



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
LABORATÓRIO DE SENSORIAMENTO REMOTO E ANÁLISE ESPACIAL**

**O USO DA ANÁLISE ESPACIAL NO PROCESSO DE INTEGRAÇÃO
TERRENO, CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS E INIMIGO (PITCI)
DO EXÉRCITO BRASILEIRO**

IVAN CARLOS SOARES DE OLIVEIRA

Orientador: Dr. PAULO ROBERTO MENESES
Co-orientador: Dr. JOSÉ WILSON CORREA ROSA

Dissertação de Mestrado

Brasília - DF
2006

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
LABORATÓRIO DE SENSORIAMENTO REMOTO E ANÁLISE ESPACIAL**

**O USO DA ANÁLISE ESPACIAL NO PROCESSO DE INTEGRAÇÃO
TERRENO, CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS E INIMIGO (PITCI)
DO EXÉRCITO BRASILEIRO**

IVAN CARLOS SOARES DE OLIVEIRA

Dissertação de Mestrado submetida ao corpo docente do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Geociências, área de concentração em Sensoriamento Remoto e Análise Espacial.

Orientador: Dr. PAULO ROBERTO MENESES
Co-orientador: Dr. JOSÉ WILSON CORREA ROSA

Brasília - DF
2006

Dedico este trabalho à Laiza Rodrigues Leal, mulher incansável e companheira constante, por toda alegria, atenção, carinho e paciência, meu amor e eterna gratidão.

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram com a realização deste trabalho, em particular:

aos meus pais, por seu apoio incontestado em todos os momentos, meu amor e gratidão;

às minhas filhas, por seu amor imensurável, que me recarregava as energias nos momentos de dificuldade, que Deus as abençoe sempre;

ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Roberto Menezes, pelo apoio profissional e fraterno ao longo da minha caminhada na UnB, meu respeito, amizade e infinita gratidão;

aos meus professores da UnB, pelo exemplo de profissionalismo e capacidade de trabalho demonstrados, minha admiração e respeito;

aos meus colegas da UnB, pelo valoroso auxílio na consecução de tantas atividades juntas, minha amizade e eterna saudade;

aos meus chefes no trabalho, que me permitiram assistir às aulas e despendere tempo na redação da dissertação, minha gratidão e reconhecimento;

a todos os meus amigos que me ajudaram durante esta trajetória, minha profunda gratidão.

*“Mestre não é quem sempre
ensina, mas quem de repente aprende”.*

(João Guimarães Rosa)

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	viii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xiii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	16
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	16
1.2 O ESTUDO DO TERRENO NAS OPERAÇÕES MILITARES	17
1.3 OBJETIVOS PROPOSTOS	18
1.4 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	19
CAPÍTULO 2. GEOPROCESSAMENTO	21
2.1 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	21
2.2 CARACTERÍSTICAS DE UM SIG	23
2.3 CONFIGURAÇÃO DE UM SIG	24
2.4 TIPOS DE DADOS TRATADOS EM SIG	26
CAPÍTULO 3. PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO	34
3.1 INTRODUÇÃO	34
3.2 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS (PDI)	35
3.2.1 Pré-processamento	35
3.2.2 Transformação de imagens	36
3.2.2.1 Transformação por Principais Componentes	36
3.2.2.2 Índice Normalizado de Diferença de Vegetação	37
3.2.3 Classificação de imagens	38
CAPÍTULO 4. ESTUDOS MILITARES DO TERRENO	43
4.1 INTRODUÇÃO	43
4.2 ASPECTOS GERAIS DO TERRENO	43
4.2.1 Relevo	43
4.2.2 Vegetação	44
4.2.3 Solo	44
4.2.3.1 Classificação Visual dos Solos (SUCS)	50
4.2.4 Hidrografia	52
4.2.5 Obras-de-arte	53

4.2.6	Localidades	53
4.2.7	Condições meteorológicas	53
4.2.7.1	Temperatura e umidade	54
4.2.7.2	Nebulosidade	55
4.2.7.3	Precipitações	55
4.2.7.4	Ventos	56
CAPÍTULO 5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO		57
CAPÍTULO 6. MATERIAL E MÉTODOS		63
6.1	TRABALHO DESENVOLVIDO	63
6.1.1	Trabalho de campo	63
6.1.2	Estruturação da base de dados geográficos	65
6.1.3	Processamento das imagens de sensoriamento remoto	76
CAPÍTULO 7. CONSTRUÇÃO DO MAPA DE RESTRIÇÕES AO MOVIMENTO		80
CAPÍTULO 8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES		89
CAPÍTULO 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
BDG	Banco de Dados Geográficos
CC	Carro-de-Combate
CIF	Campo de Instrução de Formosa
CIGEx	Centro de Imagens e Informações Geográficas do Exército
COTER	Comando de Operações Terrestres
CPqD	Centro de Pesquisa e Desenvolvimento
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Serviço Geológico do Brasil)
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
DOS	<i>Disk Operating System</i> (Sistema Operacional do Disco)
DPI	Divisão de Processamento de Imagens
DTM	<i>Digital Terrain Model</i> (Modelo Digital do Terreno)
EB	Exército Brasileiro
EM	Estado-Maior
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EME	Estado-Maior-do-Exército
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i> (Instituto de Pesquisas de Sistemas de Meio-Ambiente)
ETM	<i>Enhanced Thematic Mapper</i> (Mapeador Temático Aprimorado)
FDB	Faixa de Dobramentos Brasília
FOV	<i>Field Of View</i> (Campo de Visada)
FT	Força Terrestre
GIS	<i>Geographic Information System</i> (Sistema de Informações Geográficas)
GOES	<i>Geostationary Operational Environmental Satellite</i> (Satélite Ambiental Operacional Geoestacionário)
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamento Global)
GRID	Grades raster
HRG	<i>High-Resolution Geometric</i> (Geometria de Alta Resolução)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFOV	<i>Instantaneous Field Of View</i> (Campo de Visada Instantâneo)
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IVP	Infravermelho próximo

LAGEOP	Laboratório de Geoprocessamento
LANDSAT	<i>Land Satellite</i> (Satélite da terra)
MAXVER	Máxima verossimilhança
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital do Terreno
MNT	Modelo Numérico do Terreno
MS	Microsoft
Nadir	Visada na perpendicular
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i> (Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço)
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (Índice Normalizado de Diferença de Vegetação)
PC	<i>Personal Computer</i> (Computador Pessoal)
PCT	<i>Principal Component Transformation</i> (Transformação por Principais Componentes)
PDI	Processamento digital de imagens
PIs	Planos de informações
PITCI	Processo de Integração Terreno, Condições Meteorológicas e Inimigo
Pixel	<i>Picture x Element</i> (Elemento de resolução)
PLVB	Ponte Lançada por Viatura Blindada
QBN	Químicos, Biológicos e Nucleares
REM	Radiação eletromagnética
RGB	<i>Red - Green - Blue</i> (Vermelho - Verde - Azul)
RSI	<i>Research Systems Incorporation</i> (Empresa de Pesquisa de Sistemas)
SAGA	Sistema de Análise Geo-Ambiental
SAGRE	Sistema Automatizado de Gerência da Rede Externa
SBCS	Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos
SGBD	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
SGI	Sistema Geográfico de Informações
SIEG	Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SITIM	Sistema de Tratamento de Imagens
SPOT	<i>Systeme Pour l'Observation de la Terre</i> (Sistema para Observação da Terra)
SPRING	Sistema de Processamento de Imagens e Informações Geográficas
SPT	<i>Standard Penetration Test</i> (Teste Padrão de Penetração)

SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i> (Missão Topográfica com Radar em Braço Mecânico)
SUCS	Sistema Unificado de Classificação dos Solos
TELEBRAS	Companhia Brasileira de Telecomunicações
TIN	<i>Triangular Irregular Network</i> (Redes Irregulares de Triangulação)
TM	<i>Thematic Mapper</i> (Mapeador Temático)
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
USCU	<i>Unified Soil Classification System</i> (Sistema Unificado de Classificação de Solos)
UTM	Universal Transversa de Mercator
UnB	Universidade de Brasília
VBC	Viatura Blindada de Combate
VBTP	Viatura Blindada para Transporte de Pessoal
Vtr	Viatura
WGS	<i>World Geodetic System</i> (Sistema Geodésico Mundial)

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Mapa da área de estudo: Campo de Instrução de Formosa / GO	20
FIGURA 2	Estrutura geral de um Sistema de Informações Geográficas	24
FIGURA 3	Estrutura e organização de um Banco de Dados Geográficos	26
FIGURA 4	Elementos da representação vetorial	27
FIGURA 5	Representação vetorial e matricial de um mapa temático	27
FIGURA 6	Campo de Visada Instantânea (IFOV)	29
FIGURA 7	“Pixel” de um sistema sensor	29
FIGURA 8	Resolução espectral de um sistema sensor	30
FIGURA 9	Resolução temporal de um sistema sensor	31
FIGURA 10	Perfil do Campo de Instrução de Formosa	32
FIGURA 11	Exemplo esquemático de um GRID	34
FIGURA 11a	GRID da área do CIF	34
FIGURA 12	Exemplo esquemático de um TIN	34
FIGURA 12a	TIN da área do CIF	34
FIGURA 13	Triângulos formados durante a construção de uma TIN	34
FIGURA 14	Fluxo de tratamento de imagens digitais	35
FIGURA 15	Principais componentes de uma transformação espectral	38
FIGURA 16	Imagem colorida das bandas HRG1(R), HRG2(G) e HRG3(B) do sensor SPOT, para mostrar as áreas de treinamento obtidas para cada classe de ocupação do solo	41
FIGURA 17	Esquema para mostrar a distribuição normal das classes 1 e 2	42
FIGURA 18	Esquema de classificação dos solos segundo o SUCS	49
FIGURA 19	Variação do volume do solo em função do teor de umidade	50
FIGURA 20	Limites da área de estudo	58
FIGURA 21	Mapa geológico do Campo de Instrução de Formosa	60
FIGURA 22	Mapa de solos do Campo de Instrução de Formosa	61
FIGURA 23	Climatologia de precipitação e temperatura	63
FIGURA 24	Cerrado stricto sensu existente no CIF	63
FIGURA 25	Placa indicativa existente na entrada do CIF	65
FIGURA 26	“Estrada da Patrulha” que corta o CIF, no sentido Norte-Sul	65
FIGURA 27	Mapa de declividade do Campo de Instrução de Formosa	67
FIGURA 28	Mosaico GeoCover, da NASA	68
FIGURA 29	Cenas Landsat 7 no mosaico GeoCover	69

FIGURA 30	Mosaico aerofotográfico semi-controlado da área de estudo	70
FIGURA 31	Imagem SPOT 5 da área de estudo	71
FIGURA 32	Imagem LANDSAT 7 da área de estudo	72
FIGURA 33	Imagem do satélite meteorológico GOES	73
FIGURA 34	Precipitação total - Fev 2006	74
FIGURA 35	Precipitação observada - 28 Mar 2006	74
FIGURA 36	Precipitação cumulada - 24 a 28 Mar 2006	75
FIGURA 37	Número de dias consecutivos sem chuva em 2006, até 28 Mar 2006	75
FIGURA 38	Climatologia de precipitação - Mar 2006	76
FIGURA 39	Climatologia de precipitação - Jan / Fev / Mar 2006	76
FIGURA 40	Imagem NDVI do Campo de Instrução de Formosa	77
FIGURA 41	Principais componentes da imagem SPOT, do CIF	78
FIGURA 42	Primeira componente da imagem SPOT, do CIF	79
FIGURA 43	Imagem classificada - vegetação do CIF	79
FIGURA 44	Mapa de vegetação do Campo de Instrução de Formosa	80
FIGURA 45	Mapa de Restrições ao Movimento	87
FIGURA 46	VBC sobre lagartas, CC Leopard 1	88
FIGURA 47	PLVB sobre lagartas	88

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Comparação entre formatos para mapas temáticos	28
TABELA 2	Tipo de encostas e suas restrições	43
TABELA 3	Restrições impostas pela vegetação	44
TABELA 4	Classificação Unificada dos Solos	45
TABELA 5	Termos e símbolos utilizados no SUCS	47
TABELA 6	Classificação geral SUCS	47
TABELA 7	Classificação dos solos conforme a resistência à penetração	50
TABELA 8	Consistência dos solos	51
TABELA 9	Resistência dos solos	51
TABELA 10	Grupamentos texturais	52
TABELA 11	Restrições impostas pela hidrografia	52
TABELA 12	Características espectrais e espaciais do sensor HRG (SPOT 5)	70
TABELA 13	Características espectrais e espaciais do sensor ETM+ (LANDSAT 7)	71
TABELA 14	Pressão das viaturas sobre o solo	84

RESUMO

A busca por informações, incluindo a espacial, é essencial para o planejamento e para a execução das operações militares. A amplitude da operação a ser executada baseia-se no conhecimento sobre as forças oponentes, ou beligerantes, sobre o terreno e sobre as condições meteorológicas.

A execução da atividade de Inteligência nas operações militares visa à produção de conhecimentos essenciais à condução de missões operacionais. Em tempo de paz busca-se a formação de um considerável banco de dados para cada área de possível emprego da Força Terrestre (FT), conforme as hipóteses de conflito levantadas.

A análise da área de operações é dividida em três fases distintas: o estudo das características do terreno, do clima (meteorológicas) e do inimigo. Neste trabalho são abordadas as duas primeiras: terreno e clima, tendo como área de estudo o Campo de Instrução de Formosa (CIF) do Exército Brasileiro, situado no Estado de Goiás, a leste do Distrito Federal.

Foi construído um Sistema de Informações Geográficas (SIG), com o objetivo de realizar a modelagem espacial do ambiente onde uma tropa pode ser empregada, por meio de diversos dados geográficos e temáticos como dados de solo, cobertura vegetal e drenagem, dentre outros, com a finalidade de prover o necessário apoio à decisão, realizando o Processo de Integração Terreno, Condições Meteorológicas e Inimigo (PITCI), dentro de um Estudo de Situação hipotético.

A metodologia adotada foi desenvolvida em três etapas fundamentais: estruturação da base geográfica de dados vetoriais, processamento digital de imagens de satélites de sensoriamento remoto e análise espacial. Como principais resultados obtidos têm-se a organização da base de dados existente da área de estudo e a confecção do mapa de Restrições ao Movimento.

Palavras-chave: Estudos Militares do Terreno, Análise Espacial, Processo de Integração do Terreno, Condições Meteorológicas e Inimigo (PITCI), Sistema de Informações Geográficas (SIG), Processamento Digital de Imagens, Mapa de Restrições ao Movimento.

ABSTRACT

The search for information, including the spatial information, is essential for the planning and execution of the military operations. The extent of the military operation to be executed is supported by the knowledge about the opponent forces, about the terrain and about the meteorological conditions.

The execution of the Intelligence activity in the military operations aims the production of essential knowledge to the conduction of operational missions. In a peace time it is necessary to form an important data base for each possible use of the Army, according to the existing conflict hypothesis.

The operation area analysis is divided into three distinct phases: the study of the characteristics of terrain, weather and enemy. This work covers the first two: terrain and weather, being the area of study the Instruction Field of Formosa (CIF), of the Brazilian Army, in the Goiás State, on the east of Distrito Federal.

A Geographic Information System (GIS) was built with the objective of realizing the spatial modeling of the environment where a troop can be employed, through different geographic and thematic data, like soil, vegetation and hydrographic data, among others, with the objective of improving the necessary support for decision, following the Terrain, Meteorological Conditions and Enemy Integration Process (PITCI), inside a hypothetic Situation Study.

The methodology used was developed in three fundamental phases: building the vector geographic data base, digital processing of remote sensing satellite images and spatial analysis. The main results of this work are the organization of data base concerning the area of study and the drawing of the map of Restricted Areas for Troop Movement.

Keywords: Military Terrain Study, Spatial Analysis, Terrain, Meteorological Conditions and Enemy Integration Process (PITCI), Geographic Information System (GIS), Digital Image Processing, Map of Restricted Areas for Troop Movement.

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A busca por informações, incluindo a espacial, é essencial para o planejamento e para a execução das operações militares. A amplitude da operação a ser executada baseia-se no conhecimento sobre as forças oponentes, ou beligerantes, sobre o terreno e sobre as condições meteorológicas.

Nas operações militares, a Inteligência Militar tem a finalidade de produzir conhecimentos sobre o ambiente operacional e sobre a atitude mais provável a ser adotada pela força oponente, proporcionando ao Comandante, entre outras ações, explorar o terreno e as condições meteorológicas em proveito próprio.

A execução da atividade de Inteligência nas operações militares visa à produção de conhecimentos essenciais à condução de missões operacionais. Em tempo de paz busca-se a formação de um considerável banco de dados para cada área de possível emprego da Força Terrestre (FT), conforme as hipóteses de conflito levantadas.

Com relação ao terreno são considerados os efeitos que este exercerá no curso das operações. Em consequência, procura-se conhecê-los profunda e precisamente. Uma análise dos efeitos do terreno e das condições meteorológicas sobre ambas as forças constitui a base para os estudos que podem ser realizados pelo Comandante e seu Estado-Maior (EM).

A área de operações é analisada por meio de um processo sistemático e contínuo, realizado em uma área geográfica específica, com uma abordagem integrada, onde são consideradas as condições meteorológicas, as doutrinas amiga e inimiga e a forma de manobra que a missão impõe. Após a coleta de dados a análise deve ser feita com base em todas as informações disponíveis, mas compatível com o escalão considerado.

A análise da área de operações é dividida em três partes distintas, que estudam as características do terreno, do clima (meteorológicas) e do inimigo. Neste trabalho serão abordadas apenas as duas primeiras: terreno e clima.

As características da área onde serão desenvolvidas as operações são decisivas e influenciam a aplicação de determinados princípios de guerra. Poderão permitir que uma força numericamente inferior possa obter uma superioridade relativa sobre o inimigo, mediante um melhor aproveitamento do terreno, por exemplo.

O perfeito conhecimento das características do terreno, decorrente da sua análise, permite ao Comandante avaliar como este influenciará as operações amigas e inimigas, permitin-

do-lhe atuar de forma a explorá-lo em seu benefício ou minimizar os problemas existentes, para cumprir a sua missão.

‘Terreno’ abrange não só as distâncias, mas também o relevo; ‘medições’ significa cálculos. Antes de um exército se movimentar, são feitos cálculos sobre o grau de dificuldade do terreno inimigo, apura-se se as estradas são diretas ou seguem desvios [...], e só então se mobiliza a população e se formam exércitos.

(Sun-Tzu, 500 a. C.)

1.2 O ESTUDO DO TERRENO NAS OPERAÇÕES MILITARES

A necessidade de informações sobre o ambiente operacional e sobre as forças oponentes para o planejamento e execução de operações militares, tem levado o Exército Brasileiro (EB) a buscar formas de integração e visualização de dados sobre o terreno, sobre as condições meteorológicas e sobre as forças beligerantes. Quanto maior for o conhecimento disponível e quanto mais eficiente sua integração com o processo decisório, mais eficazmente o comandante planejará e conduzirá a missão, com maiores possibilidades de obter êxito com o mínimo de perdas (EME, 1999).

A obtenção do conhecimento necessário para as operações militares se dá segundo uma metodologia, denominada de Estudo de Situação, adotada em todos os níveis de Comando. É um processo dinâmico e multidimensional, que deve subsidiar decisões sobre as operações correntes e o planejamento de operações futuras. Dentro do Estudo de Situação, encontra-se o Estudo de Situação de Inteligência, em que são consideradas as condições do inimigo, do terreno e as condições meteorológicas relacionadas. Os avanços tecnológicos do campo de batalha têm reduzido o tempo disponível e ampliado as possibilidades que devem ser consideradas no processo de tomada de decisão operacional (Hoepers e Santos, 2001), utilizando-se, para isso, o Processo de Integração Terreno, Condições Meteorológicas e Inimigo (PITCI).

O PITCI é a maneira como estes fatores serão manipulados de forma gráfica (EME, 1999), permitindo uma análise sistemática e contínua. Divide-se em quatro fases: 1ª fase) determinação e avaliação da área de operações; 2ª fase) estudo do terreno e das condições meteorológicas; 3ª fase) avaliação do inimigo; 4ª fase) integração.

Este trabalho abordará a 2ª fase do processo, apresentando como é possível realizar a integração gráfica dos diversos fatores, tendo como ferramenta, um Sistema de Informações

Geográficas (SIG), para substituir o uso e manuseio de cartas topográficas impressas e calcos¹ de papel vegetal desenhados a mão.

Outros trabalhos neste sentido já foram esboçados, no entanto, com diferenciados enfoques. Andrade (1985) desenvolveu uma metodologia para a confecção de mapas temáticos na escala 1:100.000 visando aplicações militares, através da utilização de técnicas de processamento digital e análise visual de imagens de sensores remotos. Para o desenvolvimento da metodologia o autor utilizou dados do sensor Thematic Mapper - TM (Mapeador Temático) do satélite LANDSAT referente à área de Formosa, GO, de coordenadas (15° 30' 00"/ 15° 37' 30" S e 47° 05' 00"/ 47° 22' 30" W). O estudo foi baseado na análise de atributos espectrais, espaciais e temporais das imagens LANDSAT, apoiado em dados prévios (mapas pedológicos, topográficos, geológicos, aptidão agrícola, etc.), bem como em dados de campo, enfocando características gerais da paisagem de interesse na pesquisa. A principal contribuição do trabalho foi possibilitar a confecção de mapas temáticos utilizando imagens de satélites, bem como permitir a constante atualização de mapas já existentes.

Hoepers e Santos (2001) aplicaram tecnologias de geoprocessamento no método de estudo militar do terreno, buscando conhecer as características geográficas existentes e analisar os efeitos sobre as operações militares. A área de estudo selecionada foi a região de Cianorte, PR, onde foram reunidas as informações disponíveis, constituídas de cartas topográficas e imagens de satélites. Procedeu-se à digitalização das informações cartográficas e ao processamento digital das imagens, a fim de construir um sistema de informações geográficas e, assim, possibilitar as análises e simulações em ambiente computacional.

Lunardi (2003) forneceu uma metodologia para uma criação de Jogos de Guerra baseada na tecnologia de orientação a objetos, integrando conhecimentos de Sistemas de Informações, Simulação e Cartografia Automatizada, de forma a garantir a integração dos objetos georreferenciados e objetos temáticos, possibilitando interações entre eles.

1.3 OBJETIVOS PROPOSTOS

O planejamento de uma operação militar requer um conhecimento prévio do ambiente operacional, dos seus elementos topográficos e, conseqüentemente, da sua "forma". O conhecimento do modelado da superfície do terreno, em especial das suas características fisiográficas, é informação essencial na definição das regiões favoráveis e restritivas ao movimento de tropas.

¹ Calco – Camada de informação no SIG, "layer".

O estudo pormenorizado do terreno, por meio de cartas topográficas e imagens orbitais ou aéreas, dentro de um ambiente de informações geográficas, em que seja possível incluir variáveis em forma de camadas (layers) passíveis de visualização em um mapa digital, permitirá ao Comandante, em qualquer nível, melhores condições de prosseguir com seu Estudo de Situação, visando às melhores linhas de ação para enfrentar a ameaça interposta.

O Processo de Integração Terreno, Condições Meteorológicas e Inimigo (PITCI) empregado pelo Exército Brasileiro se vale de calcos em papel dos diversos temas previstos, para se chegar a um produto final intitulado “calco de restrições ao movimento”. O uso de ferramentas digitais de sensoriamento remoto e geoprocessamento ainda é incipiente neste tipo de estudo.

Este trabalho tem como objetivo geral a construção de um Sistema de Informações Geográficas em que se possa realizar a modelagem espacial do ambiente onde uma tropa pode ser empregada, por meio de diversos dados geográficos e temáticos (dados de solo, cobertura vegetal, drenagem etc.), com a finalidade de prover o necessário apoio à decisão, realizando a 2ª fase do Processo de Integração Terreno, Condições Meteorológicas e Inimigo, dentro de um Estudo de Situação hipotético.

Serão aplicadas técnicas de processamento de imagens de sensoriamento remoto para extrair as melhores informações sobre os componentes do ambiente. Para a análise espacial dos dados, serão utilizadas técnicas de geoprocessamento, utilizando, para isso, aplicativos da plataforma ArcGis.

Com isto, pretende-se apresentar uma opção digital para a realização do PITCI adotado pelo Exército Brasileiro, como forma de atualizar tecnologicamente o Estudo de Situação de Inteligência existente.

1.4 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho foi desenvolvido tomando-se por área de estudo o Campo de Instrução de Formosa (CIF) do Exército Brasileiro, situado no Estado de Goiás, a Leste do Distrito Federal (Figura 1). O CIF está localizado na área nuclear do Bioma Cerrado e ocupa uma superfície de aproximadamente 1.170 Km², entre os paralelos de 15° 30' S e 16° 03' S, e entre os meridianos 47° 23' W e 47° 05' W. A área é dominada por um relevo plano a levemente ondulado, com cotas em torno de 1.000 m de altitude (Pinto, 1993).

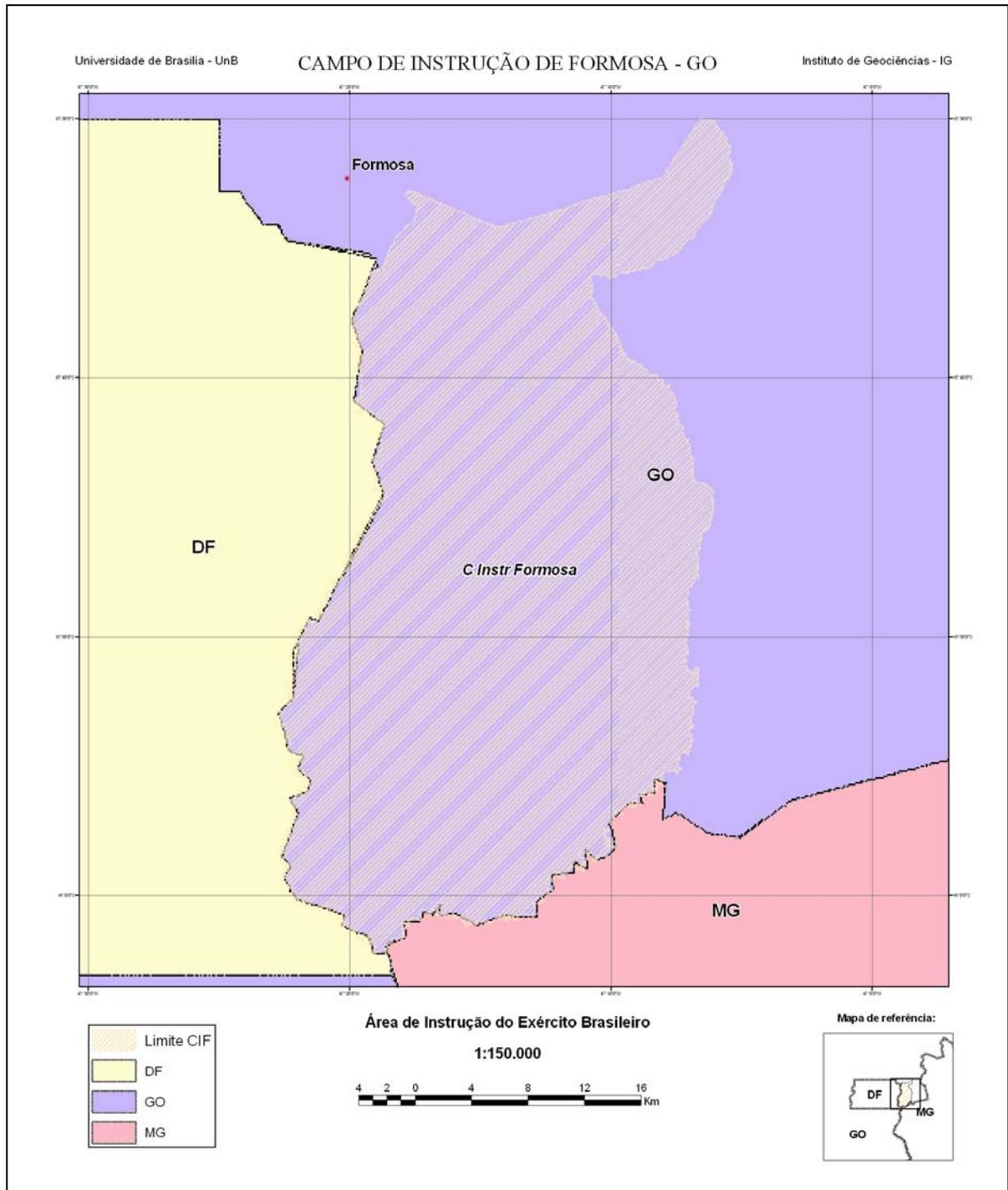


Figura 1 - Mapa da área de estudo: Campo de Instrução de Formosa, GO

CAPÍTULO 2. GEOPROCESSAMENTO

2.1 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

A crescente expansão das atividades antrópicas sobre o meio ambiente gerou um aumento expressivo da demanda por tecnologias de análise e manejo ambiental (Trotter, 1991). A necessidade de mapeamento, manejo e monitoramento dos recursos naturais renováveis e não renováveis, tem resultado na evolução tecnológica das ferramentas utilizadas para a aplicação de Geoprocessamento, que compõem um sistema automatizado denominado Sistema de Informações Geográficas (SIG), ou GIS, do inglês “Geographic Information System”.

