para cada método. Mesmo assim, estes resultados não foram muito significativos, pois ocorreu uma grande confusão espectral, das áreas urbanas com as regiões de solo exposto e com outras áreas, dentre outras. Além disso, as imagens geradas pelas classificações continham muitos ruídos.

Na classificação supervisionada a definição das categorias de uso e cobertura da terra foi feita com base no sistema de classificação CORINE Land Cover complementada com os tipos de vegetação para Cuba. Após uma análise e interpretação da imagem, utilizando vários algoritmos e técnicas, chegou-se a 11 categorias bem diferenciadas: corpos d'água (reservatórios), lagoas costeiras, manguezais, sistemas agroflorestais, areia, vegetação de arbustos semi-natural, pastos seminaturais e cultivados, mosaicos de culturas, floresta semi-decídua degradadas, floresta semi-decídua densa e solo exposto.

A seleção das amostras de treinamento foi realizada tendo em conta os conhecimentos na

interpretação de imagens de satélite e de campo. Além disso, foram utilizadas outras fontes de informação, tais como mapas cartográficos da região estudada, bem como a análise estatística da imagem e das amostras de treinamento, que ajudaram a avaliar a correspondência entre as classes e as amostras selecionadas.

Para solucionar a confusão espectral, vários testes foram realizados nas amostras de treinamento para determinar a sua separabilidade. Os resultados foram obtidos com 11 classes, como mostrado no histograma das assinaturas espectrais dos ROI (Figura 3).

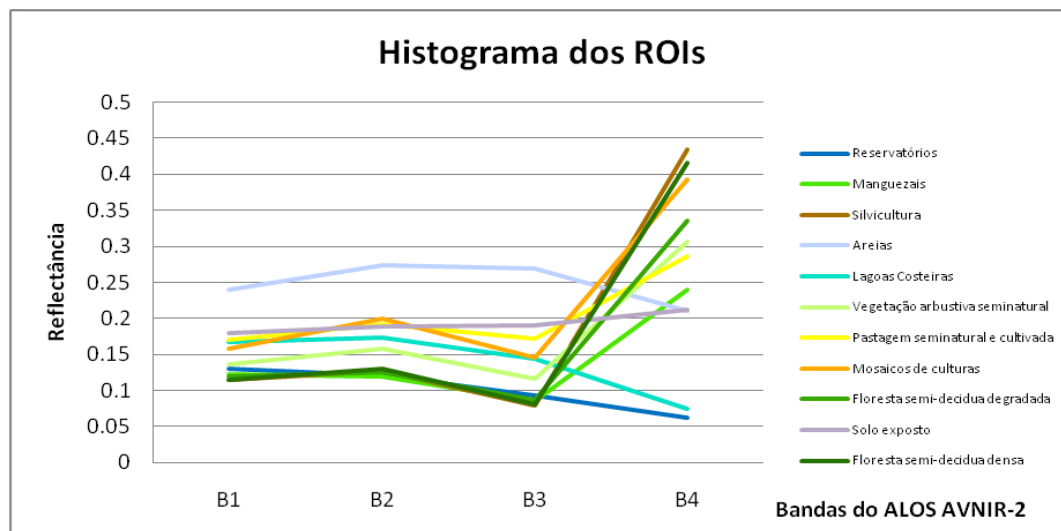


Figura 3: Histograma das amostras de treinamento (ROIs)

Foram utilizados os seguintes métodos de classificação: método paralelepípedo, método distância mínima e o máxima verossimilhança. O método de classificação supervisionada da máxima verossimilhança foi o que produziu os melhores resultados neste trabalho. Os resultados mostram que nem todas as categorias de cobertura e de uso existentes na região de estudo puderam ser diferenciadas. Isso ocorre porque a resposta espectral de determinados objetos é semelhante, gerando um alto grau de confusão entre elas.

