



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**Instituto de Geociências**

**Análise de Imagens do Satélite ALOS PALSAR (Banda  
L, Modo Polarimétrico) para Discriminação de  
Coberturas de Terras do Distrito Federal**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ELAINE MARRA DOS SANTOS**

**Brasília-DF**  
**Março 2009**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**Instituto de Geociências**

**Análise de Imagens do Satélite ALOS PALSAR (Banda  
L, Modo Polarimétrico) para Discriminação de  
Coberturas de Terras do Distrito Federal**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ELAINE MARRA DOS SANTOS**

**Orientador:**

Dr. Edson Eyji Sano

**Examinadores:**

Dr. Paulo Roberto Meneses (interno)

Dra. Joselisa Maria Chaves (externo, UEFS)

**Brasília-DF**  
**Março 2009**

Dissertação a ser submetida ao Instituto de Geociências,  
Departamento de Geologia Geral e Aplicada da Universidade de  
Brasília, em cumprimento a requisito parcial para obtenção do Título  
de Mestre em Geologia.

**Autora:**

Elaine Marra dos Santos

**Banca Examinadora:**

Dr. Edson Eyji Sano

---

Orientador

Dr. Paulo Roberto Meneses

---

Membro da Banca

Dra. Joselisa Maria Chaves

---

UEFS / Membro da Banca

**Brasília-DF**  
**Março 2009**

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho especialmente a minha  
filha Tamires que eu amo muito.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiro a Deus pela força espiritual que me faz percorrer por caminhos que eu jamais pensei em trilhar.

O meu agradecimento muitíssimo especial ao orientador e inestimável amigo Dr. Edson Eyji Sano, não apenas pela orientação, mas principalmente pela paciência e dedicação prestada.

Agradeço ao Prof. Dr. Paulo Roberto Meneses, por suas valiosas aulas que me serviram de base para a realização deste trabalho.

Agradeço à Dra. Joselisa Maria Chaves, por ter aceito o convite de fazer parte desta banca.

Ao corpo docente do Instituto de Geociências e a todos os funcionários da Universidade de Brasília, por me tratarem com carinho, educação e presteza.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo subsídio de uma parte considerável dos meus estudos no mestrado, ressalto que esse apoio financeiro foi significativo para o desenvolvimento deste curso e conseguinte desta pesquisa.

A todos os amigos do Laboratório de Biofísica Ambiental da EMBRAPA CERRADOS pelo apoio prestado de forma direta ou indireta. Agradeço especialmente ao Heleno Bezerra e a Allana de Oliveira, pela importante contribuição na realização do trabalho de campo e a colega e amiga Thaise Sussane pelo auxílio concreto em várias etapas deste trabalho. Grata também a Marina Villela por ter me ajudado na acurácia dos meus dados.

O meu carinho e agradecimento especialíssimo a minha família, principalmente à minha querida filha Tamires, pelo amor e compreensão em todos os momentos. À minha mãe, Maria Marra, por me ensinar com sabedoria e simplicidade valores de conduta que servem de base para todas as etapas da

minha vida. Aos meus irmãos William, M<sup>a</sup> Aparecida, Elizabeth, Lúcia, Luciano e Sandra, por todo apoio e incentivo.

E finalmente, grata a todos os amigos e colegas que mesmo não me ajudando de forma efetiva torceram e acreditaram no meu trabalho.

## SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.1 – Justificativa .....	1
1.2 – Objetivos.....	2
1.3 – Estrutura da Dissertação.....	3
CAPÍTULO 2 – ÁREA DE ESTUDO.....	4
CAPÍTULO 3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
3.1 – Cobertura e Uso da Terra.....	10
3.2 – Fundamentos de RADAR.....	11
3.2.1 – Radares de Abertura Sintética.....	12
3.2.2 – Distorções e Ruídos.....	15
3.2.3 – Parâmetros de Imageamento.....	17
3.2.4 – Características dos Alvos.....	19
3.3 – O Sistema ALOS/PALSAR.....	22
CAPÍTULO 4 – APLICAÇÕES NO DISTRITO FEDERAL.....	25
4.1 – Materiais e Método.....	25
4.2 – Resultados e discussão.....	29
CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
ANEXO A.....	45
ANEXO B.....	51

## LISTA DE TABELAS

	Pág.
2.1 – Médias mensais históricas de precipitação e temperatura do Distrito Federal, baseadas no registro da estação meteorológica automática da Embrapa Cerrados, localizada na região administrativa de Planaltina .....	6
2.2 – Classes de solos encontrados na área de estudo com seus respectivos cálculos de área e porcentagem .....	7
3.1 – Denominações das bandas espectrais dos sensores de radar com os seus respectivos comprimentos de onda .....	18
3.2 – Características de imageamento do satélite ALOS PALSAR .....	24
4.1 – Classificação visual x verdade de campo.....	36
4.2 – Matriz de erros de mapeamento de cobertura de terras da área de estudo.....	36

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
2.1 – Localização da imagem do satélite ALOS PALSAR (área de estudo) no Distrito Federal. Os polígonos representam as diferentes regiões administrativas do Distrito Federal .....	5
2.2 – Mapa de solos da área de estudo, mostrando as duas unidades mais representativas (Latosolos e Cambissolos) .....	8
2.3 – Mapa geomorfológico da área de estudo .....	9
3.1 – Processo de aquisição de imagens por um sistema imageador de abertura sintética a bordo de uma aeronave .....	13
3.2 – Geometria de imageamento de sistemas de radar ( $\theta$ = ângulo de incidência ou de visada) .....	14
3.3 – Ilustração esquemática das distorções geométricas em imagens de radar conhecidas como encurtamento de rampa (a) e inversão de relevo (b) .....	15
3.4 – Efeitos construtivos e destrutivos de fase na formação de uma imagem de radar devido a espalhamentos múltiplos provenientes de uma mesma célula de resolução .....	17
3.5 – Energia transmitida e recebida por uma antena de radar nos modos de polarizações VV (a) e HH (b) .....	19
3.6 – Fotografia de campo mostrando um aparelho (rugosímetro) para medir a rugosidade do terreno. A fotografia mostra a rugosidade sobre um terreno com sulcos de plantio, numa área agrícola com restos de cultura de algodão em Phoenix, Arizona .....	21

4.1 – Imagem ALOS/PALSAR composição colorida (RGB / HH, HV e VV) .....	27
4.2 – Localização dos pontos do trabalho de campo .....	28
4.3 – Valores médios de coeficientes de retroespalhamento (dB) de 10 classes de cobertura de terras representativas do Distrito Federal nas polarizações HH, HV e VV da imagem ALOS PALSAR, modo polarimétrico, de 25 de abril de 2007 .....	30
4.4 – Dendrograma obtido da análise de agrupamento hierárquico utilizando como variáveis as polarizações HH, HV e VV do satélite ALOS PALSAR do Distrito Federal .....	31
4.5 – Chave de interpretação construída com base na análise visual de composição colorida RGB/HH-HV-VV da imagem ALOS PALSAR da área de estudo e envolvendo as seguintes categorias de cobertura de terras .....	32
4.6 – Mapa de cobertura de terras representativas da área de estudo.	34

## RESUMO

Mapas de cobertura de terras são importantes fontes de dados para monitoramentos ambientais, preservação da biodiversidade, zoneamentos sócio-econômico e ambiental e monitoramento de mudanças climáticas locais e globais, dentre outras atividades. No Distrito Federal (DF), os mapeamentos de cobertura de terras têm sido realizados com base em imagens ópticas. No entanto, imagens de radar constituem-se em uma alternativa viável às imagens ópticas, pois independem das condições de iluminação solar, podem atravessar nuvens e fumaças e podem detectar diferenças nas estruturas da vegetação. O objetivo deste estudo é analisar o potencial das imagens de radar adquiridas pelo satélite ALOS PALSAR para o mapeamento de cobertura de terras. Uma imagem de 25 de abril de 2007 (banda L, polarizações HH, HV e VV, final da estação chuvosa) de parte do DF foi convertida para coeficientes de retroespalhamento ( $\sigma^0$ ) e processada por meio da técnica de segmentação por crescimento de regiões. Valores de  $\sigma^0$  foram analisados estatisticamente por meio de *cluster analysis*. Os segmentos foram convertidos para o formato *shape* e mapeados visualmente na tela do monitor de computador, com suporte de um pacote de programas de sistema de informações geográficas, em uma escala de mapeamento compatível com 1:100.000. As seguintes classes temáticas foram consideradas: Áreas Urbanas consolidadas, Áreas Urbanas em consolidação, Culturas Agrícolas, Pastagens Cultivadas, Reflorestamento, Campos, Cerrado Típico, Matas de Galeria, Matas Indiscriminadas e Reservatórios. A exatidão de mapeamento, fornecido pelo índice kappa e calculado a partir da verificação de 86 pontos em campo, foi de 0,69.

## ABSTRACT

Land cover maps are important source of data for environmental monitoring, biodiversity conservation, social, economic and environmental zoning, and local and global climatic changes, among other activities. In the Federal District of Brazil (FD), land cover mappings have been obtained from optical images. However, radar data are valuable alternative for the optical remote sensing since they are independent of solar illumination, can penetrate clouds and smokes and can depict differences in canopy structures. The goal of this study is to analyze the potential of ALOS PALSAR radar data for land cover mapping. A scene covering part of FD, obtained in April 25<sup>th</sup>, 2007 (L-band, HH, HV and VV polarizations, end of wet season) was converted into backscattering coefficients ( $\sigma^\circ$ ) and processed through the image segmentation technique by growing region. Values of  $\sigma^\circ$  were analyzed with the support of *cluster analysis*. The segments were converted into shape format and mapped visually in the computer screen using a geographical information system software package, in a 1:100,000 mapping scale. The following thematic classes were considered: consolidated urban areas, urban areas in consolidation, croplands, planted pasturelands, reforestations, grasslands, shrub Cerrado, gallery forests, indiscriminated forests and reservoirs. The accuracy of the final map, provided by the kappa index and obtained from 86 field checking points, was 0.69.

# CAPÍTULO 1

## CONSIDERAÇÕES INICIAIS

### 1.1 – Justificativa

Imagens de satélite são amplamente utilizadas na elaboração de mapas de cobertura vegetal natural e antrópica (e.g., Maeda et al., 2008; Sano et al., 2008; Shimabukuro et al., 2008). Atualmente, existem diversas opções de sensores orbitais que adquirem imagens da superfície terrestre em diferentes resoluções espectrais, espaciais e temporais. Os mais utilizados para o mapeamento de recursos terrestres e monitoramento da dinâmica de ocupação das terras, dentre outras aplicações, são os sensores ópticos, que operam nas faixas espectrais do visível e do infravermelho. Estes são os casos, por exemplo, do satélite IKONOS, que opera com quatro bandas no modo multiespectral com resolução espacial de 4 metros e uma banda no modo pancromático com resolução espacial de 1 metro (Wang e Ellis, 2005), do CBERS-2 CCD (*Charge Coupled Device*), que opera com cinco bandas espectrais e resolução espacial de 20 metros (Epiphany, 2005) e do Terra/MODIS, que opera com 36 bandas espectrais e resolução espacial de 100 metros (Justice et al., 2002).

No entanto, por operarem com comprimentos de onda relativamente pequenos, da ordem de micrometros ( $\mu\text{m} = 10^{-6}$  metros), a obtenção de imagens ópticas é dependente da ausência de nuvens ou de fumaças durante a passagem dos satélites e, por se tratar de sensores passivos (sensores que dependem de uma fonte externa de radiação eletromagnética (REM), que quase sempre é o Sol), sofrem ainda interferência das condições de iluminação solar (Meneses, 2001).

Os sensores ativos que operam na faixa espectral de microondas possuem capacidade de imageamento independentemente da presença de nuvens e também a qualquer hora do dia ou da noite, pois possuem fonte própria de REM (Raney, 1998). Estes sensores são conhecidos como radares de abertura sintética (SAR – *Synthetic Aperture Radar*). Três exemplos de

satélites de recursos terrestres que transportam sensores de radar são o canadense RADARSAT-2 (CCRS, 2008), o europeu ENVISAT ASAR (ENVISAT, 2008) e o japonês ALOS PALSAR (Igarashi, 2001). Tais sensores constituem-se na segunda geração de radares de abertura sintética, pois possuem capacidade de imageamento com múltipla polarização (HH, VV, VH e VH; H = polarização horizontal; V = polarização vertical; 1ª letra = radiação emitida; 2ª letra = radiação recebida).

No Distrito Federal (DF), ainda não existe nenhuma pesquisa com estas imagens de radar e que tenha avaliado a real capacidade de discriminar classes representativas de cobertura da terra desta unidade federativa. Trabalhos anteriores utilizaram imagens com uma única polarização. Por exemplo, Sano et al. (2005a) compararam o desempenho de imagens do satélite JERS-1 SAR do DF (banda L, comprimento de onda de 23 centímetros e polarização HH) em relação a dois índices de vegetação (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index* e EVI – *Enhanced Vegetation Index*) para discriminar as principais fitofisionomias de Cerrado do Parque Nacional de Brasília.

## **1.2 – Objetivos**

O objetivo principal deste estudo é analisar o potencial dos dados do satélite ALOS PALSAR (banda L, polarizações HH, HV e VV) para discriminar classes de cobertura de terras mais representativas do DF. Como objetivos específicos, têm-se:

- a) produzir, por meio da técnica de segmentação de imagens por crescimento de regiões e seguida de análise visual no monitor do computador, um mapa de cobertura de terras de parte do DF coberta por uma cena do ALOS PALSAR; e

- b) analisar, por meio de ferramentas estatísticas, o desempenho das polarizações HH, VV, HV na discriminação de classes representativas de cobertura de terras do DF.

### **1.3 – Estrutura da dissertação**

Na parte inicial desta dissertação, são apresentadas a justificativa do trabalho e os objetivos principal e específicos (Capítulo 1). A seguir, ênfase é dada para uma breve descrição da área de estudo (Capítulo 2). As revisões bibliográficas abordando cobertura e uso da terra e fundamentos teóricos de radar são apresentadas no Capítulo 3. A metodologia desta pesquisa é destacada no Capítulo 4 e, no Capítulo 5, são mostrados os principais resultados obtidos. O Capítulo 6 apresenta as considerações finais desta pesquisa.

## **CAPÍTULO 2**

### **ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo correspondeu à parte centro-sul do DF (~ 42% da área total desta unidade federativa) que foi coberta pela imagem do ALOS PALSAR de 25 de abril de 2007 (Figura 2.1). Na porção norte desta cena, aparece uma parte do Parque Nacional de Brasília (~ 10% do parque; área total do parque = 30.000 hectares), que engloba formações campestres e savânicas típicas do bioma Cerrado. As formações florestais ocorrem principalmente em relevos acidentados (interflúvios) dos extremos norte e sul da imagem e são constituídas por Cerrado Denso, Cerradão e Mata Seca, esta última associada a formações calcárias do Grupo Paranoá. Áreas urbanas são encontradas principalmente na porção central da imagem, enquanto que as áreas agrícolas aparecem nas porções leste e sudeste da imagem. Na porção central e no noroeste da imagem, destacam-se ainda o lago Paranoá (área de ~ 37,35 km<sup>2</sup>) e a represa de Santa Maria (área de ~ 7,58 km<sup>2</sup>), dois lagos artificiais que são utilizados para abastecimento, recreação, esporte e lazer. O lago Paranoá foi construído ainda para aumentar a umidade relativa do ar do DF e entorno, principalmente na estação seca.

O DF foi selecionado como área de estudo por apresentar extensas áreas de Cerrado protegidas por lei (por exemplo, Parque Nacional de Brasília e Reserva Ecológica de Águas Emendadas), grande número de áreas urbanas consolidadas ou em consolidação (Araújo Filho et al., 2007) e extensas áreas agrícolas na porção leste, mais especificamente, na região conhecida como PAD-DF (Plano de Assentamento Dirigido do Distrito Federal). Somam-se a esses fatos, a ampla disponibilidade de materiais cartográficos em diversas escalas, além dos conhecimentos prévios de campo da autora, adquiridos por meio de várias campanhas de campo durante o curso de graduação e como bolsista do CNPq nos últimos oito anos.