O geoprocessamento pode ser entendido como sendo a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para a captura, armazenamento, processamento e apresentação da informação sobre objetos ou fenômenos geograficamente identificados (Moreira, 2001). O geoprocessamento tem sido empregado numa gama muito grande de aplicações em diversas áreas da ciência, dentre elas pode-se citar: Agronomia, Arquitetura, Cartografia, Engenharia Ambiental, Engenharia Civil, Engenharia Florestal, Geografia, Geologia etc. Além disso, tem contribuído para estudos de planejamento urbano e rural, meios de transportes, comunicações, energia e estudos militares do terreno.

No Brasil, a introdução do Geoprocessamento teve início nos anos 1980, a partir dos esforços de um grupo de pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), liderado por Gilberto Câmara, e do professor Jorge Xavier da Silva, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) (Moreira, 2001). No ano de 1982, veio ao Brasil o Dr. Roger Tomlinson, responsável pela criação do primeiro SIG voltado para as áreas das geociências, o “Canadian Geographical Information System”. A vinda do Dr. Roger incentivou o aparecimento de vários grupos de pesquisas, em várias instituições, que deram início ao desenvolvimento de Sistemas de Informações Geográficas. Segundo Câmara Neto *et al* (1996), os principais sistemas criados foram: a) SAGA (Sistema de Análise Geo-Ambiental) – desenvolvido pelo grupo de pesquisadores do Laboratório de Geoprocessamento (LAGEOP), do Departamento de Geografia da UFRJ, sob a orientação do professor Jorge Xavier. O SAGA tem seu forte na capacidade de análise geográfica e é utilizado como veículo de estudos e pesquisas. É um sistema livre, disseminado, principalmente, no meio acadêmico; b) MaxiCAD – pesquisadores responsáveis pelo setor de informática da empresa de aerolevanteamento AeroSul criaram, em meados da década de 1980, um sistema para automatização de processos cartográficos. Posteriormente, constituíram a empresa MaxiDATA e lançaram o MaxiCAD, software

largamente utilizado no Brasil, principalmente em aplicações de mapeamento por computador. Mais recentemente, o produto “dbMapa” permitiu a junção de bancos de dados relacionais a arquivos gráficos MaxiCAD, produzindo uma solução para "desktop mapping" para aplicações cadastrais. O MaxiCAD é um software de mercado e se encontra na versão 3.2; c) SAGRE (Sistema Automatizado de Gerência da Rede Externa) – o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da TELEBRAS (CPqD/TELEBRAS) iniciou, em 1990, o desenvolvimento do SAGRE, uma extensiva aplicação de Geoprocessamento no setor de telefonia. Construído com base num ambiente de um SIG (VISION) com um banco de dados cliente-servidor (ORACLE), o SAGRE envolve um significativo desenvolvimento e personalização de software; d) SITIM / SGI e SPRING – o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em 1984, estabeleceu um grupo específico para desenvolvimento de tecnologia de geoprocessamento e sensoriamento remoto, criando, assim, a Divisão de Processamento de Imagens (DPI). De 1984 a 1990, a DPI desenvolveu o SITIM (Sistema de Tratamento de Imagens) e o SGI (Sistema Geográfico de Informações), para ambiente PC/DOS, e, a partir de 1991, o Sistema de Processamento de Imagens e Informações Geográficas (SPRING) para ambientes UNIX e MS/Windows. O SITIM / SGI foi suporte para centenas de projetos ambientais realizados no Brasil, tendo sido o principal disseminador do geoprocessamento no país. O SPRING unificou o tratamento de imagens de Sensoriamento Remoto (ópticas e microondas) e análises ambientais com mapas temáticos, mapas cadastrais, redes e modelos numéricos de terreno.

Atualmente dois grandes sistemas disputam o mercado de tecnologias para geoprocessamento: o GeoMedia, da empresa INTERGRAPH, e o ArcGis, da ESRI. Ambas são excelentes soluções de mercado para uma demanda cada vez maior e mais exigente tecnicamente. Compostos por diversos módulos, tanto o GeoMedia quanto o ArcGis necessitam mais do que a versão “standard” para desempenharem bem as funções para que se destinam. O ArcGis já se encontra na versão 9.2.

Um SIG é um sistema de informação baseado em computador que permite capturar, modelar, manipular, recuperar, consultar, analisar e apresentar dados geograficamente referenciados (Câmara Neto *et al*, 1996). A tecnologia de SIG pode trazer enormes benefícios devido à sua capacidade de manipular a informação espacial de forma precisa, rápida e sofisticada (Goodchild, 1992).

2.2 CARACTERÍSTICAS DE UM SIG

Qualquer Sistema de Informações Geográficas apresenta duas características principais: 1ª) permite inserir e integrar, numa única base de dados (banco de dados), informações espaciais provenientes de diversas fontes, tais como cartográficas, imagens de satélites, dados censitários, dados de cadastro rural e urbano, dados de redes e de MNT – Modelo Numérico de Terreno; 2ª) oferece mecanismo para combinar várias informações através de algoritmos de manipulação e análise, bem como de consulta, recuperação, visualização e plotagem do conteúdo dessa base de dados georreferenciados.

Segundo INPE (1995), de modo geral, qualquer SIG é capaz de representar graficamente informações de natureza espacial, associando a estes gráficos informações alfanuméricas tradicionais; representar informações gráficas sob a forma de vetores (pontos, linhas e polígonos) e raster (imagens digitais); recuperar informações com base em critérios alfanuméricos, semelhante a um sistema de gerenciamento de bancos de dados tradicional, e com base em relações espaciais topológicas, tais como continência, adjacência e interceptação; realizar operações de aritmética de polígonos, tais como união, interseção e diferença; gerar polígonos paralelos (“buffers”) ao redor de elementos ponto, linha e polígono; limitar o acesso e controlar a entrada de dados através de um modelo de dados, previamente construído; oferecer recursos para a visualização dos dados geográficos na tela do computador, utilizando para isto uma variedade de cores; interagir com o usuário através de uma interface amigável, geralmente gráfica; recuperar, de forma ágil, as informações geográficas, com o uso de algoritmos de indexação espacial; possibilitar a importação e exportação de dados de/para outros sistemas semelhantes, ou para outros softwares gráficos; oferecer recursos para a entrada e manutenção de dados, utilizando equipamentos como mouse, mesa digitalizadora e “scanner”; oferecer recursos para a composição de saídas e geração de resultados sob a forma de mapas, gráficos e tabelas, para uma variedade de dispositivos, como impressoras e “plotters”; oferecer recursos para o desenvolvimento de aplicativos específicos, de acordo com as necessidades do usuário, utilizando para isto alguma linguagem de programação, inclusive possibilitando a customização da interface do SIG com o usuário.

Todos estes recursos podem ser agrupados em categorias, para facilitar a comparação entre diferentes sistemas. Estas categorias básicas são: entrada de dados, gerenciamento de informações, recuperação de informações, manipulação e análise, e exibição e produção de saídas.

2.3 CONFIGURAÇÃO DE UM SIG

Numa visão abrangente, pode-se dizer que um SIG é composto de cinco componentes independentes, porém interligados uns aos outros, através de funções específicas. Os componentes do SIG são: interface, entrada e integração de dados, funções de consulta e análise espacial, visualização e plotagem, e gerência de dados espaciais (Figura 2).

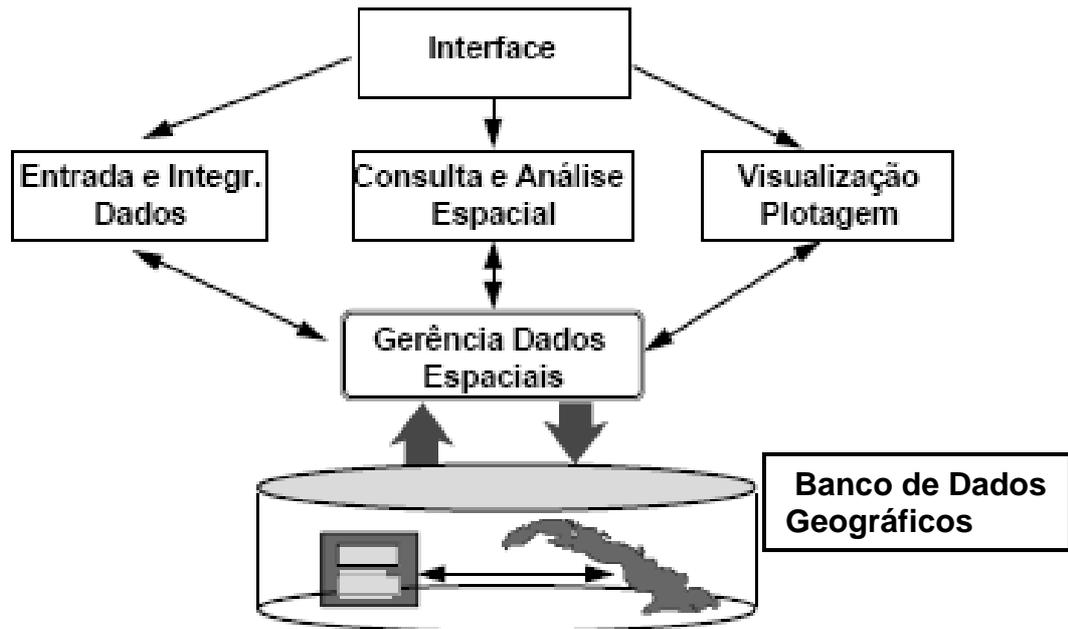


Figura 2 - Estrutura geral de um Sistema de Informações Geográficas. Fonte: adaptada de Câmara Neto *et al*, 1996.

A interface constitui-se de um conjunto de funções que serve como suporte de entrada e integração dos dados. As funções relacionadas à interface são acionadas através de menus (Câmara Neto *et al*, 1996).

A entrada e integração de dados refere-se a todos os aspectos de aquisição de dados espaciais contidos em mapas, fotografias aéreas, imagens de satélites, dados de campo, dados digitalizados, etc. Ou seja, normalmente os dados provêm de várias fontes. Quase sempre é necessário converter estes dados num único formato que possa ser interpretado pelo SIG.

Duas das principais tarefas de integração dos dados são: conversão de formato e identificação do local do objeto na base de dados original. Para auxiliar nestas tarefas utiliza-se mesa digitalizadora, “scanner”, etc.

Os dados de satélites, para muitos SIGs, têm que ser transformados para outros tipos de formatos para que sejam introduzidos no SIG. Por exemplo, os dados de satélites que são processados no Laboratório do INPE, em Cachoeira Paulista / SP, são gravados em vários

formatos. Um deles é o formato TIFF. Para que estes dados sejam analisados e manipulados no Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING) é necessário convertê-los para o formato GRIB, que é feito no módulo IMPIMA do SPRING.

Na etapa de consulta e análise espacial, são os operadores analíticos que manipulam o conjunto de dados para gerar novas informações. Aqui estão envolvidos todos os softwares de tratamento dos dados, e consiste de algoritmos que realizam operações de pré-processamento, de classificação e de pós-processamento.

O componente visualização e plotagem serve para visualizar e plotar os dados, quer sejam espaciais ou alfanuméricos. Para auxiliar nesta tarefa empregam-se monitores de vídeo, impressoras e plotters.

Com relação à gerência de dados espaciais, um banco de dados geográficos é um conjunto de arquivos estruturados de forma a facilitar o acesso a determinadas informações que descrevem determinadas entidades do mundo real. Para entender a diferença básica entre banco de dados e banco de dados geográfico, Câmara Neto *et al* (1996) citam, como exemplo, um banco de dados de funcionários de uma empresa que contém pelo menos três tipos de arquivos: dados pessoais (nome, endereço, dados de documentos, etc), dados funcionais (cargo, data de admissão, etc) e dados para pagamento (salário base, faixa salarial, etc). Observe que este banco de dados não tem nenhuma referência geográfica, por esta razão, ele é chamado banco de dados convencional. Por outro lado, um banco de dados geográficos (BDG) difere do convencional por armazenar além dos dados alfanuméricos, dados sobre a localização das entidades. No exemplo anterior, o banco de dados convencional pode ser transformado em BDG se for introduzido mais um arquivo que associe cada funcionário a uma localização geográfica do local onde mora ou onde trabalha. Neste caso, foi necessário introduzir uma referência geográfica em termos de pares de coordenadas geográficas.

Além da forma de armazenamento (referenciado) as diferenças entre um banco de dados comum e o BDG abrangem também o tipo de operação que pode ser realizada. No caso do banco de dados convencional é possível fazer consulta para saber o endereço do funcionário X ou Y. Já no BDG é possível saber o endereço do funcionário X e do Y e qual a distância entre suas residências, porque este comporta dados de localização.

Para obter a estruturação dos dados dentro do BDG é preciso que se realizem atividades denominadas modelagem de dados que especifica o conjunto de aplicações necessárias para estruturar corretamente os dados armazenados.

No caso de sensoriamento remoto o banco de dados geográficos é estruturado na forma de projetos, contendo, cada um desses projetos, as informações espaciais e não-espaciais

(alfanuméricas) armazenadas, segundo sua categoria, em planos de informações (PIs), conforme é esquematizado na Figura 3.



Figura 3 – Estrutura e organização de um Banco de Dados Geográficos. Fonte: Moreira, 2001.

Dados cartográficos, fotografias aéreas, imagens de satélites e mapas temáticos são armazenados no banco de dados geográficos nos formatos vetorial e raster, às vezes chamadas de estruturas.

2.4 TIPOS DE DADOS TRATADOS EM SIG

O aspecto mais fundamental dos dados tratados em um SIG é a natureza dual da informação: um dado espacial, ou dado geográfico, possui uma localização expressa como coordenadas de um mapa e, atributos descritivos representados num banco de dados convencional (Câmara Neto *et al*, 1996). Outro aspecto é que os dados geográficos não existem sozinhos no espaço: tão importante quanto localizá-los é descobrir e representar as relações entre os diversos dados. Segundo Goodchild (1992), as aplicações de geoprocessamento lidam com dois grandes tipos de dados espaciais: geo-campos – são variações espaciais contínuas usadas para grandezas distribuídas espacialmente, tais como tipo de solo, topografia e teor de minerais, correspondendo, na prática, a mapas temáticos, imagens e modelos numéricos de terreno (MNT); objetos geográficos (ou geo-objetos) – são individualizáveis e têm identificação, possuindo atributos não espaciais, armazenados em um banco de dados convencional, podendo estar associado a várias representações gráficas, como por exemplo, escolas, municípios e fazendas.

Um exemplo de dado tipo geo-campo são os mapas temáticos. Caracterizam-se por conterem regiões definidas por um ou mais polígonos, como mapas de uso do solo e de aptidão agrícola de uma região. Este tipo de dado é armazenado na forma de arcos ou linhas (limites entre regiões), incluindo os “nós” (pontos de interseções entre arcos) para montar uma representação topológica vetorial, como mostrado na Figura 4. A topologia construída é do tipo arco-nó-região: arcos se conectam entre si através de nós (ponto inicial e final) e arcos que circundam uma área definem um polígono (região) (Burrough e McDonell, 1998). São estruturas vetoriais.

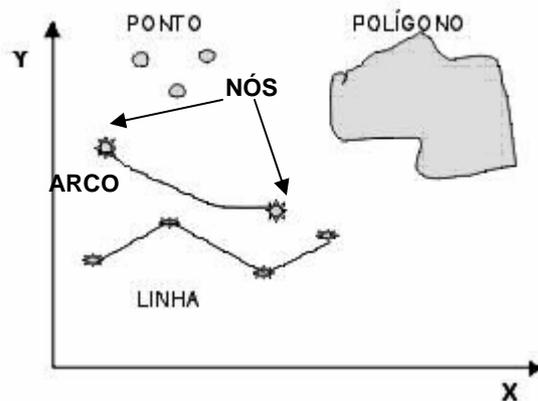


Figura 4 - Elementos da representação vetorial. Fonte: adaptada de Câmara Neto *et al*, 1996

Os mapas temáticos também podem ser armazenados sob a forma raster (matricial). A área correspondente ao mapa é dividida em células de tamanho fixo e cada célula tem um valor correspondente ao tema mais freqüente naquela localização espacial (Figura 5).

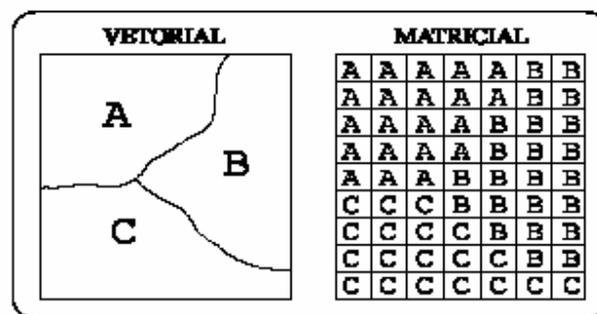


Figura 5 - Representação vetorial e matricial de um mapa temático. Fonte: Silva, 2001.

As formas de representação raster e vetorial são utilizadas de acordo com a conveniência de cada aplicação. A Tabela 1 faz uma comparação entre vantagens e desvantagens de utilização desses dois formatos para mapas temáticos.

Tabela 1 - Comparação entre formatos para mapas temáticos. Fonte: Câmara Neto *et al*, 1996.

ASPECTO	FORMATO VETORIAL	FORMATO RASTER
Relações espaciais entre objetos	- Relacionamentos topológicos entre objetos	- Relacionamentos espaciais devem ser inferidos
Ligação com banco de dados	- Facilita associar atributos a elementos gráficos	- Associa atributos apenas a classes do mapa
Análise, simulação e modelagem	- Representação indireta de fenômenos contínuos - Álgebra de mapas é limitada	- Representa melhor fenômeno com variação contínua do espaço - Simulação e modelagem mais fáceis
Escalas de trabalho	- Adequado tanto para grandes quanto para pequenas escalas	- Mais adequado para pequenas escalas (grandes áreas)
Algoritmos	- Problemas com erros geométricos	- Processamento mais rápido e eficiente
Armazenamento	- Por coordenadas (mais eficiente)	- Por matrizes

Outro exemplo de dado tipo geo-campo são as imagens obtidas por satélites ou aeronaves e armazenadas como matrizes, onde cada elemento unitário de informação (“pixel”) está ligado a certas características físicas e/ou químicas do material da superfície. O uso de imagens de satélite tem se tornado comum em SIG, e suas características, segundo Moreira (2001), são expressas em função de quatro domínios de resolução: resolução espacial (área unitária da superfície terrestre observada instantaneamente por cada sensor), resolução espectral (número de bandas), resolução radiométrica (nível de quantização da radiância) e resolução temporal (intervalo de tempo entre passagens sucessivas sobre uma mesma área).

A resolução espacial refere-se ao tamanho no terreno do Campo de Visada Instantâneo – IFOV, do inglês Instantaneous Field of View (Figura 6). No solo, a resolução espacial pode ser definida como sendo a menor área do terreno que um sistema sensor é capaz de amostrar, denominado de elemento de resolução ou “pixel” – do inglês, “picture x element” (Figura 7). O valor radiométrico do “pixel” é a média dos valores das radiâncias e emitâncias de todos os sinais dos diferentes objetos que ocorre dentro da área no terreno, que depende da resolução de cada sensor. O pixel é, neste sentido, uma taxa de amostragem no terreno que mede, no espaço geométrico do elemento de resolução no terreno, o valor da radiância ou emitância do alvo.

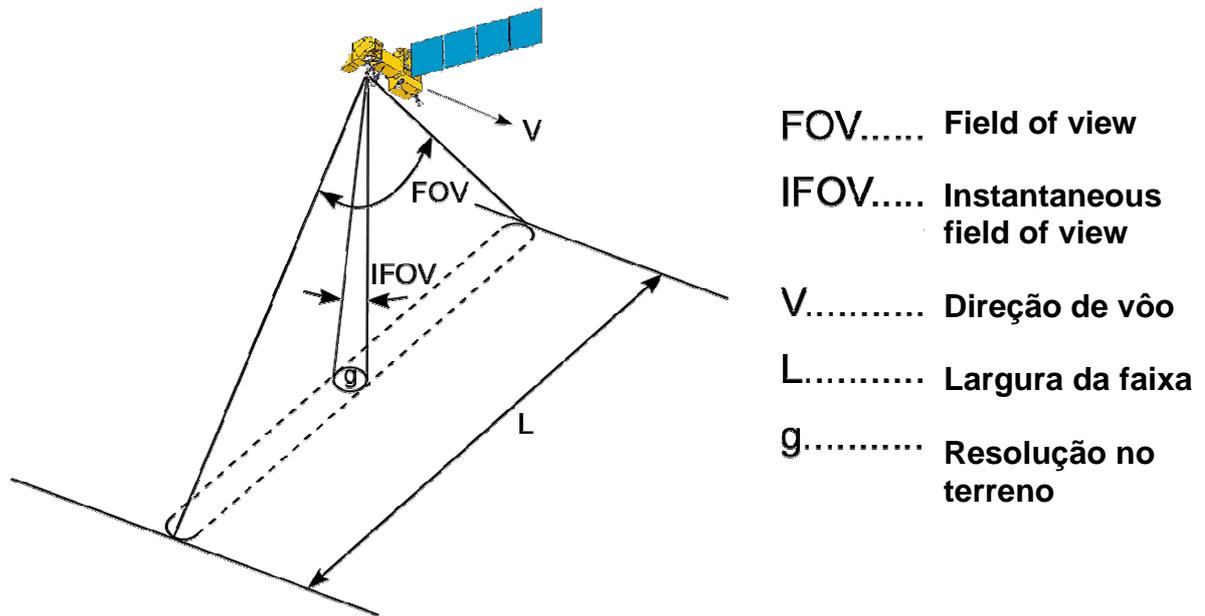


Figura 6 – Esquema para mostrar o Campo de Visada Instantânea de um sistema sensor. Fonte: Meneses, 2004 apud Shunji Murai, 2004.

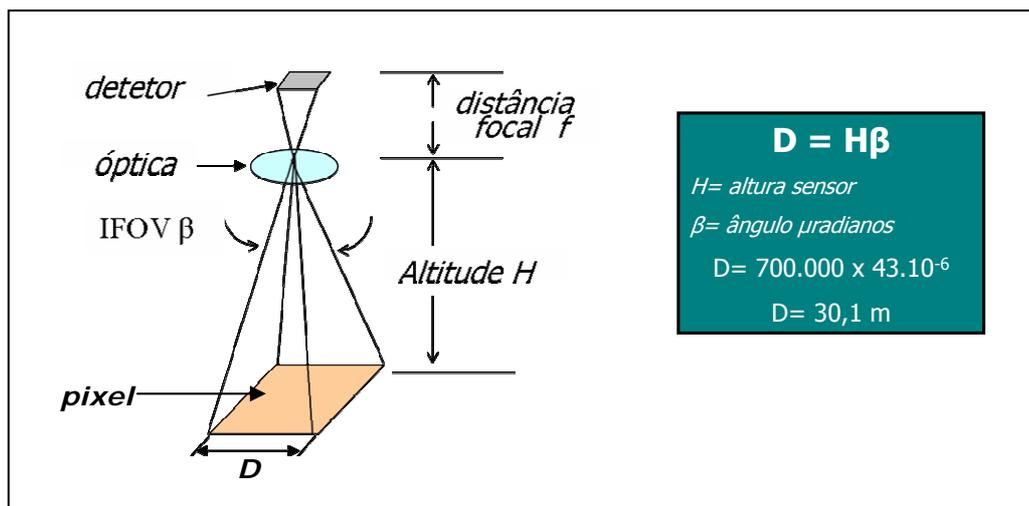


Figura 7 – Esquema para mostrar o tamanho do elemento de resolução no terreno (pixel) de um sistema sensor. Fonte: Meneses, 2004.

Quanto à resolução espectral, segundo Meneses (2004), este termo envolve, pelo menos, três parâmetros de medida: a largura em comprimento de onda das bandas, o número de bandas que o sensor possui e as posições que as bandas estão situadas no espectro eletromagnético, como exemplificado na Figura 8. Pode-se dizer que um sensor tem uma melhor resolução espectral se possui um maior número de bandas situadas em diferentes regiões espectrais e com larguras estreitas de intervalos de comprimentos de onda.

Assim sendo, a resolução espectral mede o poder que o sensor tem para discriminar diferentes alvos sobre a superfície terrestre, em função da reflectância ou da emitância da radiação eletromagnética (REM). Em outras palavras, refere-se à capacidade de caracterizar os alvos em função da largura da banda espectral e da posição no espectro eletromagnético em que o sensor opera. Quanto menor a largura da banda espectral melhor é a resolução espectral. Se um sistema sensor possui um conjunto de diferentes detectores operando em mais de uma faixa do espectro eletromagnético, o sistema é dito multiespectral, porque registra a radiação eletromagnética proveniente dos alvos, em várias faixas espectrais..

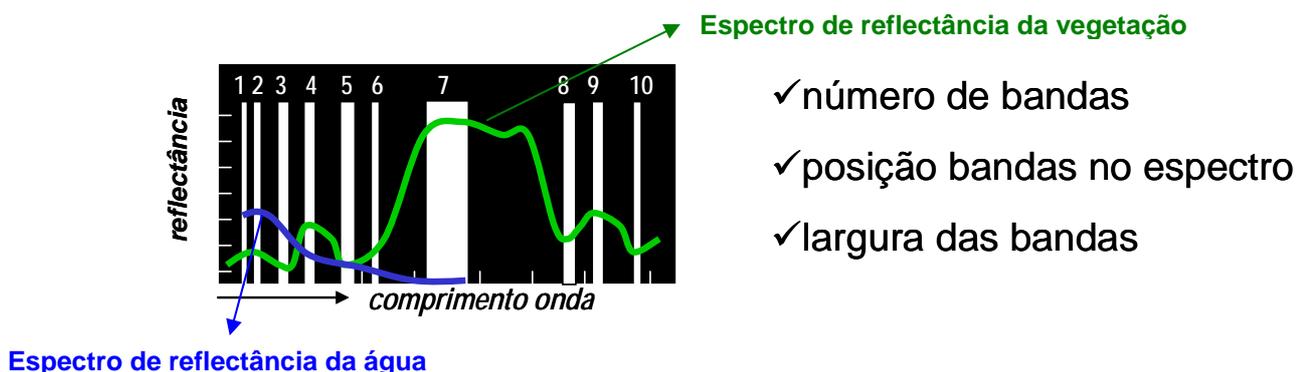


Figura 8 – Esquema para exemplificar a resolução espectral de um sistema sensor multiespectral.

Fonte: Meneses, 2004.

Com relação à resolução radiométrica, esta depende da acurácia dos detectores do sensor. Ela será tanto melhor quanto melhor for a capacidade do sensor em medir valores precisos de um maior número de diferentes intensidades de radiância ou emitância.

Segundo Meneses (2004), a resolução radiométrica é medida pelo intervalo de número de valores digitais usados para expressar os valores de REM medidos pelo sensor. O número de valores digitais é expresso em termos de números de dígitos binários (bits). Quanto maior o intervalo de valores digitais, maior é a qualidade visual da imagem.

A maioria dos sensores multiespectrais com resolução espacial de 10 a 30 metros trabalha com resoluções radiométricas de 8 bits ($2^8 = 256$ valores digitais), isto é, possui capacidade de discriminar até 256 valores diferentes de reflectância/emitância por banda espectral.

Já os sensores com alta resolução espacial, com tamanho de pixel de 1 metro, possuem resolução radiométrica de 10 ou 11 bits ($2^{10} = 1024$ ou $2^{11} = 2048$ valores digitais), a fim de também poderem identificar cada alvo individualmente, não somente pelos seus diferentes tamanhos, mas também em função das pequenas variações espectrais que cada alvo possui.

Já a resolução temporal é função das características do deslocamento relativo da plataforma orbital a qual o sensor está, em relação à Terra. Corresponde a uma medida de tempo, em dias, que um satélite leva para obter, repetidamente, uma nova imagem da mesma área (Figura 9). Depende da largura da faixa imageada no solo (FOV), que por sua vez é função da altitude do satélite e da velocidade com que o satélite orbita o globo. A resolução temporal permite fazer um acompanhamento da dinâmica dos fenômenos terrestres e da paisagem sobre a superfície do planeta.

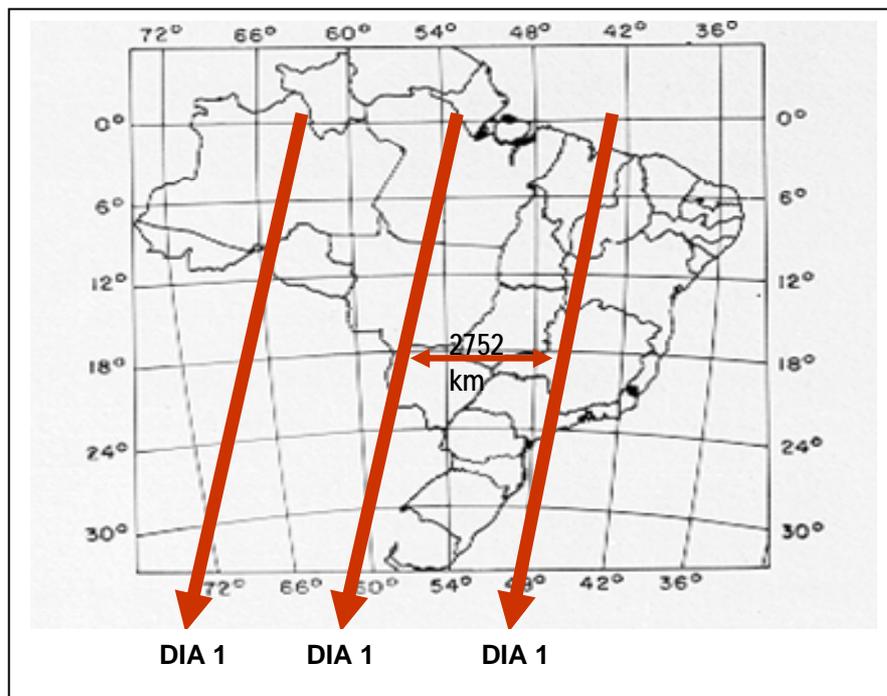


Figura 9 – Esquema das órbitas de passagem do satélite para exemplificar a resolução temporal de um sistema sensor. Fonte: Meneses, 2004.