Vale ressaltar que foi necessária a utilização de ferramentas de pós-classificação para melhorar o resultado obtido, em que a homogeneização da classificação final foi realizada pela aplicação de um filtro mediana de 3×3 e filtro de análise de maioria (Majority / Minority Analysis), que remove pixels isolados dentro das classes. Esta operação contribui muito para a leitura e compreensão da classificação.

Conjuntamente com o PDI realizou-se a interpretação visual das imagens, realçadas por ampliação linear de contraste da seguinte composição colorida RGB das bandas 432, onde a classe de áreas urbanizadas foi gerada a partir da interpretação visual da imagem, pois não foi possível diferenciá-la da classe solo exposto devido à grande confusão entre elas. Posteriormente ela foi incorporada por meio de vetorização e edição em ambiente SIG, gerandose um mapa tematico com um total de 12 categorias de uso e cobertura da bacia Chambas (Figura 4a).

O mapa temático resultante da classificação foi comprovado com a verdade de campo, para o qual se conformaram dos mapas personalizados com o sistema de coordenadas utilizadas em Cuba, a legenda, a escala e o limite da bacia Chambas: a carta-imagem com o mosaico das Imagens do satélite ALOS do sensor AVNIR-2 e o mapa de cobertura e uso da terra da bacia Chambas com 12 classes espectrais (Figuras 4a e 4b). A carta-imagem foi confeccionada com o mosaico das imagens ALOS com composição colorida RGB das bandas 321 (cor verdadeira) e a integração dos elementos cartográficos e a informação necessária para a orientação do trabalho de campo em ambiente SIG.

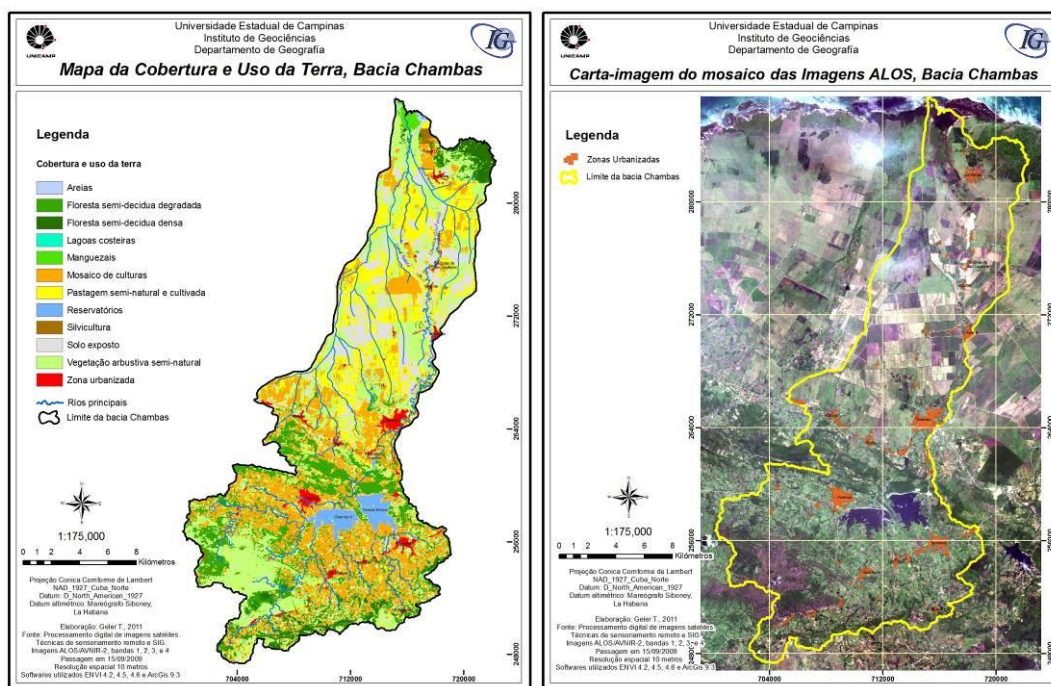


Figura 4: a) Mapa de cobertura e uso da terra obtido no procesamento digital de imagem e b) Carta-imagem do mosaico das imagens ALOS, bacia Chambeas.