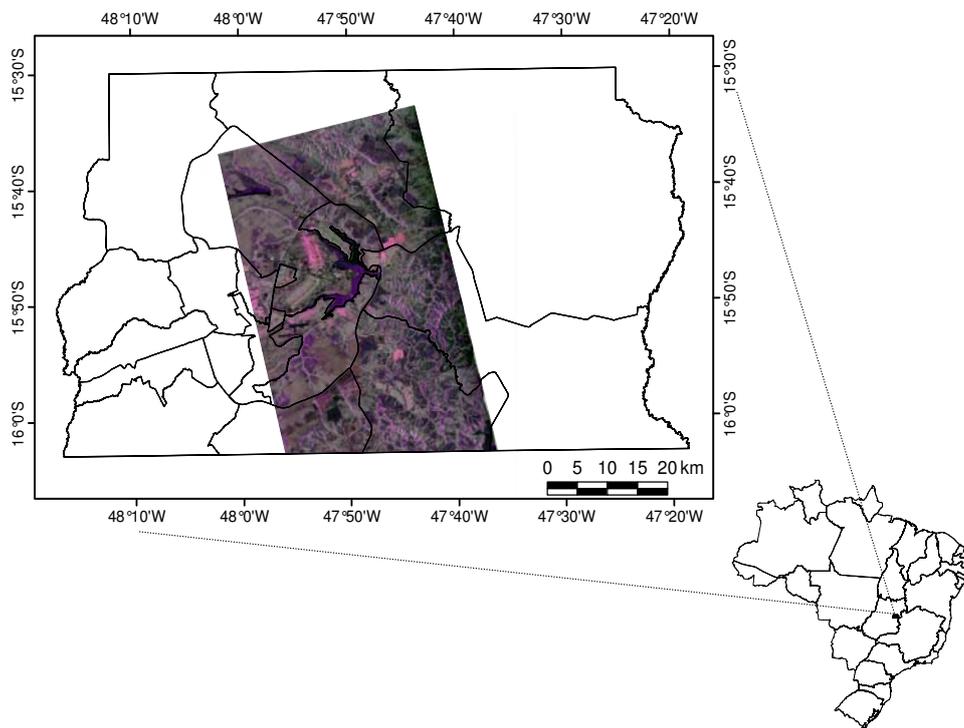


Figura 2.1 – Localização da imagem do satélite ALOS PALSAR (área de estudo) no Distrito Federal. Os polígonos representam as diferentes regiões administrativas do Distrito Federal.

O DF ocupa uma área de 5.802 km<sup>2</sup> no Planalto Central do Brasil, entre as latitudes 15° 30' S e 16° 03' S. A leste, é delimitada pelo rio Preto e a oeste, pelo rio Descoberto, aproximadamente entre as longitudes 47° 25' W e 48° 12' W. A contagem da população, no ano de 2007, foi de 2.455.903 habitantes (IBGE, 2007). O clima é o tropical de altitude, com verão chuvoso e inverno seco (Nimer, 1989). A série histórica de precipitação registrada pela estação meteorológica automática da Embrapa Cerrados, localizada na região administrativa de Planaltina/DF (latitude sul: 15,35°; longitude oeste: 47,42°; período: 1974-2007) indica uma precipitação média anual de 1.409 mm (Tabela 2.1). O período mais chuvoso corresponde aos meses de outubro a março (total de 1.195 mm), enquanto o período seco ocorre de abril a setembro (177 mm). Nos meses de julho e agosto, a média de dias com chuva não excede a dois dias. Em termos de temperatura do ar, os valores são bem mais

homogêneos durante o ano, variando de 19,8 °C a 23,3 °C em julho e outubro, respectivamente.

Tabela 2.1 – Médias mensais históricas de precipitação e temperatura da estação meteorológica automática da Embrapa Cerrados, localizada na região administrativa de Planaltina/DF.

Mês	Precipitação		Temperatura (°C)		
	Altura (mm)	Número de dias	Máxima	Mínima	Média
Janeiro	247,3	20	27,4	17,8	22,3
Fevereiro	187,1	16	27,8	17,8	22,7
Março	219,6	18	27,8	17,8	22,5
Abril	91,4	10	27,7	17,2	22,3
Mai	24,6	4	27,1	15,4	21,1
Junho	4,6	4	26,4	13,7	19,9
Julho	4,8	1	26,0	13,3	19,8
Agosto	13,9	2	28,3	14,9	21,5
Setembro	37,8	5	29,5	17,0	23,0
Outubro	130,7	13	29,2	17,8	23,3
Novembro	183,0	19	27,7	17,8	22,4
Dezembro	227,5	22	27,2	17,9	22,2
TOTAL/MÉDIA	1409,2	11	27,6	16,5	21,9

De acordo com Reatto et al. (2004), os tipos de solos mais representativos do DF são os Latossolos e os Cambissolos, os quais ocupam aproximadamente 55% e 30% do DF, respectivamente. Na área de estudo propriamente dita, este predomínio foi mantido (Tabela 2.2 e Figura 2.2). Os Latossolos e os Cambissolos ocupam, respectivamente, 51% e 41% da área coberta pela imagem do ALOS/PALSAR.

Segundo Prado (1995), os Latossolos ocorrem principalmente em relevos residuais de superfícies de aplainamento, planos ou suavemente ondulados, conhecidos regionalmente como chapadas. Cambissolos, por sua vez, aparecem em relevos predominantemente ondulados, fortemente ondulados ou montanhosos, principalmente em terraços aluviais. O alto teor de silte nos Cambissolos e a pouca profundidade fazem com que estes solos

tenham permeabilidade muito baixa. Os Cambissolos devem ser preferencialmente destinados à preservação permanente, pois eles se encontram em relevos mais íngremes (Reatto et al., 2004).

Tabela 2.2 – Classes de solos encontrados na área de estudo com seus respectivos cálculos de área e porcentagem.

Classes	Área (ha)	Porcentagem (%)
Chernossolo	123	0,1
Espodossolo	493	0,3
Plintossolo	563	0,4
Argissolo Vermelho-Amarelo	655	0,4
Neossolo Quartzarênico	1.077	0,7
Argissolo Vermelho	1.290	0,8
Nitossolo Vermelho	1.935	1,2
Solos Hidromórficos Indiscriminados	6.100	3,9
Latossolo Vermelho-Amarelo	30.318	19,3
Latossolo Vermelho	49.808	31,7
Cambissolo	64.589	41,2
TOTAL	156.951	100

Em termos geomorfológicos, predominam na área de estudo, os relevos dissecado, colinas e padrão aplainado superior, com 33%, 44% e 55%, respectivamente (Figura 2.3). O padrão aplainado superior caracteriza-se por topografia plana e plana ondulada, localizada em cotas superiores a 1.000 metros (Steinke, 2003). As colinas constituem-se nos divisores de água das grandes bacias hidrográficas do Distrito Federal. O relevo dissecado caracteriza-se pelo aprofundamento de talwegues dos rios, topografia acidentada e encostas de perfil convexo-côncavo ou complexo (Steinke, 2003). Segundo este autor, outras características desta unidade são as amplitudes altimétricas elevadas e alto índice de dissecação do relevo.

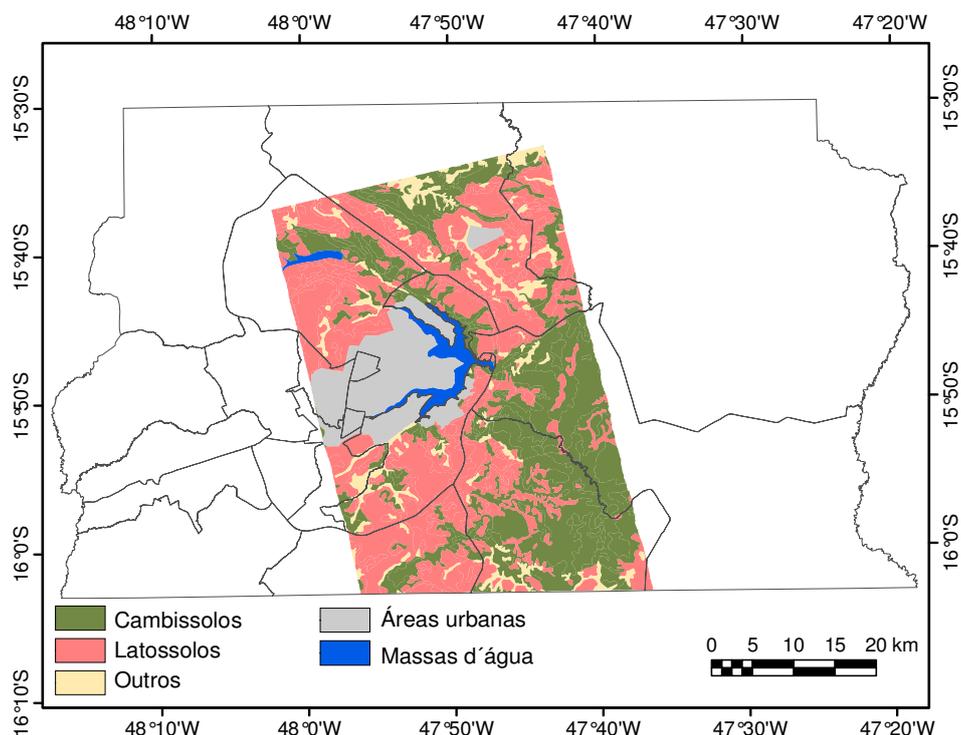


Figura 2.2 – Mapa de solos da área de estudo, mostrando as duas unidades mais representativas (Latosolos e Cambissolos). Fonte: Reatto et al. (2004).

A acentuada dinâmica de uso e ocupação urbana e agrícola é uma característica marcante do DF. As maiores partes das culturas agrícolas são de sequeiro, desenvolvidas durante o período chuvoso (plantios de novembro a dezembro). Predominam as culturas de soja, milho e feijão (IBGE, 2007), embora, ultimamente, alguns produtores estejam investindo em algodão, devido ao seu elevado valor comercial, e em sorgo, utilizado como adubo verde. Durante a seca, entram em funcionamento os diversos sistemas de irrigação por pivô-central e por aspersão [Sano et al. (2005b) identificaram 104 áreas com pivôs-centrais no DF em 2002]. Em termos de pastagens, segundo o Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1997), existiam cerca de 60.000 hectares de pastagens cultivadas e 30.000 hectares de pastagens nativas no DF. As áreas urbanas do DF são formadas por Brasília e cidades-satélites como Taguatinga, Ceilândia, Sobradinho e Brazlândia, espalhadas por todo o DF. Araújo Filho et al. (2007) destacaram que o padrão espacial de áreas urbanas do DF é diferente da maioria das

outras cidades brasileiras. No DF, as áreas com maior densidade populacional, ao invés de estarem localizadas no centro das cidades, são encontradas nos “novos assentamentos”, construídos nos últimos vinte anos e ocupados pela população de renda mais baixa. As áreas de baixa densidade residencial estão relacionadas com os assentamentos mais antigos e os seus habitantes possuem poder aquisitivo relativamente elevado.

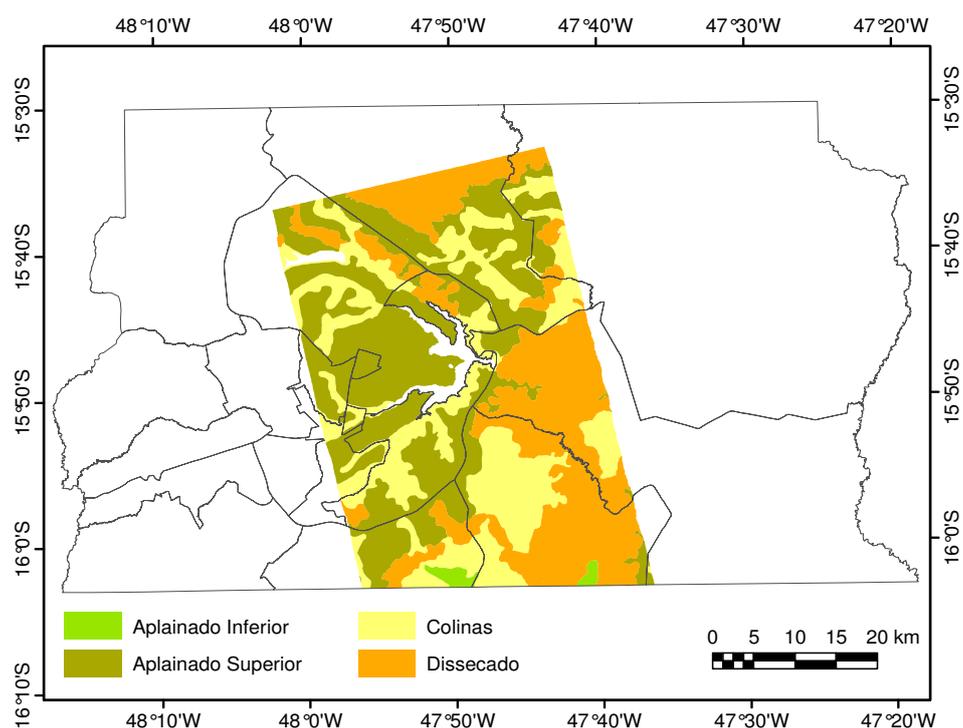


Figura 2.3 – Mapa geomorfológico da área de estudo. Fonte: Steinke (2003).

## **CAPÍTULO 3**

### **REVISÃO BIBLIOGRAFICA**

#### **3.1 – Cobertura e uso da terra**

Desde os primórdios, a humanidade atua como um agente ativo na transformação do espaço. A intensa exploração dos recursos naturais tem sido responsável pelas principais mudanças na dinâmica da cobertura e uso da terra. Os conceitos atribuídos à cobertura e ao uso da terra normalmente causam confusão, embora estes termos possuam significados bem distintos. Cobertura da terra diz respeito a todas as feições da superfície terrestre, sejam elas naturais, antrópicas ou massas d'água. Uso da terra envolve atividade humana e está diretamente relacionado com o tipo de revestimento do solo, seja ele agrícola, residencial ou industrial.

De acordo com IBGE (2006), entende-se por levantamento, o conjunto de operações necessárias à elaboração de uma pesquisa temática que pode ser sintetizada através de mapas. O levantamento de uso e da cobertura da terra indica a distribuição geográfica da tipologia de uso, identificada através de padrões homogêneos da cobertura terrestre. Para monitorar as mudanças espaciais de extensas áreas com maior rapidez e precisão, recomenda-se o uso de sensores imageadores.

O primeiro satélite com finalidade de monitorar recursos terrestres foi o Landsat-1, lançado em 1972. O desenvolvimento de sistemas sensores e de técnicas de processamento de imagens foi um marco importante do sensoriamento remoto moderno. Os novos recursos tecnológicos, ao enfatizarem a riqueza de informações do uso da terra e a subjetividade da sua apreensão por diferentes abordagens, mostraram que os estudos do uso da terra devem ser fundamentados em sólidas bases teórica, conceitual e metodológica. Torna-se, portanto, relevante revelar os paradigmas que orientam um levantamento de uso da terra (Silva, 1995).

No DF, pesquisas de discriminação de classes de cobertura de terras têm sido realizadas principalmente com dados obtidos pelo Landsat ETM+ (Ferreira et al., 2007) e o CBERS-2 CCD (Bezerra et al., 2007). Esses sensores têm sido considerados promissores para este tipo de mapeamento, porém, apresentam algumas limitações importantes (Moran et al., 2002; Sano et al., 2005a). A aquisição de imagens ópticas é dependente de ausência de cobertura de nuvens ou de fumaça durante a passagem do satélite e a capacidade de penetração da radiação eletromagnética (REM) incidente é restrita à porção superior do dossel ou dos solos. Além disto, a interpretação de dados ópticos precisa levar em consideração a complexa relação geométrica entre fonte, alvo e sensor.

Uma alternativa para os sensores ópticos para o mapeamento de cobertura de terras são os sensores de radar de abertura sintética (SAR) que operam na faixa espectral de microondas e que possuem capacidade de imageamento mesmo com a presença de nuvens e também a qualquer hora do dia ou da noite, pois possuem fonte própria de REM (Raney, 1998). Os seus dados são ainda independentes das condições de iluminação solar. A principal desvantagem continua sendo a falta de um melhor entendimento sobre os processos físicos que efetivamente ocorrem quando os sinais de radar incidem em um determinado alvo, conforme ressaltado por Chaves et al. (2003).

### **3.2 – Fundamentos de radar**

Radar é um acrônimo de *Radio Detection And Ranging* (detecção e localização através de ondas de rádio), uma denominação que reflete o interesse principal dos seus primeiros dispositivos que era a detecção e localização de alvos inimigos através de medições de distância por meio de ondas de rádio. Embora a maioria dos sensores atuais de radar utilize a faixa espectral de microondas (comprimentos de onda entre 1 milímetro e 1 metro), esse acrônimo nunca foi alterado (Jensen, 2000). Os radares utilizam a sua própria fonte de radiação eletromagnética (REM). Séries descontínuas de pulsos de energia de uma fonte pontual são enviadas por uma antena

transmissora numa direção transversal ao deslocamento da plataforma. A direção de transmissão do pulso é conhecida como direção de alcance.

Os radares possuem capacidade de atravessar nuvens e fumaças, pois o comprimento de onda de operação dos sensores de radar é muito maior (~ 100.000 vezes) que o diâmetro médio das partículas e gases presentes na atmosfera. Por não requererem a presença de Sol ou outra fonte externa de REM, os radares podem ainda operar durante a noite ou durante o dia, especialmente em certas horas do dia onde a radiação solar é insuficiente para a aquisição de imagens ópticas.

O uso de sistemas de radares como sistemas de sensoriamento remoto começaram a se tornar operacionais a partir da década de 1960. O Brasil foi pioneiro na utilização de dados de radar aerotransportados para o levantamento de recursos naturais em extensas áreas. O Projeto RADAM (Radar na Amazônia) constituiu-se em um grande esforço do governo brasileiro para mapear os ecossistemas amazônicos. Este projeto utilizou um sistema de radar colocado a bordo de uma aeronave Caravelle e adquiria imagens analógicas da superfície terrestre em comprimento de onda de 3,12 cm e resolução espacial de 16 m (Lima, 2008).