Os Modelos Numéricos de Terreno (MNT) são outro exemplo de dado tipo geocampo. Também conhecidos como Modelos Digitais do Terreno (MDT) – DTM, em inglês, Digital Terrain Model –, ou Modelos Digitais de Elevação (MDE), vieram permitir o uso tridimensional da topografia do terreno em diversas aplicações, tais como visão em perspectiva da região trabalhada, análise de perfis (Figura 10), determinação de mapas de contorno (isolinhas), cálculo de declividade, cálculo de volumes, cortes transversais, linha de visada, análise hidrológica e vôo panorâmico digital.

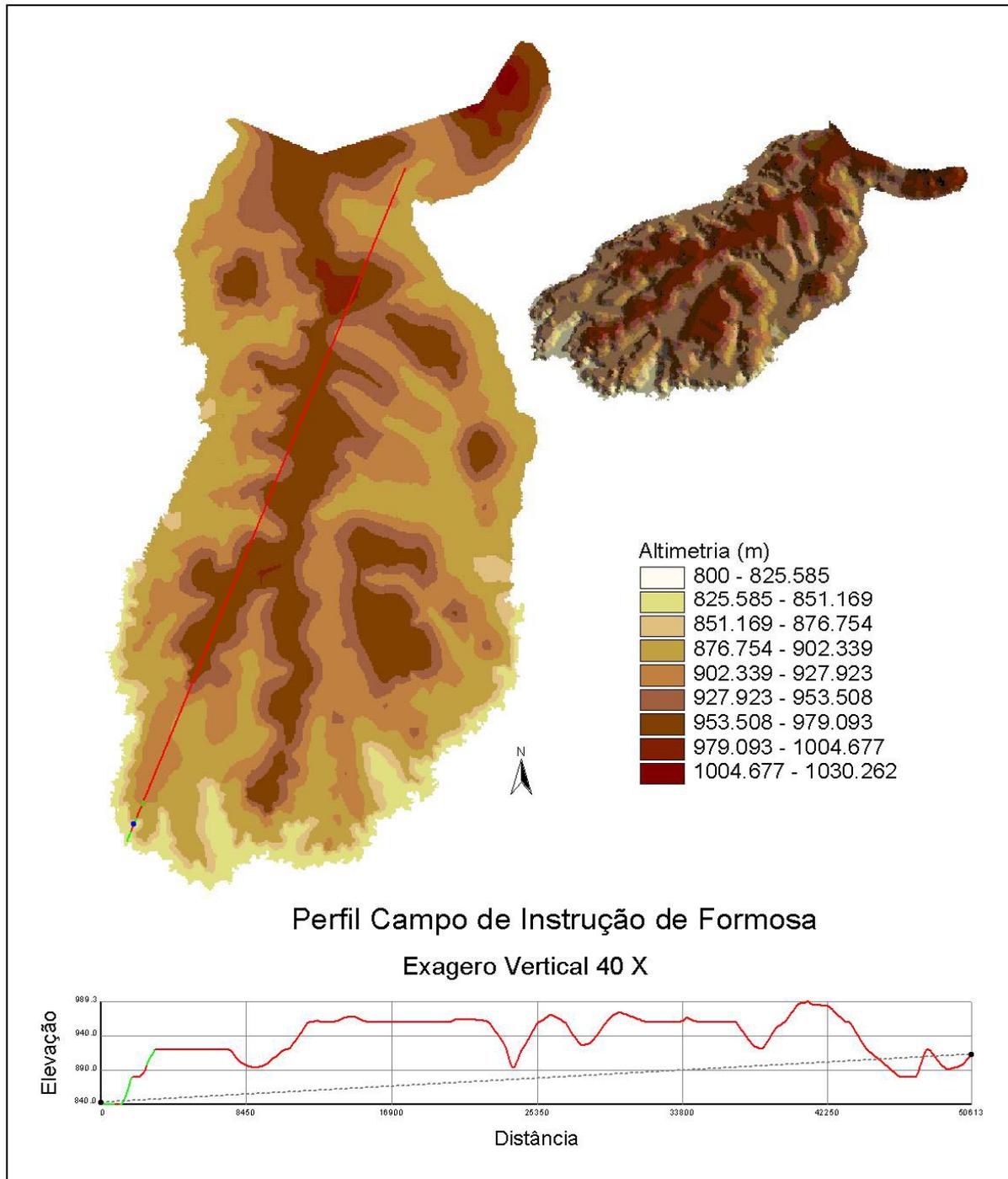


Figura 10 - Perfil do Campo de Instrução de Formosa

Os modelos digitais são definidos por meio de um grande número de pontos plano-altimétricos que, normalmente, estão relacionados na forma de uma grade regular ou numa estrutura de Redes Irregulares de Triangulação (TIN) – *Triangular Irregular Network*. Estes pontos dão origem a superfícies que, de acordo com a composição dos elementos ou feições integrantes, geram um modelo digital específico (Alexandrini Junior, 2005).

A análise de superfície engloba o estudo da distribuição de uma variável que pode ser representada por meio de dados espaciais em terceira dimensão. Além dos atributos locais da feição, esta variável contém um terceiro atributo denominado de “z”, o qual representa a variação da superfície registrada num plano cartesiano, como é o caso da elevação.

A geração de modelos digitais do terreno se dá por meio do uso de interpoladores matemáticos. O conjunto de procedimentos de geração de MDE inclui a regularização da distribuição espacial de registros altimétricos que passam a integrá-lo, permitindo a representação gráfica da superfície do terreno, com a visualização da altimetria da área. Esta geração permite o cômputo eficiente de algumas características relevantes da superfície do terreno, tais como declividades e direção de exposição de encostas (Aronoff, 1991), servindo para identificar discontinuidades topográficas, tais como rios, cristas e bordas de planaltos (Bonham-Carter, 1996).

Vários são os métodos empregados na geração dos modelos digitais de elevação, porém, os mais usados são os que utilizam grades (malha quadrada ou triangular). O processo de geração de um modelo consta de três etapas: aquisição dos dados, edição dos dados e geração do modelo. Em sistemas vetoriais a variável “z” pode ser armazenada de diversas formas, dependendo da natureza da fonte dos dados: ela pode ser representada por um conjunto de pontos distribuídos irregularmente; uma estrutura baseada no modelo matricial pode ser usada para representar uma superfície por meio de um conjunto de pontos distribuídos regularmente; pode ser representada por um conjunto de contornos digitalizados como feições de linhas; e, também por meio de uma Rede Irregular de Triangulação (TIN).

Dentre os modelos disponíveis os mais utilizados nos sistemas de informações geográficas para geração de MDE são as grades regulares e as grades triangulares.

As grades regulares, ou GRID, são representações matriciais onde cada célula da matriz armazena as coordenadas de localização e um valor numérico associado, no caso, valor de altitude (Figuras 12 e 12a). Em relação às grades triangulares, também conhecidas por TIN, o modelo é uma representação do tipo vetorial (arcos e nós). Representa a superfície por meio de um conjunto de faces triangulares interligadas, na forma de triângulos, onde cada nó do triângulo armazena as coordenadas de localização x, y e z (Figuras 11 e 11a). Os triângulos formados são constituídos por conjuntos de três pontos amostrados. A triangulação denominada de *Delaunay*, que se apóia na definição de conjuntos de áreas mais próximas a cada ponto amostrado, produz uma solução única, gerando triângulos o mais próximo possível da forma equilátera (Bonham-Carter, 1996), como pode ser observado na Figura 13. Os valores

altimétricos associados aos vértices do triângulo definem o plano no qual está contido o próprio triângulo, o que permite a interpolação desejada.

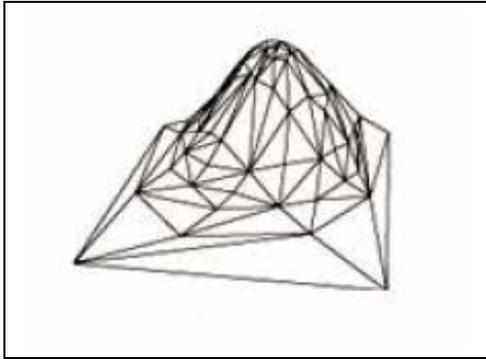


Figura 11 – Exemplo esquemático de uma TIN.
Fonte Câmara Neto *et al*, 2000.



Figura 12 – Exemplo esquemático de um GRID.
Fonte Câmara Neto *et al*, 2000.

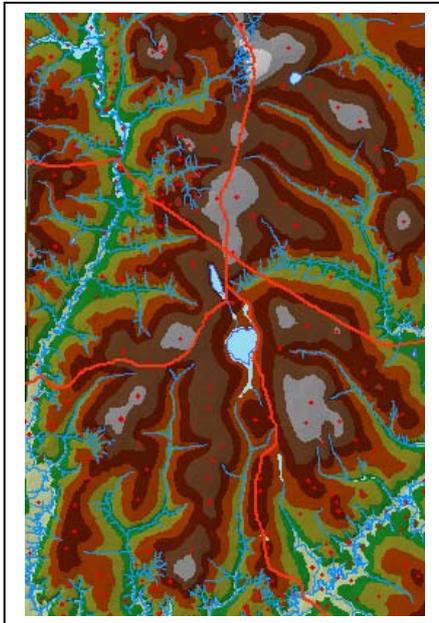


Figura 11a – TIN da área do CIF.

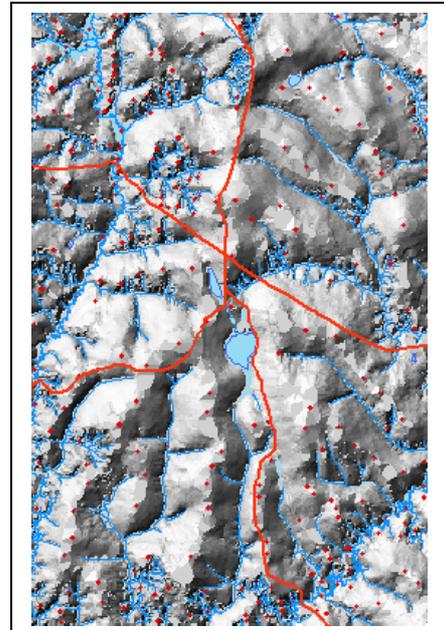


Figura 12a – GRID da área do CIF.

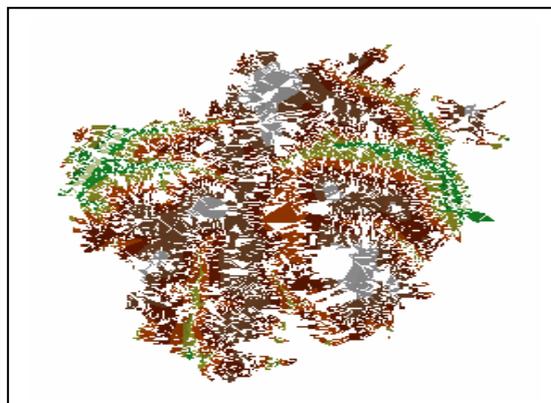


Figura 13 - Triângulos formados durante a construção de uma TIN.

CAPÍTULO 3. PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO

3.1 INTRODUÇÃO

O processamento de imagens de sensoriamento remoto refere-se ao tratamento de dados digitais de sensores remotos aéreos ou orbitais. Para Schowengerdt (1983), o fluxo de tratamento de imagens digitais, após as imagens serem corrigidas ou retificadas (pré-processamento) pode ser dividido em dois processos básicos: realce por transformações e reconhecimento automático de padrões, como pode ser observado na Figura 14.

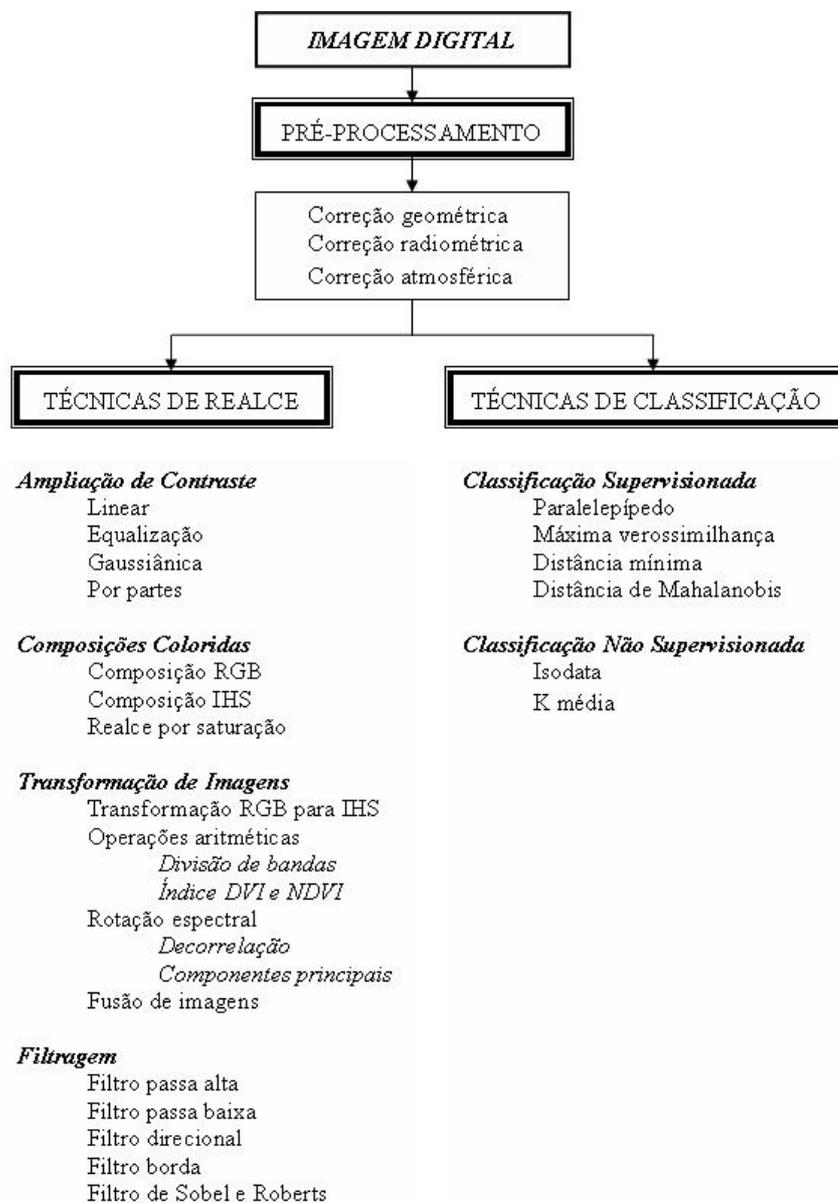


Figura 14 - Fluxo de tratamento de imagens digitais. Fonte: Adaptado de Schowengerdt (1983).

O primeiro processo (realce por transformações) visa à obtenção de novas imagens de saída por meio de manipulações através de técnicas computacionais por operadores matemáticos/estatísticos, tendo como finalidade realçar visualmente os objetos ou materiais presentes na imagem, a fim de facilitar, para o analista, a extração das informações desejadas.

O segundo processo (técnicas de classificação) visa encontrar, por meios semi-automáticos, o reconhecimento de padrões significativos nos dados, através de algoritmos de classificação que melhor consigam representar os objetos do mundo real. Nesse processo a participação do analista é reduzida e tem como vantagem a obtenção da informação de um modo mais rápido e consistente, aplicável facilmente para grandes áreas e sem incluir a subjetividade do analista. Desta forma, os pixels das imagens são classificados em categorias com base nas diferenças dos seus valores digitais.

Segundo Meneses (2004), as técnicas de classificações de imagens tentam simular a capacidade do sistema visual humano em reconhecer padrões espectrais nos dados remotamente sensoriados. A grande vantagem do uso do computador no reconhecimento de padrões, em relação à interpretação pelo analista, reside no fato de que elas são capazes de processarem um grande volume de informações presentes na imagem, tarefa, esta, limitada ao ser humano.

Por falta de uma terminologia apropriada em relação ao tratamento de imagens digitais, na literatura são encontradas várias expressões para referenciar esse procedimento de análise, tais como: classificação automática, classificação digital, análise digital, interpretação digital, tratamento digital etc.

3.2 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS (PDI)

Em síntese, o fluxo de análise de dados digitais pode ser dividido em três fases distintas: pré-processamento, transformação e classificação.

3.2.1 Pré-processamento

Na fase de pré-processamento empregam-se as técnicas que visam corrigir as distorções presentes originalmente nas imagens. As funções de pré-processamento para correção de defeitos são do tipo radiométrica, atmosférica e geométrica. As duas primeiras são de ocorrências eventuais e normalmente são efetuadas no momento da geração da imagem para o usuário. A correção geométrica visa eliminar erros devido ao movimento do satélite e erros devido à curvatura da Terra, que são inerentes a todos os sistemas sensores. Além disso, há erros denominados panorâmicos que são causados pelo tamanho dos “pixels” fora do nadir

(nadir = visada na perpendicular). Em outras palavras, a correção geométrica pode ser entendida como a transformação dos dados de sensoriamento remoto, de tal modo que eles adquiram as características de escala e projeção próprias de mapas (Mather, 1987).

A correção geométrica é efetuada aplicando-se funções matemáticas polinomiais de mapeamentos entre as coordenadas espaciais das imagens (posição dos pixels) e as coordenadas geográficas da área de interesse. Esta operação denomina-se de georreferenciamento. Detalhes do procedimento de correção geométrica de imagens podem ser obtidos em Richard (1993).

3.2.2 Transformação de imagens

A fase de transformação de imagens de sensoriamento remoto consiste em redistribuir a informação original em uma forma mais útil. Em muitos casos, é mais conveniente trabalhar com os dados transformados do que com os originais. Dentre os métodos existentes para fazer a transformação de dados de satélites de sensoriamento remoto, os mais utilizados são: ampliações lineares e não lineares de contraste; composições coloridas padrão RGB de imagens realçadas por ampliações de contrastes ou de imagens decorrelacionadas; rotações espectrais por transformação por Principais Componentes (PCT); operações aritméticas com divisão de bandas, estabelecendo-se índices, com é exemplo o Índice Normalizado de Diferença de Vegetação (NDVI); filtragens espaciais e fusão de imagens de diferentes sensores..

Neste trabalho, para fins de classificação automática das imagens, foram elas primeiramente transformadas por técnicas de Principais Componentes e imagens NDVI.

3.2.2.1 Transformação por Principais Componentes

Observa-se, freqüentemente, que bandas individuais de um sensor multiespectral são altamente correlacionadas, ou seja, as bandas são similares em número digital. Esta correlação advém do efeito de sombras resultantes da topografia e do comportamento espectral dos objetos. A análise das bandas espectrais individuais pode ser, então, dificultada devido à informação redundante presente em cada uma dessas bandas.

A geração de componentes principais é uma técnica de realce que reduz ou remove esta redundância espectral, ou seja, gera um novo conjunto de imagens cujas bandas individuais apresentam informações não-redundantes com as outras bandas.

Esta transformação é derivada da matriz de covariância entre as bandas e gera um novo conjunto de imagens onde cada valor de "pixel" da imagem componente é uma combinação linear da soma dos valores dos pixels das imagens originais. O número de componentes prin-

cipais é igual ao número de bandas espectrais utilizadas e são ordenadas de acordo com o decréscimo da variância das componentes. A primeira componente principal tem a maior variância (maior contraste) e a última a menor variância (pouca informação útil).

A primeira componente principal contém a informação de brilho associada às sombras de topografia e às grandes variações da reflectância espectral geral das bandas. Esta componente principal possui a maior parte da variância total dos dados, concentrando a informação antes diluída, em várias dimensões. A segunda e as subseqüentes componentes principais apresentam gradativamente menos contraste entre os alvos e são desprovidas de informação topográfica, devido à ausência de sombreado. A terceira e quarta componentes principais contêm tipicamente menos estrutura da imagem e mais ruído que as duas primeiras, indicando a compressão dos dados nas primeiras bandas. A última componente representa basicamente o ruído existente nos dados originais. A Figura 15 mostra as três primeiras componentes de uma transformação das imagens TM do Landsat 5.

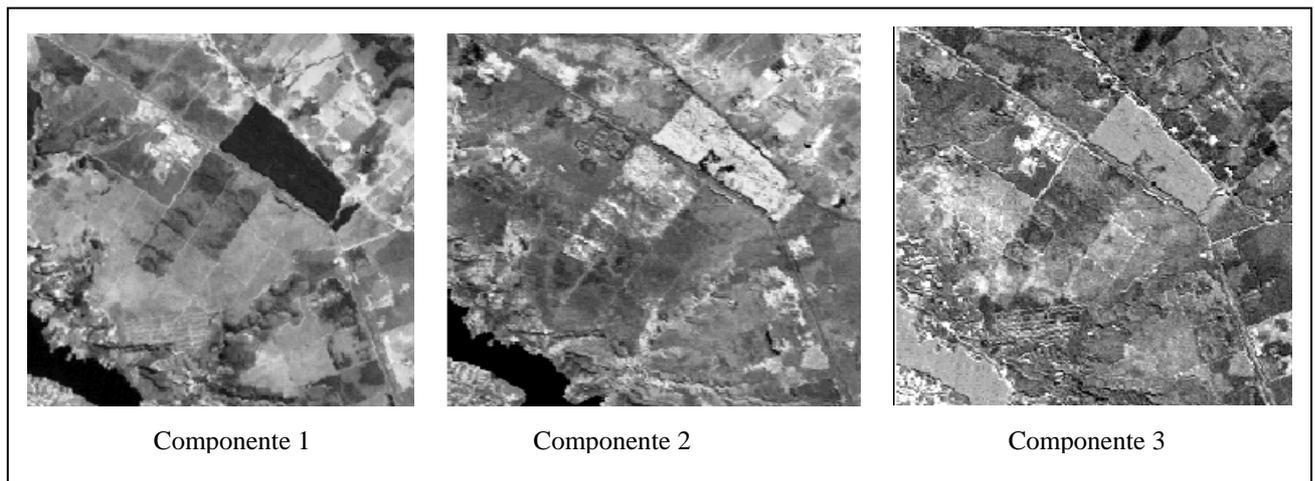


Figura 15 - Principais componentes de uma transformação espectral de imagens TM Landsat-5. Fonte: Meneses, 2004.

As imagens de componentes principais podem ser combinadas em cores, como quaisquer outras. Quando comparada com qualquer combinação de bandas originais, a composição colorida das componentes principais apresenta apenas um realce na distribuição das cores, uma vez que se perde a relação espectral da reflectância dos alvos. Dessa forma uma composição colorida de imagem de componentes principais tende a apresentar apenas cores puras e intensamente saturadas.

3.2.2.2 Índice Normalizado de Diferença de Vegetação

O Índice Normalizado de Diferença de Vegetação (NDVI) é uma técnica de divisão de bandas utilizada para realçar as diferenças de reflectância entre vegetação e solo.

Verifica-se que a assinatura espectral característica de uma vegetação verde e sadia mostra um evidente contraste entre a região do visível, especificamente no vermelho e do infravermelho próximo. Em geral, pode-se considerar que quanto maior for o contraste entre as assinaturas espectrais na região do vermelho e infravermelho próximo, maior é o vigor da vegetação na área imageada. Este é o princípio em que se baseiam os índices de vegetação que combinam a informação espectral nestas duas bandas do espectro eletromagnético (Shimabukuro *et al.*, 1999).

Na imagem resultante, os níveis de cinza mais claros destacam as áreas com vegetação mais densa, ou seja, com maior índice de área foliar, e os níveis de cinza cada vez mais escuros indicam uma decrescente taxa de cobertura foliar da vegetação e maior exposição de solos (Meneses, 2005).

Segundo Ippoliti-Ramilo (1999), os índices de vegetação foram concebidos para ressaltar o comportamento espectral da vegetação em relação aos solos, uma vez que o contraste da informação espectral do solo na região do vermelho e do infravermelho próximo não é tão marcante como a vegetação.

No sensoriamento remoto orbital, o índice de vegetação mais empregado, na avaliação do vigor da cobertura vegetal, é o NDVI, obtido pela seguinte expressão:

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{IVP} - \text{Ver})}{(\text{IVP} + \text{Ver})}$$

onde “IVP” é a energia refletida na região do infravermelho próximo e “Ver” é a energia refletida na região do vermelho do espectro eletromagnético.

O NDVI é um bom indicador para monitorar vegetação em escala global, mas um indicador pobre da biomassa de vegetação se a cobertura de vegetação do solo é baixa, como em regiões áridas e semi-áridas.

3.2.3 Classificação de imagens

Durante a fase de classificação de imagens, os alvos do universo real recebem a denominação genérica de classes ou classes temáticas. Em outras palavras, na classificação procura-se rotular cada “pixel” da imagem segundo a ocupação da terra, semelhante ao que se faz na abordagem visual. Para tal, utiliza-se programas apropriados, também denominados algoritmos de classificação ou simplesmente classificadores. A categorização (rotulação) dos valores dos níveis de cinza é feita utilizando algoritmos estatísticos (programas computacionais)

de reconhecimento de padrões espectrais. O procedimento de classificação envolve duas fases distintas, ou seja, o treinamento e a classificação propriamente dita.

O treinamento consiste no reconhecimento da assinatura espectral de cada uma das classes de ocupação da terra na área imageada. Para alguns classificadores esse reconhecimento envolve a obtenção de parâmetros estatísticos (média, matriz de covariância, etc.) de cada classe contida na área. Para outros, o reconhecimento se faz através de procedimentos bastante simples, baseia-se apenas no nível mínimo e máximo de cinza na área fornecida para o treinamento. Dependendo de como se treina o sistema de classificação, ela é dita supervisionada ou não-supervisionada.

Tanto a classificação supervisionada quanto a não-supervisionada possuem regras de decisão, para que o classificador associe um determinado “pixel” a uma determinada classe ou regiões de similaridade de níveis de cinza. Tais regiões são baseadas nas características espectrais do “pixel”, ou do “pixel” e seus vizinhos. Quando a regra de decisão toma, como base, as características somente do “pixel”, a classificação é dita “pixel a pixel”. Caso contrário, a classificação é dita por região.

Na classificação “pixel a pixel” após criar o conjunto de treinamento (características espectrais de cada uma das classes de ocupação da terra), o classificador procura associar um determinado “pixel” da imagem a uma das classes contidas no pacote de treinamento. Nesta situação, considera o “pixel” como uma entidade isolada e independente dos “pixels” que compõem o restante da cena.

Por outro lado, os classificadores por regiões utilizam, além da informação espectral do “pixel”, a informação espacial desse “pixel” com os seus vizinhos. Na verdade, esses classificadores procuram simular o comportamento de um fotointérprete ao reconhecer áreas homogêneas dentro de uma imagem.

Em se tratando de classificação não-supervisionada utilizam-se algoritmos cujo reconhecimento de padrões espectrais se faz sem o treinamento tradicional, ou seja, sem fornecer parâmetros espectrais de amostragem de cada uma das classes contidas na cena. Geralmente, esses algoritmos necessitam de alguns tipos de informações de entrada (“input”) para que o sistema realize a classificação não-supervisionada.

Por sua vez, na classificação supervisionada, utilizam-se algoritmos cujo reconhecimento dos padrões espectrais na imagem se faz com base numa amostra de área treinamento, que é fornecida ao sistema de classificação. Dentre os algoritmos supervisionados, o mais empregado é o da máxima verossimilhança (MAXVER).

Segundo Velasco *et al* (1978), o problema da classificação de padrões é decidir a qual classe um determinado objeto (alvo) pertence, quando na área de estudo existem várias classes de ocupação da terra.

Um método usado para resolver este problema é o de determinar diversas “características” (atributos) quantificáveis dos objetos que possam diferenciar as várias classes. O passo seguinte consiste em tomar amostras pertencentes às classes, e medi-las nas diversas características ou atributos espectrais. A partir destas medidas inferem-se as características do objeto a ser classificado com as características das diversas classes.

Na MAXVER (ou *maximum likelihood*, em inglês) a distribuição espectral, das classes de ocupação da terra, assume ter uma distribuição normal, ou seja, gaussiana.

A fase de treinamento consiste em fornecer ao sistema um conjunto de “pixels” representativos de cada alvo de ocupação da terra existente na imagem a ser classificada, conforme é mostrado na Figura 16.



Figura 16 - Imagem colorida das bandas HRG1(R), HRG2(G) e HRG3(B) do sensor SPOT, com as áreas de treinamento representativas das classes de ocupação da terra.

A partir da fase de treinamento, o classificador define o diagrama de dispersão das classes em torno de uma média e suas distribuições de probabilidades, considerando a distribuição normal.

O grande problema que se observa nesta fase da classificação é obter amostra de “pixels” puros, representativos de cada classe espectral, pois a resposta espectral de um alvo contido numa área no terreno nunca é homogênea e exclusivamente de um único alvo. Geralmente, ela é mascarada pela resposta espectral proveniente da superfície de fundo ou de outros alvos dentro da área. Além disso, um mesmo tipo de alvo, principalmente, a vegetação, pode apresentar mais de um comportamento espectral em função de ataque de pragas e doenças, épocas de plantio, manchas de solo com deficiência de nutrientes etc, provocando mudanças na quantidade de energia refletida. Outro problema bastante comum, no que diz respeito a áreas vegetadas, é a existência de vegetações diferentes porém com comportamentos espectrais semelhantes. Sendo assim, deve-se tentar selecionar amostras de áreas que sejam as mais representativas possíveis da classe em questão.