Durante o percurso realizado na área de estudo foram visitados 60 pontos de controle, estabelecidos a partir das diferenças no uso da terra e principalmente dos tipos de solo. Para cada um foram medidas as coordenadas com dispositivo GPS configurado para a Projeção Cônica Conforme de Lambert utilizada em Cuba, com datum Cuba_Norte NAD 27.

Após a verificação da verdade terrestre em campo foi feita a edição final do mapa de cobertura e uso da terra na bacia Chambeas. Isto permitiu acrescentar o número de classes determinadas a partir dos resultados de classificação das imagens de sensoriamento remoto e, em outros casos permitiu a alteração de uma classe para outra (Tabela 4).

Tabela 4: Classes de cobertura e uso da terra, da bacia Chambeas.

No. de Classes	Nome da classe de cobertura/uso	Área (ha)	Área (%)
1	Silvicultura	26,36	0,07
2	Zona de empréstimo	22,19	0,06
3	Zona urbanizada	749,76	1,95
4	Arroz	793,01	2,06
5	Floresta semi-decídua degradada	5.083,93	13,20
6	Floresta semi-decídua densa	1.212,50	3,15
7	Cana de açúcar	7.190,90	18,67
8	Reservatórios	900,43	2,34
9	Lagoas costeiras	11,38	0,03
10	Manguezais	179,77	0,47
11	Vegetação secundaria (Marabú)	70,70	0,18
12	Mosaico de culturas	7.660,90	19,89
13	Pastagem semi-natural e cultivada	3.345,13	8,68
14	Apicum	32,43	0,08

15	Solo exposto	2.000,78	5,19
16	Vegetação arbustiva semi-natural	6.306,39	16,37
17	Vegetação esclerófila e espinhosa (Cuabal)	2.222,29	5,77
18	Tabaco	715,05	1,86
	TOTAL	38.523,90	100,00

A padronização dos objetos/classes na imagem correspondente à área de estudo permitiu a identificação e classificação de 18 categorias de cobertura e uso da terra na bacia do rio Chambas do ano 2009: silvicultura, zona de empréstimo, zona urbanizada, arroz, floresta semi-decídua degradada, floresta semi-decídua densa, cana de açúcar, reservatórios, lagoas costeiras, manguezais, vegetação secundária (Marabú), mosaico de culturas, pastagem semi-natural e cultivada, apicum, solo exposto, vegetação arbustiva semi-natural, vegetação esclerófila e espinhosa (Cuabal) e tabaco. Estas foram representadas espacialmente no mapa de cobertura e uso da terra da bacia Chambas, conforme figura 5.