### **3.2.1 – Radares de abertura sintética**

Radares de abertura sintética (SAR, abreviatura derivada de termo em inglês) operam com base no princípio de que um determinado alvo é iluminado pelo sistema durante um certo intervalo de tempo, ou seja, esses sistemas registram a história de reflexões ocorrida durante o intervalo de tempo em que permanece no campo de visada do sensor. Segundo Andrade (1999), através dos sinais recebidos pelo radar e armazenados na memória, cria-se uma antena virtual centenas de vezes maior que seu tamanho físico, permitindo obter resoluções equivalentes, tanto em azimute, como em alcance.

O exemplo, na Figura 3.1, mostra três situações em que um determinado objeto **O** é imageado. A posição **A** da aeronave apresenta o objeto imageado **O**

no canto direito da faixa visualizada; quando a aeronave se desloca em direção à posição B, o objeto fica completamente dentro do campo de visada do sistema sensor. Na posição C, o objeto fica no canto esquerdo da faixa de imageamento. O conhecimento dessa história permite a reconstrução posterior dos sinais refletidos como se eles tivessem sido imageados por uma antena real com comprimento igual à distância AC.

Portanto, como o próprio nome já indica, os sistemas SAR utilizam uma abertura sintética ao longo da órbita do sensor e são especialmente importantes para sistemas orbitais onde as antenas com aberturas reais deveriam ser longas demais para serem implementadas na prática. Cada objeto é amostrado seguidas vezes enquanto estiver sendo iluminado pelo lóbulo da energia transmitida. As posições sucessivas da antena são tratadas eletronicamente como sendo elementos de uma antena única, isto é, o termo abertura sintética denota um comprimento artificial de uma antena. Uma antena sintética de 10 metros pode simular uma antena real de 600 metros.

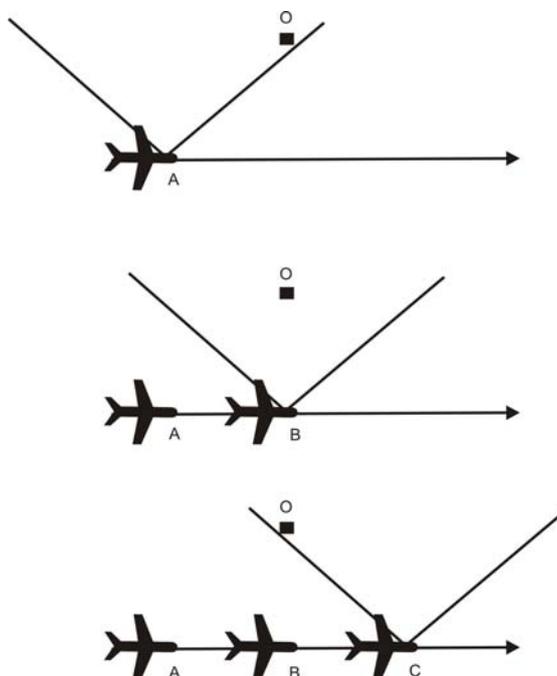


Figura 3.1 – Processo de aquisição de imagens por um sistema imageador de abertura sintética a bordo de uma aeronave.

A geometria de imageamento do SAR pode ser analisada considerando-se uma plataforma (avião ou satélite) que se desloca segundo uma direção de voo  $v$  e uma altura de voo  $h$  (Figura 3.2). A direção de voo projetada no terreno denomina-se direção azimutal, enquanto a direção de imageamento, perpendicular ao azimute, recebe o nome de direção de alcance ou direção de visada. A direção de visada torna-se um fator importante para os usuários de radar se o terreno apresentar alvos com alguma orientação preferencial, como é o caso de um cafezal ou de um plantio de algodão. Nesse caso, dependendo da direção dos pulsos de radar em relação às linhas de plantio, pode haver uma melhor ou uma pior detecção de alvos. Já no caso de alvos sem direção preferencial (por exemplo, uma área de pastagem cultivada com *Brachiaria*), essa direção de visada não é muito relevante.

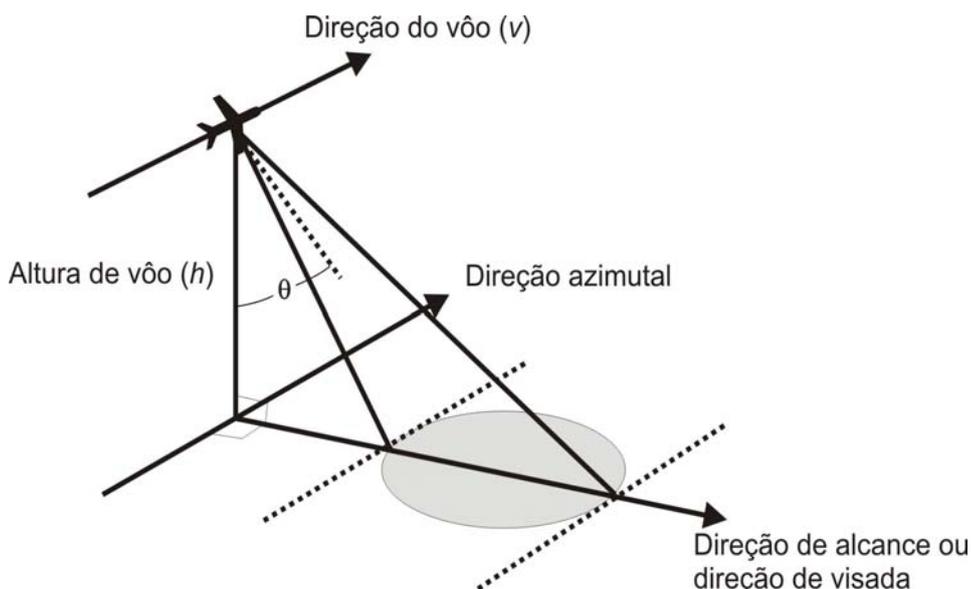


Figura 3.2 – Geometria de imageamento de sistemas de radar ( $\theta$  = ângulo de incidência ou de visada).

A antena emite pulsos de radiação lateralmente e em direção ao terreno com um ângulo de incidência  $\theta$ . Esse ângulo é definido sempre em relação a nadir e é um dos principais parâmetros que controlam a intensidade da energia refletida e a aparência dos objetos nas imagens. Muitas vezes, o ângulo de

incidência é referido pelo seu ângulo complementar, conhecido como ângulo de depressão ( $\delta$ ), isto é, definido como o ângulo entre a linha horizontal da antena e a direção do raio transmitido. No entanto, essa relação é válida somente para superfícies planas e horizontais. Quando a superfície é irregular, surge a influência de um outro ângulo, conhecido como ângulo de incidência local ( $\theta'$ ) e que leva em consideração a declividade local do terreno.

### 3.2.2 – Distorções e ruídos

O sistema de imageamento oblíquo dos radares provoca uma série de distorções geométricas na imagem, notadamente no tamanho e na forma dos objetos. Dois tipos particulares de deslocamento de relevo nas imagens de radar são o encurtamento de rampa e a inversão de relevo, associados com feições topográficas acidentadas. A magnitude dessas distorções depende da relação entre a inclinação da frente de onda e a da vertente do relevo (Figura 3.3). O encurtamento de rampa corresponde a uma compressão da face frontal da vertente e uma expansão da face oposta e sombreada. Na inversão de relevo, um caso extremo de deslocamento de relevo, a frente de onda atinge primeiro o topo do morro para depois atingir a base.

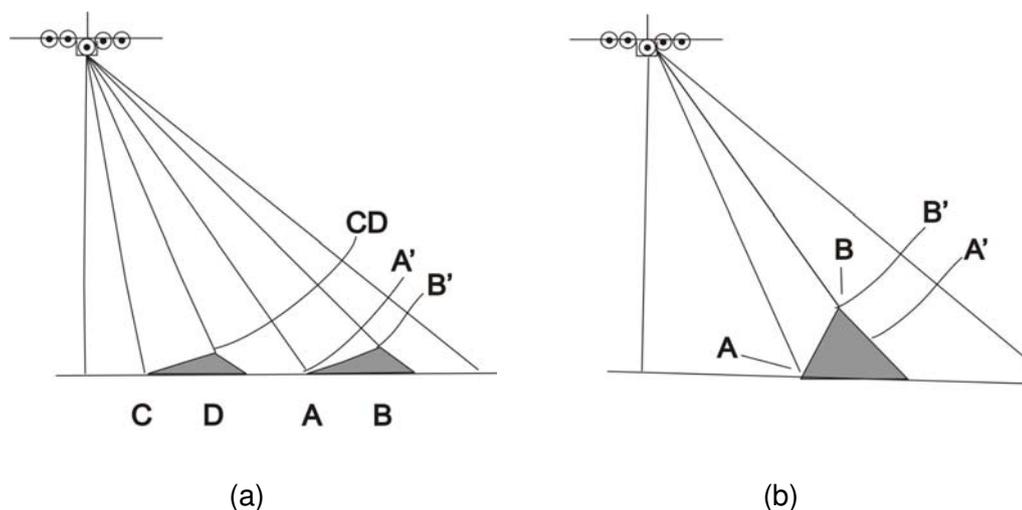


Figura 3.3 – Ilustração esquemática das distorções geométricas em imagens de radar conhecidas como encurtamento de rampa (a) e inversão de relevo (b).

Um pulso de radar que intercepta uma determinada superfície do terreno sofre vários retroespalhamentos aleatórios em função da localização e do número dos dispersores individuais dentro da célula de resolução do pixel. Os retornos individuais dessas ondas retroespalhadas que alcançam a antena receptora são somados em fase para formar o sinal recebido. Essa somatória de fases pode resultar tanto em interferência construtiva como destrutiva, modulando aleatoriamente a intensidade do sinal em cada célula de resolução (Figura 3.4). A interferência construtiva corresponde a um aumento na intensidade média e produz pixels mais brilhantes. A interferência destrutiva corresponde a uma diminuição da intensidade média e produz pixels mais escuros. Essas flutuações aleatórias causam uma aparência salpicada na imagem e são conhecidas como ruído do tipo *speckle*.

Como o próprio nome diz, ruídos são sinais indesejáveis que são introduzidos no sistema e, portanto, sempre que possível, devem ser removidos. Os dois métodos mais comuns de reduzir o *speckle* envolvem o processamento de múltiplas visadas e realce por filtragens espaciais. A primeira técnica é utilizada no processo de geração da imagem, enquanto a segunda é aplicada no produto final, isto é, na imagem que é gerada pelo sistema. O processamento de múltipla visada consiste em dividir o campo de visada de um SAR em diferentes subvisadas. Quanto às filtragens espaciais, diversos tipos de filtros para radar já foram desenvolvidos e estão disponíveis nos principais *softwares* comerciais e de domínio público de processamento de imagens, tais como os filtros de Frost, Lee e filtros adaptativos (Lewis et al., 1998). Não existe um filtro que seja superior aos demais, o analista deve escolher aquele que oferece os melhores resultados para a sua aplicação específica.

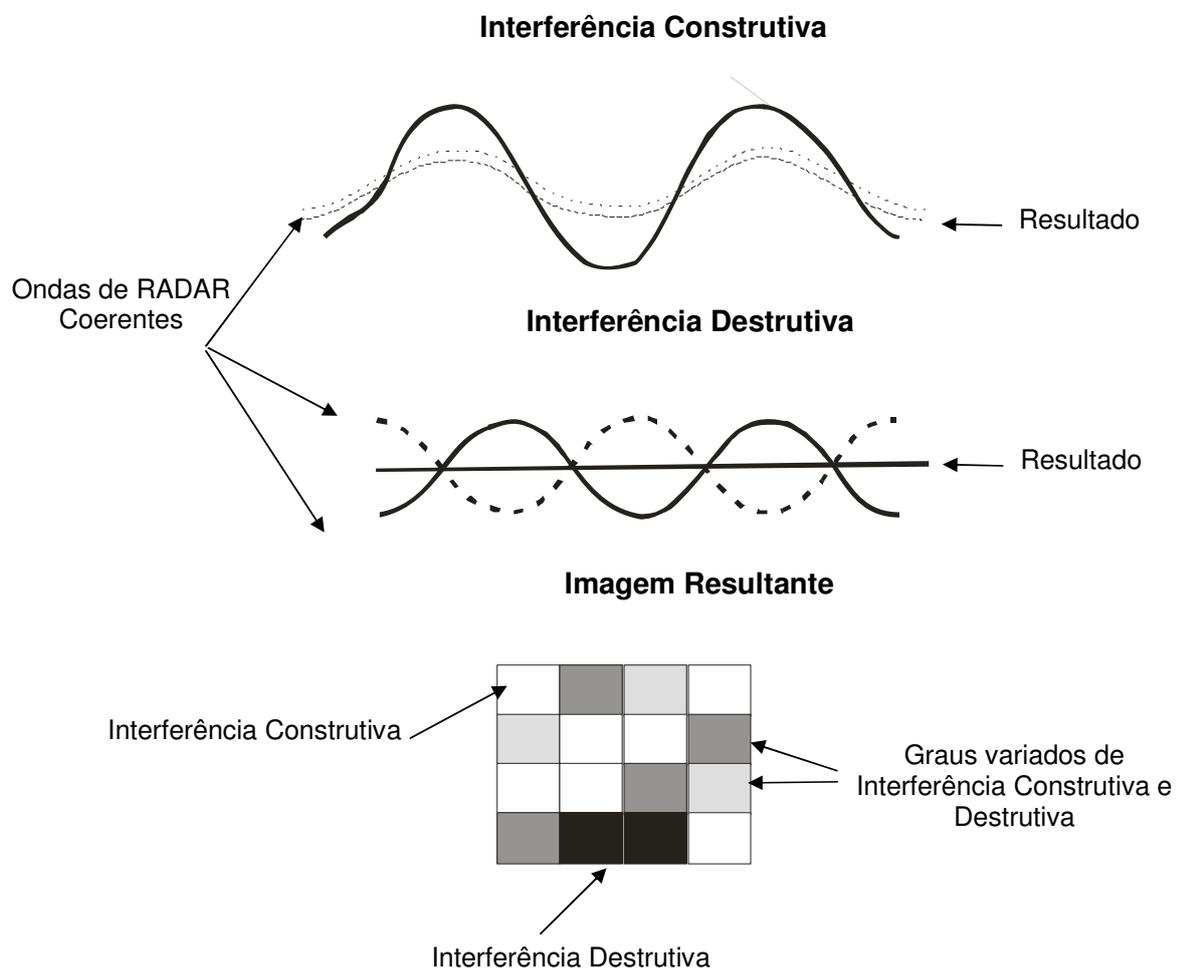


Figura 3.4 – Efeitos construtivos e destrutivos de fase na formação de uma imagem de radar devido a espalhamentos múltiplos provenientes de uma mesma célula de resolução.

### 3.2.3 – Parâmetros de imageamento

Os parâmetros de imageamento mais importantes em radar são o comprimento de onda (ou frequência), a polarização e o ângulo de incidência (ou ângulo de depressão, conforme mencionado anteriormente) (Paradella et al., 2005). Os sensores de radar atualmente em operação, a nível orbital ou de aeronave, utilizam comprimentos de onda que vão aproximadamente de 3 a 75 cm (Tabela 3.1). A interação é quase que totalmente efetuada obedecendo aos

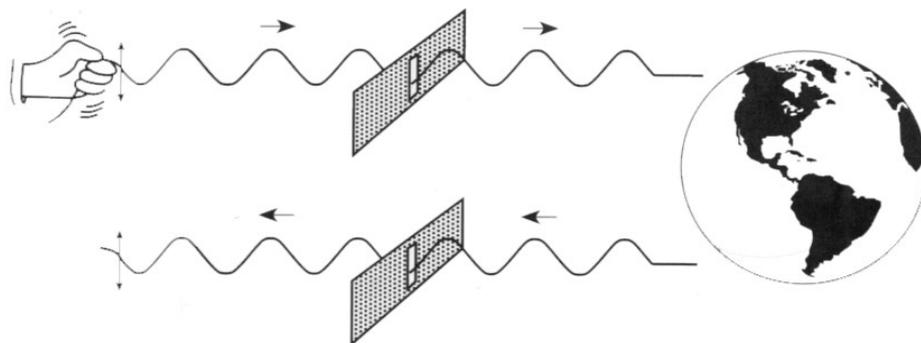
princípios do modelo ondulatório (Meneses, 2001), pois o tamanho das ondas de radar coincide aproximadamente com as medidas de rugosidade de solos e vegetações encontradas nas superfícies terrestres. Todos os SAR orbitais em operação possuem uma única banda espectral. O ENVISAT ASAR e o RADARSAT-2 operam na banda C. Já o ALOS PALSAR opera na banda L.

Tabela 3.1 – Denominações das bandas espectrais dos sensores de radar com os seus respectivos comprimentos de onda.