Entretanto, devido à similaridade de respostas espectrais entre duas ou mais classes, pode acontecer do conjunto de pontos (“pixels”) obtidos para uma classe, gerar uma curva de distribuição de frequência que cruza com outra curva determinada para outra classe (Figura 17).

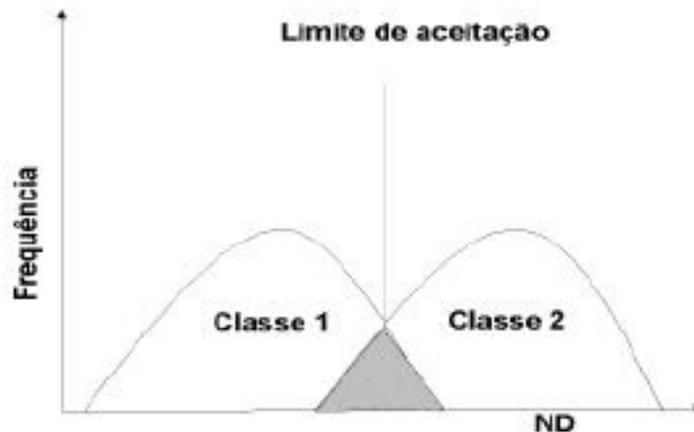


Figura 17 – Esquema para mostrar a distribuição normal das classes 1 e 2. Fonte: Moreira, 2001

Observa-se que as curvas de distribuição de frequência das classes 1 e 2 possuem certa quantidade de “pixels” (área hachurada), cujas características espectrais são similares. Esses “pixels” podem ser classificados tanto como pertencentes à classe 1 como pertencentes à classe 2. Esta situação ocorre com frequência devido aos desvios do comportamento espectral da classe em relação a uma média. Esse tipo de ocorrência é comumente chamado de confusão de resposta espectral entre classes.

Para resolver ou diminuir essa confusão entre classes deve-se fazer uma análise das amostras, de uma determinada classe em relação às demais classes, e eliminar aquelas amos-

tras que apresentarem maiores erros de confusão (maior similaridade de resposta espectral), analisando a Matriz de Confusão gerada no processamento.

O uso de classificadores não-supervisionados é indicado quando o analista não possui conhecimento, *a priori*, da área de estudo, embora, nada impeça de que esta abordagem possa ser usada mesmo conhecendo a área. Neste sentido, o intuito é eliminar a subjetividade no processo de obtenção das amostras de áreas, para criar o pacote de treinamento, como indicado no processo supervisionado.

Na abordagem não-supervisionada, mesmo sendo considerada um procedimento em que não há interação do analista e o sistema, na fase de treinamento, certos algoritmos necessitam de alguns parâmetros que devem ser fornecidos ao sistema.

Dependendo da qualidade dos resultados obtidos, pode-se executar uma fase de pós-classificação.

CAPÍTULO 4. ESTUDOS MILITARES DO TERRENO

4.1 INTRODUÇÃO

Em função da natureza da tropa que progredirá no terreno, há necessidade de se estabelecer uma classificação quanto à possibilidade de movimento. Esta classificação não é definida em termos absolutos e é, basicamente, influenciada pelas condições meteorológicas.

Segundo EME (1999), considera-se, para fins de confecção do mapa temático ou calco de aspectos gerais do terreno, três tipos: terreno impeditivo – é desfavorável ao movimento de tropa e sua utilização necessitará de forte apoio de engenharia para possibilitar uma mobilidade restrita; terreno restritivo – limita o movimento de tropa e a velocidade de progressão será substancialmente reduzida se não houver o apoio necessário de trabalhos de engenharia militar; terreno adequado – é favorável (não apresenta limitações) ao movimento de tropa e, normalmente, não é necessário desenvolver qualquer atividade de engenharia para melhorar a mobilidade.

4.2 ASPECTOS GERAIS DO TERRENO

4.2.1 Relevô

A configuração da superfície do terreno - elevações e depressões - do ponto de vista militar, é constituída por terrenos planos, ondulados, movimentados e montanhosos. A leitura de sua representação, que se dá por meio de curvas de nível, permite obter uma idéia da forma do terreno.

A declividade do terreno está diretamente relacionada com a mobilidade das tropas (Tabela 2).

Tabela 2 - Tipo de encostas e suas restrições. Fonte EME, 1999

RELEVO SEGUNDO SUA DECLIVIDADE		
INCLINAÇÃO DAS ENCOSTAS		EFEITOS
PORCENTAGEM	GRAU	
0% a 10%	0° a 6°	Adequado para qualquer tropa.
10% a 30%	6° a 17°	Restritivo para viaturas sobre rodas e adequado para viaturas sobre lagartas ² (carros-de-combate ³).

² Lagarta – Mecânica. Dispositivo que facilita a circulação das rodas dos tratores ou dos carros-de-combate militares, fazendo com que se movam em terrenos inacessíveis a viaturas comuns.

³ Carro-de-combate – Carro de guerra, blindado, apropriado a percorrer terrenos acidentados.

30% a 45%	17° a 26°	Muito restritivo para viaturas sobre rodas e restritivo para viaturas sobre lagartas.
mais de 45%	mais de 26°	Impeditivo para viaturas sobre rodas e lagartas e restritivos para tropas a pé.

4.2.2 Vegetação

A influência da vegetação sobre as operações encontra-se em razão direta de sua densidade: quanto mais densa, maior será a sua influência (Tabela 3).

Tabela 3 - Restrições impostas pela vegetação. Fonte: EME, 1999

RESTRICÇÕES IMPOSTAS PELA VEGETAÇÃO	
CLASSIFICAÇÃO DO TERRENO	VEGETAÇÃO
Impeditivo	Grupo de árvores que impeçam o emprego de forças blindadas ⁴ ou dificultem o movimento de tropas a pé.
Restritivo	Árvores espaçadas com reduzido diâmetro que restrinjam o movimento de forças blindadas.
Adequado	Árvores com diâmetros reduzidos e espaçadas, não interferindo no emprego de viaturas ou tropas a pé.

A vegetação pode influenciar, de diversas maneiras, o emprego das Unidades em campanha, a tomada de uma decisão, ou mesmo a evolução dos acontecimentos. Transforma-se em obstáculo ao movimento, impedido ou reduzindo o emprego de viaturas e tropas. Pode, ainda, servir como parâmetro para extrapolar resultados sobre o solo, a hidrografia ou sobre o clima, pois todos se encontram interrelacionados. A associação da vegetação com o tipo de solo e a drenagem da área auxiliará na definição de locais de passagem, adequados, restritivos ou impeditivos.

4.2.3 Solo

A análise do solo em operações visa dois objetivos: verificar se o material pode ser aproveitado para obras e construções de engenharia e verificar se permite boa transitabilidade das tropas.

A Engenharia Militar não adota a classificação genética dos solos, definida pela EMBRAPA (1999), no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SBCS). Adota, sim, a clas-

⁴ Forças blindadas – Tropas que se utilizam de carros-de-combate em sua progressão.

sificação geotécnica do Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), ou USCU - Unified Soil Classification System.

O sistema SUCS (Tabela 4) é o aperfeiçoamento da classificação de Casagrande para utilização em aeroportos, adaptada para uso no laboratório e no campo pelas agências norte-americanas "Bureau of Reclamation" e "U.S. Corps of Engenneers", com simplificações que permitem a classificação sistemática. Foi desenvolvida por Arthur Casagrande e apresentada num simpósio (Casagrande, 1948), tendo sofrido várias revisões, sendo que a última ocorreu em 1983 (Fortes e Pastore, 1998).

Tabela 4 - Classificação Unificada dos Solos. Fonte: Vargas, 1978

Processo para identificação no campo				Grupo	Designação característica
SOLOS DE GRANULAÇÃO GROSSA Mais de metade é maior que a abertura da peneira de malha nº 40	PEDREGULHOS Mais de metade da fração grosseira e maior que a # nº 4	PEDREGULHOS PUROS (pouco ou nenhum fino)	Grãos cobrindo toda a escala de granulação com quantidade substancial de todas as partículas intermediárias	GW	Pedregulhos bem graduados, misturas de areia e pedregulho com pouco ou nenhum fino.
			Predominância de um tamanho de grão ou graduação falhada (ausência de alguns tamanhos de grão)	GP	Pedregulhos mal graduados, misturas de pedregulho e areia com pouco ou nenhum fino.
		PEDREGULHOS COM FINOS (apreciável quantidade de finos)	Finos não plásticos (ML ou MH).	GF	Pedregulhos siltosos, misturas de pedregulho, areia e silte mal graduados.
			Finos plásticos (CL ou CH)	GC	Pedregulhos argilosos, misturas de pedregulho, areia e argila bem graduados.
	AREIAS Mais que metade da fração grosseira menor que a # nº 4	AREIAS PURAS (pouco ou nenhum fino)	Grãos cobrindo toda a escala de granulação com quantidade substancial de todas as partículas intermediárias	SW	Areias bem graduadas, areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.
			Predominância de um grão ou graduação falhada	SP	Areias mal graduadas, areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.
		AREIA COM FINOS (apreciável quantidade de finos)	Finos não plásticos (ML ou MH)	SF	Areias siltosas, misturas mal graduadas de areia e silte.
			Finos plásticos (CL ou CH ou OH)	SC	Areias argilosas, misturas bem graduadas de areia e argila.

SOLOS DE GRANULAÇÃO FINA Mais que a metade do material é menor que a abertura de malha da # 200	Processo de identificação executado sobre a fração < # nº 40			A abertura da malha # nº 200 corresponde aproximadamente à menor partícula visível a olho nu	
	ENSAIO EXPEDITO à	RESISTÊNCIA a SECO (esmagamento pelos dedos)	DILATÂNCIA (DILAÇÃO) (sacudindo na palma da mão)		
SILTES E ARGILAS Limite de Liquidez menor que 50		nenhuma a pequena	rápida a lenta	nenhuma	ML Siltes inorgânicos e areias muito finas, alteração de rocha, areias finas, siltosas ou argilosas com pequena plasticidade
		média a elevada	Nenhuma a muito lenta	média	CL Argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade, argilas pedregulhosas, argilas arenosas, argilas siltosas, argilas magras
		Pequena à média	lenta	pequena	OL Siltes orgânicos e siltes argilosos orgânicos de baixa plasticidade
SILTES E ARGILAS Limite de liquidez maior que 50		Pequena a média	Lenta a nenhuma	Pequena a média	MH Siltes inorgânicos, micáceos ou diatomáceos, finos arenosos ou solos siltosos, siltes elásticos
		Elevada a muito elevada	nenhuma	elevada	CH Argilas inorgânicas de alta plasticidade, argilas gordas
		Média a elevada	Nenhuma a muito lenta	Pequena a média	OH Argilas orgânicas de média e alta plasticidade
TURFAS		Facilmente identificáveis pela cor, cheiro, porosidade e freqüentemente pela textura fibrosa.		Pt	Solos com elevado teor de matéria orgânica

Pela primeira vez os solos orgânicos foram considerados como um grupo de características e comportamento próprios, e diferente dos outros dois (solos grossos e solos finos). As mais significativas mudanças e revisões, da norma antiga, podem ser resumidas em quatro itens: a classificação de um solo é feita através de um símbolo e de um nome; os nomes dos grupos, simbolizados por um par de letras, foram normalizados; argilas e siltes orgânicos foram redefinidas; foi estabelecida uma classificação mais precisa (Tabelas 5 e 6)

Tabela 5 - Termos e símbolos utilizados no SUCS

TIPOS DE SOLOS	SÍMBOLO	TERMO EM INGLÊS	TERMO EM PORTUGUÊS
SOLOS GROSSOS	G	gravel	pedregulho
	S	sand	areia
	W	well graded	bem graduado
	P	poorly graded	mal graduado
	C	clay	com argila
	F	fine	com finos
SOLOS FINOS	L	low	baixa compressibilidade
	H	high	alta compressibilidade
	M	mo	silte (em sueco)
	O	organic	silte ou argila, orgânicos
	C	clay	argila inorgânica
TURFAS	Pt	peat	Solos altamente orgânicos, geralmente fibrilares e muito compressíveis.

Tabela 6 – Classificação geral SUCS. Fonte: www.geotecnia.ufjf.br.

CLASSIFICAÇÃO GERAL	TIPOS PRINCIPAIS	SÍMBOLOS
SOLOS GROSSOS (menos que 50 % passando na # 200)	Pedregulho ou solo pedregulhoso (<i>Gravel</i>)	GW, GP, GC e GM
	Areia (<i>Sand</i>) ou solo arenoso	SW, SP, SC E SM
SOLOS FINOS (mais que 50 % passando na # 200)	Silte(M) ou argila(C)	Baixa compressibilidade (LL < 50) ML, CL e OL
		Alta compressibilidade (LL > 50) MH, CH, OH
SOLOS ALTAMENTE ORGÂNICOS	Turfa (Peat)	Pt

Os solos estão distribuídos em 6 grupos: pedregulhos (G), areias (S), siltes inorgânicos e areias finas (M), argilas inorgânicas (C), e siltes e argilas orgânicos (O). Cada grupo é então dividido em subgrupos de acordo com suas propriedades índices mais significativos.

Os pedregulhos e areias com pouco ou nenhum material fino são subdivididos de acordo com suas propriedades de distribuição granulométrica como bem graduado (GW e SW) ou uniforme (GP e SP).

Se o solo (grosso) contém mais que 12% de finos, suas propriedades devem ser levadas em conta na classificação. Como a fração fina nos solos pode ter influência substancial no comportamento do solo, os pedregulhos e areias têm outras duas subdivisões.

Se o solo (grosso) contém 5% a 12% de finos, deverá ser representado por símbolo duplo, primeiro o do solo grosso (GW, GP, SW, SP), seguido pelo que descreve a fração fina: aqueles com fração fina silte são GM ou SM; se os finos contêm argilas plásticas, os solos são GC ou SC; se os finos são orgânicos, acrescentar "com finos orgânicos"; se em pedregulho a areia for >15%, acrescentar "com areia"; e se em areia o pedregulho ultrapassa 15%, acrescentar "com pedregulho".

Esquematisando-se na Figura 18, tem-se:

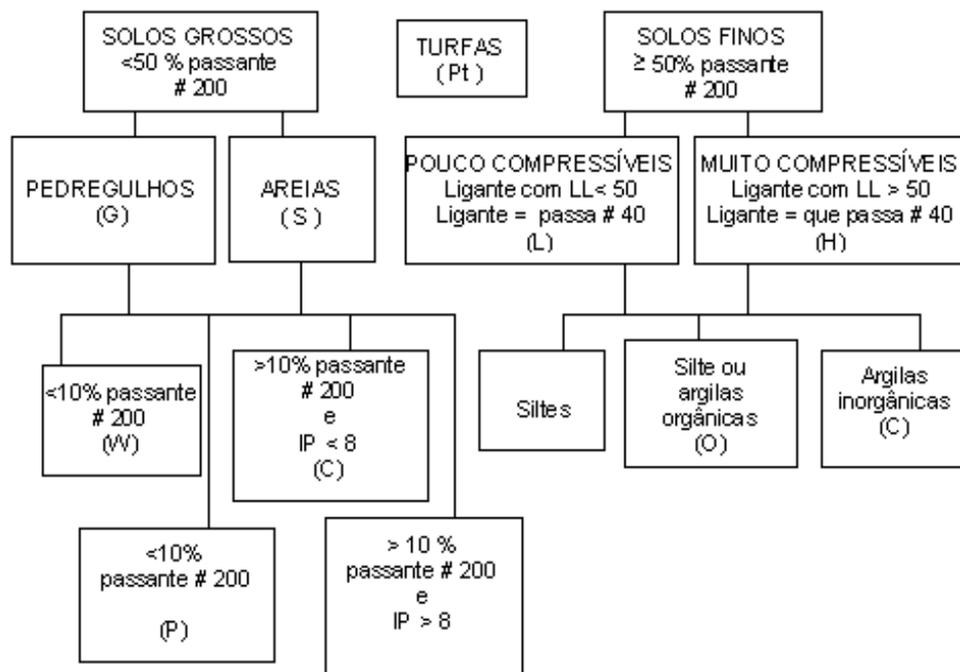


Figura 18 - Esquema de classificação dos solos segundo o SUCS. Fonte: www.geotecnia.ufjf.br.

São classificações possíveis:



Para solos finos, se o retido na peneira 200 for maior que 30%, deve-se acrescentar, conforme o caso: "arenoso" ou "pedregulhoso". Se entre 15% e 30%, "com areia" ou "com

pedregulho". Para solos finos as propriedades índices mais importantes são os Limites de Atterberg, limites de consistência usados para subdividir as argilas dos siltes.

Estes limites foram definidos pelo engenheiro sueco Atterberg, com a finalidade de serem utilizados em materiais cerâmicos. Em 1908, Casagrande, tendo conhecimento desse trabalho, padronizou o ensaio.

O solo pode se apresentar nos seguintes estados físicos (Figura 19): estado líquido – quando não possui forma definida e a resistência ao cisalhamento (corte) é nula; estado plástico – quando o material possui comportamento plástico (deformável); estado semi-sólido – quando tem a aparência de um sólido mas, com a secagem, ocorre variação do volume; estado sólido – quando qualquer secagem do solo não implica em uma variação de volume.

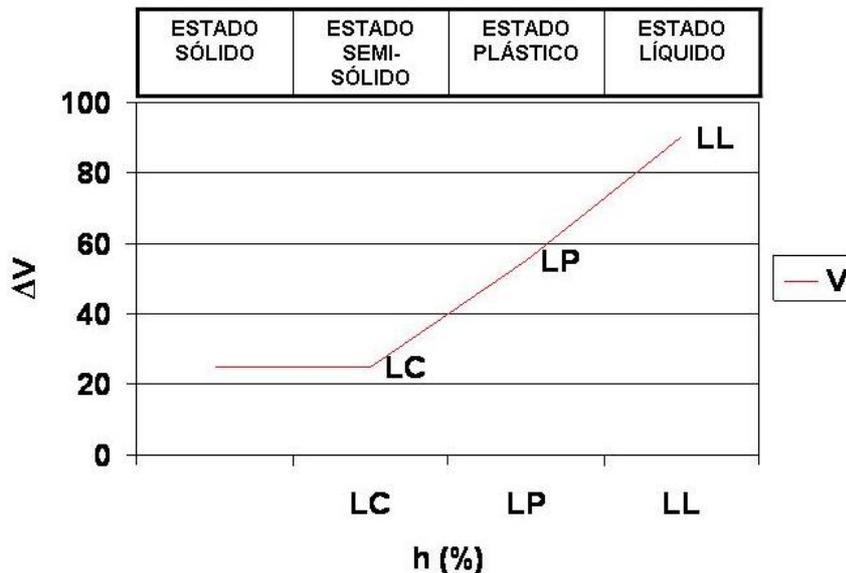


Figura 19 - Variação do volume do solo em função do teor de umidade. Fonte: Fortes, 1998.

O Limite de Liquidez (LL) pode ser definido como o teor de água, acima do qual, o solo adquire comportamento de um líquido. É o teor de água máximo que argila pode conter para ainda ser moldável. É medido em Kg/cm².

O Limite de Plasticidade (LP) é o teor de água mínimo que a argila deve conter para ser conformada (entre 22% e 24% da amostra). Também medido em Kg/cm².

O Índice de Plasticidade (IP) é a quantidade de água que pode ser adicionada sem alterar o estado plástico da argila: $IP = LL - LP$.

Por fim, o Índice de Consistência (IC) define a resistência do solo:

$IC = (LL - h) / IP$ ou $IC = (LL - h) / LL - LP$, sendo "h" o teor de umidade do solo.

4.2.3.1 Classificação Visual dos Solos (SUCS)

Ao examinar a granulometria no campo deve-se separar e avaliar a quantidade de grãos individualmente visíveis. Se a maioria for visível, o solo é grosso, se não, fino. Dentre os visíveis, separar os grãos maiores que 2 mm de diâmetro. Se formarem mais da metade da fração de grãos visíveis, é um solo pedregulhoso, caso contrário, arenoso. Completa-se a classificação visual do solo com a observação de seu estado indeformado, ao natural.

Aos solos grossos acrescenta-se o julgamento de sua compactidade (densa ou fofa). Para os solos finos, interessa a consistência. Se uma amostra indeformada de solo fino pode ser amassada com os dedos, tem consistência mole. Se não, rija ou dura.

Os estados de compactidade e consistência podem ser avaliados por correlação com o índice de resistência à penetração, obtido com o Standard Penetration Test (SPT), por exemplo. Areias e siltes arenosos são classificados por sua compactidade, argilas e siltes argilosos pela consistência, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 - Classificação dos solos conforme a resistência à penetração. Fonte: www.geotecnia.ufjf.br.

SOLO	ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO	DESIGNAÇÃO
Areia e silte arenoso	≤ 4	Fofa
	5 a 8	Pouco compacta (o)
	9 a 18	Medianamente compacta
	19 a 40	Compacta (o)
	> 40	Muito compacta (o)
Argila e silte argiloso	≤ 2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média (o)
	11 a 19	Rija (o)
	> 19	Dura (o)

A sensibilidade de um solo argiloso pode ser avaliada depois de ser amolgada a amostra. Argilas sensíveis são rijas ao natural, e ficam moles e pegajosas após serem amassadas com os dedos.

A cor do solo (avaliada logo após a coleta) deve ser descrita por códigos numéricos quando se dispõe de tabela de cores (por exemplo, tabela de Munsell). Apesar do caráter subjetivo, podem ser usadas as designações: branco, cinza, preto, marrom, amarelo, vermelho, rosa, azul e verde, complementadas por claro e escuro. Podem ser usadas até duas designações de cores. Havendo mais de duas cores, deve ser utilizado o termo "variegado" no lugar do relacionamento de cores.

Fortes, em seu site <http://meusite.mackenzie.com.br/rmfortes>, fornece outra tabela (tabela 8) de consistência dos solos:

Tabela 8 - Consistência dos solos. Fonte: Fortes, <http://meusite.mackenzie.com.br/rmfortes>.

ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA (IC) - Kg/cm²	CONSISTÊNCIA
< 0	De vaza
0 a 0,5	Plástica mole
0,5 a 0,75	Plástica média
0,75 a 1,0	Plástica rijá
> 1,0	Dura

A análise da consistência e da composição do solo determinará a transitabilidade, classificando-o, segundo EME (1999), em impeditivo, restritivo ou adequado ao movimento de tropas.

O Exército adota, ainda, uma terceira tabela (tabela 9) de resistência dos solos:

Tabela 9 - Resistência dos solos. Fonte: EME, 1999.

SOLO SEGUNDO SUA RESISTÊNCIA	
CLASSIFICAÇÃO	RESISTÊNCIA (Kg/cm²)
Rochoso	7,0 a 50,0
Pedregoso	5,0 a 7,0
Arenoso (grosso)	4,0 a 5,0
Arenoso (fino)	3,0 a 4,0
Argiloso com areia	2,0 a 3,0
Argiloso compacto	1,0 a 2,0
Argiloso úmido	0,75 a 1,0
Lamacento	0,5 a 0,75
Pantanoso	< 0,5

Visando à trafegabilidade, a Engenharia Militar acaba por aliando a classificação pelo SUCS à classificação por grupamentos texturais do SBCS (EMBRAPA, 1999).

Segundo EMBRAPA (1999), um grupamento textural é a reunião de uma ou mais classes de textura. São utilizados os seguintes grupamentos texturais (Tabela 10):

Tabela 10 - Grupamentos texturais

GRUPAMENTOS TEXTURAIS		EQUIVALÊNCIA NO EXÉRCITO (SOLO)
Textura arenosa	Compreende as classes texturais areia e areia franca.	Arenoso grosso
Textura média	Compreende classes texturais, ou parte delas, tendo, na composição granulométrica, menos de 35% de argila e mais de 15% de areia, excluídas as classes texturais areia e areia franca.	Arenoso fino
Textura argilosa	Compreende classes texturais, ou parte delas, tendo, na composição granulométrica, de 35% a 60% de argila.	Argiloso com areia
Textura muito argilosa	Compreende classe textural com mais de 60% de argila.	Argiloso compacto
Textura siltosa	Compreende parte das classes texturais que tenham menos de 35% de argila e menos de 15% de areia.	Argiloso úmido

As propriedades de interesse para o emprego militar são a permeabilidade, a estabilidade sob esforço e a capacidade de resistência, sendo que as duas últimas sofrem variações importantes conforme o grau de umidade. Portanto, é fundamental que o solo seja estimado com respeito às condições meteorológicas.

4.2.4 Hidrografia

A análise da hidrografia no estudo do terreno deve abranger todos os cursos d'água que, dentro da área de operações, impeçam ou dificultem o movimento.

Os rios normalmente são acidentes importantes na condução das operações militares, seja como referência para coordenação e controle ou como obstáculo. Um rio pode ser um obstáculo transitório para o movimento, até que seja possível a construção de pontes, uso de botes de assalto ou travessia por helicóptero. A eficácia de um rio como obstáculo aumenta com a sua largura, velocidade e profundidade (Tabela 11). Estes dados podem ser obtidos por meio de reconhecimento técnico especializado de engenharia militar.

Tabela 11 - Restrições impostas pela hidrografia. Fonte: EME, 1999.

RESTRICÇÕES IMPOSTAS PELA HIDROGRAFIA	
CLASSIFICAÇÃO DO TERRENO	HIDROGRAFIA
Impeditivo	Cursos d'água, lagos, pântanos, zonas alagadiças, que não possam ser vadeados ou atravessados com apoio de pontes lançadas de viaturas blindadas (PLVB) pela engenharia militar. Margens verticais, de superfície firme, que possam deter os carros-de-combate, assim como correnteza com velocidade elevada e profundidade que apresente desvantagens significativas para o emprego de viaturas blindadas.

Restritivo	Cursos d'água, lagos, áreas alagadiças, que possam ser vadeados ou atravessados com apoio de PLVB em vários locais (mas não em toda a extensão considerada). A velocidade da correnteza deve ser pequena ($< 1,5$ m/s) e a profundidade deve ser inferior a 1,20 m.
Adequado	Cursos d'água, lagos, que possam ser vadeados em qualquer lugar ou que sejam de inexpressiva largura ($< 1,5$ m). A profundidade ($< 0,6$ m) e a velocidade da correnteza não devem impedir a travessia.

Os lagos são, normalmente, obstáculos ao movimento. A travessia, quando necessária, é realizada em veículos anfíbios ou em botes.

Normalmente, o movimento através de pântanos ou de lodaçais é limitado às passagens elevadas. Os fundos de lodo e turfa impedem, normalmente, o movimento em terreno variado.

4.2.5 Obras-de-arte

Compreendem todas as construções, canais, valas, pontes, viadutos, túneis, represas, aeroportos, rodovias, ferrovias e vias fluviais, sobre as quais poderão ser transportados tropas e suprimentos.

A importância militar das obras-de-arte reside, principalmente, em sua relação com a transitabilidade já que, de acordo com as características particulares de cada uma delas, facilitará ou dificultará o movimento das tropas em campanha. Assim, uma ponte evitará um rio obstáculo, permitindo o movimento, no entanto, valas e canais poderão restringi-lo.

4.2.6 Localidades

As áreas urbanas, normalmente, são constituídas de áreas funcionais separadas, entre as quais as comerciais, industriais, residenciais, de recreação, de serviços essenciais, governamentais e institucionais, militares e áreas de transporte e armazenamento.

O estudo militar das localidades deve estar direcionado a determinar se será, ou não, necessário empenhar tropas nas localidades. Historicamente, as ações e operações ofensivas são sempre difíceis em áreas urbanas. Entretanto, podem proporcionar vantagens às operações defensivas.

4.2.7 Condições meteorológicas

As condições meteorológicas exercem influência em todas as atividades executadas pelas forças empregadas em determinada operação. Seus efeitos são percebidos, com maior

evidência, sobre o terreno, a visibilidade, transitabilidade, características dos cursos d'água, condições aéreas e as possibilidades que o terreno oferece para sua utilização. A mobilidade é um dos aspectos que mais interessam às operações e é, também, aquele que mais evidencia essa profunda influência.

Os meteorologistas do Exército são empregados, atualmente, apenas na aviação da Força Terrestre. As características meteorológicas analisadas pela Força Terrestre no Estudo de Situação de Inteligência, como não poderia deixar de ser, são estudadas a fundo por estes técnicos, no planejamento das operações aéreas.

O que se pretende no estudo das condições meteorológicas pelas tropas de emprego terrestre, no processo de integração constante do estudo do terreno (PITCI), é verificar como estes aspectos podem influenciar, positiva ou negativamente, no planejamento e na condução das operações terrestres.

Essa integração permite a obtenção dos efeitos das condições meteorológicas sobre as operações, materializando-se pela confecção de calcos e geração de mapas temáticos, que facilitam sua visualização.

Estes aspectos, para poder serem lançados nos respectivos calcos, ou serem produzidos mapas temáticos detalhados, exigem uma confirmação por meio de trabalho de campo ou, na linguagem militar, por meio de reconhecimento no terreno.

4.2.7.1 Temperatura e umidade

Estes dois elementos têm influência nos vetores lançados através da atmosfera, tais como aeronaves, mísseis, foguetes e granadas de artilharia. Quando estes elementos apresentam valores extremos, afetam o rendimento do pessoal, do material, do equipamento, do armamento e das viaturas. Podem causar dificuldades na construção de posições e fortificações e irão provocar um aumento na dependência do apoio logístico.

A temperatura deve ser analisada sob dois distintos aspectos: quanto ao seu valor absoluto, particularmente quando indicar situações extremas de frio e de calor, influenciando na eficiência combativa das tropas e no funcionamento do material empregado; e quanto ao seu valor relativo, ou gradiente de temperatura, que é a diferença entre as temperaturas das camadas de ar.