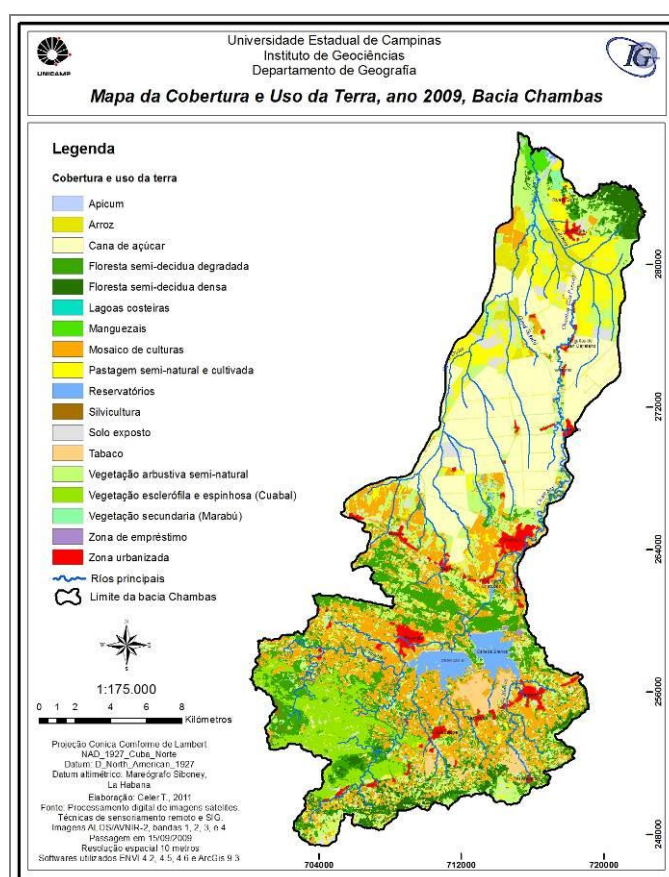


Figura 5: Mapa da cobertura e uso da terra na bacia Chambas, do ano 2009.

Finalmente a distribuição das classes de cobertura e uso da terra e a porcentagem das áreas representadas na bacia Chambas mostrou um predomínio das classes de mosaico de culturas na parte média e superior e da cana de açúcar na parte baixa da bacia, conforme se observa na figuras 5 e 6.

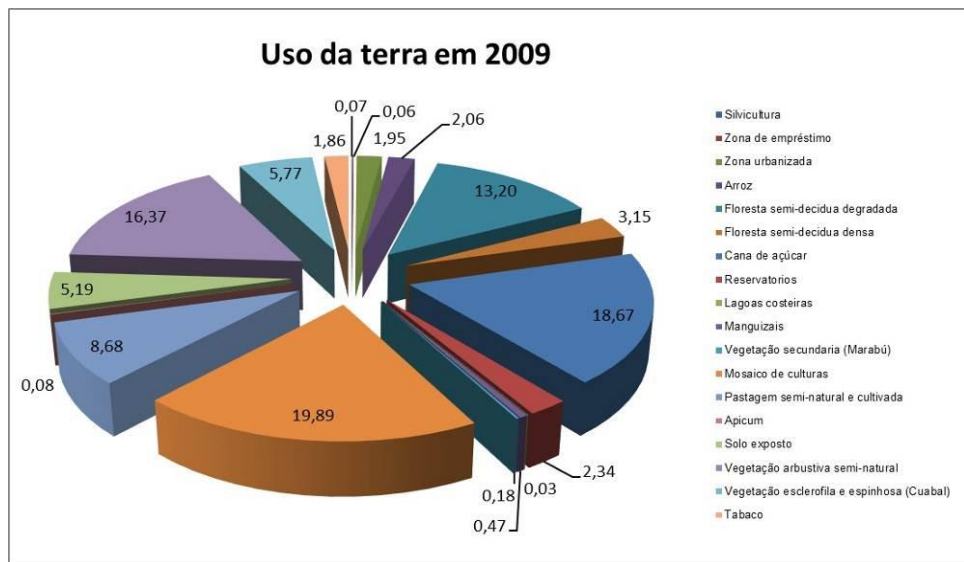


Figura 6: Porcentagem de ocupação e uso da terra na bacia Chambas do ano 2009.

CONCLUSÕES

O uso de técnicas de processamento de imagens de sensoriamento remoto contribuiu para a compreensão e monitoramento do espaço geográfico. Estas técnicas de mapeamento são de fundamental importância para a definição das políticas de planejamento do uso do solo, independentemente da escala, proporcionando um apoio importante para o monitoramento dos recursos naturais.

Foi desenvolvido um sistema de classificação baseado em conceitos e sistemas utilizados em outros países, o qual foi empregado para definir a cobertura e uso da terra da área de estudo de acordo com as necessidades específicas de qualquer usuário em aplicações de mapeamento, independente da escala e fontes dos dados utilizados. Este sistema abrange todos os tipos existentes de cobertura da área de estudo, com um número adequado de classes, é totalmente hierárquico e pode ser usado em múltiplas escalas.