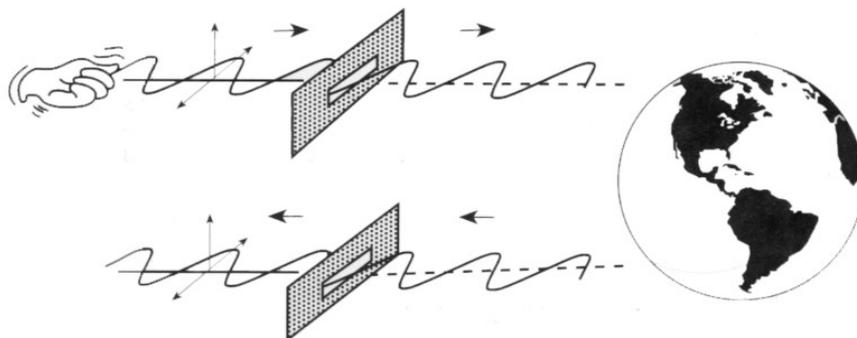
Banda Espectral	Comprimento de Onda (cm)
K	1
X	3
C	5
S	10
L	25
P	70

Com relação à polarização, ela é definida pela orientação do campo elétrico da radiação emitida e recebida pela antena e que pode ser horizontal (H) ou vertical (V) (Figura 3.5). Portanto, uma antena pode transmitir radiação segundo uma polarização H ou V. Quando o pulso atinge o alvo, ocorre a despolarização, de modo que o sinal pode retornar à antena numa direção diferente da direção de polarização emitida. Por exemplo, um sensor que emite um pulso na direção H pode registrar o sinal de retorno na direção V. Neste caso, tem-se o que se denomina de polarização cruzada (HV ou VH). A primeira letra indica a polarização de transmissão e a segunda indica a de recepção. Portanto, HV indica transmissão horizontal e recepção vertical. Quando o sensor emite e registra pulsos com a mesma polarização (HH ou VV), temos a polarização paralela. A despolarização ocorre devido à reflexão especular dos refletores de canto, aos espalhamentos múltiplos nas superfícies

rugosas e aos espalhamentos volumétricos múltiplos devido à heterogeneidade estrutural da camada da vegetação.



(a)



(b)

Figura 3.5 – Energia transmitida e recebida por uma antena de radar nos modos de polarizações VV (a) e HH (b). Fonte: adaptado de Jensen (2000).

### 3.2.4 – Características dos alvos

As principais características dos alvos que devem ser consideradas na análise de imagens de radar são a rugosidade do terreno, o conteúdo de água nos solos e nas plantas e a estrutura da vegetação. Neste sentido, desde a década de 1970, inúmeros resultados empíricos e teóricos vêm sendo desenvolvidos no sentido de estimar parâmetros como umidade de solos, biomassa, índice de área foliar e rugosidade de terreno (e.g., Santos et al., 2003; Thomas et al., 2006; Rahman et al., 2007).

Quando uma superfície é lisa, isto é, as variações em altura dessa superfície são muito menores que o comprimento de onda da REM, a energia incidente é refletida na direção oposta quase que na sua totalidade com um ângulo de reflexão igual ao ângulo de incidência. Tal superfície é denominada de superfície especular. O resultado é uma ausência de sinal de retorno, fazendo com que tais feições tenham um nível de cinza bastante escuro na imagem. Os espelhos de água parados são os exemplos mais típicos desse tipo de alvo. À medida que a superfície torna-se mais rugosa, onde as variações em altura da superfície são comparáveis ou ligeiramente maiores que o comprimento de onda da REM, a reflexão torna-se mais difusa, retroespalhando o sinal em todas as direções e mais ou menos com igual intensidade. Um caso particular de espalhamento são os refletores de canto. Esse tipo de reflexão ocorre quando uma superfície lisa ao lado de uma feição vertical (por exemplo, um edifício), produzindo a soma de um sinal de retorno muito alto e fazendo com que a feição apareça com nível de cinza brilhante na imagem.

A rugosidade do terreno (unidade em centímetros) pode ser estimada no campo através de aparatos totalmente mecânicos e relativamente simples como o que foi construído pelo USDA (United States Department of Agriculture), Arizona, EUA e utilizado por Sano et al. (1999) (Figura 3.6). Esse aparato é constituído de 100 pinos de alumínio com esferas de chumbo de 1 cm de diâmetro nas suas extremidades. Após nivelar o equipamento no terreno, esses pinos são liberados de modo que a ação da gravidade faz com que haja uma reprodução fiel das irregularidades do terreno. Em seguida, as alturas relativas que formam uma linha contínua de 1 metro de extensão são desenhadas através de uma caneta ou lápis num rolo de papel milimetrado que acompanha o equipamento. No laboratório, essas linhas são digitalizadas ou escanerizadas no sentido de calcular o desvio-padrão da altura média do terreno.



Figura 3.6 – Fotografia de campo mostrando um aparelho (rugosímetro) para medir a rugosidade do terreno. A fotografia mostra a rugosidade sobre um terreno com sulcos de plantio, numa área agrícola com restos de cultura de algodão em Phoenix, Arizona. Foto: Edson Sano.

Uma outra opção de rugosímetro, mais simples do que o anterior, é o uso de uma madeira retangular, quadriculada ou milimetrada. Nesse caso, introduz-se a madeira no solo e a rugosidade do mesmo é registrada por meio de fotografias obtidas com câmeras convencionais. Esse sistema funciona a contento em terrenos preparados (arados e gradeados) para plantio, mas possui limitação quando se trata de terrenos com elevada compactação de solos (solos naturais ou cobertos com pastagens).

A região de microondas é a única parte do espectro eletromagnético que permite estimativas relativamente precisas de umidade de solos a partir de dados de sensoriamento remoto. A teoria, neste caso, baseia-se na existência de um acentuado contraste nas constantes dielétricas ( $\epsilon$ ) de um solo sem umidade, isto é, seco em estufa ( $\epsilon \sim 4$ ) e água líquida ( $\epsilon \sim 80$ ) (Engman e Chauhan, 1995). Conseqüentemente, a adição de água no solo causa um

aumento no valor de  $\epsilon$  do solo. A constante dielétrica refere-se à medida da habilidade de um meio em conduzir energia elétrica.

A estimativa de umidade superficial (profundidade de 0 – 5 cm) de solos é uma das áreas de aplicação de radar mais estudadas desde o início da década de 1970. Apesar de muitos estudos terem mostrado uma correlação satisfatória entre retroespalhamento e umidade de solos medida no campo ou derivada de modelos semi-empíricos ou teóricos ( $r^2$  superior a 0,90), sabe-se que, em muitas condições, os efeitos da rugosidade do terreno e cobertura vegetal podem mascarar essa correlação elevada. Em muitos casos, as variações nos coeficientes de retroespalhamento provocadas por variações na umidade de solos podem ser da mesma ordem de grandeza em relação às provocadas por alterações na rugosidade do terreno (Moran et al., 2000).

Semelhante aos solos, a quantidade de água contida nas folhas afeta significativamente o retroespalhamento dos sinais de radar. A estrutura da vegetação, tanto em termos de macroestrutura (altura das plantas e a densidade de plantas ou árvores por unidade de área) como de microestrutura (folhas e galhos), também deve ser considerada na análise de retroespalhamento proveniente de terrenos com cobertura vegetal. Por exemplo, estudos conduzidos por Sano et al. (2005) mostraram que a estrutura vegetal do Cerrado exerce maior influência do que o conteúdo de água nas folhas (refletido pela sazonalidade marcante).

### **3.3 – O Sistema ALOS**

O satélite japonês ALOS (Advanced Land Observing System) foi lançado pela Agência de Exploração Aeroespacial Japonesa (JAXA) em janeiro de 2006, com início de distribuição dos dados para o Brasil em outubro de 2007. O ALOS descreve uma órbita circular heliossíncrona a 692 km de altitude, com um período de revisita a um mesmo ponto do planeta de 46 dias (IBGE, 2008).

O ALOS possui três sensores de imageamento de sensoriamento remoto: o AVNIR-2, o PRISM e o PALSAR.

O AVNIR-2 é um sensor óptico com 4 bandas espectrais com resolução espacial de 10m. Este sensor é capaz de variar a inclinação da visada lateralmente, tornando possível imagear rapidamente situações de desastres naturais. O sensor irá cobrir uma (1) vez todo o território brasileiro entre janeiro e abril, dos anos de 2007 a 2009, utilizando apenas a visada nadir.

O sensor PRISM opera na faixa da luz visível, com uma (1) banda pancromática e resolução espacial de 2,5 m. Este deverá recobrir completamente o globo no modo Triplet coletando imagens estereoscópicas. Como a faixa do PRISM no modo Triplet cobre apenas uma faixa de 35km não é possível imagear completamente área extensas em um ciclo só. O território brasileiro será completamente coberto uma vez ao ano, nos meses entre março e junho de 2007, 2008 e 2009.

O PALSAR é um radar imageador de abertura sintética que opera na banda L e com resoluções espaciais que variam entre 10 a 100 metros. O PALSAR possui três modos de imageamento (Tabela 3.2): fino, ScanSAR e polarimétrico. O modo fino adquire dados em uma única polarização (HH) ou em duas polarizações (HH e HV) e as suas imagens são identificadas como FBS (*fine beam single*) e FBD (*fine beam dual*), respectivamente, nos catálogos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Alasca Satellite Facility (ASF), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), European Space Agency (ESA), Geoscience Australia e JAXA. O modo ScanSAR adquire imagens na polarização HH e a sua faixa de imageamento pode atingir 350 km. Finalmente, o modo polarimétrico adquire imagens em quatro polarizações (HH, HV, VH e VV), porém, a sua faixa de imageamento é a mais restrita de todos, variando de 20 a 65 km.

Tabela 3.2 – Características de imageamento do satélite ALOS PALSAR. FBS = modo fino, uma polarização; FBD = modo fino, duas polarizações.

Parâmetro	Modo			
	FBS	FBD	ScanSAR	Polarimétrico
Polarização	HH	HH, HV	HH	HH, HV, VH, VV
Faixa de imageamento	40–70 km	40-70 km	250-350 km	20-65 km
Banda	L	L	L	L

Para os primeiros três anos de operação do ALOS, existe uma estratégia de imageamento definida para os três sensores. Em termos de cobertura de imagens de radar para o Brasil, este será completamente coberto no modo fino, com polarização HH, uma vez a cada verão, até março de 2009, e completamente coberto com polarização dupla (HH+HV) duas vezes ao ano. O país inteiro será completamente coberto no modo ScanSAR pelo menos uma vez por ano, de 2007 a 2009.

## CAPÍTULO 4

### APLICAÇÃO NO DISTRITO FEDERAL

#### 4.1 – Materiais e método

Foi adquirida, junto ao IBGE, uma imagem polarimétrica em amplitude e formato CEOS, nível 1 do ALOS PALSAR do DF (órbita ascendente: 6651; ponto: 6870; tamanho da imagem: ~ 35 km x 65 km) no seguinte modo de imageamento: banda L (comprimento de onda de 23,6 cm), quatro polarizações (HH, HV, VH e VV) e tamanho do pixel de 12,5 metros. O satélite ALOS foi lançado pela Agência de Exploração Aeroespacial Japonesa (JAXA) em 24 de janeiro de 2006 e descreve uma órbita circular heliossíncrona a 692 km de altitude, com um período de revisita de 46 dias (IBGE, 2008). O PALSAR corresponde a um radar imageador de abertura sintética que opera com resoluções espaciais que variam entre 10 a 100 metros e possui três modos de imageamento: fino, ScanSAR e polarimétrico.

A imagem original, com resolução radiométrica de 16 bits, foi convertida para coeficientes de retroespalhamento ( $\sigma^\circ$ , seção cruzada de radar que é refletida pelo alvo e que retorna para a antena por unidade de área; unidade em dB, decibéis) (Henderson e Lewis, 1998; Jensen, 2000) por meio do aplicativo ASF MapReady 1.0, disponível para *download* na rede mundial de computadores (<http://www.asf.alaska.edu/aadn/>) e georreferenciada para o sistema de projeção UTM, *datum* = WGS84 e zona 23S. No processo de conversão para  $\sigma^\circ$ , foram utilizados dados do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) do DF, disponibilizados com resolução espacial de 90 metros na página eletrônica da NASA (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm>) (van Zyl, 2001) para o georreferenciamento e correção de efeitos topográficos.

Com base nos trabalhos anteriores (CODEPLAN, 1984; Ferreira et al., 2007; Araújo Filho et al., 2007) e nos conhecimentos de campo dos autores, foram extraídas 30 amostras de valores de  $\sigma^\circ$  nas polarizações HH, HV e VV em cada uma das seguintes categorias representativas de cobertura de terras

do DF: Áreas Urbanas consolidadas; Áreas Urbanas em consolidação; Culturas Agrícolas; Pastagens Cultivadas; Reflorestamentos; Campos; Cerrado Típico; Matas Indiscriminadas; Matas de Galeria; e Reservatórios. Na classe Campos, foram incluídas as fitofisionomias Campo Limpo, Campo Sujo e Cerrado Ralo, agrupadas por apresentarem acentuada similaridade em termos de estrutura e biomassa (Ribeiro e Walter, 2008).

A imagem do Landsat foi particularmente importante para melhor definir as amostras de  $\sigma^0$  sobre as Matas Indiscriminadas. Cada amostra foi composta por 8 pixels x 8 pixels. Em seguida, foram obtidas médias aritméticas simples e os correspondentes desvios-padrões de cada conjunto de 30 amostras e para cada polarização e analisados por meio de um pacote estatístico de agrupamento hierárquico (*hierarchical cluster analysis*) (Dillon e Goldstein, 1984; Moita Neto e Moita, 1998). Aqui, a premissa é de que diferenças nas médias aritméticas dos alvos estão relacionadas com diferenças na intensidade de energia retroespalhada e a diferença nos valores de desvios-padrões estão relacionados com diferenças na textura dos alvos. Amostras com valores de  $\sigma^0$  superiores a dois desvios-padrões não foram incluídos nesta estatística multivariada, cujo resultado normalmente é apresentado na forma de dendrogramas. Com isto, o intérprete consegue identificar, visualmente, grupos de classes temáticas similares.

A composição colorida que melhor realçou a visualização da imagem foi verificada na associação RGB para as polarizações HH-HV-VV (cores vermelha, verde e azul respectivamente para as polarizações HH, HV e VV) conforme a Figura 4.1.

Para diminuir o tempo com a digitalização a imagem, foi processada por meio da técnica de segmentação de imagens por crescimento de regiões, disponível no aplicativo SPRING 4.0 (Câmara et al., 1996), para produzir o mapa de cobertura de terras da área de estudo.

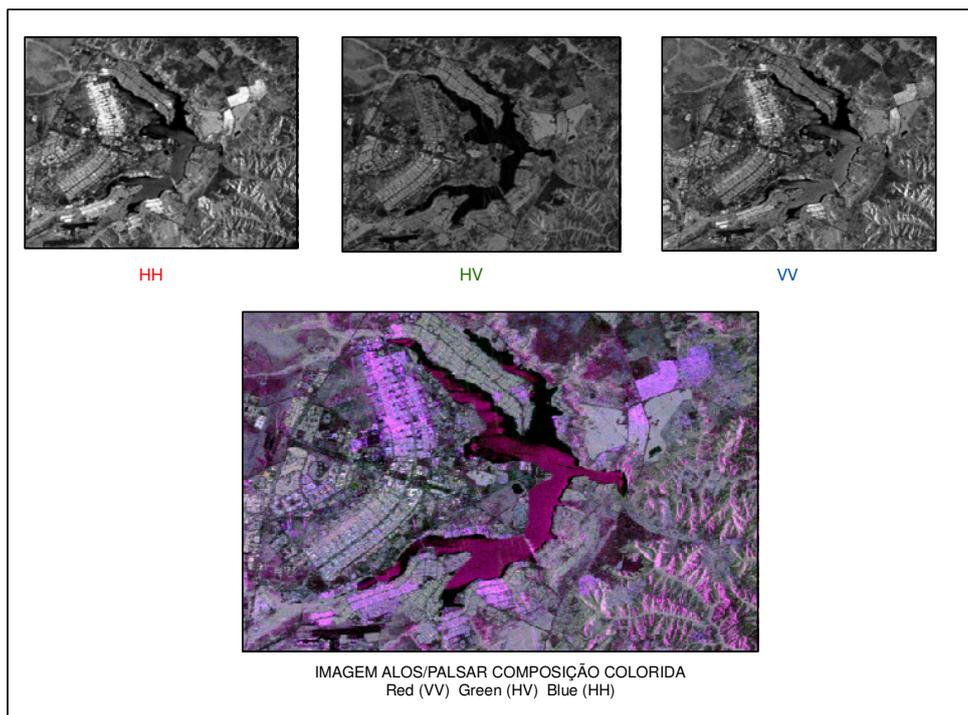


Figura 4.1 - Imagem ALOS/PALSAR composição colorida (RGB / HH, HV e VV).

No processo de segmentação, divide-se a imagem em regiões que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação. Entende-se por regiões um conjunto de "pixels" contíguos, que se espalham bidirecionalmente e que apresentam uniformidade. A divisão em porções consiste basicamente em um processo de crescimento de regiões, de detecção de bordas ou de detecção de bacias, esta técnica consiste em agrupamento de dados, na qual somente as regiões adjacentes, especialmente, podem ser agrupadas. Inicialmente, este processo de segmentação rotula cada "pixel" como uma região distinta. Calcula-se um critério de similaridade para cada par de região adjacente espacialmente. O critério de similaridade baseia-se em um teste de hipótese estatístico que testa a média entre as regiões. A seguir, divide-se a imagem em um conjunto de sub-imagens e então é realizada a união entre elas, segundo um limiar de agregação definido. No caso deste estudo, foram feitos vários testes, o melhor resultado para divisão desta imagem foi obtido através da similaridade 25 e limiar 25.