Assim, três situações podem ocorrer: inversão – a temperatura aumenta com a altitude, a velocidade dos ventos é pequena e o ar estável, com poucas correntes; permite a utilização de agentes Químicos, Biológicos ou Nucleares (QBN) e favorece o lançamento de “cortinas fumígenas”; neutralidade – a variação da temperatura com a altitude é pequena ou nula e o ar

é moderavelmente estável; lapse – a temperatura diminui à medida que a altitude aumenta e o ar torna-se instável; não favorece o lançamento de agentes QBN e o lançamento de “cortinas” mas, sim, de “tetos” de fumígenos.

4.2.7.2 Nebulosidade

A nebulosidade é uma situação decorrente da maior ou menor resistência da formação de nuvens, ou mesmo de nevoeiro, neblina ou névoa.

O tipo e a densidade da camada de nuvens, assim como a altura de seus limites inferior e superior, influem nas operações aéreas. As nuvens também podem afetar as operações terrestres, porquanto limitam a luminosidade natural diurna e noturna e determinam as precipitações.

A neblina, ou nevoeiro, é muito freqüente nas zonas costeiras e em vales interiores pela manhã, limitando a visibilidade.

No PITCI deve ser confeccionado um calco de neblina (ou nevoeiro), onde são representadas a dimensão e a localização do nevoeiro, indicando, dentro do possível, as horas de duração e a visibilidade em metros.

4.2.7.3 Precipitações

Têm grande influência sobre o estado do terreno, a observação, as tropas e o funcionamento de alguns equipamentos, materiais e armamentos. A chuva pode reduzir drasticamente a persistência dos agentes químicos, a eficácia das minas e de outros materiais de emprego militar. A eficácia do pessoal também será reduzida pelas precipitações, ao produzirem desconforto, aumentarem a fadiga e gerarem problemas físicos e psicológicos.

Um aspecto importante a considerar é a ocorrência de descargas elétricas, que podem incidir sobre depósitos de munições e de combustíveis, afetar as linhas de transmissão terrestres e alterar, ou impedir, o uso do espectro eletromagnético, tanto para a realização de transmissões como para o emprego de radares e sensores.

A transitabilidade do terreno, no entanto, será a mais afetada, conforme o tipo de terreno, a natureza do solo e sua capacidade de drenar água, influenciando sobre o movimento das tropas.

No PITCI deve ser confeccionado um calco de precipitações, onde são representados os efeitos das chuvas sobre o terreno. Devem ser assinaladas as áreas que dificultem o acesso e a passagem sem meios auxiliares, além das áreas inundadas.

4.2.7.4 Ventos

A direção e a velocidade do vento têm influência sobre o emprego de fumígenos e de agentes QBN e sobre operações aeromóveis ou aerotransportadas.

No PITCI deve ser confeccionado um calco de ventos, onde é representada a circulação dos ventos predominantes, com suas velocidades e direções, dependendo do tamanho da área de operações.

CAPÍTULO 5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Campo de Instrução de Formosa (CIF) limita-se ao norte pela BR 020, ao sul pela divisa com o estado de Minas Gerais, a oeste pelo rio Preto e a leste pelo rio Bezerra (Figura 20). É entrecortado por diversos córregos com fluxos na direção leste para o rio Bezerra e oeste para o rio Preto, a partir de um divisor central de direção geral norte-sul. Todos esses pequenos cursos d'água são constituintes da Bacia Hidrográfica do São Francisco. A drenagem é de alta densidade, com cursos de sinuosidade mista, alta angularidade, compondo um padrão de drenagem dendrítico.

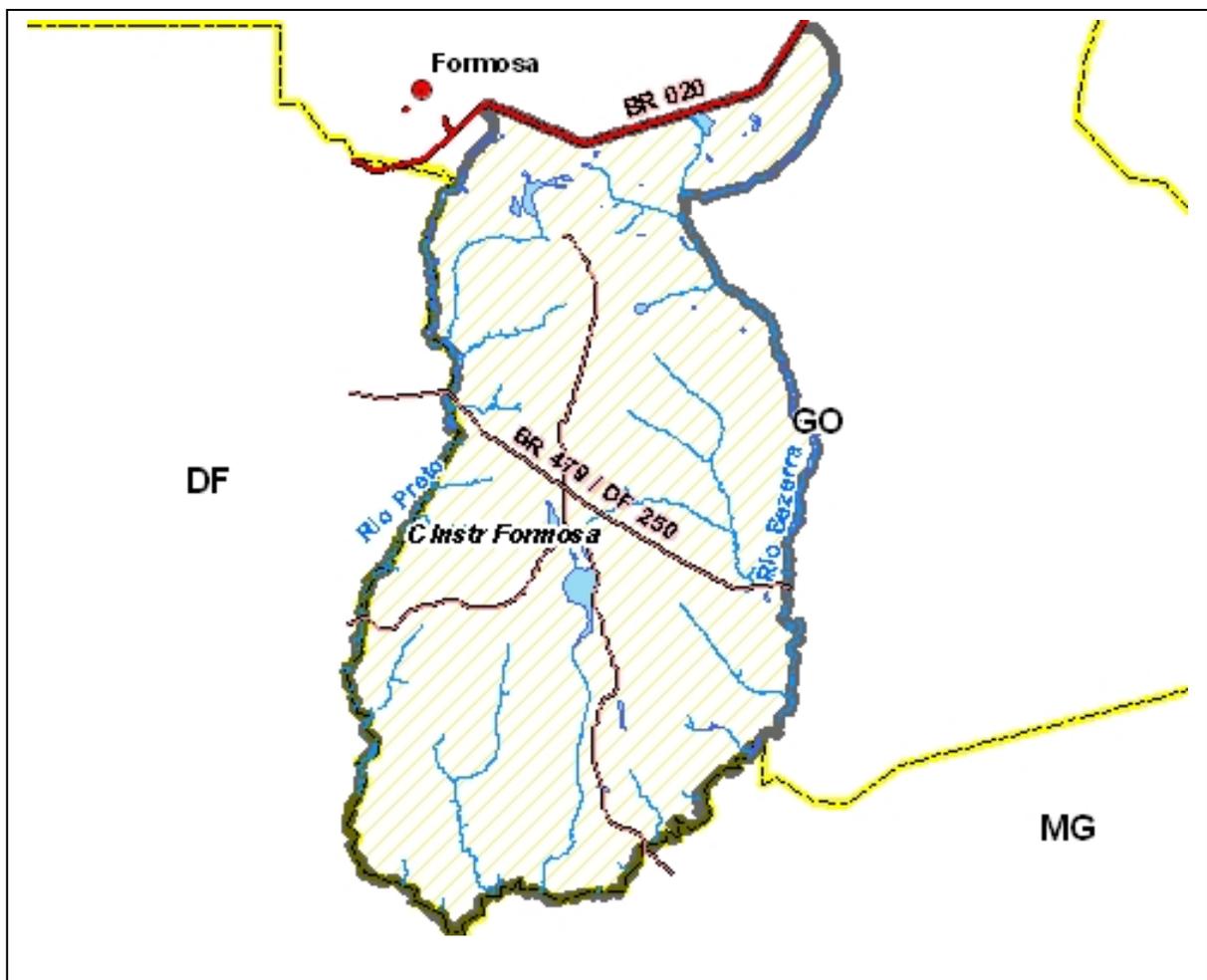


Figura 20 - Limites da área de estudo

A área de estudo está inserida na zona externa da Faixa de Dobras e Falhas Brasília (FDB), geradas durante a Orogênese Brasileira, compreendendo restritas áreas de rochas dos grupos Paranoá e Bambuí. A FDB está situada na parte leste da Província Tocantins e se estende por mais de 1.000 quilômetros na direção geral N-S, ao longo da margem Oeste do Crá-

ton São Francisco (Dardenne, 2000). Em geral, as principais unidades sedimentares e metasedimentares mostram deformação tectônica progressivamente mais intensa em direção a oeste, acompanhada de intenso metamorfismo (Dardenne, 2000).

A mega-inflexão dos Pirineus, importante lineamento WNW-ESSE, que coincide com o paralelo Brasília, divide a FDB em dois segmentos norte e sul com características distintas (Dardenne, 2000). Ao norte de Brasília os efeitos da compressão Brasileira são expressos por grandes falhas transcorrentes dextrais (Dardenne, 2000). Ocorrem nessa porção os grupos Serra da Mesa e Paranoá, além da expressiva exposição dos grupos Bambuí e Araí. O segmento Sul é marcado por deformação e metamorfismo muito intenso, de modo a obliterar a estratigrafia local (Dardenne, 2000). Os grupos Araxá, Canastra, Ibiá e Vazante estão envolvidos em um imbricado sistema de “nappes” e empurrões indicando tectônica de grande magnitude (Dardenne, 2000).

Na área de estudo o Grupo Paranoá ocorre em uma reduzida área com exposições no extremo noroeste, com a presença das unidades Q₂, R₃, Q₃ e R₄.

Segundo Monteiro (2006), a unidade Q₂ compreende a quartzitos com uma granulometria de grãos de quartzo que chegam a 8 mm. Comumente são de subangulosos a subarredondados, com esfericidade média, mostrando contato planar, subordinadamente suturado.

Os quartzitos correlacionados à unidade Q₃, possuem coloração branca e são comumente silicificados. São rochas bastante fraturadas, com granulometria de quartzo de tamanho médio de 1 mm, de sub-arredondados a arredondados, com esfericidade alta.

As camadas de quartzito e metapelito que constituem a unidade R₃, Metarritmito Inferior, variam sua espessura desde poucos milímetros a cerca de 50 centímetros, embora haja estratos quartzíticos métricos. Os quartzitos são brancos, puros, laminados, sendo encontrados silicificados em alguns afloramentos. Apresentam granulação de fina a média, possuindo pouca matriz, característica essa marcante no Grupo Paranoá. Mostram inúmeras fraturas subverticalizadas, com abertura centimétrica.

A unidade R₄, Metarritmito Superior, é composta por camadas de metassiltito amarelo laminado intercaladas com quartzitos roxos em espessuras equivalentes que variam de 1 a 10 centímetros.

Com idade Neoproterozóica, o Grupo Bambuí distribui-se de norte a sul por toda a extensão da Faixa Brasília ao longo de sua borda externa. Tal grupo é caracterizado pela presença de um conglomerado basal de origem glacial seguido por uma espessa seqüência argilo-carbonatada, findando-se com siltitos e arcóseos (Dardenne, 1978).

Na poligonal do CIF ocorrem unidades litológicas que indicam que o Grupo Bambuí domina grande parte da área em estudo (Figura 21), com a presença de lagoas cársticas. As litologias desse Grupo raramente formam serras, sendo comum os terrenos arrasados. Em geral, os afloramentos atribuídos a este grupo são encontrados em estado avançado de alteração intempérica, com um padrão de coloração rosado e amarelo-esbranquiçado, típico dessas rochas.

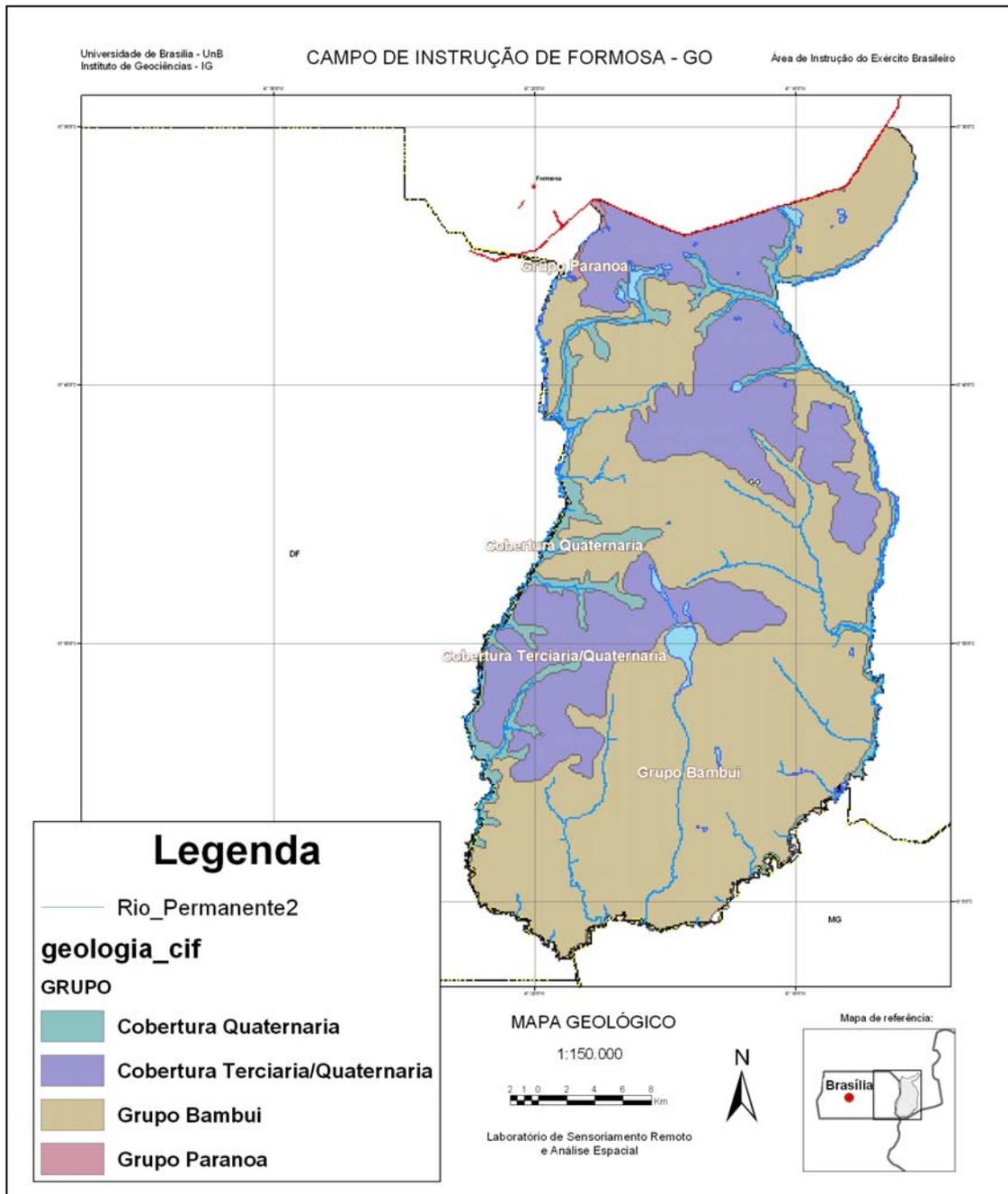


Figura 21 - Mapa geológico do Campo de Instrução de Formosa (CIF). Fonte: SIEG

No CIF ocorre relevo plano a suave ondulado, praticamente em toda a sua extensão, com o predomínio de latossolos vermelhos e latossolos vermelho-amarelos (Figura 22), de horizonte A moderado. Estes solos sofreram forte intemperismo por tempo prolongado e apresentam estruturação dos tipos granular ou grumosa. A variação textural se apresenta de argilosa a muito argilosa.

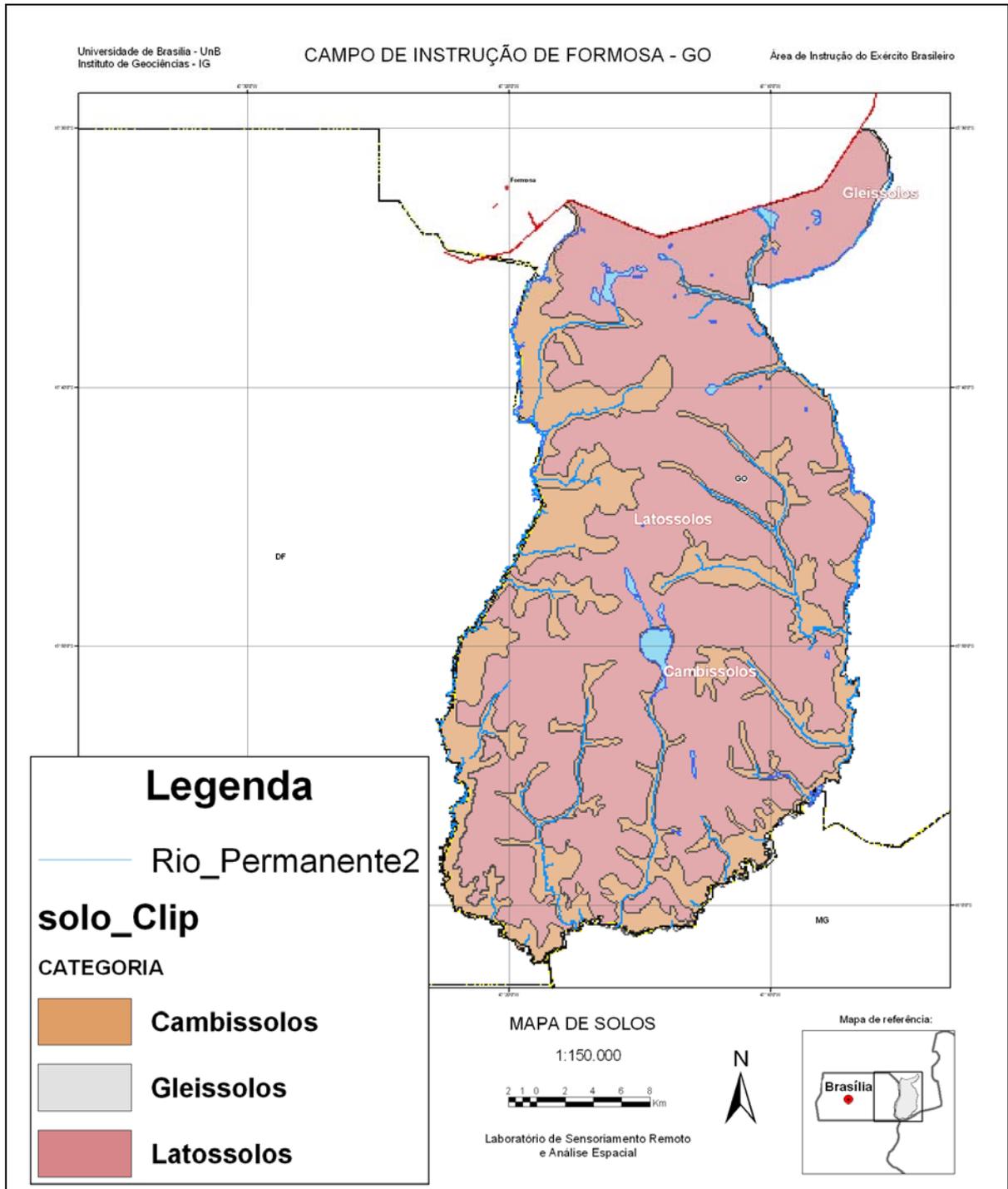


Figura 22 - Mapa de solos do Campo de Instrução de Formosa (CIF).

Nas regiões de ocorrência de matas de galeria, verifica-se a presença de Cambissolos, com horizonte A moderado e variação textural de média a argilosa, e a nordeste do CIF tem-se a ocorrência de Gleissolos, em campos de várzea e terreno plano.

A individualização das formações do Grupo Bambuí, é de difícil estabelecimento, uma vez que o grau de alteração elevado não permite distinção petrográfica. Esse fato, aliado à presença de rochas pelíticas interdigitadas com rochas carbonáticas, subsidia a utilização do termo Subgrupo Paraopeba como referência a essas unidades em conjunto (Monteiro, 2006).

Com relação à geomorfologia, pode-se considerar que o CIF encontra-se no chamado Compartimento de Chapada Intermediária. Esta denominação é herdada da compartimentação proposta por Pinto (1994) para o Distrito Federal e ocupa toda a área de estudo. O Compartimento de Chapada Intermediária é caracterizado por chapadas situadas em cotas acima de 800 metros, cobertas por latossolos e cambissolos, desenvolvidos sobre rochas pelíticas pouco resistentes ao intemperismo, atribuídas aos Grupos Paranoá e Bambuí. Esse compartimento representa relevo aplainado e coberturas espessas de latossolo. O fluxo de água superficial tende a ser laminar ou difuso, gerando erosões laminares, não havendo perda significativa de água por escoamento superficial.

O clima dominante na região enquadra-se no tipo Aw (Tropical de Savana), de acordo com a classificação de Köpenn. Predomina marcada alternância de estação seca e fresca (abril a setembro) e outra chuvosa e quente (outubro a maio) (Figura 23). Com relação aos dados de precipitação mensal é notório um período chuvoso bem marcado que se inicia no mês de outubro, com fim em abril. Médias pluviométricas altas estão distribuídas entre os meses de novembro e janeiro. No período de estiagem, que compreende o intervalo que vai de maio a setembro, são registrados os maiores valores de evaporação. A precipitação média anual varia em torno de 1.600 mm.

As primeiras chuvas são importantes na restauração da umidade natural do solo e no abastecimento da vegetação, enquanto as posteriores garantem a recarga dos aquíferos.

A fitopaisagem do CIF é caracterizada por extensas formações savânicas, interceptadas por matas ciliares e de galeria ao longo dos riachos. Estas formas savânicas exclusivas não são homogêneas, havendo uma grande variação no balanço entre a quantidade de árvores e de herbáceas, formando um gradiente estrutural que vai do cerrado completamente aberto (campo limpo, vegetação dominada por gramíneas, sem a presença dos elementos lenhosos – árvores e arbustos –) ao cerrado fechado, fisionomicamente florestal (cerradão), com grande quantidade de árvores e aspecto florestal. As formas intermediárias são o campo sujo de cer-

rado, o campo cerrado e o cerrado “stricto sensu” (típico), de acordo com uma densidade crescente de árvores (Figura 24).

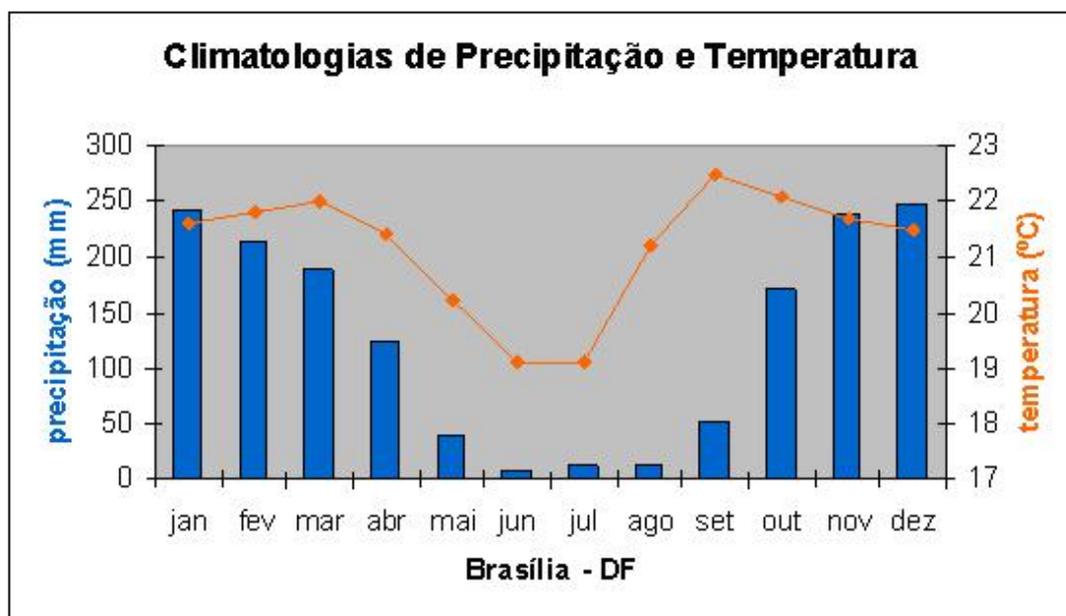


Figura 23 - Climatologia de precipitação e temperatura. Fonte: CPTEC, 2006.



Figura 24 - Cerrado stricto sensu existente no CIF

CAPÍTULO 6. MATERIAL E MÉTODOS

6.1 TRABALHO DESENVOLVIDO

O estudo foi realizado em etapas de campo e de escritório. Inicialmente, na etapa de campo foi realizada uma vistoria da área, onde foram observados os aspectos gerais do terreno, como características do solo e da vegetação. Tais observações subsidiaram parâmetros iniciais para a interpretação das imagens multiespectrais.

Para os trabalhos de escritório, como processamento dos dados vetoriais e das imagens com o objetivo de gerar os mapas, foram utilizados os softwares de geoprocessamento ArcGis 8.3, da empresa ESRI, e de processamento de imagens de sensoriamento remoto ENVI 4.2, da empresa RSI. Ambas as licenças estão disponíveis no Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análise Espacial do Instituto de Geociências da UnB.

6.1.1 Trabalho de campo

Inicialmente, durante o trabalho de campo, foram coletados pontos de controle com o GPS manual Garmim para fins de orientação em deslocamento e localização no terreno, devido à ausência de feições ou pontos de referência no Campo de Instrução. Posteriormente estes pontos foram utilizados para confirmação do posicionamento espacial de trilhas e estradas observadas nos dados vetoriais em formato de shapes (shp) e layers (lyr), extensões comumente usadas pelo ArcGis, fornecidos pelo Centro de Imagens e Informações Geográficas do Exército (CIGEx).

Existem duas grandes estradas que cortam o CIF: a BR-479 / DF-250, que atravessa o campo de instrução no sentido Leste-Oeste, e outra que corta o CIF no sentido Norte-Sul, conhecida como “Estrada da Patrulha”, com capacidade de suporte de até 10 ton (Figuras 25 e 26). As estradas que cortam o CIF são de revestimento primário e oferecem boa trafegabilidade.

O objetivo principal do trabalho de campo foi verificar possíveis associações ou relações entre os elementos físicos da paisagem. Ao seu término, foi verificado que a vegetação é bem variada, abrangendo as diversas classes de cerrado, indicando um solo com horizonte A moderado, de textura argilosa, característico da categoria dos latossolos. Da mesma forma, foi verificado que a maioria dos cursos d’água apresenta condições de vau⁵ e podem ser atravessados com apoio de Pontes Lançadas por Viaturas Blindadas (PLVB) em vários locais.

⁵ Vau – Trecho raso do rio ou do mar, onde se pode transitar a pé ou a cavalo.



Figura 25 - Placa indicativa existente na entrada do CIF.



Figura 26 - “Estrada da Patrulha” que corta o CIF, de Norte a Sul.

6.1.2 Estruturação da base de dados geográficos

O trabalho foi calcado em dados de diversas fontes. Em termos de mapas, foi utilizada a carta Formosa Especial 1:50.000, do banco de dados - em base digital - do Centro de Imagens e Informações Geográficas do Exército (CIGEx); mapas temáticos do Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás (SIEG), na escala 1:500.000, em formato vetorial e dados planimétricos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala 1:1.000.000.

Os dados vetoriais empregados foram: curvas de nível, com equidistância de 10 metros; pontos cotados; rede de drenagem (rios permanentes, rios intermitentes, lagoas e áreas inundadas); vias de transporte (rodovias com capacidade para 10 ton, rodovias pavimentadas, rodovias não-pavimentadas, rodovias de tráfego periódico, trilhas e arruamentos); mapas de solos, de geologia e de planimetria (limites estaduais e sedes de municípios).

Em uma primeira edição foi realizada a correção altimétrica das curvas de nível, dos pontos cotados e, por fim, a junção das curvas. Outro procedimento foi a correção de direção do fluxo da rede de drenagem. Estas edições permitiram constituir uma melhor acurácia dos dados.

Com base na rede de drenagem e nos dados hipsométricos - curvas de nível e pontos cotados -, foi gerada a TIN, com vistas a melhor observar a altimetria da área. Na construção do arquivo TIN, os “mass points” foram processados baseados nos layers curvas de nível e pontos cotados. As “hard breaklines” foram processadas baseadas no layer hidrografia, e as “soft lines” foram processadas baseadas no layer rodovias. Utilizando-se o arquivo TIN gerado, foram realizados processamentos, como “hillshade” e “viewshed” (constantes do ArcGis), na construção do arquivo GRID.

A partir deste MDT foi possível gerar a informação 3D das feições do terreno, o perfil topográfico com exagero vertical de 40X, e o mapa de declividade da área de estudo (Figura 27), separando-se os aclives em quatro grandes classes: de 0% a 10%, 10% a 30%, 30% a 45% e mais de 45%.

As informações relativas à natureza e distribuição espacial das formações superficiais presentes foram obtidas tendo como base o mapa de solos e o mapa geológico.