A padronização dos objetos/classes correspondente à área de estudo permitiu a identificação de 18 categorias diferentes de cobertura e uso da terra na bacia do rio Chambas e a sua cartografia detalhada com uma resolução espacial de 10 m. Observando-se uma prevalência das áreas de cana de açúcar e mosaicos de cultivos para 38,56% da área total.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho só foi possível graças ao apoio das seguintes instituições e pessoas, para quem agradeço: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado, Instituto de Geociências, UNICAMP, Fundo de Apoio ao Ensino, à Pesquisa e à Extensão da UNICAMP (FAEPEX), pela ajuda financeira para o trabalho de campo.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J. R., E. F. HARDY, J. T. ROACH, AND R. E. WITMER. A land-use classification system for use with remote sensing data (revised). Geological Survey Professional Paper 964, 1976.
- BOSSARD, M., FERANEC, J. AND OTAHEL, J. Corine land cover technical guide - Adendum 2000. EEA, Copenhagen. 2000.
- BOUVET, M., GORYL, P., CHANDER, G., SANTER, R. & SAUNIER, S. Preliminary radiometric calibration assessment of ALOS AVNIR-2. Geoscience and Remote Sensing

- Symposium, 2007. IGARSS 2007. IEEE International, 2673-2676, 2007.
- CAPOTE, RENÉ PABLO Y R. BERAZAÍN. Clasificación de las Formaciones Vegetales de Cuba. *Rev. Jardín Bot. Nac.* V(2): 27-75. 1984.
- CHANDER, G., MARKHAM, B.L., HELDER, D.L. Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113 (2009) 893–903, 2009.
- CRÓSTA, A. P. *Processamento Digital de Imagem de Sensoriamento Remoto*. Campinas São Paulo: IG/UNICAMP, 1993.
- CROSS (Online Satellite Images Search & Order System) Disponível em: <https://cross.restec.or.jp/cross/jsp/indexEn.html>. Acesso em: 30 de outubro de 2009.
- DI GREGORIO, A. & L. JANSEN. *Land Cover Classification System: Classification concepts and User Manual*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1998. ISBN:92-5-10421. 1998.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), *Manual técnico de uso da Terra*. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006.
- JAXA. *ALOS Data Users Handbook*. Revision C. Earth Observation Research and Application Center Japan, Aerospace Exploration Agency. March 2008.
- LILLESAND, T. KIEFER, R. & CHIPMAN, J. *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons, Fifth Edition, 2004, 763 pag. ISBN 0-471-15227-7.
- PONVERT-DELISLES DÁMASO R. *Leyenda de categorías de ocupación del suelo para Cuba, una herramienta imprescindible para abordar la cartografía de las coberturas terrestres por teledetección*. III CONGRESO NACIONAL GEOMÁTICA. 2002.
- RAHMAN AS-SYAKUR, A. et al. Medium Spatial Resolution Satellite Imagery to Estimate Gross Primary Production in an Urban Area. *Remote Sensing* 2010, 2, ISSN 2072-4292, 1496-1507. 2010. Disponível em: www.mdpi.com/journal/remotesensing Acesso em: 22 de Março de 2011.
- SULSOFT. *Guia do ENVI em Português*, 2010: Disponível em: www.Sulsoft.com.br
- TEILLET, P. M., BARKER, J. L., MARKHAM, B. L., IRISH, R. R., FEDOSEJEVS, G., STOREY, J. C. Radiometric cross-calibration of the Landsat-7 ETM+ and Landsat-5 TM sensors based on tandem data sets. *Remote Sensing of Environment*, v. 78, p. 39– 54, 2001a.
- XIAONING GONG, LARS GUNNAR MARKLUND, AND SACHIKO TSUJI. *Land Use Classification. Proposed to Be Used in the System of Integrated Environmental and Economic Accounting (SEEA)*. (Draft Version). FAO. 2009.