Os polígonos gerados pela segmentação de imagens foram convertidos para o formato *shape* e exportados para o aplicativo ArcView GIS 3.2™. A identificação de classes de cobertura de terras de cada polígono foi feita diretamente no monitor da tela de computador, sobrepondo-se a composição colorida da imagem PALSAR com o mapa vetorial de segmentação em uma escala de visualização de aproximadamente 1:50.000. Polígonos com dimensões inferiores a 40 hectares foram englobados na classe adjacente maior. Para subsidiar a interpretação de imagens, foi definida uma chave de interpretação em que foram considerados os seguintes elementos de fotointerpretação: cor, textura e forma dos polígonos.

Para aferir a qualidade do mapeamento, foi realizado um trabalho de campo onde foram selecionados 86 pontos na imagem ALOS/PALSAR, escolhidos de forma aleatória, porém, próximos às principais rodovias para melhor acesso (Figura 4.2). A campanha ocorreu nos dias 12 e 13 do mês de fevereiro do ano de 2009.

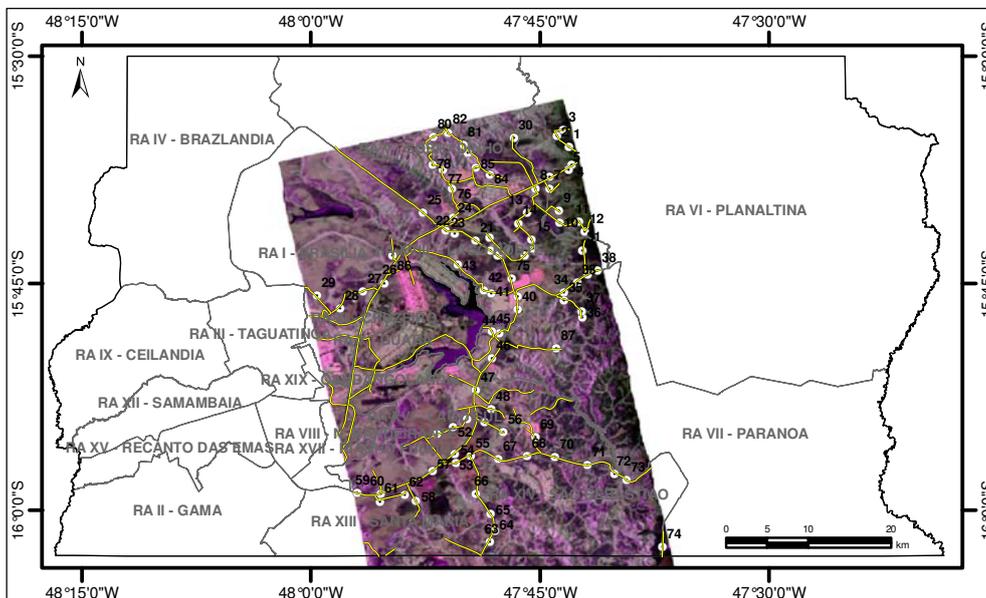


Figura 4.2 – Localização dos pontos do trabalho de campo.

Para medir a acurácia de mapeamento, foi utilizado o índice Kappa. A estimativa de Kappa é expressa pela medida da diferença entre a concordância dos dados de referência e a classificação automática e a probabilidade de concordância entre os dados de referência e a classificação aleatória.

#### **4.2 – Resultados e discussão**

Os valores de retroespalhamento amostrados para as 10 classes temáticas foram bastante similares para as polarizações HH e VV (Figura 4.3). Entretanto, os valores para a polarização HV foram significativamente menores em relação às polarizações paralelas. De uma forma geral, os coeficientes mais baixos foram encontrados sobre os Reservatórios ( $\sim -17$  dB para as polarizações paralelas HH e VV e  $\sim -28$  dB para a polarização HV), enquanto os coeficientes mais altos estiveram associados com Áreas Urbanas consolidadas ( $-2,45$  dB, polarização HH;  $-5,28$  dB, polarização VV;  $-11,36$  dB, polarização HV). Os baixos valores sobre os reservatórios são explicados pelo predomínio da reflexão especular da radiação incidente e os altos valores sobre as áreas urbanas são decorrentes do predomínio das reflexões de canto, associado com a presença de edificações (prédios e residências).

No dendrograma relativo à similaridade de classes de cobertura de terras representativas da área de estudo (Figura 4.4), é mostrada a clara possibilidade de separar massas d'água de outras classes terrestres. De fato, os reservatórios são identificados em imagens de radar pelos seus baixos valores de amplitude e pela textura lisa (Lewis, 1998), confirmando o potencial dessas imagens para aplicações envolvendo mapeamento de cursos d'água e reservatórios e monitoramento de níveis de água e áreas inundáveis. Em relação aos alvos terrestres da área de estudo, os seguintes grupos espectrais foram formados, em ordem decrescente de similaridade: Pastagens Cultivadas e Campos; Reflorestamentos e Matas de Galeria; e Cerrado Típico e Matas Indiscriminadas. Culturas Agrícolas, Áreas Urbanas consolidadas e Áreas Urbanas em consolidação não apresentaram confusão espectral com outras categorias.

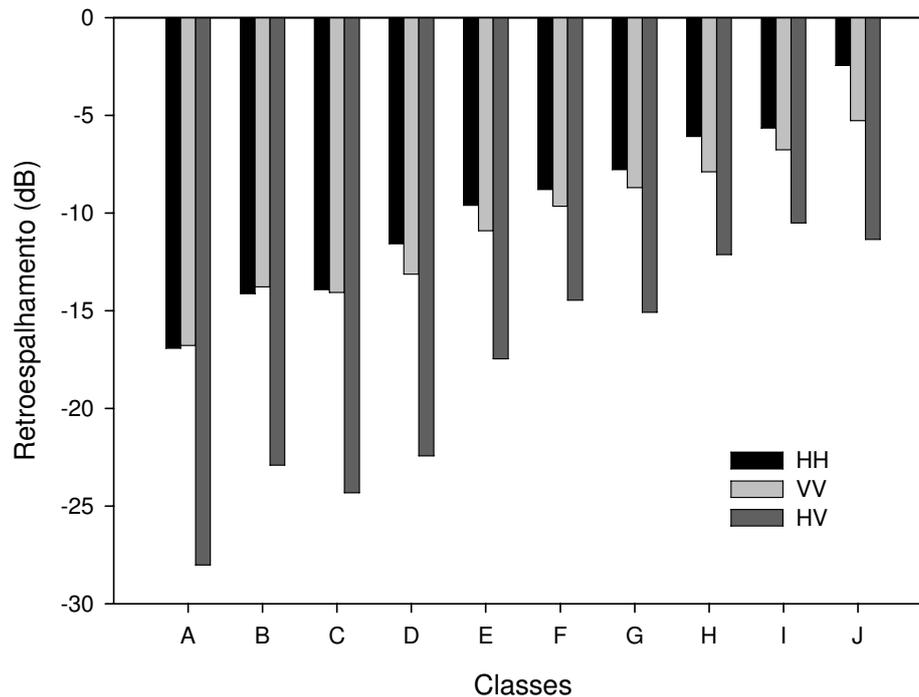


Figura 4.3 – Valores médios de coeficientes de retroespalhamento (dB) de 10 classes de cobertura de terras representativas do Distrito Federal nas polarizações HH, HV e VV da imagem ALOS PALSAR, modo polarimétrico, de 25 de abril de 2007. A = Reservatório; B = Pastagem cultivada; C = Campo; D = Cultura agrícola; E = Área urbana em consolidação; F = Mata indiscriminada; G = Cerrado Típico; H = Reflorestamento; I = Mata de Galeria; e J = Área urbana consolidada.

Pastagens cultivadas e Campos apresentaram coloração magenta escura e textura lisa, decorrentes da baixa densidade de cobertura vegetal, isto é, predomínio de espécies gramíneas, com ou sem presença de arbustos e ausência de espécies arbóreas, mas puderam ser separadas com base na forma geométrica (Figura 4.5): regular para a primeira e irregular para a segunda. Reflorestamentos e Matas de Galeria também apresentaram colorações semelhantes (cinza esbranquiçada), mas foram separadas novamente pelo critério de forma geométrica: regular para a cobertura vegetal antrópica e alongada para a cobertura natural.

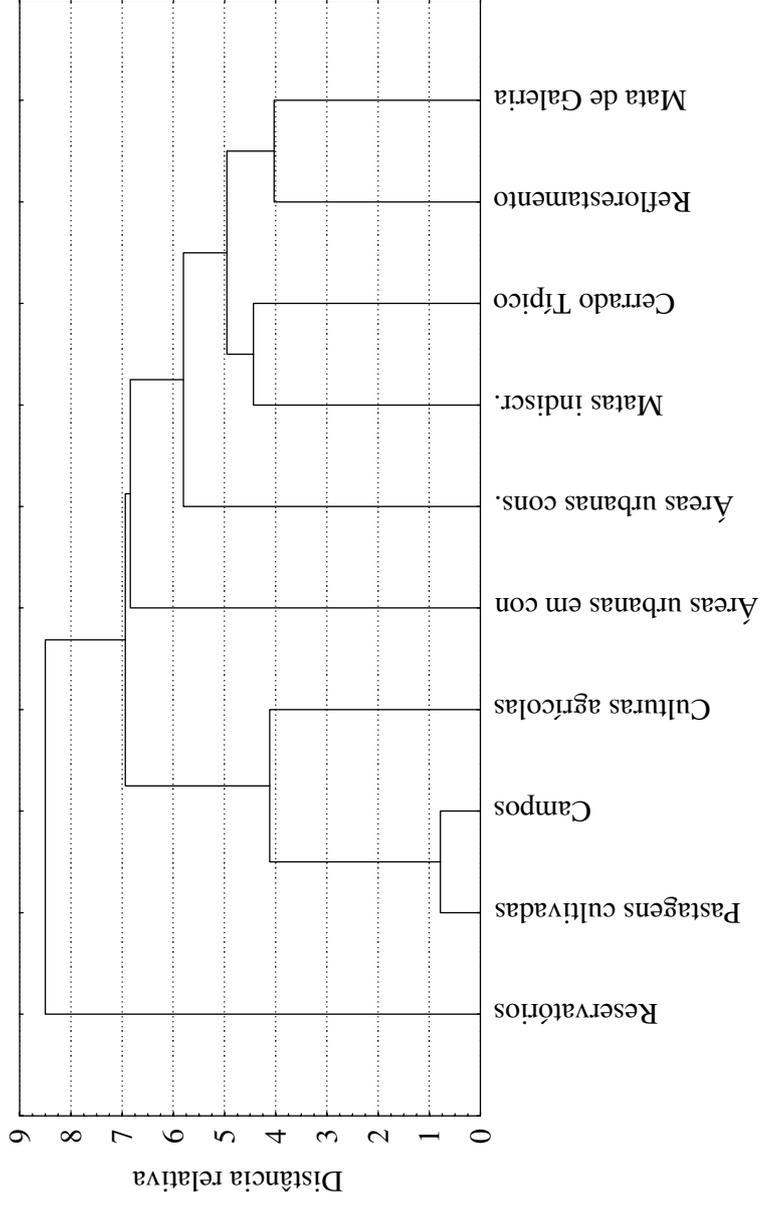
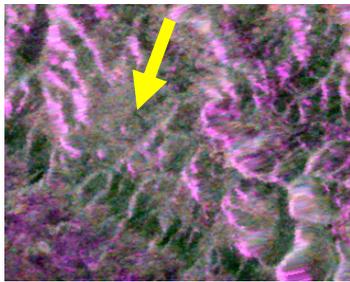
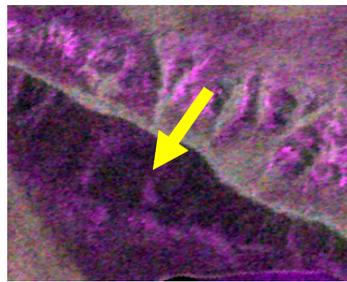


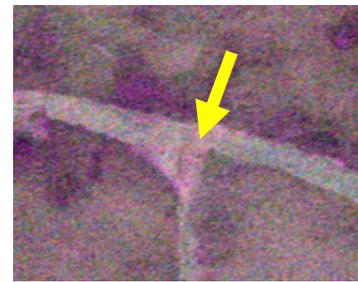
Figura 4.4 – Dendrograma obtido da análise de agrupamento hierárquico utilizando como variáveis as polarizações HH, HV e VV do satélite ALOS PALSAR do Distrito Federal.



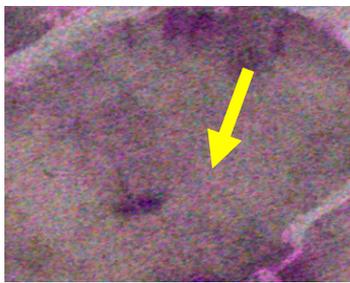
Cor: cinza claro; Textura: média; Forma: irregular (a)



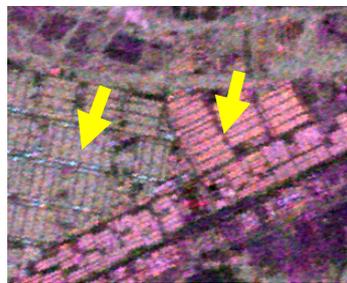
Cor: magenta; Textura: lisa; Forma: irregular (b)



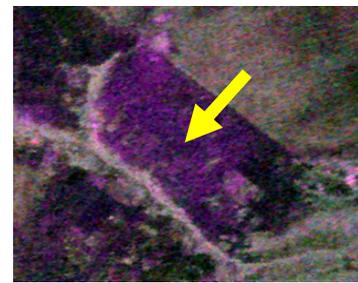
Cor: cinza esbranquiçada; Textura: lisa; Forma: alongada (c)



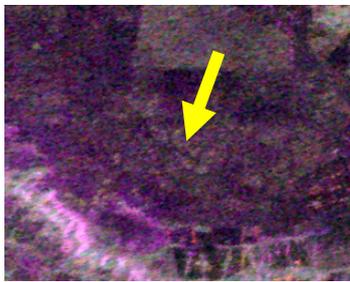
Cor: cinza esbranquiçada; Textura: lisa; Forma: irregular (d)



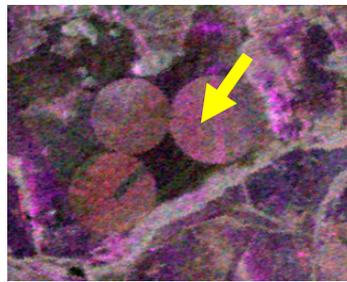
Cor: cinza esverdeada e rósea; Textura: rugosa; Forma: regular (e)



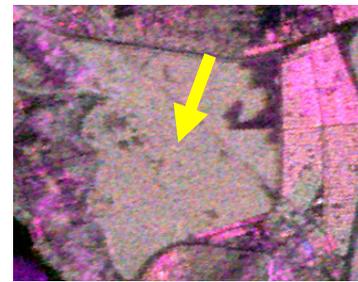
Cor: magenta; Textura: lisa; Forma: regular (f)



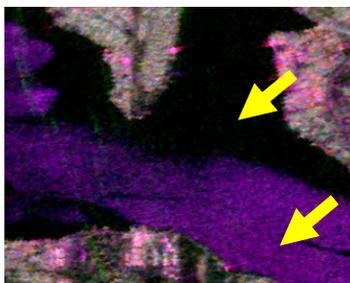
Cor: magenta; Textura: média; Padrão: irregular (g)



Cor: rósea; Textura: lisa; Padrão: regular (h)



Cor: cinza claro; Textura: lisa; Padrão: regular (i)



Cor: preta e roxa; Textura: lisa; Padrão: irregular (j)

Figura 4.5 – Chave de interpretação construída com base na análise visual de composição colorida RGB/HH-HV-VV da imagem ALOS PALSAR da área de estudo e envolvendo as seguintes categorias de cobertura de terras: Mata Indiscriminada (a), Campos (b), Mata de Galeria (c), Cerrado Típico (d), Área Urbana consolidada (e), Pastagens Cultivadas (f), Área Urbana em consolidação (g), Culturas Agrícolas (h), Reflorestamentos (i) e Reservatório (j). As áreas urbanas consolidadas e os reservatórios mostram dois padrões espectrais distintos.

Cerrado Típico foi separado de Matas Indiscriminadas pelo critério da textura: lisa para o Cerrado Típico e média para as Matas Indiscriminadas. Cerrado Típico é caracterizado por apresentarem árvores de pequeno porte, irregulares e retorcidas em meio ao substrato herbáceo e arbustivo (Ribeiro e Walter, 2008), enquanto nas Matas Indiscriminadas, predominam as formações florestais do Cerradão e da Mata Seca. As Matas Indiscriminadas não possuem associação com cursos de água, isto é, ocorrem em interflúvios com solos relativamente ricos em nutrientes e na forma de manchas concentradas e em topografias irregulares. A Mata Seca está incluída nas formações florestais caracterizadas por diversos níveis de caducifolia durante a estação seca.

As Áreas Urbanas consolidadas e os dois principais reservatórios da área de estudo (lago Paranoá e represa de Santa Maria) apresentaram dois padrões espectrais notavelmente contrastantes. Variações em coeficientes de retroespalhamento atingiram magnitude da ordem de -9 dB na polarização HH e de -12 dB na polarização VV. Para a primeira classe, a referida diferença esteve relacionada com a orientação das construções (casas e edifícios) em relação à direção de iluminação. Quando a orientação é preferencialmente perpendicular à direção de iluminação dos pulsos de radar, a coloração é magenta, pois o retroespalhamento é maior nas polarizações paralelas (HH – canal vermelho; e VV – canal azul) (vermelho + azul = magenta). Quando a orientação é aproximadamente paralela aos pulsos de radiação, as intensidades de retroespalhamento nas três polarizações são próximas, conferindo então uma coloração cinza esverdeada.