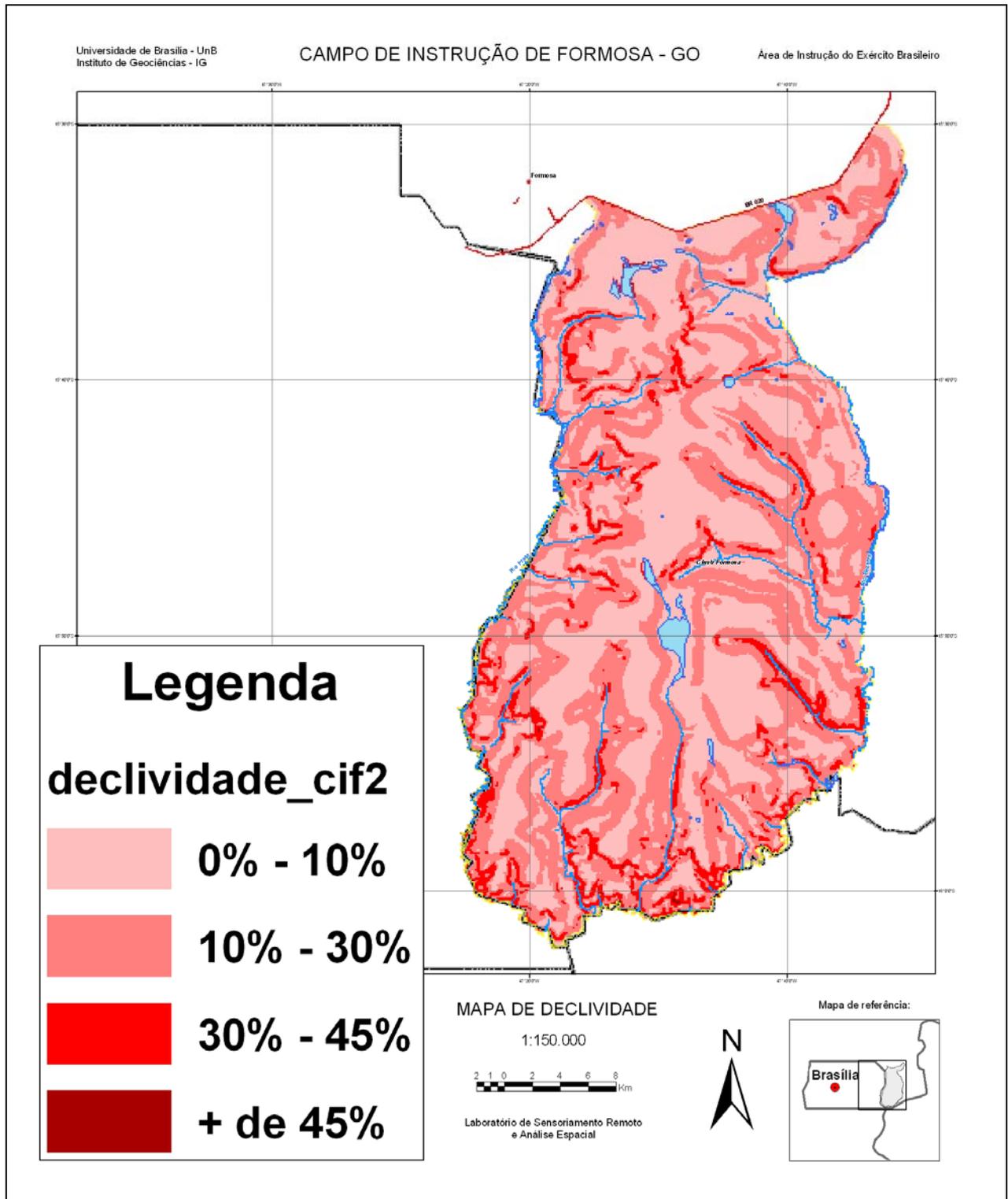


Figura 27 - Mapa de declividade do Campo de Instrução de Formosa

Em termos de imagens, foi utilizado o mosaico GeoCover (Figura 28), da NASA, do ano de 2000, folha ao milionésimo S 23-15, no intuito de situar a área de estudo no contexto de uma escala menor que 1:1.000.000. Este mosaico é composto por cenas ortorretificadas do sensor Enhanced Thematic Mapper (ETM+) do satélite Landsat 7. Cada mosaico possui de 12 a 16 cenas (Figura 29) e é comprimido no formato “MrSID”. As cenas do Landsat são constituídas de três bandas, fusionadas com a banda pancromática: a banda 7 (infravermelho de ondas curtas) é associada ao canal R (vermelho), a banda 4 (infravermelho próximo) é associada ao canal G (verde) e a banda 2 (luz visível verde) é associada ao canal B (azul). A resolução espacial do mosaico é em torno de 50 metros, o que permitiu uma boa visualização dos atributos da imagem até uma escala aproximada de 1:150.000. Os mosaicos GeoCover estão disponíveis livremente no site da NASA <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>.

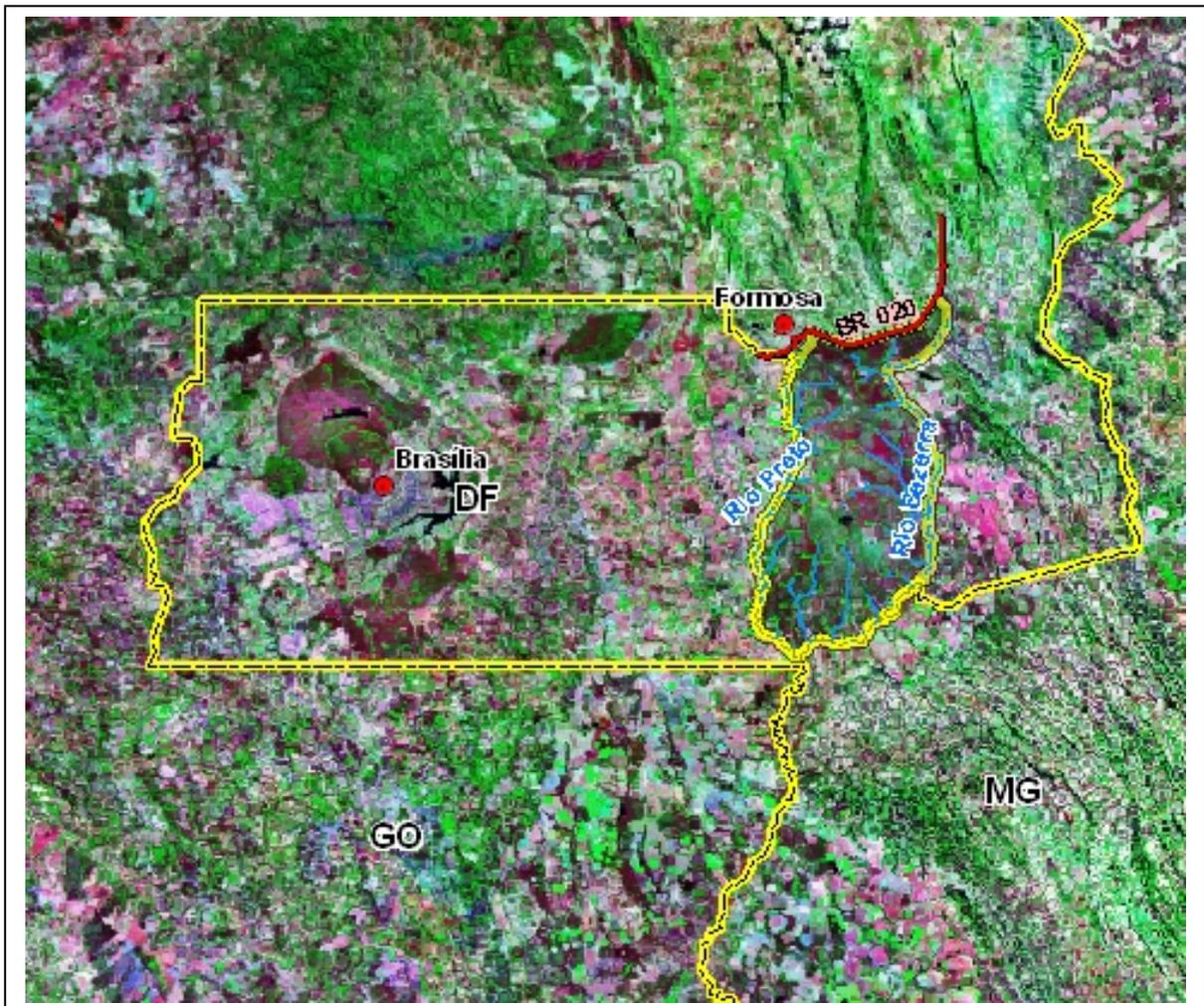


Figura 28 - Mosaico GeoCover, da NASA

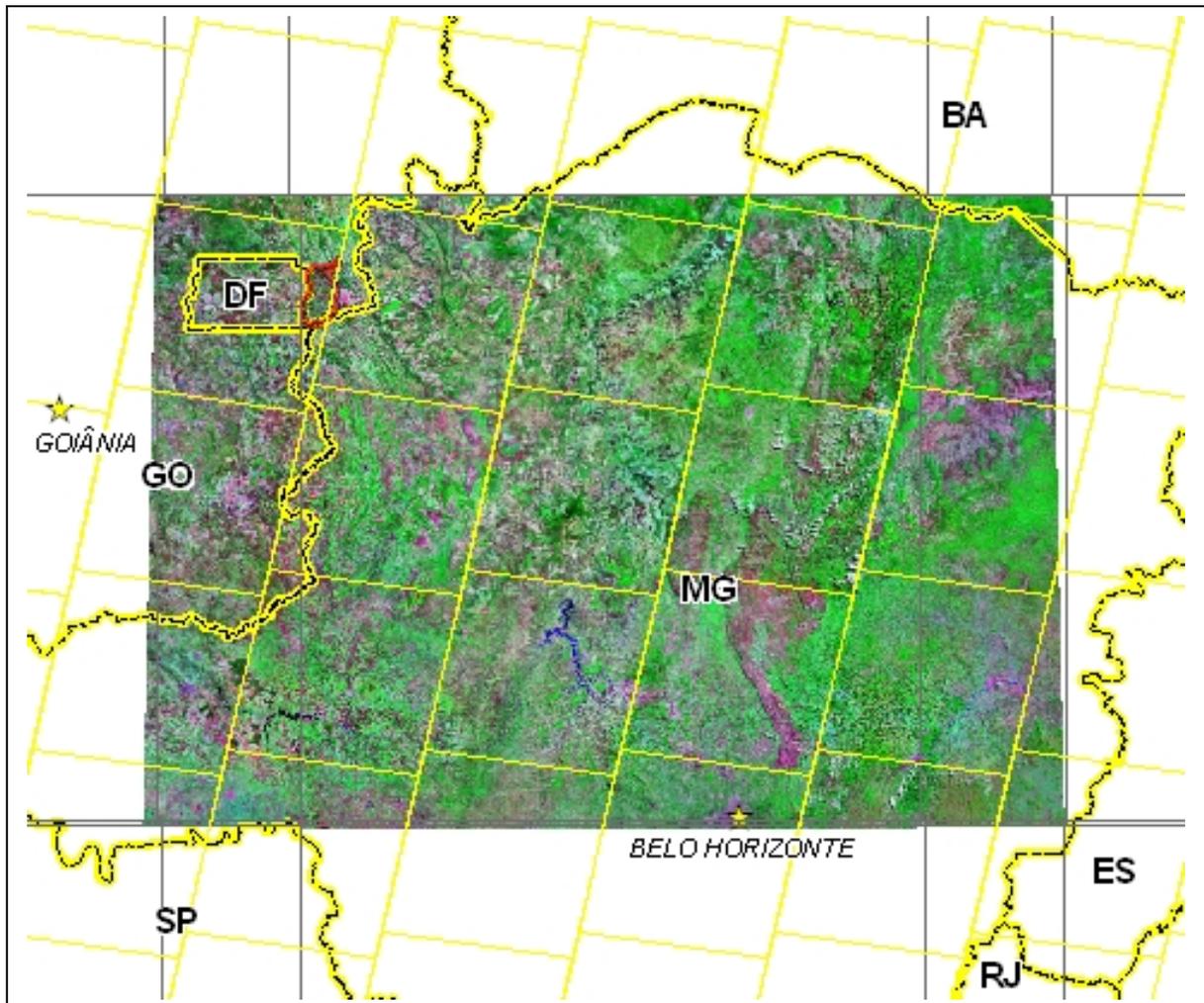


Figura 29 - Cenas Landsat 7 do mosaico GeoCover

Foi utilizado também o mosaico aerofotográfico (Figura 30) semicontrolado do CIF, de 2001, na escala 1:50.000, cedido pelo Comando de Operações Terrestres (COTER) do Exército. As 40 fotografias aéreas que o compunham foram escanizadas e georreferenciadas individualmente e o mosaico foi construído de forma digital pelo COTER. O filme utilizado para as fotos foi o preto-e-branco, o que possibilitou um arquivo raster somente no espectro do visível. Esta baixa resolução espectral é compensada pela alta resolução espacial da foto, em torno de 1 metro. A partir do mosaico, foi realizada uma interpretação visual da área de estudo, para auxiliar a escolha de áreas de treinamento e a realização da classificação supervisionada a ser realizada na imagem SPOT.

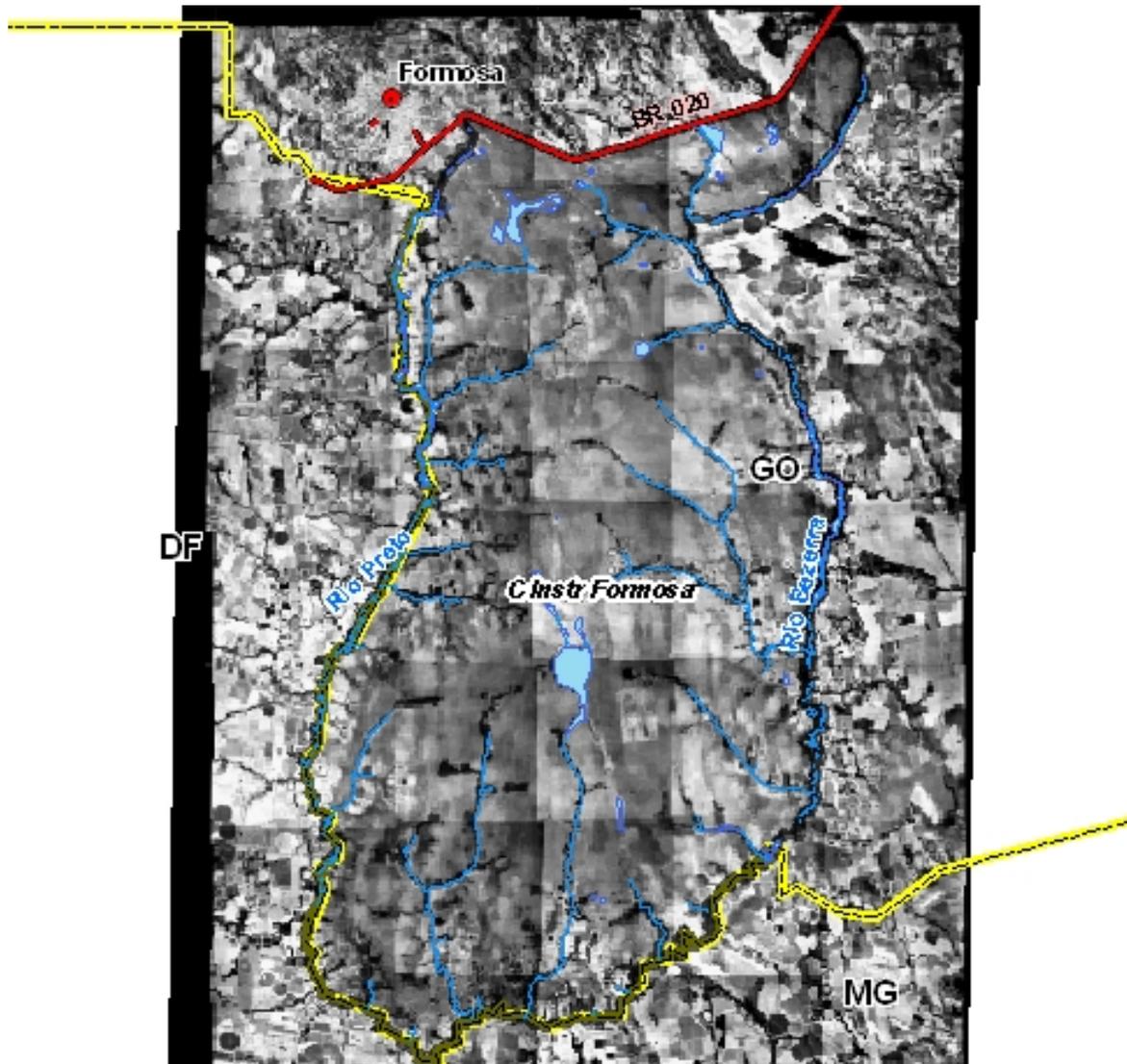


Figura 30 - Mosaico aerofotográfico semicontrolado da área de estudo

A imagem SPOT 5 (Sistema Para Observação da Terra) (Figura 31) órbita-ponto 711-381, de 2002, já georreferenciada, foi gentilmente cedida pela empresa IMAGEM, de São José dos Campos/SP, por meio do escritório de Brasília/DF. O sensor adquire uma imagem de 8 bits com resolução espacial de 10 metros para quatro bandas espectrais que permitem a aquisição de dados sobre a superfície da Terra nas regiões do visível e infravermelho próximo, e uma banda pancromática com resolução de 5 m, conforme dados da Tabela 12. No presente trabalho foi adotada a composição RGB 123, ou seja, associou-se a região do espectro da banda HRG1 ao canal R (vermelho), da banda HRG2 ao canal G (verde), e da banda HRG3 ao canal B (azul). Isto possibilitou uma alta reflectância na imagem da vegetação sadia, permitindo uma melhor diferenciação dos padrões da paisagem. Além disso, sua boa resolução espacial possibilitou um maior detalhamento das classes de vegetação discretizadas (Silva, 2001).

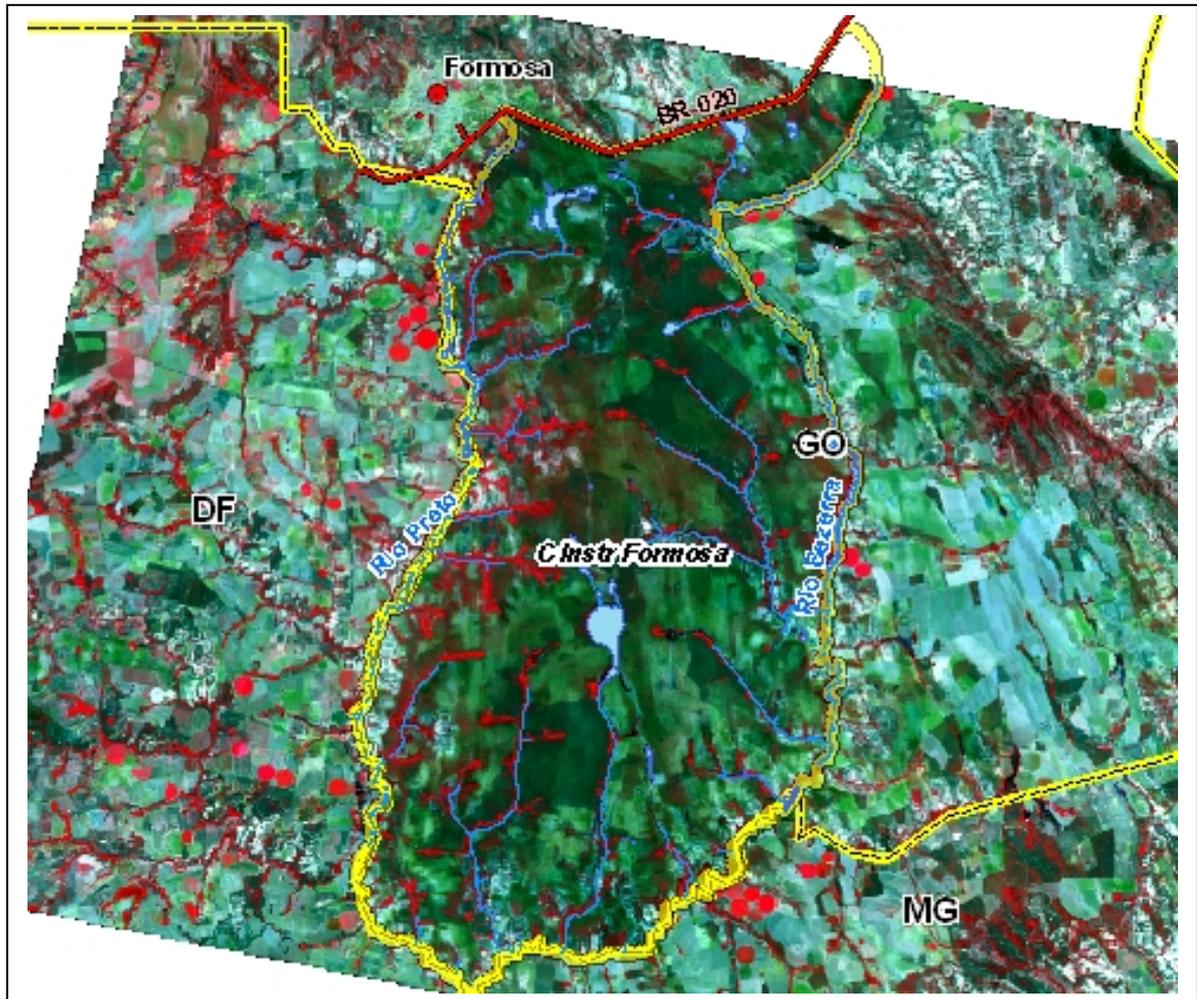


Figura 31 - Imagem SPOT 5 da área de estudo

Tabela 12 - Características espectrais e espaciais do sensor HRG (SPOT 5)

SENSOR	FAIXA ESPECTRAL		REGIÃO DO ESPECTRO	RESOLUÇÃO ESPACIAL (m x m)
	nm	µm		
HRG 1	500 - 590	0,50 - 0,59	VERDE	10
HRG 2	610 - 680	0,61 - 0,68	VERMELHO	10
HRG 3	780 - 890	0,78 - 0,89	INFRAVERMELHO PRÓXIMO	10
HRG 4	1580 - 1750	1,58 - 1,75	INFRAVERMELHO MÉDIO	10
PAN	510 - 730	0,51 - 0,73	VISÍVEL INFRAVERMELHO PRÓXIMO	5

Foi utilizada, também, a imagem de 2002, da órbita-ponto 221-071, do sensor ETM+, do satélite Landsat 7 (Figura 32), com uma composição RGB 543 de resolução espacial de 30 metros (Tabela 13), já georreferenciada. A idéia de se associar a banda 5 ao canal R (vermelho), a banda 4 ao canal G (verde) e a banda 3 ao canal B (azul), foi para possibilitar um bom

contraste entre as áreas de cobertura de vegetação densa e aquelas com pouca vegetação, solos expostos, reservatórios de água e textura de superfície do relevo..

Tabela 13 - Características espectrais e espaciais do sensor ETM+ (LANDSAT 7)

BANDA	FAIXA ESPECTRAL		REGIÃO DO ESPECTRO	RESOLUÇÃO ESPACIAL (m x m)
	nm	µm		
1	450 - 520	0,45 - 0,52	AZUL	30
2	530 - 610	0,53 - 0,61	VERDE	30
3	630 - 690	0,63 - 0,69	VERMELHO	30
4	780 - 900	0,78 - 0,90	INFRAVERMELHO PRÓXIMO	30
5	1550 - 1750	1,55 - 1,75	INFRAVERMELHO ONDAS CURTAS	30
6	10400 - 12500	10,4 - 12,5	INFRAVERMELHO TERMAL	120
7	2090 - 2350	2,09 - 2,35	INFRAVERMELHO ONDAS CURTAS	30
8 (PAN)	520 - 900	0,52 - 0,90	VISÍVEL INFRAVERMELHO PRÓXIMO	15

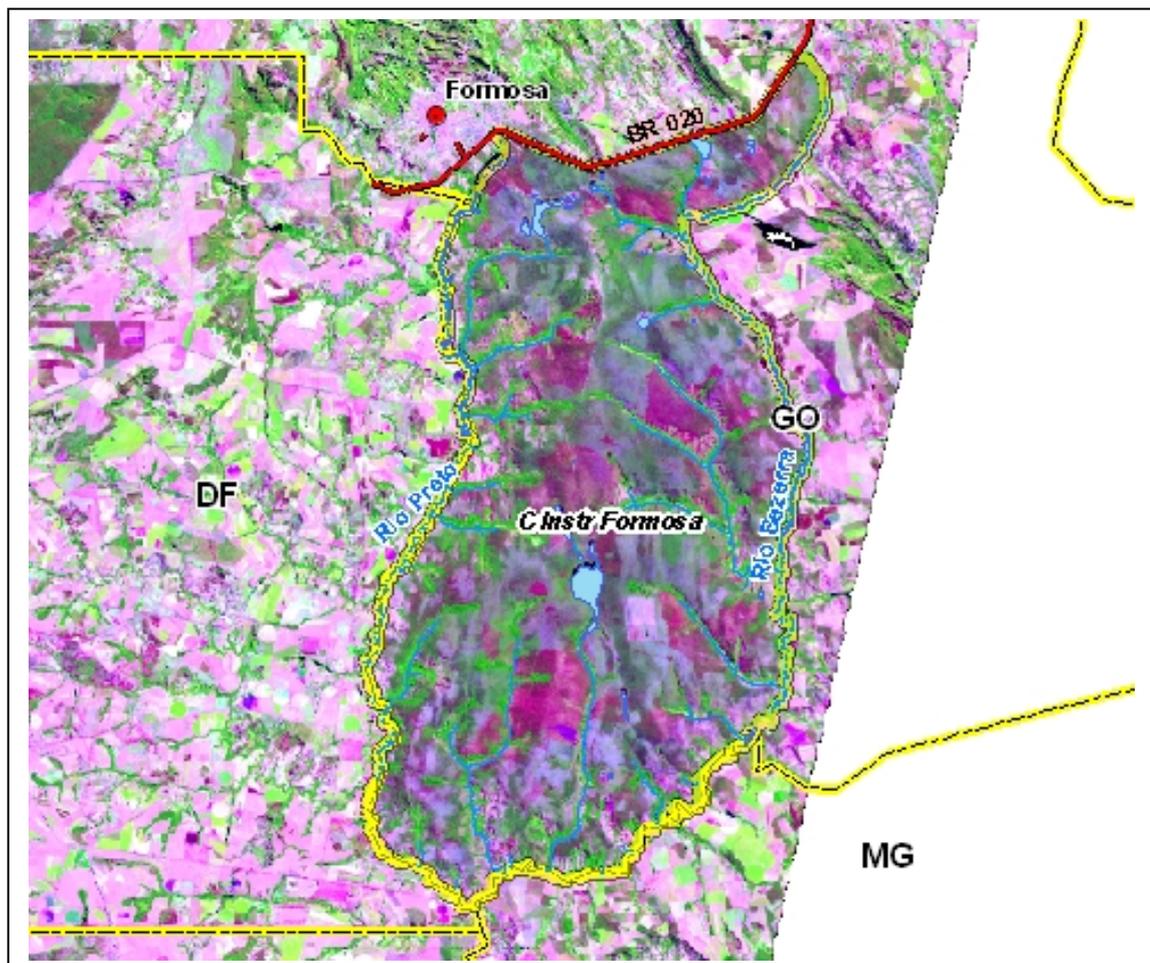


Figura 32 - Imagem LANDSAT 7 da área de estudo

Com relação aos dados meteorológicos, foram utilizados mapas raster disponíveis na internet, nos sites do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do INPE, entre os meses de fevereiro e março de 2006 (término do período chuvoso e início do período de estiagem na região), devidamente georreferenciados (Figura 33).

Não há mapas na escala necessária (em torno de 1:600.000) para se realizar estudos das condições meteorológicas da região do Campo de Instrução de Formosa. Sendo assim, foram empregados, didaticamente, os mapas na escala Brasil (1:40.000.000), para exemplificar como seriam adotados os dados meteorológicos em um Estudo Militar do Terreno.

Considerando os dados de 2006 até o final de março, foram empregados os seguintes mapas: precipitação total do mês de fevereiro (Figura 34), em mm, atualizado até 03/03/2006, para saber em quais regiões houve mais chuva; precipitação observada em 28/03/2006 (Figura 35), para verificar a quantidade de chuva em um dia; precipitação acumulada, em mm, nos cinco dias analisados (de 24 a 28 de março) (Figura 36), para se verificar se há possibilidade de saturação do terreno e, conseqüente interferência nas condições de tráfego dos principais eixos; número de dias consecutivos sem chuva em 2006, até 28 de março (Figura 37), para, comparando-se com o mapa de precipitação acumulada, saber em quanto tempo o terreno pode oferecer boas condições de trafegabilidade; e os mapas de climatologia de precipitação do mês de março (Figura 38) e do 1º trimestre (Jan, Fev e Mar) de 2006 (Figura 39), que possibilitam conhecer o histórico das chuvas nos períodos considerados.

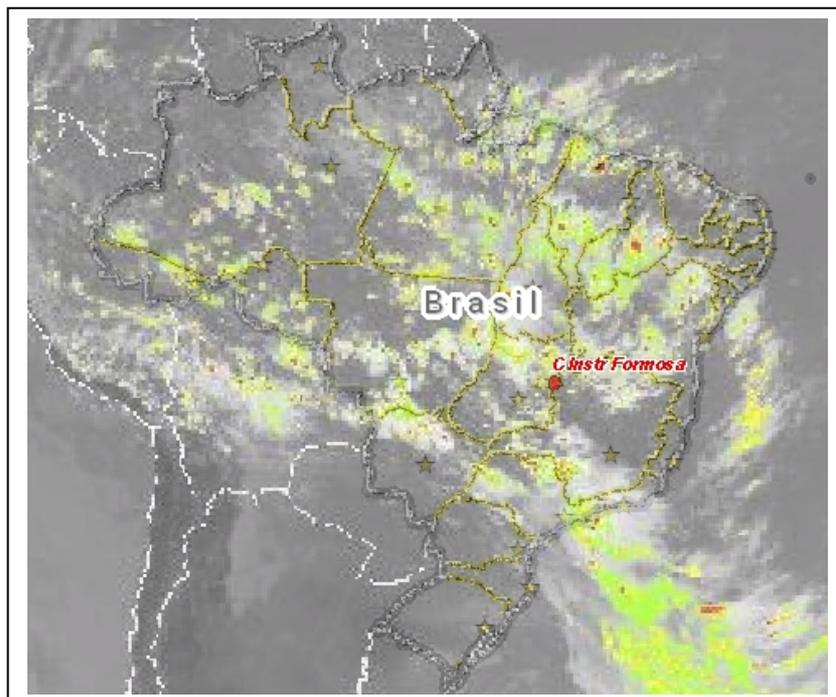


Figura 33 - Imagem do satélite meteorológico GOES.