As Áreas Urbanas em consolidação também foram identificadas pelo padrão tonal magenta e pelo padrão reticular típico de áreas urbanas, mesmo que ainda em fase relativamente incipiente. Nas Áreas Urbanas em consolidação, as formas geométricas são menos regulares e a definição de sistema viário, a delimitação de quadras e a própria definição dos limites dos condomínios já são mais difíceis em relação às Áreas Urbanas consolidadas. As Culturas agrícolas, basicamente formadas por restos de palhada seca e com elevada porcentagem de solo exposto, apresentaram padrão tonal róseo. Na área de estudo, foram identificadas cinco áreas com sistema de irrigação

por pivô-central, cujas áreas variaram de 60 a 120 hectares. A textura e a cor dessas áreas irrigadas por pivô-central mantêm o mesmo padrão das áreas com culturas agrícolas de sequeiro, o que é determinante para a identificação destas áreas é a geometria arredondada característica deste tipo de equipamento.

Na área de estudo, houve um ligeiro predomínio de áreas ocupadas por classes de cobertura vegetal natural (57%) e por classes de cobertura vegetal antrópica (41%) (Figura 4.4). As classes mais representativas foram o Cerrado Típico, que cobre 22% da área teste e ocorre ao longo de toda a área de estudo, as Áreas Urbanas consolidadas, que ocupa 16% da região de estudo e aparece principalmente na porção centro-oeste da área de estudo, e os Campos, que abrangem 15% da área de estudo e também ocorrem ao longo de toda a região analisada. As Pastagens Cultivadas e as Matas de Galeria também aparecem com destaque na área de estudo, ambas com 13%. Matas Indiscriminadas, Áreas Urbanas em consolidação, Culturas Agrícolas, Reservatórios e Reflorestamentos aparecem com porcentagens relativamente baixas: 7%, 5%, 4%, 3% e 2%, respectivamente.

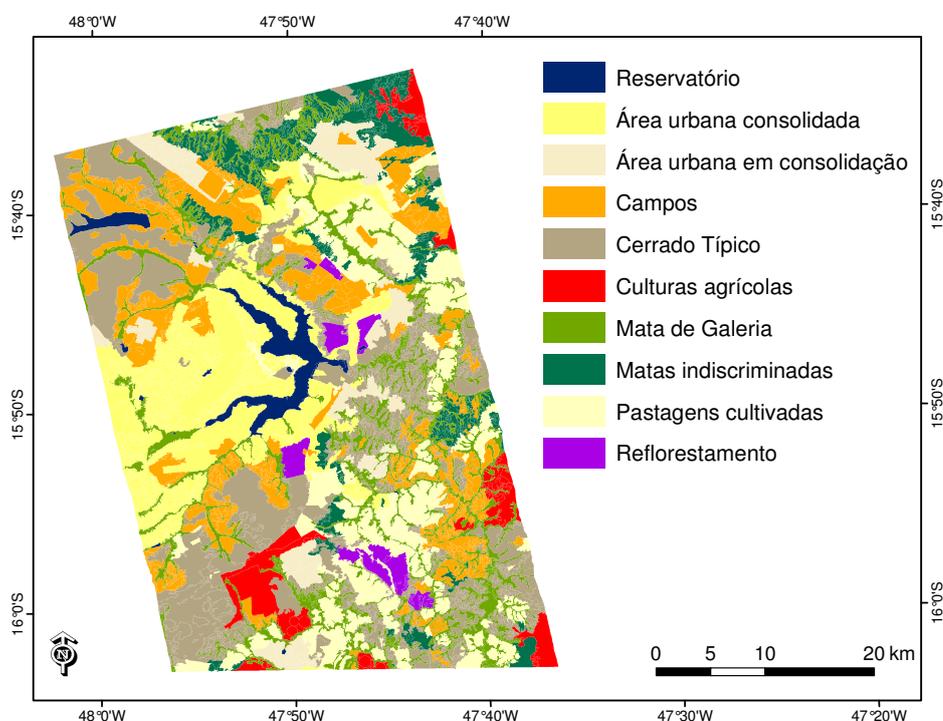


Figura 4.6 – Mapa de cobertura de terras representativas da área de estudo.

As confusões espectrais foram mais acentuadas para Culturas agrícolas e para o Cerrado Típico. Algumas áreas interpretadas como Culturas agrícolas na imagem de 2007 estiveram associadas com áreas de Pastagens cultivadas, Campos e Cerrado Típico. Da mesma forma, algumas áreas associadas como Cerrado Típico na imagem estiveram associadas com Área Urbana em consolidação, Pastagens cultivadas, Campos e Mata Indiscriminada. Reflorestamentos e Reservatórios não apresentaram confusão espectral com nenhum outro alvo.

De um conjunto de 86 pontos verificados em campo (Tabela 4.1), 63 pontos foram mapeamentos corretamente, obtendo um índice Kappa de 69%. Esse índice relativamente baixo deve ser considerado com certa ressalva principalmente por causa da complexidade da paisagem do Cerrado, da defasagem entre a data de passagem do satélite e a campanha de campo e da acentuada dinâmica espacial e temporal de uso e ocupação da área de estudo. Conforme ressaltado por Prado (2009), um outro aspecto que deve ser levado em consideração é a finalidade do mapeamento. Por exemplo, caso a finalidade seja o mapeamento de remanescentes de cobertura vegetal natural da área de estudo, em que as classes são agrupadas em áreas antrópicas, áreas naturais e reservatórios, temos um índice de cerca de 80%. Para aferir a qualidade do mapeamento, foi utilizado, como parâmetro de acurácia, o índice Kappa:

$$\text{Kappa} = (\text{observado} - \text{esperado}) / (1 - \text{esperado})$$

Sendo que:

Observado = (soma dos acertos)/número de pontos = exatidão global =  $63/86 = 0,732558$  ou 73,256%;

Esperado = (soma da diagonal dos produtos totais marginais)/(soma dos totais marginais) =  $1023/7396 = 0,138318$

$$\text{Índice Kappa} = (0,732558 - 0,138318) / 1 - 0,138318 = 0,59424 / 0,861682 = 0,6896 = 68,96\% \sim 69\%$$

Tabela 4.1 – Classificação visual x verdade de campo. AUC = Áreas Urbanas consolidadas; AUE = Áreas Urbanas em consolidação; CUL = Culturas Agrícolas; PAS = Pastagens Cultivadas; REF = Reflorestamentos; CAM = Campos; CTI = Cerrado Típico; MIN = Matas Indiscriminadas; MGA = Mata de Galeria; RES = Reservatórios; TOT = Total.

	AUC	AUE	CUL	PAS	REF	CAM	CTI	MIN	MGA	RES	TOT
AUC	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5'
AUE	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5
CUL	0	0	4	2	0	1	1	0	0	0	8''
PAS	0	1	0	18	0	0	0	0	0	0	19
REF	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	5
CAM	1	0	0	2	0	8	3	0	0	0	14
CTI	0	1	0	5	0	2	5	2	0	0	15'''
MIN	0	0	0	1	0	0	0	3	1	0	5
MGA	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5
RES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5
TOT	6'	7	4	28'''	5	11	9	5	6	5	86

Tabela 4.2 - Matriz de erros de mapeamento de cobertura de terras da área de estudo.

	AUC	AUE	CUL	PAS	REF	CAM	CTI	MIN	MGA	RES	TOT
AUC	30 <sup>a</sup>	35	20	140	25	55	45	25	30	25	430
AUE	30	35	20	140	25	55	45	25	30	25	430
CUL	48 <sup>b</sup>	56	32	224	40	88	72	40	48	40	688
PAS	114	133	76	532	95	209	171	95	114	95	1634
REF	30	35	20	140	25	55	45	25	30	25	430
CAM	84	98	56	392	70	154	126	70	84	70	1204
CTI	90	105	60	420 <sup>c</sup>	75	165	135	75	90	75	1290
MIN	30	35	20	140	25	55	45	25	30	25	430
MGA	30	35	20	140	25	55	45	25	30	25	430
RES	30	35	20	140	25	55	45	25	30	25	430
TOT	516	602	344	2408	430	946	774	430	516	430	7396

<sup>a</sup> valor refere-se ao produto dos totais marginais = 5' x 6' = 30; <sup>b</sup> valor refere-se ao produto dos totais marginais = 8'' x 6'' = 48; e <sup>c</sup> valor refere-se ao produto dos totais marginais = 15''' x 28''' = 420.

## **CAPÍTULO 5**

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

De acordo com a metodologia utilizada e os resultados obtidos nesta pesquisa, foi possível chegar às seguintes conclusões:

- a técnica de segmentação de imagens por crescimento de regiões, seguida de análise visual no monitor do computador, permitiu a confecção do mapa de cobertura de terras de parte do DF coberta por uma cena do ALOS PALSAR com uma precisão boa (índice Kappa = 69%);
  
- a análise estatística por agrupamento hierárquico envolvendo as polarizações HH, VV, HV permitiu a discriminação dos seguintes grupos de cobertura de terras: Pastagens Cultivadas e Campos; Reflorestamentos e Matas de Galeria; e Cerrado Típico e Matas Indiscriminadas. Culturas Agrícolas, Áreas Urbanas consolidadas e Áreas Urbanas em consolidação não apresentaram confusão espectral com outras categorias.

Como continuação desta investigação, recomenda-se a análise de outros sensores de radar com múltipla polarização para discriminação de fitofisionomias representativas do Cerrado, como são os casos do RADARSAT-2 e dos dados aerotransportados de radar da plataforma R99B/SAR.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, N.S.O. **Qualidade geométrica de imagens JERS-1 (SAR) e RADARSAT (modos S2 e S3) em ambiente de floresta tropical (Rondônia).** São José dos Campos: INPE, 1999. 203 p. (INPE-7503-TDI/718).

ARAÚJO FILHO, M.; MENESES, P.R.; SANO, E.E. 2007. Sistema de classificação de uso e cobertura da terra com base em imagens de satélite. **Revista Brasileira de Cartografia**, vol. 59, n. 2, p. 171-179.

BEZERRA, H.S.; SANO, E.E.; FERREIRA, L.G. 2007. Desempenho do satélite sino-brasileiro de recursos terrestres CBERS-2 no mapeamento da cobertura da terra no Distrito Federal, Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, vol. 25, n. 2, p. 171-185.

CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. 1996. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computer & Graphics**, vol. 20, n. 3, p. 395-403.

CCRS. 2008. **RADARSAT-2 technical specifications.** Disponível em: <[http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/radar/spaceborne/radarsat2/mission\\_e.php](http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/radar/spaceborne/radarsat2/mission_e.php)>. Acesso em: 30 dez. 2008.

CHAVES, J.M.; SANO, E.E.; GUIMARÃES, E.M.; SILVA, A.B.; MENESES, P.R. 2003. Sinergismo entre dados ópticos e de radar para o estudo geológico na região de Bezerra-Cabeceiras, Goiás. **Revista Brasileira de Geociências**, vol. 33, n. 2-Suplemento, p. 137-146.

CODEPLAN. 1984. **Atlas do Distrito Federal.** Brasília: CODEPLAN, v.1, 1984.

DILLON, W.R.; GOLDSTEIN, M. 1984. **Multivariate analysis. Methods and Applications.** Nova Iorque: John Wiley & Sons, Cap. 5, p. 157-208.

ENGMAN, E.T.; CHAUHAN, N. 1995. Status of microwave soil moisture measurements with remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, vol. 51, p. 189-198.

ENVISAT. 2008. **ASAR**. Disponível em: <<http://envisat.esa.int/instruments/asar/>>. Acesso em: 30 dez. 2008.

EPIPHANIO, J.C.N. 2005. Joint China-Brazil Remote Sensing Satellites. **GIM International**, v. 19, n. 2, p. 68-71.

FERREIRA, M.E.; FERREIRA, L.G.; SANO, E.E.; SHIMABUKURO, Y.E. 2007. Spectral linear mixture modelling approaches for land cover mapping of tropical savanna areas in Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 28, n. 2, p. 413-429.

HENDERSON, F.M.; LEWIS, A.J. Principles and Applications of Imaging Radar. **Manual of Remote Sensing**, Nova Iorque: John Wiley & Sons, 3<sup>a</sup> ed., vol. 2, 866 p.

IBGE. 1997. **Censo Agropecuário 1995-1996**. Rio de Janeiro: IBGE, n. 25 (Goiás), 264 p.

IBGE. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 2<sup>a</sup> edição. Rio de Janeiro, 2006. 91 p.

IBGE. 2007. SIDRA. **Banco de dados agregados**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?z=t&o=23&i=P>>. Acesso em: 09 fev. 2009.

IBGE. 2008. **Imagens ALOS/PALSAR**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/alos/>>. Acesso em: 20 dez. 2008.

IGARASHI, T. 2001. ALOS mission requirements and specifications. **Advances in Space Research**, vol. 28, n. 1, p. 127-131.

JENSEN, J.R. 2000. **Remote Sensing of the Environment**. An Earth Resources Perspective. Upper Saddle River: Prentice Hall Inc., 544 p.

JUSTICE, C.O.; TOWNSHEND, J.R.G.; VERMOTE, E.; MASUOKA, E.; WOLFE, R.; SALEOUS, N.; ROY, D.; MORISETTE, J. 2002. An overview of MODIS land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, vol. 83, p. 3 –15.

LECKIE, D.G.; RANSON, K.J. 1998. Forest applications using imaging radar. In: Henderson, F.M.; Lewis, A.J. (eds.). **Principles and Applications of Imaging Radar**. Manual of Remote Sensing, Nova Iorque: John Wiley & Sons, 3<sup>a</sup> ed., vol. 2, Cap. 9, p. 435-509.

LEWIS, A.J. 1998. Geomorphic and hydrologic applications of active microwave remote sensing. In: Henderson, F.M.; Lewis, A.J. (eds.). **Principles and Applications of Imaging Radar**. Manual of Remote Sensing, Nova Iorque: John Wiley & Sons, 3<sup>a</sup> ed., vol. 2, Cap. 11, p. 567-629.

LEWIS, A.J.; HENDERSON, F.M.; HOLCOMB, D.W. 1998. Radar Fundamentals. The Geoscience Perspective. In: HENDERSON, F.M.; LEWIS, A.J. **Principles and Applications of Imaging Radar**. Manual of Remote Sensing, 3a ed., Nova York, John Wiley & Sons, Inc., Cap. 3, p. 131-181.

LIMA, M.I.C. 2008. **Projeto RADAM: uma saga amazônica**. Belém: Ed. Paka-Tatu, 132 p.

MAEDA, E.E.; ARCOVERDE, G.F.B.; FORMAGGIO, A.R.; SHIMABUKURO, Y.E. 2008. Evaluation of the potentiality of WFI/CBERS-3 sensor data for land use and land cover classification. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 60, p. 79-87.

MENESES, P.R. 2001. Fundamentos de radiometria óptica espectral. In: MENESES, P.R.; MADEIRA NETTO, J.S. (org.). **Sensoriamento Remoto. Reflectância dos Alvos Naturais**. Brasília: UnB; Planaltina: Embrapa Embrapa Cerrados. Cap. 1, p. 15-40.

MOITA NETO, J.M.; MOITA, G.C. 1998. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, v.21, n.4, p. 467-469.

MORAN, M.S.; HYMER, D.C.; QI, J.; SANO, E.E. 2000. Soil moisture evaluation using multi-temporal synthetic aperture radar (SAR) in semiarid rangeland. **Agricultural and Forest Meteorology**, vol.105, p. 69-80.

MORAN, M.S.; HYMER, D.C.; QI, J.; KERR, Y. 2002. Comparison of ERS-2 SAR and Landsat TM imagery for monitoring agricultural crop and soil conditions. **Remote Sensing of Environment**, vol. 79, p. 243-252.

NIMER, E. 1989. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 397 p. (Série Recursos Naturais e Meio Ambiente).

PARADELLA, W.R.; SANTOS, A.R.; VENEZIANI, P.; CUNHA, E.S.P. 2005. Radares imageadores nas geociências. Estado da arte e perspectivas. **Revista Brasileira de Cartografia**, vol. 57, p. 56-62.

PRADO, H. 1995. **A pedologia simplificada**. Piracicaba: POTAFOS (POTAFOS. Arquivos do Agrônomo,1).

PRADO, F.M. 2009. **Sistema hierárquico de classificação para mapeamento da cobertura da terra nas escalas regional e urbana**. Presidente Prudente: UNESP, 164 p. (dissertação de mestrado).

RAHMAN, M.M.; MORAN, M.S.; THOMA, D.P.; BRYANT, R.; SANO, E.E.; COLLINS, C.D.H.; SKIRVIN, S.; KERSHNER, C.; ORR, B.J. 2007. A derivation of roughness correlation length for parameterizing radar backscatter models. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 28, n. 18, p. 3995-4012.

RANEY, R.K. 1998. Radar fundamentals: technical perspective. In: HENDERSON, F.M.; LEWIS, A.J. (eds.), **Manual of Remote Sensing. Principles and Applications of Imaging Radar**. Vol. 2, 3<sup>a</sup> ed., Nova Iorque: John Wiley & Sons, p. 9–130.