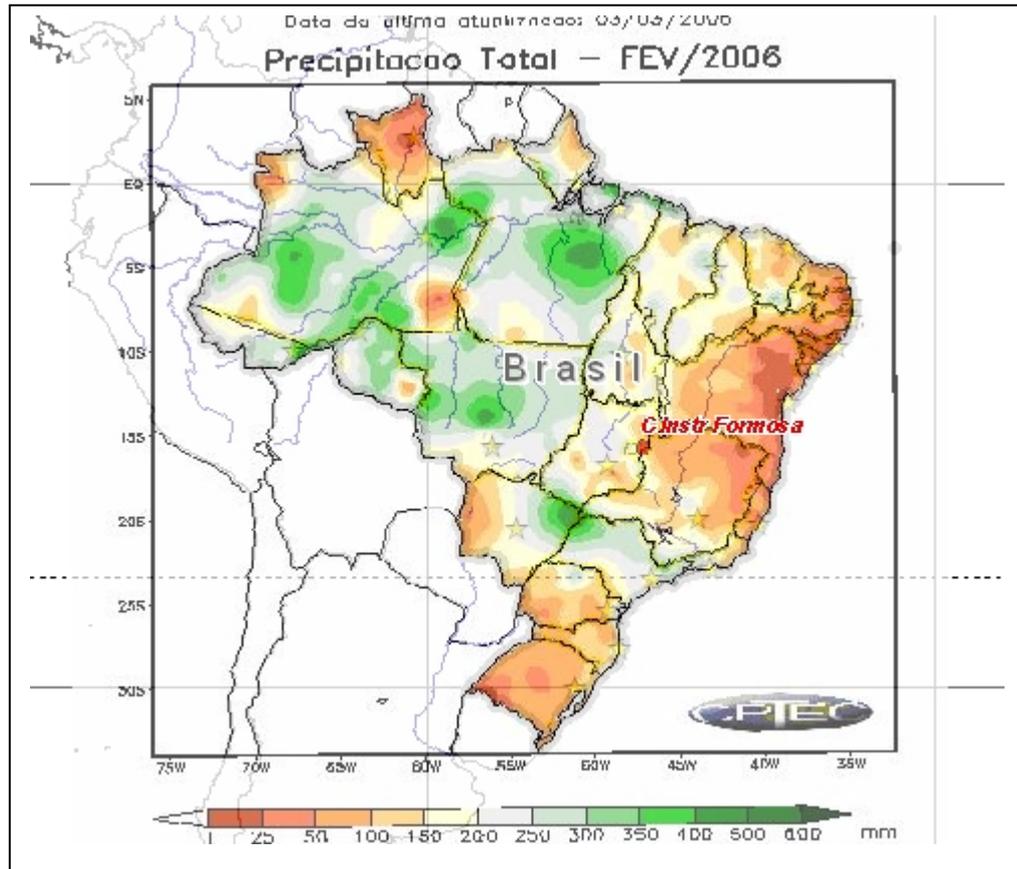


Figura 34 - Precipitação total - Fev 2006

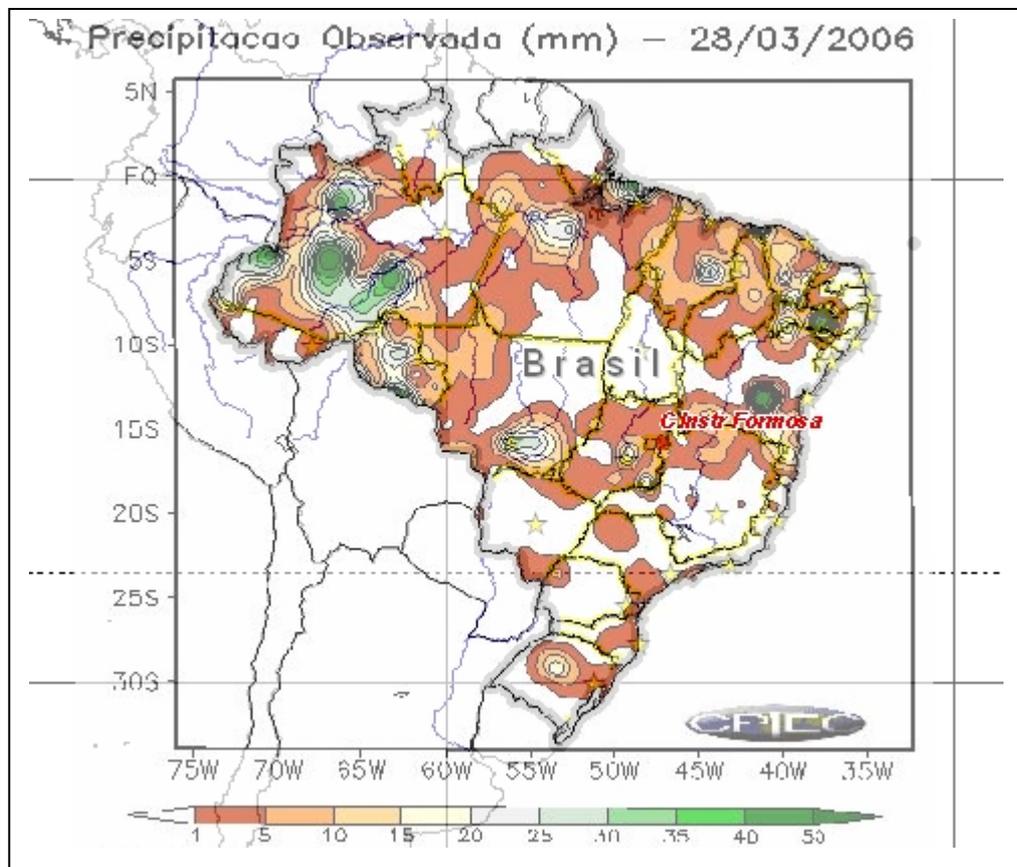


Figura 35 - Precipitação observada - 28 Mar 2006

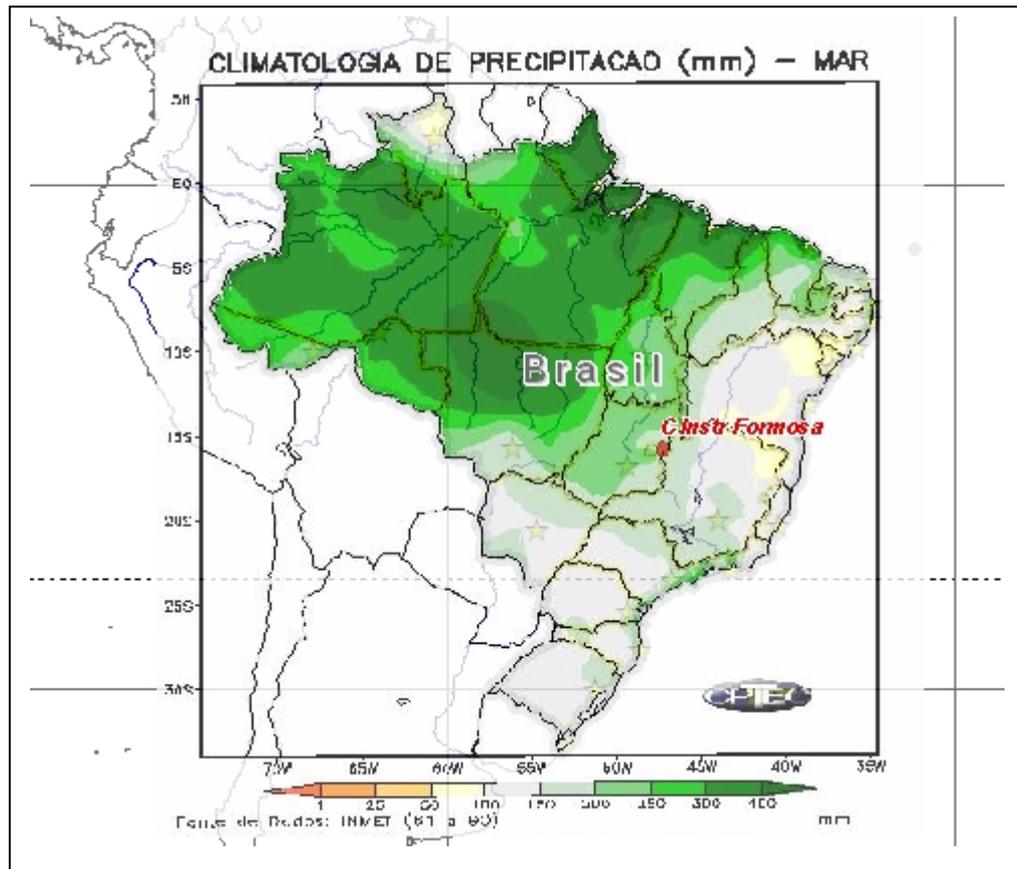


Figura 38 - Climatologia de precipitação - Mar 2006

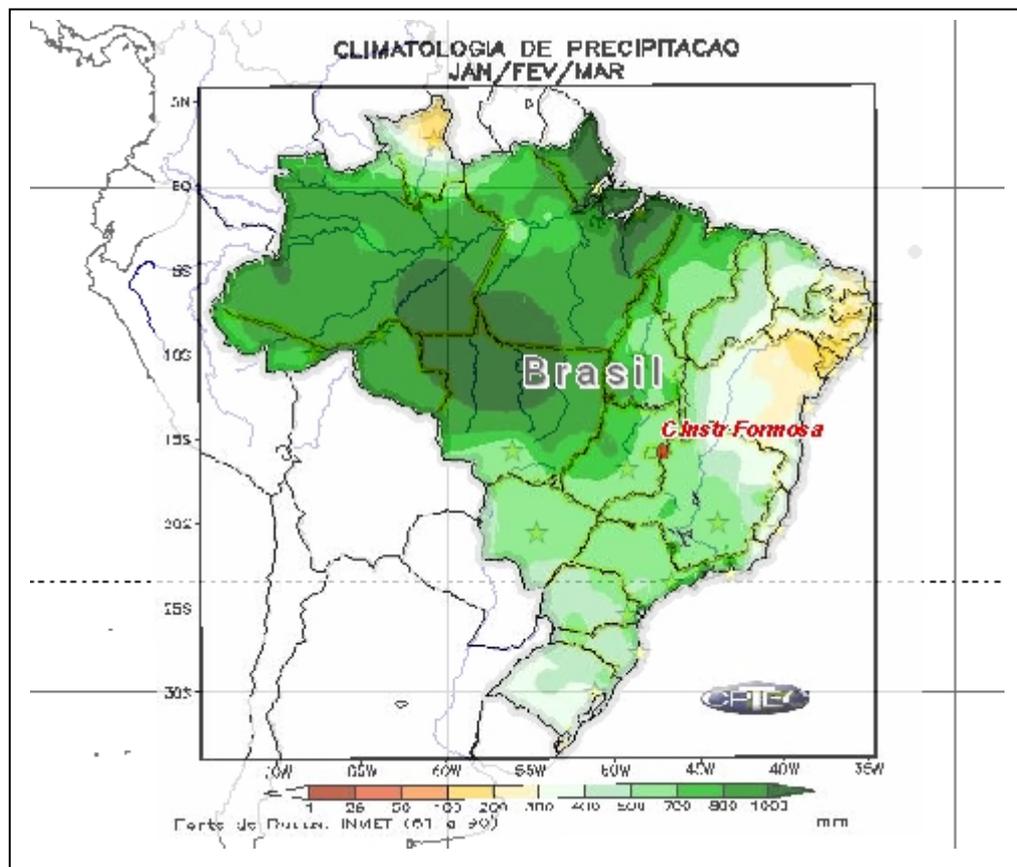


Figura 39 - Climatologia de precipitação - Jan / Fev / Mar 2006

6.1.3 Processamento das imagens de sensoriamento remoto

Dentre todos os obstáculos que podem se interpor ao movimento das tropas em campanha, a vegetação assume grande importância, pois limita consideravelmente a passagem de tropas motorizadas, seja sobre rodas, seja sobre lagartas.

Para se obter um mapa de cobertura vegetal detalhado, foi computado, inicialmente, o Índice Normalizado de Diferença de Vegetação (NDVI) (Figura 40). As técnicas de realce de imagem por meio de índices de vegetação intensificam o realce das áreas vegetadas, melhorando a aparência da distribuição espacial de informações, facilitando a interpretação visual e computacional da imagem. Nas imagens NDVI, os níveis de cinza mais claros expressam valores que representam altos índices de vegetação, enquanto os níveis de cinza mais escuros representam baixos índices de vegetação com níveis de cinza próximo a zero. Estes valores baixos correspondem a alvos como área construída, solo exposto e água.

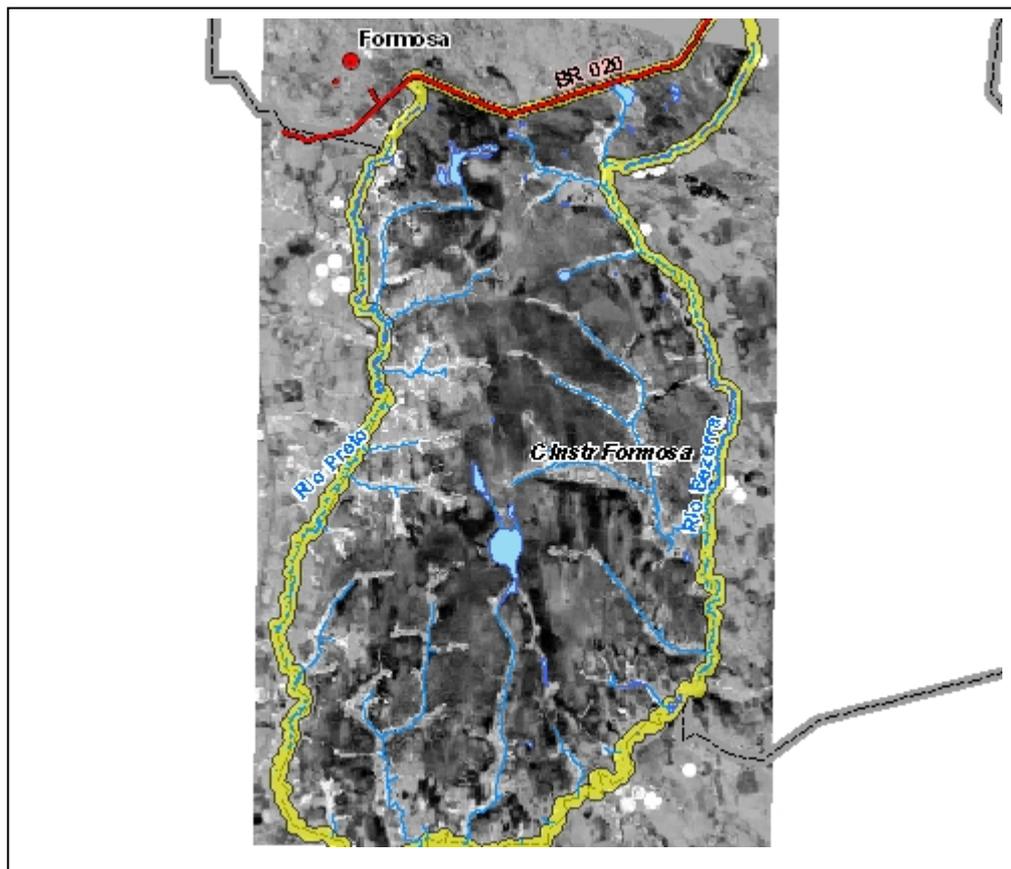


Figura 40 - Imagem NDVI do SPOT do Campo de Instrução de Formosa

Optou-se por compor a imagem NDVI a partir da imagem do satélite SPOT, tendo em vista a melhor resolução espacial deste, em relação à LANDSAT. “A utilização de imagens SPOT 5 pode trazer vantagens em relação aos produtos gerados pelos satélites Landsat 5 e 7, em virtude de sua maior resolução espacial” (Kawakubo *et al*, 2004), considerando-se que para o mapeamento temático de cobertura do uso e ocupação da terra, as bandas espectrais do satélite SPOT e LANDSAT são praticamente equivalentes .

Uma vez pronta e analisada a imagem NDVI, partiu-se para a realização da classificação supervisionada, com o objetivo de discretizar as classes de vegetação, de forma detalhada. A imagem NDVI serviu de base para o reconhecimento e seleção das amostras de treinamento para o processo de classificação automática que seria realizado.

Antes da classificação, foram computadas as Principais Componentes da imagem SPOT, com o objetivo de se trabalhar com a imagem componente de maior variância e melhor contraste, que pelo processo computacional, é sempre a primeira componente (Figura 41).

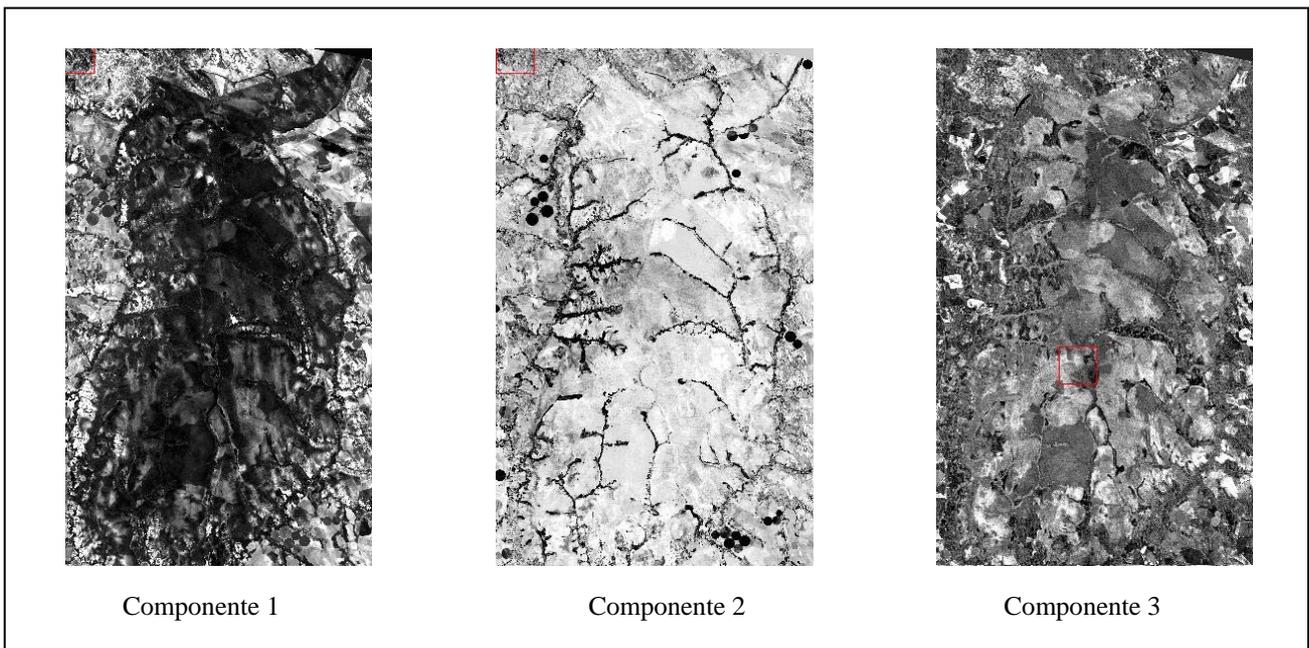


Figura 41 - Principais componentes da imagem SPOT, do CIF.

Na imagem primeira componente (Figura 42) foi realizada uma expansão linear, para melhorar o contraste. Em seguida, foi realizada a classificação supervisionada da imagem SPOT. Nesse momento também foi utilizado o mosaico aerofotográfico para auxiliar na escolha das áreas de treinamento, por possuir as fotos aéreas, melhor resolução espacial.

Para a classificação, foi utilizado o método da Máxima Verossimilhança, pois este é baseado na probabilidade de um pixel pertencer a uma determinada classe. O resultado é uma imagem com as classes bem detalhadas (Figura 43).

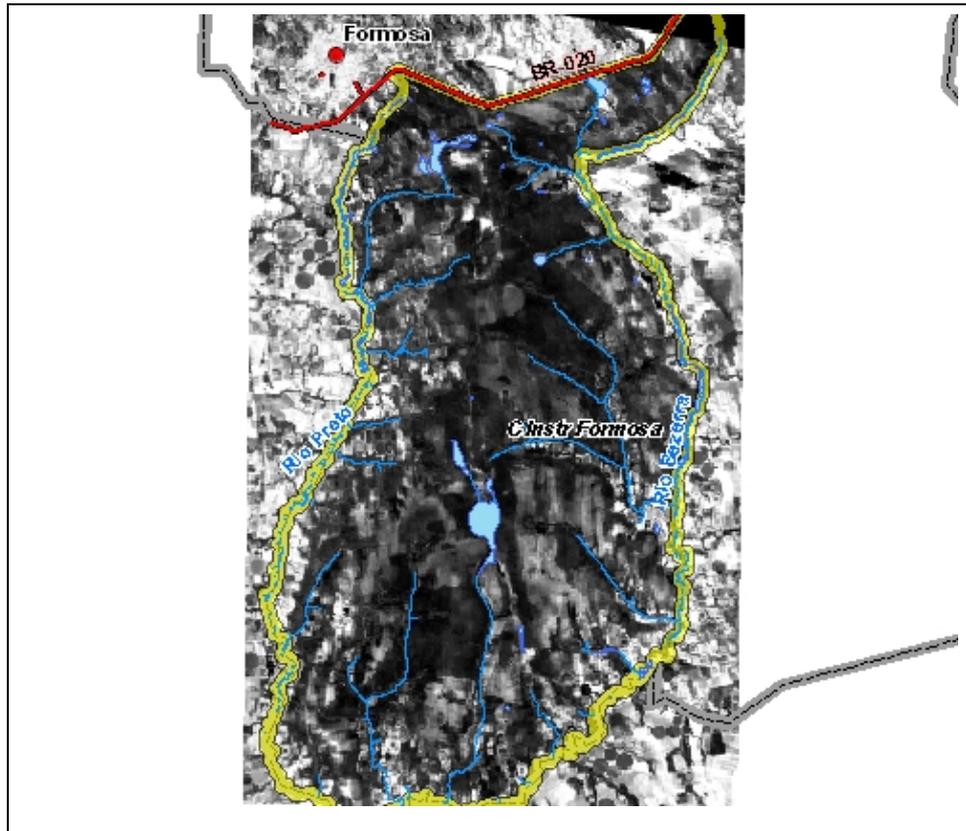


Figura 42 - Primeira componente da imagem SPOT com expansão linear de contraste, do CIF

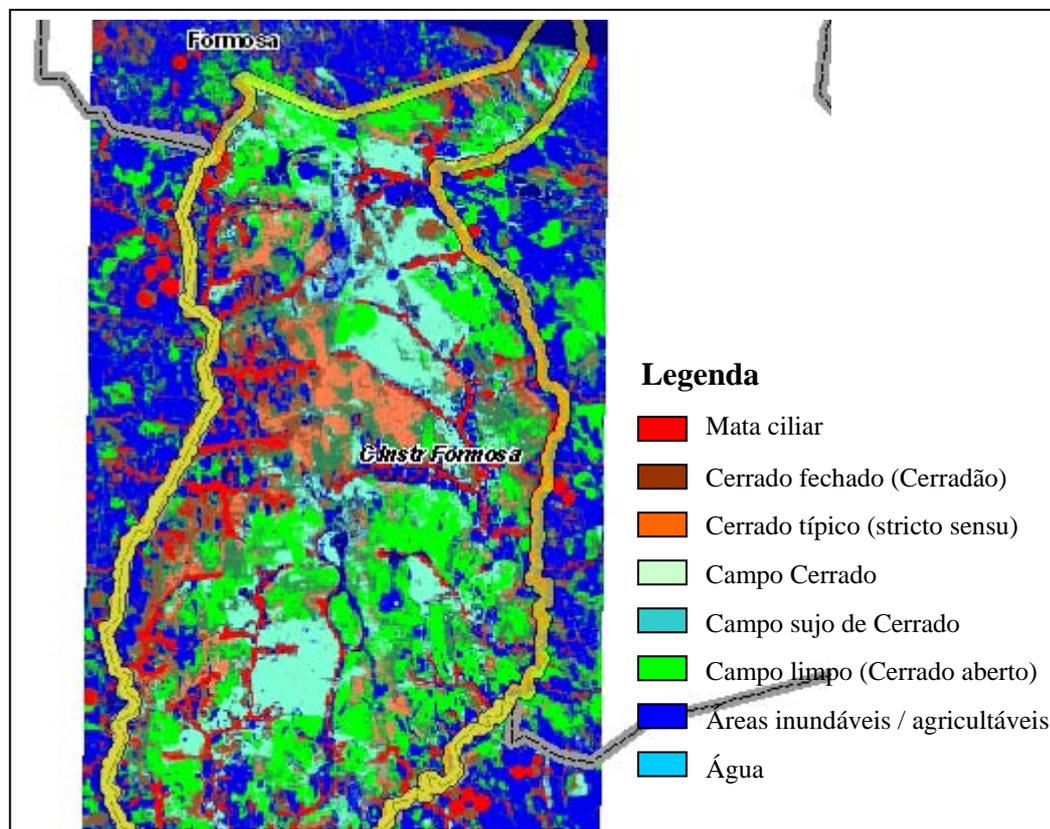


Figura 43 - Imagem classificada - vegetação do CIF

Para poder transformar em vetor cada classe de vegetação, foi utilizada uma ferramenta de pós-classificação do software ENVI, chamada segmentação da imagem, discriminando-se a variedade de cobertura vegetal existente na área de estudo: cerrado fechado, campo sujo de cerrado, campo cerrado, cerrado “stricto sensu” (típico) e campo limpo (Figura 44).

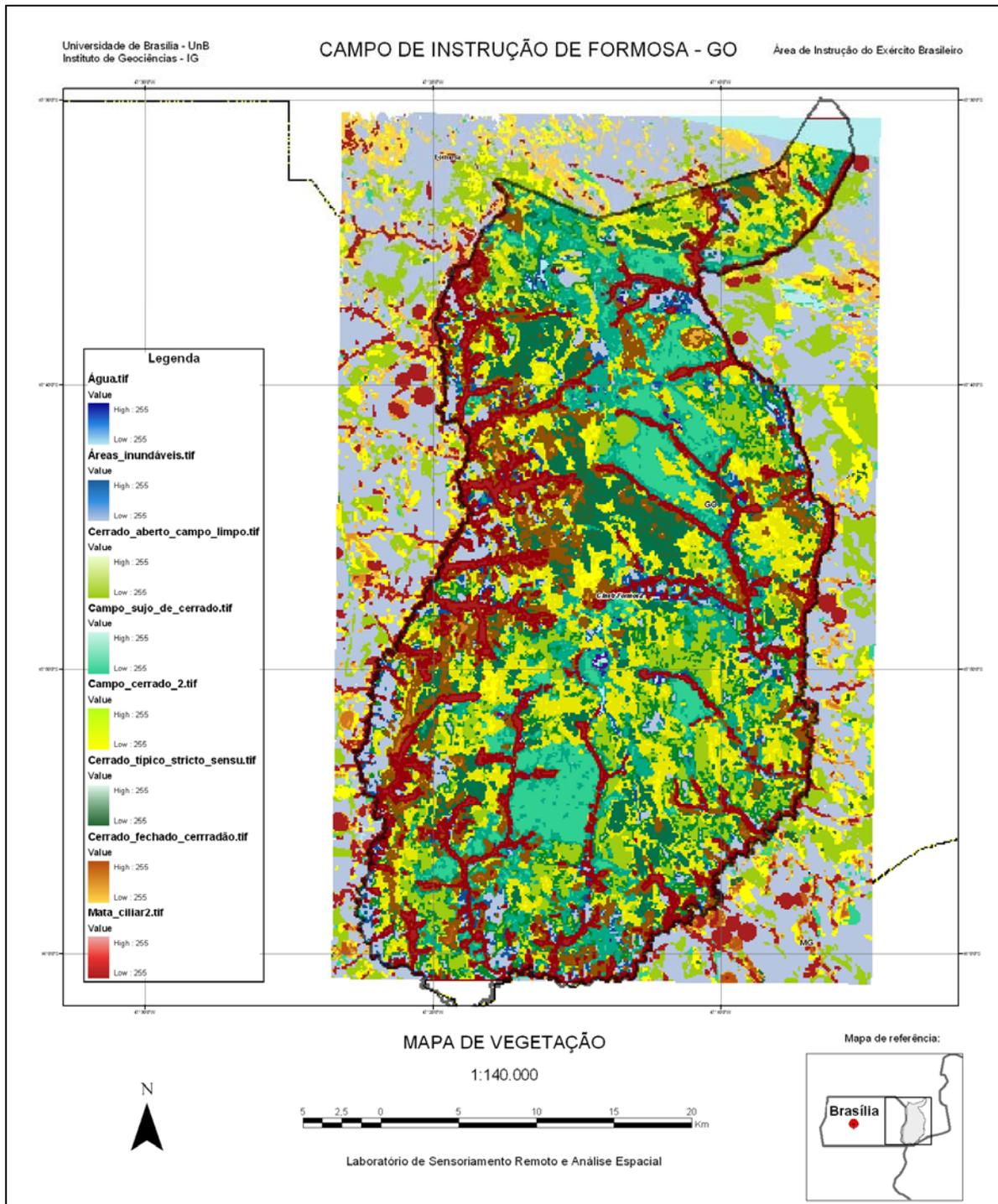


Figura 44 - Mapa de vegetação do Campo de Instrução de Formosa

CAPÍTULO 7. CONSTRUÇÃO DO MAPA DE RESTRIÇÕES AO MOVIMENTO

Como já descrito, a obtenção do conhecimento necessário para as operações militares se dá segundo uma metodologia denominada de Estudo de Situação. Dentro do Estudo de Situação, encontra-se o Estudo de Situação de Inteligência, em que são consideradas as condições do inimigo, do terreno e as condições meteorológicas relacionadas. A ferramenta utilizada para esse Estudo de Situação de Inteligência é o PITCI, maneira como os dados de interesse são manipulados de forma gráfica, permitindo uma análise sistemática e contínua.