REATTO, A.; MARTINS, S.E; FARIAS, R.M.F; SILVA, V.A; ABÍLIO, Jr .C.O. 2004. **Mapa Pedológico Digital – SIG atualizado do Distrito Federal escala 1:100.000**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 31 p. (Documentos. Embrapa Cerrados, 120).

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. 2008. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F. **Cerrado. Ecologia e Flora**. Brasília: Embrapa Cerrados e Embrapa Informação Tecnológica, Cap. 6, p. 153-212.

SANO, E.E.; HUETE, A.R.; MORAN, M.S. 1999. Estimation of surface roughness in a semiarid region from C-band ERS-1 synthetic aperture radar data. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 23, n. 4, p. 903-908.

SANO, E.E.; LIMA, J.E.F.W.; SILVA, E.M.; OLIVEIRA, E.C. 2005a. Estimativa da variação na demanda de água para irrigação por pivô-central no Distrito Federal entre 1992 e 2002. **Revista Engenharia Agrícola**, vol. 25, n. 2, p. 508-515.

SANO, E.E.; FERREIRA, L.G.; HUETE, A.R. 2005b. Synthetic aperture radar (L-band) and optical vegetation indices for discriminating the Brazilian savanna physiognomies: a comparative analysis. **Earth Interactions**, vol. 9, Paper no. 15, p. 1-15.

SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.S.; FERREIRA, L.G. 2008. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 43, n. 1, p. 153-156.

SANTOS, J.R.; FREITAS, C.C.; ARAÚJO, L.S.; DUTRA, L.V.; MURA, J.C.; GAMA, F.F.; SOLER, L.S.; SANT'ANNA, S.J.S. 2003. Airborne P-band SAR applied to the aboveground biomass studies in the Brazilian tropical rainforest. **Remote Sensing of Environment**, vol. 87, p. 482-493.

SHIMABUKURO, Y.E.; ALMEIDA FILHO, R.; KUPLICH, T.M.; FREITAS, R.M. 2008. Use of Landsat TM fraction images to quantify the optical and SAR data relationships for land cover discrimination in the Brazilian Amazonia. **International Journal of Geoinformatics**, v. 4, p. 57-63.

SILVA, D.A. **Sistemas Sensores Orbitais**. São José dos Campos. INPE, 1995.

STEINKE, V.A. 2003. **Uso integrado de dados digitais morfométricos (altimetria e sistema de drenagem) na definição de unidades geomorfológicas no Distrito Federal**. Brasília: Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, 104 p. (Dissertação de Mestrado).

THOMA, D.P.; MORAN, M.S.; BRYANT, R.; RAHMAN, M.; HOLIFIELD-COLLINS, C.D.; SKIRVIN, S.; SANO, E.E.; SLOCUM, K. 2006. Comparison of four models to determine surface soil moisture from C-band radar imagery in a sparsely vegetated semiarid landscape. **Water Resources Research**, vol. 42, n. 1, p. 1-12.

VAN ZYL, J.J. 2001. The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM): a breakthrough in remote sensing of topography. **Acta Astronautica**, vol. 48, n. 5-12, p. 559-565.

VEIGA, R.Q; ANDRADE, N.S.O. **Imageamento por RADAR**.2005

WANG, H., ELLIS, E.C., 2005. Spatial accuracy of orthorectified IKONOS imagery and historical aerial photographs across five sites in China. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 26, 1893–1911.

# ANEXOS

**A – COEFICIENTES DE RETROESPALHAMENTO ( $\sigma^\circ$ ) DAS  
POLARIZAÇÕES HH, HV E VH SOBRE CLASSES DE COBERTURA DE  
TERRAS REPRESENTATIVAS DO DF**

<b>CLASSE</b>	<b>AMOSTRA</b>	<b>HH</b>	<b>HV</b>	<b>VV</b>
Mata de galeria	1	-8,22	-13,74	-8,86
Mata de galeria	2	-4,68	-10,37	-4,77
Mata de galeria	3	-5,17	-11,22	-6,14
Mata de galeria	4	-5,85	-10,19	-4,58
Mata de galeria	5	-4,6	-9,64	-6,22
Mata de galeria	6	-3,43	-11,38	-6,08
Mata de galeria	7	-5,61	-10,24	-6,17
Mata de galeria	8	-4,95	-8,78	-4,89
Mata de galeria	9	-1,47	-8,58	-4,63
Mata de galeria	10	-2,82	-9,44	-5,11
Mata de galeria	11	-2,47	-8,72	-3,91
Mata de galeria	12	-3,6	-8,98	-5,42
Mata de galeria	13	-6,57	-11,86	-7,75
Mata de galeria	14	-6,64	-12,71	-7,56
Mata de galeria	15	-7,04	-11,25	-8,19
Mata de galeria	16	-5,2	-12,73	-7,42
Mata de galeria	17	-6,15	-11,69	-8,05
Mata de galeria	18	-6,45	-11,9	-7,45
Mata de galeria	19	-6,45	-12,33	-7,45
Mata de galeria	20	-6,67	-12,89	-8,03
Mata de galeria	21	-5,74	-11,25	-6,75
Mata de galeria	22	-7,62	-12,76	-8,09
Mata de galeria	23	-6,19	-12,47	-8,48
Mata de galeria	24	-4,7	-10,9	-5,71
Mata de galeria	25	-7,12	-11,53	-6,98
Mata de galeria	26	-5,57	-11,09	-7,06
Mata de galeria	27	-6,87	11,86	-7,69
Mata de galeria	28	-6,27	-11,94	-7,47
Mata de galeria	29	-7,73	-13,48	-8,05
Mata de galeria	30	-8,08	-13,28	-8,1
Cultura agrícola	1	-7,72	-18,38	-10,72
Cultura agrícola	2	-7,8	-19,41	-10,81
Cultura agrícola	3	-10,18	-19,11	-12,01
Cultura agrícola	4	-9,52	-18,2	-11,56
Cultura agrícola	5	-8,04	-20,55	-13,33
Cultura agrícola	6	-8,8	-17,13	-9,09
Cultura agrícola	7	-10,16	-16,88	-11,83
Cultura agrícola	8	-12,87	-22,25	-13,35
Cultura agrícola	9	-13,33	-25,16	-15,02
Cultura agrícola	10	-12,17	-25,68	-14,71
Cultura agrícola	11	-12,6	-25,97	-15,62
Cultura agrícola	12	-9,27	-21,27	-12,76
Cultura agrícola	13	-10,16	-23,94	-11,93
Cultura agrícola	14	-17,33	-28,26	-17,95
Cultura agrícola	15	-11,02	-21,77	-12,51
Cultura agrícola	16	-18,53	-28,21	-18,33

Cultura agrícola	17	-14,68	-22,09	-14,72
Cultura agrícola	18	-15,58	-27,9	-15,31
Cultura agrícola	19	-10,62	-18,64	-12,61
Cultura agrícola	20	-12,82	-23,61	-14,8
Cultura agrícola	21	-8,26	-18,96	-12,42
Cultura agrícola	22	-10,06	-20,32	-12,83
Cultura agrícola	23	-13,62	-22,27	-14,34
Cultura agrícola	24	-16,07	-23,83	-16,04
Cultura agrícola	25	-10,3	-20,82	-12,37
Cultura agrícola	26	-9,18	-22,54	-11,53
Cultura agrícola	27	-15,68	-28,06	-14,65
Cultura agrícola	28	-14,35	-28,55	-13,77
Cultura agrícola	29	-5,92	-25,46	-5,43
Cultura agrícola	30	-10,61	-17,51	-11,84
Reforestamento	1	-4,84	-11,52	-6,97
Reforestamento	2	-5	-11,33	-6,96
Reforestamento	3	-5,39	-10,69	-6,56
Reforestamento	4	-4,06	-10,79	-6,43
Reforestamento	5	-5,14	-11,28	-7,14
Reforestamento	6	-4,17	-10,7	-7,48
Reforestamento	7	-5,17	-11,7	-7,89
Reforestamento	8	-6,13	-11,61	-8,03
Reforestamento	9	-5,98	-11,3	-7,92
Reforestamento	10	-5,55	-11,63	-8,2
Reforestamento	11	-6,08	-11,39	-7,22
Reforestamento	12	-5,18	-11,76	-8,65
Reforestamento	13	-5,67	-12,16	-7,28
Reforestamento	14	-7,85	-12,84	-7,68
Reforestamento	15	-6,22	-13,42	-7,41
Reforestamento	16	-7,01	-12,22	-7,98
Reforestamento	17	-6,9	-14,6	-9,75
Reforestamento	18	-6,39	-13,22	-8,36
Reforestamento	19	-7,19	-14,29	-8,99
Reforestamento	20	-8,22	-15,18	-10,06
Reforestamento	21	-6,62	-13,06	-7,08
Reforestamento	22	-8,37	-12,38	-8,48
Reforestamento	23	-7,22	-11,55	-8,7
Reforestamento	24	-6,48	-12,52	-8,36
Reforestamento	25	-7,46	-12,56	-9,03
Reforestamento	26	-6,22	-11,66	-8,28
Reforestamento	27	-4,56	-10,48	-7,56
Reforestamento	28	-5,72	-11,64	-6,38
Reforestamento	29	-5,95	-11,87	-7,45
Reforestamento	30	-5,78	-12,45	-8,38
Área urbana consolidada	1	4,11	-16,04	-1,64
Área urbana consolidada	2	7,26	14,78	2,03
Área urbana consolidada	3	6,26	-14,5	-0,7
Área urbana consolidada	4	2,14	-13,95	-0,72
Área urbana consolidada	5	3,79	-15,43	-2,99
Área urbana consolidada	6	5,6	-13,29	-2,04
Área urbana consolidada	7	-4,13	-10,84	-5,17
Área urbana consolidada	8	-4,97	12,2	-4,38

Área urbana consolidada	9	-7,31	-13,15	-8,21
Área urbana consolidada	10	-5,39	-13,01	-6,79
Área urbana consolidada	11	-6,72	-12,31	-6,96
Área urbana consolidada	12	-4,73	-12,15	-7,1
Área urbana consolidada	13	-7,58	-13,24	-9,14
Área urbana consolidada	14	-7,14	-10,2	-7,27
Área urbana consolidada	15	-6,64	-12,59	-8,24
Área urbana consolidada	16	-6,13	-12,24	-8,18
Área urbana consolidada	17	-6,02	-12,16	-7,1
Área urbana consolidada	18	-5,55	-11,71	-7,36
Área urbana consolidada	19	-1,06	-12,54	-6,34
Área urbana consolidada	20	-0,57	-11,78	-5,74
Área urbana consolidada	21	-6,81	-12,73	-7,84
Área urbana consolidada	22	-3,13	-12,98	-5,68
Área urbana consolidada	23	-1,09	-13,56	-3,04
Área urbana consolidada	24	-0,33	-13,95	-3,16
Área urbana consolidada	25	-0,63	-14,88	-2,19
Área urbana consolidada	26	-0,47	-13,62	-4,27
Área urbana consolidada	27	-0,23	-13,37	-3,78
Área urbana consolidada	28	-7,78	-14,89	-9,18
Área urbana consolidada	29	-7,39	-12,39	-9,24
Área urbana consolidada	30	-0,74	-14,27	-5,89
Área urbana não consolidada	1	-9,62	-17,13	-10,59
Área urbana não consolidada	2	-9,69	-17,49	-10,99
Área urbana não consolidada	3	-6,45	-14,34	-8,44
Área urbana não consolidada	4	-13,01	-19,19	-14,14
Área urbana não consolidada	5	-8,72	-15,62	-11,2
Área urbana não consolidada	6	-8,14	15,62	-8,99
Área urbana não consolidada	7	-8,48	-17,89	-9,13
Área urbana não consolidada	8	-7,76	-17,13	-8,91
Área urbana não consolidada	9	-12,11	-22,37	-13,5
Área urbana não consolidada	10	-10,32	-21,53	-11,01
Área urbana não consolidada	11	-12,7	-22,06	-14,32
Área urbana não consolidada	12	-11,52	-21,76	-13,5
Área urbana não consolidada	13	-11,35	-21,22	-11,95
Área urbana não consolidada	14	-11,63	-21,14	-12,5
Área urbana não consolidada	15	-12,11	-23,39	-12,43
Área urbana não consolidada	16	-12,75	-24,42	-13,31
Área urbana não consolidada	17	-14	-25,2	-13,69
Área urbana não consolidada	18	-9,05	-19,73	-10,2
Área urbana não consolidada	19	-7,6	-15,79	-10,48
Área urbana não consolidada	20	-10,63	-23,46	-12,11
Área urbana não consolidada	21	-5,77	-15,09	-9,19
Área urbana não consolidada	22	-6,86	-14,6	-9,24
Área urbana não consolidada	23	-8,11	-18,06	-8,4
Área urbana não consolidada	24	-8,26	-15,97	-10,2
Área urbana não consolidada	25	-7,58	-15,1	-9,57
Área urbana não consolidada	26	-9,7	-14,63	-10,13
Área urbana não consolidada	27	-5,18	-13,99	-7,18
Área urbana não consolidada	28	-11,66	-18,42	-13,24
Área urbana não consolidada	29	-9,42	-15,72	-10,09
Área urbana não consolidada	30	-8,04	-17,05	-8,67

Campo Limpo/Campo Sujo	1	-14,12	-25,21	-14,47
Campo Limpo/Campo Sujo	2	-15,57	-25,45	-15,31
Campo Limpo/Campo Sujo	3	-15,78	-25,55	-15,58
Campo Limpo/Campo Sujo	4	-15,78	-25,3	-15,6
Campo Limpo/Campo Sujo	5	-13,81	-24,85	-14,23
Campo Limpo/Campo Sujo	6	-14,96	-24,28	-14,81
Campo Limpo/Campo Sujo	7	-14,47	-25,51	-14,66
Campo Limpo/Campo Sujo	8	-15,82	-25,05	-16
Campo Limpo/Campo Sujo	9	-14,54	-25,86	-13,54
Campo Limpo/Campo Sujo	10	-13,99	-25,66	-14,07
Campo Limpo/Campo Sujo	11	-15,05	-25,45	-14,85
Campo Limpo/Campo Sujo	12	-14,01	-24,49	-13,92
Campo Limpo/Campo Sujo	13	-14,41	-23,98	-14,73
Campo Limpo/Campo Sujo	14	-14,39	-24,72	-15,26
Campo Limpo/Campo Sujo	15	-13,34	-22,36	-13,23
Campo Limpo/Campo Sujo	16	-14,93	-24,9	-16,48
Campo Limpo/Campo Sujo	17	-14,32	-22,51	-14,46
Campo Limpo/Campo Sujo	18	-13,74	-25,18	-13,5
Campo Limpo/Campo Sujo	19	-14,42	-26,41	-14,39
Campo Limpo/Campo Sujo	20	-13,66	-24,03	-13,36
Campo Limpo/Campo Sujo	21	-11,74	-21,65	-12,04
Campo Limpo/Campo Sujo	22	-13,73	-25,27	-13,45
Campo Limpo/Campo Sujo	23	-13,19	-23,4	-12,53
Campo Limpo/Campo Sujo	24	-11,43	-25,42	-11,32
Campo Limpo/Campo Sujo	25	-11,24	-20,97	-12,05
Campo Limpo/Campo Sujo	26	-11,6	-21,9	-11,68
Campo Limpo/Campo Sujo	27	-12,01	-21,75	-13,63
Campo Limpo/Campo Sujo	28	-13,51	-24,28	-13,93
Campo Limpo/Campo Sujo	29	-13,3	-25,6	-13,66
Campo Limpo/Campo Sujo	30	-14,62	-22,67	-14,97
Cerrado Típico	1	-8,14	-16,3	-10,44
Cerrado Típico	2	-8,57	-14,75	-10
Cerrado Típico	3	-7,84	-13,73	-9,78
Cerrado Típico	4	-7,52	-15,22	-9,07
Cerrado Típico	5	-7,61	-14,46	-8,79
Cerrado Típico	6	-7,46	-12,95	-8,96
Cerrado Típico	7	-7,94	-14,49	-8,99
Cerrado Típico	8	-7,95	-15,01	-9
Cerrado Típico	9	-7,6	-15,34	-11,35
Cerrado Típico	10	-8,23	-15,9	-9,83
Cerrado Típico	11	-7,9	-14,38	-9,43
Cerrado Típico	12	-7,22	-14,42	-8,73
Cerrado Típico	13	-6,22	-13,07	-8,4
Cerrado Típico	14	-7,01	-13,2	-8,59
Cerrado Típico	15	-6,66	-14,51	-8,57
Cerrado Típico	16	-8,45	-16,59	-9,14
Cerrado Típico	17	-8,22	-15,61	-8,67
Cerrado Típico	18	-7,62	-14,81	-8,46
Cerrado Típico	19	-8,59	-16,2	-8,66
Cerrado Típico	20	-8,09	-16,81	10,65
Cerrado Típico	21	-8,13	-16,42	-10,1
Cerrado Típico	22	-8,44	-15,58	-9,81

Cerrado Típico	23	-6,73	-14,93	-9,38
Cerrado Típico	24	-7,85	-15,4	-9,17
Cerrado Típico	25	-7,96	-15	-8,95
Cerrado Típico	26	-8,7	-15,85	-9,15
Cerrado Típico	27	-6,89	-15,25	-9,41
Cerrado Típico	28	-8,24	-16,32	-10,9
Cerrado Típico	29	-7,74	-15,35	-9,63
Cerrado Típico	30	-7,78	-14,79	-10,28
Mata indiscriminada	1	-9,44	-16,26	-11
Mata indiscriminada	2	-9,63	-14,23	-10,06
Mata indiscriminada	3	-9,66	-14,69	-10,66
Mata indiscriminada	4	-9,52	-15,73	-10,87
Mata indiscriminada	5	-9,58	-15,38	-10,16
Mata indiscriminada	6	-10,56	-16,14	-10,28
Mata indiscriminada	7	-9,55	-14,79	-10,3
Mata indiscriminada	8	-10,48	-16,44	-11
Mata indiscriminada	9	-8,14	-13,75	-8,77
Mata indiscriminada	10	-8,69	-14,34	-9,49
Mata indiscriminada	11	-9,47	-15,33	-10,2
Mata indiscriminada	12	-10,4	-15,7	-11,33
Mata indiscriminada	13	-10,03	-14,66	-9,87
Mata indiscriminada	14	-6,92	-13,31	-8,98
Mata indiscriminada	15	-8,1	-13,37	-9,58
Mata indiscriminada	16	-7,9	-13,7	-8,67
Mata indiscriminada	17	-7,31	-12,81	-8,53
Mata indiscriminada	18	-7,21	-12,39	-8
Mata indiscriminada	19	-7,12	-13,11	-8,63
Mata indiscriminada	20	-7,9	-14,3	-9,39
Mata indiscriminada	21	-7,93	-13,35	-9,34
Mata indiscriminada	22	-7,33	-14,09	-8,12
Mata indiscriminada	23	-7,3	-13,46	-8,33
Mata indiscriminada	24	-7,53	-13,05	-7,8
Mata indiscriminada	25	-6,74	-12,85	-8,33
Mata indiscriminada	26	-10,68	-16,08	-10,61
Mata indiscriminada	27	-10,7	-15,46	-10,61
Mata indiscriminada	28	-10,57	-15,87	-11,2
Mata indiscriminada	29	-7,14	-13,97	-8,72
Mata indiscriminada	30	-10,48	-15,22	-10,81
Pastagem cultivada	1	-14,99	-25,81	-14,2
Pastagem cultivada	2	-15,37	-26,51	-14,62
Pastagem cultivada	3	-15,08	-26,51	-14,4
Pastagem cultivada	4	-14,53	-25,85	-14,71
Pastagem cultivada	5	-15,61	-26,41	-14,71
Pastagem cultivada	6	-14,92	-26,83	-13,19
Pastagem cultivada	7	-15,28	-26,39	-15
Pastagem cultivada	8	-15,27	-26,39	-15
Pastagem cultivada	9	-15	-23,89	-15,03
Pastagem cultivada	10	-14,52	-24,3	-14,5
Pastagem cultivada	11	-13,33	-25,02	-13,1
Pastagem cultivada	12	-13,79	-25,22	-12,96
Pastagem cultivada	13	-15,02	-23,42	-14,26
Pastagem cultivada	14	-12,72	-25,61	-11,28

Pastagem cultivada	15	-12,39	24,95	-11,45
Pastagem cultivada	16	-12,35	-25,39	-11,36
Pastagem cultivada	17	-13,25	-24,12	-12,34
Pastagem cultivada	18	-11,63	-19,98	-12,6
Pastagem cultivada	19	-14,76	-24,54	-13,41
Pastagem cultivada	20	-15,34	-24,99	-14,85
Pastagem cultivada	21	-13,12	-21,58	-14,41
Pastagem cultivada	22	-14,97	-23,53	-13,82
Pastagem cultivada	23	-13,64	-23,7	-13,5
Pastagem cultivada	24	-15,38	-25,47	-14,53
Pastagem cultivada	25	-13,05	-23,39	-13,98
Pastagem cultivada	26	-14,74	-26,05	-13,11
Pastagem cultivada	27	-13,03	-22,95	-14,08
Pastagem cultivada	28	-12,71	-19,77	-13,22
Pastagem cultivada	29	-14,47	-24	-15,29
Pastagem cultivada	30	-13,81	-24,59	-14,52
Reservatório	1	-22,35	-28,34	-24
Reservatório	2	-21,66	-27,76	-23,6
Reservatório	3	-21,47	-27,66	-23,95
Reservatório	4	-11,95	-27,32	-9,52
Reservatório	5	-14,56	-27,98	-12,4
Reservatório	6	-12,12	-28,16	-10,21
Reservatório	7	-11,71	-27,63	-9,9
Reservatório	8	-21,75	-28,56	-22
Reservatório	9	-22,57	-28,94	-22,97
Reservatório	10	-13,41	-28,44	-11,42
Reservatório	11	-14,67	-28,34	-13,26
Reservatório	12	-11,22	-28,96	-9,64
Reservatório	13	-20,71	-28,04	-22
Reservatório	14	-19,39	-26,55	-19,93
Reservatório	15	-21,88	-29,21	-23,65
Reservatório	16	-11,47	-28,04	-10,09
Reservatório	17	-12,52	-27,59	-11,46
Reservatório	18	-22,71	-28,92	-24,22
Reservatório	19	-22,11	-27,6	-23,38
Reservatório	20	-22,97	-27,65	-23,47
Reservatório	21	-22,5	-28,6	-23,35
Reservatório	22	-20,19	-27,5	-22,73
Reservatório	23	-20,47	-27,23	-23,03
Reservatório	24	-19,42	-28,14	-21,87
Reservatório	25	-12,46	-28,26	-10,04
Reservatório	26	-11,25	-27,83	-9,27
Reservatório	27	-11,87	-27,9	-10,2
Reservatório	28	-12,05	-28,3	-10,28
Reservatório	29	-11,33	-27,97	-9,83
Reservatório	30	-13,06	-27,15	-11,55

**B – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DA EXPEDIÇÃO DE CAMPO REALIZADO NO DISTRITO FEDERAL EM FEVEREIRO DE 2009**



Ponto 01 (Cultura agrícola)  
Latitude: 15°35'57,48"S  
Longitude: 47°43'6,99"W



Ponto 02 (Mata de Galeria)  
Latitude: 15°35'15,16"S  
Longitude: 47°43'53,65"W



Ponto 03 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°34'51,31"S  
Longitude: 47°43'28,12"W



Ponto 04 (Campo Sujo)  
Latitude: 15°37'6,38"S  
Longitude: 47°42'56,12"W



Ponto 05 (Área Urbana não consolidada)  
Latitude: 15°37'29,71"S  
Longitude: 47°43'9,15"W



Ponto 06 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°37'56,31"S  
Longitude: 47°44'22,92"W

**Sem registro fotográfico**



Ponto 07 (Campo Sujo)  
Latitude: 15°38'40,77"S  
Longitude: 47°44'24,57"W



Ponto 08 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°38'41,85"S  
Longitude: 47°45'18,25"W



Ponto 10 (Campo Sujo)  
Latitude: 15°40'56,42"S  
Longitude: 47°43'43,32"W



Ponto 11 (Cerrado Típico)  
Latitude: 15°40'53,14"S  
Longitude: 47°42'26,82"W



Ponto 12 (Cultura agrícola)  
Latitude: 15°41'33,86"S  
Longitude: 47°42'4,03"W



Ponto 13 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°40'19,52"S  
Longitude: 47°45'49,71"W



Ponto 14 (Campo Sujo)  
Latitude: 15°41'1,28"S  
Longitude: 47°46'25,53"W



Ponto 15 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°42'4,21"S  
Longitude: 47°45'33,98"W



Ponto 16 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°42'39,49"S  
Longitude: 47°45'29,12"W



Ponto 17 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°43'10,41"S  
Longitude: 47°46'0,58"W



Ponto 18 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°41'57,19"S  
Longitude: 47°48'19,47"W



Ponto 19 (Reflorestamento)  
Latitude: 15°43'7,71"S  
Longitude: 47°47'47,47"W

**Sem registro fotográfico**

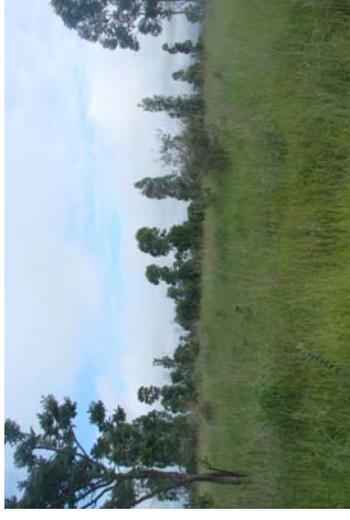
Ponto 22 (Área Urbana Consolidada)  
Latitude: 15°48'48,38"S  
Longitude: 47°58'23,55"W



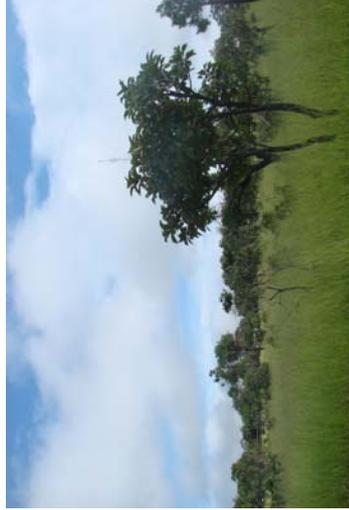
Ponto 20 (Reflorestamento)  
Latitude: 15°42'48,16"S  
Longitude: 47°48'14,58"W

**Sem registro fotográfico**

Ponto 23 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°41'30,04"S  
Longitude: 47°51'9,82"W



Ponto 21 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°42'8,02"S  
Longitude: 47°49'14,26"W



Ponto 24 (Mata de Galeria)  
Latitude: 15°43'18,49"S  
Longitude: 47°4'13,08"W



Ponto 25 (Campo Sujo)  
Latitude: 15°40'17,36"S  
Longitude: 47°52'39,86"W

**Sem registro fotográfico**

**Sem registro fotográfico**

Ponto 26 (Área Urbana não consolidada)  
Latitude: 15°38'16,92"S  
Longitude: 47°55'23,46"W

Ponto 27 (Área Urbana não Consolidada)  
Latitude: 15°45'40,15"S  
Longitude: 47°44'29,43"W



**Sem registro fotográfico**

**Sem registro fotográfico**

Ponto 28 (Reservatório)  
Latitude: 15°43'46,44"S  
Longitude: 47°53'5,03"W

Ponto 29 (Reservatório)  
Latitude: 15°48'3,76"S  
Longitude: 47°50'7,75"W

Ponto 30 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°45'22,23"S  
Longitude: 47°46'42,88"W



Ponto 31 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°42'47,82"S  
Longitude: 47°42'14,36"W



Ponto 32 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°44'25,29"S  
Longitude: 47°41'53,19"W



Ponto 33 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°44'52,94"S  
Longitude: 47°42'35,49"W



Ponto 34 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°45'36,36"S  
Longitude: 47°43'26,50"W



Ponto 35 (Campo Sujo)  
Latitude: 15°46'5,66"S  
Longitude: 47°43'27,58"W



Ponto 36 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°47'12,91"S  
Longitude: 47°42'14,90"W



Ponto 37 (Campo Sujo)  
Latitude: 15°46'46,48"S  
Longitude: 47°42'16,52"W



Ponto 38 (Cultura agrícola)  
Latitude: 15°44'6,82"S  
Longitude: 47°41'14,67"W



Ponto 39 (Reflorestamento)  
Latitude: 15°45'48,27"S  
Longitude: 47°46'28,23"W



Ponto 40 (Reflorestamento)  
Latitude: 15°46'42,52"S  
Longitude: 47°46'27,69"W



Ponto 41 (Reflorestamento)  
Latitude: 15°45'39,06"S  
Longitude: 47°48'11,88"W



Ponto 42 (Mata Indiscriminada)  
Latitude: 15°45'26,56"S  
Longitude: 47°48'41,72"W



Ponto 43 (Área Urbana não Consolidada)  
Latitude: 15°43'45,12"S  
Longitude: 47°50'23,71"W



Ponto 44 (Cerrado Típico)  
Latitude: 15°48'14,26"S  
Longitude: 47°47'40,41"W



Ponto 45 (Cerrado Típico)  
Latitude: 15°48'6,62"S  
Longitude: 47°48'8,60"W



Ponto 46 (Campo Sujo)  
Latitude: 15°49'57,82"S  
Longitude: 47°48'9,14"W



Ponto 47 (Área Urbana)  
Latitude: 15°52'2,60"S  
Longitude: 47°49'10,99"W



Ponto 48 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°53'16,94"S  
Longitude: 47°48'12,96"W

**Sem registro fotográfico**

Ponto 49 (Área Urbana Consolidada)  
Latitude: 15°48'34,72"S  
Longitude: 47°57'7,18"W



Ponto 50 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°54'7,95"S  
Longitude: 47°48'38,44"W

**Sem registro fotográfico**

Ponto 51 (Área Urbana Consolidada)  
Latitude: 15°45'20,26"S  
Longitude: 47°46'47,90"W



Ponto 53 (Cerrado Típico)  
Latitude: 15°56'17,59"S  
Longitude: 47°50'37,24"W

**Sem registro fotográfico**

Ponto 52 (Mata de Galeria)  
Latitude: 15°42'39,49"S  
Longitude: 47°41'42,14"W



Ponto 54 (Cerrado Típico)  
Latitude: 15°56'51,25"S  
Longitude: 47°50'31,30"W

**Sem registro fotográfico**

Ponto 55 (Área Urbana não Consolidada)  
Latitude: 15°36'12,96"S  
Longitude: 47°58'16,94"W



Ponto 58 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°59'20,43"S  
Longitude: 47°53'6,46"W



Ponto 56 (Campo Sujo)  
Latitude: 15°54'50,79"S  
Longitude: 47°47'24,14"W



Ponto 59 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°58'48,97"S  
Longitude: 47°56'58,09"W



Ponto 57 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°57'21,6"S  
Longitude: 47°52'4,08"W



Ponto 60 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°58'53,29"S  
Longitude: 47°55'25,89"W

**Sem registro fotográfico**

Ponto 61 (Mata de Galeria)  
Latitude: 15°54'20,32"S  
Longitude: 47°43'5,41"W



Ponto 64 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 16°1'15,99"S  
Longitude: 47°47'58,30"W

**Sem registro fotográfico**

Ponto 62 (Reservatório)  
Latitude: 15°47'30,50"S  
Longitude: 47°49'11,68"W



Ponto 65 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 16°0'12,49"S  
Longitude: 47°48'13,5"W



Ponto 63 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 16°2'2,11"S  
Longitude: 47°48'17,85"W



Ponto 66 (Cerrado Típico)  
Latitude: 15°58'53,83"S  
Longitude: 47°49'10,99"W



Ponto 67 (Campo Sujo)  
Latitude: 15°56'36,6"S  
Longitude: 47°47'44,73"W



Ponto 68 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°56'22,48"S  
Longitude: 47°45'51,37"W



Ponto 69 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°55'7,06"S  
Longitude: 47°45'19,36"W



Ponto 70 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°56'26,26"S  
Longitude: 47°44'1,78"W



Ponto 71 (Cultura agrícola)  
Latitude: 15°56'58,84"S  
Longitude: 47°41'55,35"W

### Sem registro fotográfico

Ponto 72 (Área Urbana não Consolidada)  
Latitude: 16°01'12,56"S  
Longitude: 47°48'1,91"W



**Sem registro fotográfico**

Ponto 73 (Campo Sujo)  
Latitude: 15°57'56,88"S  
Longitude: 47°39'20,19"W



Ponto 75 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°44'42,64"S  
Longitude: 47°46'53,76"W



**Sem registro fotográfico**

Ponto 74 (Reservatório)  
Latitude: 16°2'48,28"S  
Longitude: 47°45'57,14"W



Ponto 76 (Campo Sujo)  
Latitude: 16°38'42,97"S  
Longitude: 47°50'44,84"W

Ponto 77 (Mata de Galeria)  
Latitude: 15°51'36,40"S  
Longitude: 47°47'0,84"W

Ponto 78 (Campo Sujo)  
Latitude: 15°37'6,92"S  
Longitude: 47°52'4,08"W

**Sem registro fotográfico**

Ponto 79 (Mata de Galeria)  
Latitude: 15°52'9,40"S  
Longitude: 47°41'38,50"W



Ponto 80 (Mata Indiscriminada)  
Latitude: 15°35'7,88"S  
Longitude: 47°51'59,72"W



Ponto 81 (Campo Sujo)  
Latitude: 15°35'49,34"S  
Longitude: 47°50'0,38"W



Ponto 82 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°34'59,44"S  
Longitude: 47°51'1,52"W

**Sem registro fotográfico**

Ponto 83 (Mata de Galeria)  
Latitude: 15°52'1,70"S  
Longitude: 47°53'4,99"W



Ponto 84 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°37'48,72"S  
Longitude: 47°48'16,2"W



Ponto 85 (Pastagem cultivada)  
Latitude: 15°37'22,11"S  
Longitude: 47°49'11,53"W

**Sem registro fotográfico**

Ponto 86 (Área Urbana Consolidada)  
Latitude: 15°43'58,76"S  
Longitude: 47°45'2,54"W

**Sem registro fotográfico**

Ponto 87 (Área Urbana Consolidada)  
Latitude: 15°54'28,33"S  
Longitude: 47°46'15,50"W