Na 2ª fase do PITCI é realizado o estudo do terreno e das condições meteorológicas e, ao término desta, é gerado um documento gráfico intitulado Calco de Restrições ao Movimento (EME, 1999). Como já comentado, no PITCI os dados sobre a cobertura vegetal, tipo de solo e litologia, relevo topográfico, hidrografia e obras de artes especiais são considerados elementos para o estudo do terreno.

Para se chegar a esse mapa de Restrições ao Movimento, foi necessário o desenvolvimento de algumas etapas, em função dos materiais e métodos de análise do terreno, que serão apresentadas a seguir.

Inicialmente, estruturou-se a base de dados vetoriais geográficos tomados de cartas e mapas temáticos disponíveis em órgãos e agências governamentais. Para a área de estudo, esses dados já se encontravam no formato digital, mas houve a necessidade de se fazer uma fase de edição dos dados para correções, principalmente, dos erros de digitalizações. As diferentes escalas foram convertidas para a escala de trabalho de 1:150.000, e os dados de cada fonte ajustados em concordância a essa escala, tendo como recurso para esse tipo de ajuste e atualização, o uso de imagens de satélites. Essas operações foram efetuadas por meio do software de geoprocessamento ArcGis 8.3 e ENVI 4.2. Esta etapa teve como objetivo visualizar espacialmente os dados sobre o terreno, em termos de hidrografia, vias de transporte, tipos de solo, unidades geológicas e altimetria, que são as informações básicas que permitem uma análise criteriosa do terreno em que, hipoteticamente, uma tropa seria empregada.

Posteriormente, foi elaborado o mapa de Cobertura Vegetal da área de estudo, que juntamente com os demais dados vetoriais, compõem o mapa de Restrições ao Movimento. O mapa de cobertura vegetal foi elaborado a partir de processamento digital de imagens de satélites. Atualmente, uma das grandes vantagens do uso das imagens digitais para o PITCI é a oportunidade de se ter uma informação atualizada.

No PITCI, a escala de visualização dos dados dependerá do nível de decisão em que se trabalhará. Caso o Estudo de Situação esteja sendo realizado no nível estratégico, no escalão Grande Unidade (Exército de Campanha, Divisão de Exército ou Brigada), as escalas dos mapas que atenderão às necessidades não serão maiores que 1:500.000. Se o mesmo estudo for realizado no nível tático, em escalões do tipo Unidade (Batalhão, Grupo ou Regimento), as escalas de trabalho poderão ser de 1:250.000 ou maiores.

Outra grande vantagem do uso das imagens de satélites de sensoriamento remoto é a possibilidade de apresentação dos dados em múltiplas escalas. Contudo, o conceito de escala para imagens de sensoriamento remoto está diretamente relacionado à resolução espacial do sensor. Nesse sentido é a resolução espacial que determina o intervalo de variações de escalas de visualização. No caso de imagens com resolução espacial de 30 a 20 metros, as escalas de trabalho poderão variar de 1:500.000 a 1:100.000. Para resoluções maiores, como de 10 metros, atinge-se facilmente a escala de 1:50.000. Como sensores com esses níveis de resolução podem apresentar certa sobreposição de escalas de visualização, a escolha de qual sensor a ser utilizado dependerá de uma série de fatores, tais como a facilidade de disponibilidade de certo tipo de imagem no país e custos da imagem.

No contexto da área tomada para exemplo neste estudo, foram analisadas imagens do sensor ETM do satélite LANDSAT 7 (Figura 32, página 71) e imagens do sensor HRG do satélite SPOT 5 (Figura 31, página 70). O primeiro sensor gera imagens com resolução espacial de 30 m e o segundo, com resolução de 10 metros, ambos com possibilidade de visualização na escala 1:150.000, adotada nesse trabalho.

Após uma análise das imagens desses dois sensores, em que se verificou não mostrarem grandes diferenças entre si, para os propósitos dessa pesquisa, optou-se por trabalhar com a SPOT, por ter uma resolução espacial melhor e a imagem apresentar-se radiometricamente com maior capacidade de contraste, permitindo identificar com mais facilidade e confiabilidade as variações dos tipos de cobertura de vegetação da área de estudo.

A fim de tornar o processo menos dependente da interpretação pelo analista e ter um procedimento operacional mais sistematizado ou automatizado, foi gerada uma imagem NDVI (Figura 40, página 76) da cena SPOT da área de estudo. O NDVI é uma técnica de processamento que estabelece um índice para realce das áreas vegetadas, como resposta à densidade da biomassa verde. Essa imagem NDVI facilita ao analista, que não tenha conhecimento de interpretação espectral de imagens, a identificação das áreas com maiores, menores ou ausência de cobertura vegetal no terreno, objeto importante no estudo da trafegabilidade do terreno, por tropas. Ela fornece, dessa maneira, uma imediata visão das áreas com coberturas

vegetadas.

Continuando com o objetivo de tornar o processo mais automatizado nessa fase do PITCI, seria lógico pensar que uma classificação automática da imagem NDVI poderia gerar o mapa de cobertura vegetal. Contudo, as demais informações sobre o terreno, como áreas alagadas, estradas, solos expostos, seriam todas classificadas numa mesma classe.

Como no processo de classificação, a acurácia da classificação é muito dependente das áreas de amostragem, a imagem NDVI seria nesse caso, muito útil para a escolha de áreas de amostragem de diferentes classes de cobertura vegetal, principalmente, em regiões onde o analista não disponha de qualquer informação sobre o terreno.

Porém, é sabido que no processamento de imagens, as técnicas de classificação automáticas, sejam elas computadas por distâncias estatísticas ou por probabilidade, alcançarão melhores resultados se o número de classes não for muito pouco. Há, portanto, uma dependência da precisão da classificação com o número de classes selecionadas. Dessa forma, as demais classes de alvos sem cobertura vegetal não serão discretizadas na imagem NDVI, por ser ela um índice de vegetação, o que, conseqüentemente, resulta em poucas classes. Por esse motivo, a classificação foi feita com uma imagem gerada por Principais Componentes (Figura 41, página 77).

Principais Componentes é uma técnica de transformação de imagens por rotação de eixos espectrais. Objetiva gerar novas imagens a partir da contribuição linear de cada pixel observado nas diferentes bandas utilizadas. Tem como princípio gerar a primeira componente como sendo a imagem de maior variância e de melhor contraste (Figura 42, página 78). Entende-se que a primeira componente seja uma imagem preto-e-branco da cena colorida natural do terreno, à mesma semelhança que uma foto aérea preto-e-branco no visível, retrata a imagem do terreno. Assim, ambas são imagens da intensidade da luminosidade (I). Portanto, a primeira componente se assemelha a um foto área, instrumento de uso rotineiro nas Forças Armadas.

Optou-se por realizar uma classificação supervisionada, haja vista o conhecimento prévio dos tipos de cerrado existentes na área, obtido por meio de trabalho de campo. O algoritmo utilizado para a classificação foi o de Máxima Verossimilhança (MAXVER). O método MAXVER é baseado na probabilidade de um pixel pertencer a uma determinada classe. Esta classificação assume que as estatísticas para cada classe em cada banda são normalmente distribuídas. A menos que seja selecionada uma probabilidade mínima, todos os pixels são classificados. Cada pixel assume o valor do pixel da classe que possui a mais alta probabilidade (Richards, 1993).

Na classificação da imagem Primeira Componente Principal, foram determinadas oito classes: mata ciliar, cerrado fechado (cerradão), cerrado típico (*stricto sensu*), campo cerrado, campo sujo de cerrado, campo limpo (cerrado aberto), áreas inundáveis e água (Figura 43, página 78).

Uma vez realizada a classificação da imagem, tornou-se necessário dividir as classes em arquivos passíveis de serem lidos pelo software de geoprocessamento ArcGis. Foi usado, então, o artifício de criar uma imagem segmentada. Este artifício está disponível no software de processamento de imagens ENVI. É uma ferramenta de pós-classificação que permitiu separar as classes em arquivos individuais.

Após as classes terem sido individualizadas, elas foram exportadas para arquivos vetoriais, ainda no ENVI, utilizando mais uma ferramenta de pós-classificação do software, a “Segmentation Image”.

As classes individualizadas e devidamente transformadas em vetor foram adicionadas na tabela de conteúdos do ArcGis, para comporem o mapa de cobertura vegetal da área de estudo (Figura 44, página 79).

O mapa de cobertura vegetal foi submetido à análise, seguindo a metodologia do PIT-CI, e reclassificado em duas grandes classes: vegetação impeditiva e vegetação restritiva. As classes de maior densidade de vegetação, mata ciliar, cerradão e cerrado típico, foram agrupadas na nova classe nomeada de vegetação impeditiva. As classes de menor densidade, campo cerrado e campo sujo, foram agrupadas na nova classe vegetação nomeada de restritiva. O campo limpo foi considerado terreno adequado para qualquer tipo de tropa (Tabela 3, página 44).

Foram aproveitadas, ainda, mais duas classes resultantes da classificação supervisionada executada: a classe água e a classe áreas inundáveis. Para estas duas foram adotadas as terminologias hidrografia impeditiva e hidrografia restritiva, respectivamente.

Persistindo no objetivo de se chegar ao mapa de restrições ao movimento, foi gerado o mapa de declividade, a partir do MDE da área de estudo. Para tanto, foi gerada a TIN, de posse dos dados da rede de drenagem e dos dados hipsométricos - curvas de nível e pontos cotados. Estes dados foram processados como “mass points” e a hidrografia como “hard breaklines”. A partir da TIN foi gerado o MDE, após processamentos como “hillshade” e “viewshed” (constantes do ArcGis), na construção do arquivo GRID.

Uma vez pronto o MDE, foi possível observar as feições do terreno em 3D e o perfil topográfico com exagero vertical de 40X (Figura 10, página 32).

O mapa de declividade da área de estudo (Figura 27, página 66), foi gerado utilizando-

se a extensão Spatial Analyst do ArcGis, mediante os comandos "surface analysis" e "slope". A imagem resultante desta interpolação foi fatiada em quatro classes de declividades, definidas segundo os intervalos sugeridos por EME (1999): de 0% a 10%, 10% a 30%, 30% a 45% e mais de 45%. A escolha destas classes baseou-se, principalmente, nos intervalos utilizados na Tabela 2 (página 43), em função da declividade das encostas.

O mapa de restrições ao movimento pôde, enfim, ser criado, considerando as classes de vegetação impeditiva e restritiva, as classes de hidrografia impeditiva e restritiva e as classes de declividade das encostas. No caso dos solos, que são medidos pelo PITCI pela sua capacidade de resistência, para a área de estudo em questão, tem-se em quase toda sua extensão os tipos latossolo vermelho e vermelho-amarelo, com textura variando do solo argiloso compacto ao argiloso com areia, segundo a classificação textural adotada pelo Exército, ou de textura muito argilosa a argilosa, segundo o SBCS, conforme pode ser observado na Tabela 10 (página 52). Sendo assim, a resistência mínima desses tipos de solo é superior à pressão máxima exercida pelas viaturas, apresentando-se adequado a todo tipo de tropa, quando se leva em consideração os dados da Tabela 14.

Tabela 14 - Pressão das viaturas sobre o solo. Fonte EME, 1999.

TIPO DE VIATURA	Viaturas leves	VBTP (M113)	VBC, CC LEOPARD	VBC, CC M60
PRESSÃO (Kg/cm²)	0,3	0,5	0,6 - 0,7	0,7 - 0,8

Ao se analisar o mapa de declividade percebe-se que, embora haja áreas muito restritivas para viaturas sobre rodas e restritivas para viaturas sobre lagartas (inclinação das encostas entre 30% e 45%, ou de 17° a 26°), a área de estudo apresenta, em sua maior parte, um terreno adequado para qualquer tropa (0% a 10%, 0° a 6°) ou, em algumas regiões, restritivo para Vtr sobre rodas e adequado para Vtr sobre lagartas.

Ao se analisar o mapa de vegetação verifica-se que, em sua maior parte, a área de estudo apresenta um terreno que varia do adequado ao restritivo, com regiões que apresentam árvores espaçadas com diâmetros reduzidos (cerrado aberto, campo cerrado e campo sujo), que não interferem no emprego tropas a pé, mas que restringem o movimento de forças blindadas. Apenas nas regiões de matas ciliares e de galeria é que o terreno se tornaria impeditivo, com árvores que impedem o emprego de forças blindadas e dificultam o movimento de tropas a pé (cerrado típico e cerrado).

Ao se analisar a hidrografia, verifica-se que a área de estudo apresenta cursos d'água tanto restritivos quanto impeditivos. Quase a totalidade dos rios pode ser vadeada ou atravessada.

sada com PLVB em vários locais. Entretanto, grande parte também apresenta regiões com margens verticais que impedem o movimento de carros-de-combate. Há ainda a Lagoa Grande, região impeditiva para qualquer tipo de tropa, quer pela sua dimensão, pela profundidade ou margens sem firmeza. As lagoas do Veado e do Caboclo são menores, mas também impeditivas para qualquer tipo de tropa.

Com relação às condições meteorológicas, teve-se que adotar mapas para efeitos didáticos, em uma escala não compatível com a área de estudo considerada. De qualquer forma, pôde-se verificar que os mapas mais adequados para integrarem o PITCI são os de climatologia de precipitação, pois possibilitam deduções de como se comportará o clima na região desejada em determinada época, pois já trazem um “histórico” do regime de chuvas ao longo do período considerado.

No trabalho em questão, sobrepondo-se o mapa de climatologia de precipitação do Brasil dos meses de janeiro - fevereiro - março ao mapa de restrições ao movimento, verificou-se que a área de estudo fica submetida a um rigoroso período de chuvas. Isto implica em restringir o movimento de viaturas sobre rodas e sobre lagartas em, praticamente, todo o Campo de Instrução, devido à textura argilosa dos solos constituintes do CIF, que diminuem a resistência à compressão. Ao se considerar o mapa de climatologia de precipitação dos meses de julho - agosto - setembro, verifica-se que as chuvas são, praticamente, inexistentes na região, o que possibilita condições de tráfego para qualquer tipo de tropa neste período.

No entanto, cabe salientar que a evolução dos dados meteorológicos deve ser acompanhada e seus mapas sempre atualizados no Estudo de Situação de uma operação real, pois as variáveis climatológicas são diversas e inconstantes. Isto possibilitará ao decisor melhores condições para realizar seu planejamento.

De posse de todos os dados já citados, chegou-se ao Mapa de Restrições ao Movimento (Figura 45), produto final do PITCI. Este mapa permite que se verifiquem as faixas do terreno onde as forças terão mobilidade afetada e onde o movimento será facilitado.

Após a elaboração do Mapa de Restrições ao Movimento, a próxima fase no Estudo de Situação seria a confecção de um mapa com “Corredores de Mobilidade”. Um corredor de mobilidade é uma faixa do terreno, relativamente aberta, através do qual uma tropa desdobrada poderá se deslocar. Esses corredores atravessam terrenos adequados, ocasionalmente passam por terrenos restritivos e evitam os terrenos impeditivos. Normalmente seguem a direção de estradas e trilhas.

Os corredores de mobilidade variam com o tipo, a natureza e a mobilidade de cada força. As tropas blindadas e mecanizadas, normalmente, requerem grandes áreas para se mo-

verem. As tropas a pé sofrem menores restrições pela presença de obstáculos ou terreno difícil, sendo, inclusive, favorecidas por áreas que forneçam cobertas e abrigos contra fogos inimigos.

Como este trabalho não pretende definir tipos de tropas para ocuparem o terreno, o estudo se encerra com a elaboração do Mapa de Restrições ao Movimento.

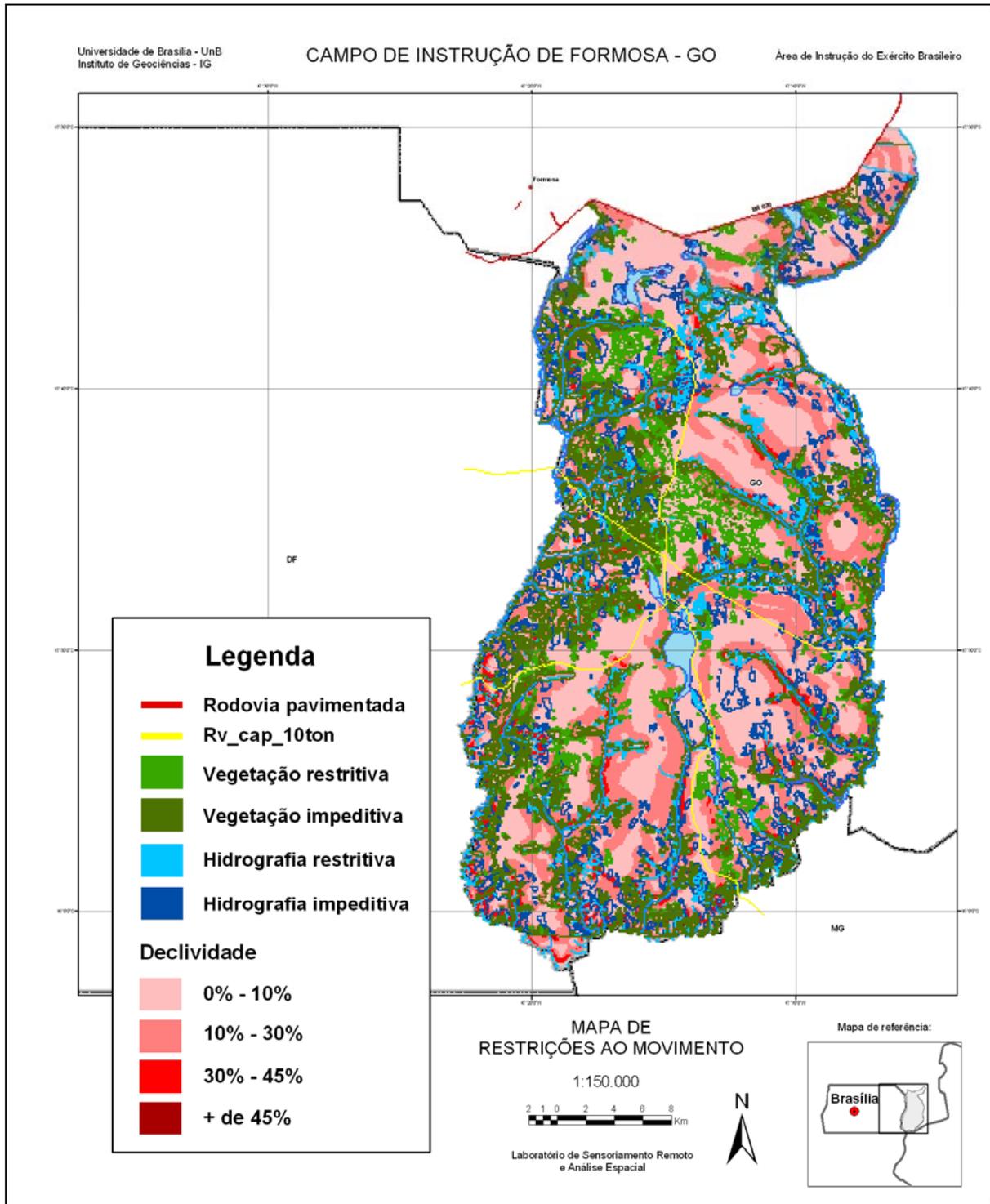


Figura 45 - Mapa de Restrições ao Movimento



Figura 46 – VBC sobre lagartas, CC Leopard 1



Figura 47 – PLVB sobre lagartas

CAPÍTULO 8. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Na pesquisa desenvolvida procurou-se estabelecer uma rotina de operações para automatizar o estudo do terreno dentro do Estudo de Situação de Inteligência, por meio de técnicas de geoprocessamento, orientando-se pela metodologia estabelecida pelo Processo de Integração Terreno Condições Meteorológicas e Inimigo – PITCI do Exército Brasileiro.

As seguintes conclusões podem ser destacadas:

1. A construção do Mapa de Restrições ao Movimento, que estabelece áreas no terreno onde as tropas poderão se deslocar, evitando regiões restritivas ou impeditivas, foi elaborado usando as ferramentas do software ARCGIS, que se mostrou eficientes desde as etapas iniciais do processo, como a organização e estruturação da base de dados espaciais até a modelação da construção do mapa.

2. Para tentar tornar o processo um pouco mais automatizado, visando facilitar o seu uso nas forças militares, a construção do mapa de vegetação, importante para o PITCI, deu-se em duas etapas. Primeiramente, com as imagens do sensor SPOT gerou-se uma imagem NDVI para fins de identificação de áreas de treinamento das diferentes classes de vegetação. E, posteriormente, foram obtidas as Componentes Principais, e com a primeira componente, obtido por classificação Maxver o mapa de vegetação. Esses processamentos resultaram em um documento de boa confiabilidade e de fácil replicagem, inclusive para áreas onde não se dispõe de suficientes informações.

3. Imagens de sensores com níveis de resoluções espaciais e espectrais como as dos satélites SPOT, LANDSAT e CBERS mostram-se adequadas para o tipo de estudo realizado, tendo em vista a sua capacidade de geração de dados em múltiplas escalas, compatíveis com as necessidades das Forças Armadas.

4. Apesar das pequenas escalas dos mapas de climatologia disponíveis, verificou-se que a aplicação desses mapas no SIG permitiu obter informações sobre a influência das condições meteorológicas sobre o terreno, na escala do trabalho.

5. O estudo do terreno realizado, dentro do PITCI, pode ser feito de maneira automatizada, utilizando ferramentas de um SIG e processamentos simples de imagens digitais. Este procedimento pode ser replicado com baixo custo e com a rapidez necessária a este tipo de estudo.

6. O cruzamento automático das informações não se fez necessário, tendo em vista a metodologia preconizada pela doutrina do Exército em que a simples sobreposição das

áreas impeditivas e restritivas às áreas adequadas já fornece o Mapa de Restrições ao Movimento desejado.

Visando pesquisas futuras e aprofundadas, as seguintes sugestões podem ser observadas:

1. Ferramentas avançadas de geoprocessamento podem vir a ser utilizadas, como o “flow direction” do ArcGis 9.1, por exemplo. Inicialmente haveria necessidade de se gerar um arquivo (layer) do resultado final do Mapa de Restrições ao Movimento, ou seja, das áreas adequadas para a trafegabilidade da tropa no terreno considerado. Depois, definindo-se um ponto de partida, um ponto de chegada e uma determinada área a ser percorrida, o próprio sistema poderia estabelecer qual o melhor caminho a ser seguido pela tropa em questão.

2. Com relação ao estudo das condições meteorológicas, um mapa que pode ser melhor explorado é o de “Número consecutivo de dias sem chuvas”. Ao se analisá-lo, pode-se verificar o contrário: quais áreas têm tido chuvas diárias? Esta informação pode ser útil quando se desejar levar em consideração o stress que uma tropa desdobrada no terreno pode sofrer, ao ser submetida a uma área de tão elevado regime pluviométrico, naquele período de tempo.

3. No que diz respeito aos dados em terceira dimensão, uma outra possibilidade é se utilizar os dados numéricos de relevo e da topografia do Brasil obtidos pela missão conhecida como SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Para cada área de 90 metros por 90 metros do território nacional, dispõe-se de uma medida altimétrica precisa. É um arquivo tratado matematicamente através de modelos que permitem reconstituir digitalmente o relevo da área considerada.

CAPÍTULO 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDRINI JUNIOR, M. J. Estimativa da altura da vegetação utilizando dados Airborne Laser Scanner. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2005.
- ANDRADE, Luís Antônio *et al.* Metodologia para a confecção de mapas temáticos utilizando dados TM/LANDSAT. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, SP, 1985. 137p.
- ARONOFF, S. Geographic information systems: a management perspective. Ottawa: WDL, 1991. 258p.
- BONHAM-CARTER, G.F. Geographic Information Systems for Geoscientists: modeling with GIS. Ottawa: Pergamon, 1996. 398p.
- BURROUGH, P. A.; McDONELL, R.; Principles of Geographical Information Systems. Oxford, Oxford University Pres, 1998. 333p.
- CÂMARA NETO, G. *et al.* Anatomia de sistemas de informação geográfica. IV Escola de Computação Campinas: Unicamp, 1996. 193p.
- CAMARA NETO, G. *et al.* Towards a unified framework for spatial data models. Journal of the Brazilian Computer Society, 2000. Vol.7, no.1, p.17-25.
- CASAGRANDE, A., Classification and identification of soils: Transactions of the American Society of Civil Engineers, 1948.

- CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. INPE - Instituto Nacional de Ciências Espaciais. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br>>. Acesso em 28 Mar 2006.
- DARDENNE, M. A. 1978. *Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central*. In: CONGR. BRAS. GEOC., 30. Recife, 1978. *Anais*, Recife, SBG. v. 2. p. 597-610.
- _____; 2000. *The Brasília Fold Belt*. In: Cordani U.G.; Milani E.J.; Thomaz Filho A.; Campos D.A. (Edit.). Tectonic Evolution of South America. p 231-263. XXXI International Geological Congress. Rio de Janeiro, Brazil.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SBCS*. 1 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1999. 412p.
- EME - Estado-Maior do Exército. Port EME, de 06 Dez 99. Brasília, 1999. 152p.
- FORTES, R. M., PASTORE, E. *Caracterização e Classificação de Solos*. 12º Capítulo do livro Geologia de Engenharia, ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, pp 197-210, 1998.
- FORTES, R. M. Estradas II. *Universidade Presbiteriana Mackenzie*. São Paulo. 42p. Disponível em: <<http://meusite.mackenzie.com.br/rmfortes>>. Acesso em 02 Abr 2006.
- GOODCHILD, Michael F. Geographical information science. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1992. 12p.
- HOEPERS, Günter; SANTOS, Nereu Adelino Lima dos. *O Geoprocessamento Aplicado ao Método de Estudo Militar do Terreno*. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) – Laboratório de Sensoriamento Remoto, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2001.
- <<http://www.geotecnia.ufjf.br>>. Departamento de Geotecnia da Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF. Acesso em 04 Abr 2006.

- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Relatório de atividades - 1995. São José dos Campos: INPE, 1995. 43p.
- IPOLITI-RAMILO, G.A. Imagens TM / Landsat-5 da época de pré-plantio para a previsão da área de culturas de verão. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999. 183p.
- KAWAKUBO, Fernando Shinji; MORATO, Rúbia Gomes; - LUCHIARI, Ailton. Processamento das imagens HRG / SPOT 5 na determinação de classes de uso da terra e manchas de cobertura vegetal na região de Teodoro Sampaio - Pontal do Paranapanema. São Paulo: USP, 2004. 10p.
- LUNARDI, Omar Antônio. Simulação de operações militares de Comando e Controle em um Teatro de Operações implementado com tecnologia orientada a objetos. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2003. 127p.
- MATHER, P. M. Computer processing of remote sensed images: an introduction. Chichester: Wiley, 1987. 325p.
- MENESES, Paulo Roberto. Processamento de Imagens. Texto universitário (Pós-graduação: Processamento de Dados em Geologia e Análise Ambiental), Instituto de Geociências, Universidade Federal de Brasília - UnB, Brasília, 2005. 84p.
- _____ . Fundamentos de Sensoriamento Remoto. Texto universitário (Pós-graduação: Processamento de Dados em Geologia e Análise Ambiental), Instituto de Geociências, Universidade Federal de Brasília - UnB, Brasília, 2004. 138p.
- MONTEIRO, Cimara Francisca; CAMPOS, José Eloi Guimarães; Zoneamento Hidrogeológico da Bacia do Rio Preto - DF/MG/GO. Relatório do Programa de Bolsa de Iniciação Científica - PIBIC - CNPq, Brasília, 2006. 21p.
- MOREIRA, Maurício Alves. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de

- Aplicação. 1. ed. São José dos Campos: Editora Com Deus, 2001. 250p.
- PINTO, M. Novaes. 1994. Caracterização geomorfológica do Distrito Federal. In: PINTO, M. Novaes. (org). Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. 2^a ed. Brasília. Ed UnB. p. 285-320.
 - RICHARDS, J. A. Remote sensing digital image analysis. 2 ed. Springer-Verlag, Berlim, 1993. 281p.
 - SCHOWENGERDT, R. A. Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing. New York. Academic Press. 1983.
 - SHIMABUKURO, Y. E.; YI, J.L.R.; DUARTE, V. Classificação e monitoramento da cobertura vegetal do Estado do Mato Grosso através de imagens NOAA-AVHRR. São José dos Campos: INPE, 1999.
 - SIEG - Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás. Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br>>. Acesso em 04 Set 2006.
 - SILVA, Jorge Xavier. Geoprocessamento para Análise Ambiental. Rio de Janeiro: Edição do Autor, 2001. 227p.
 - TROTTER, C.M. Remotely-sensed data as an information source for geographical information systems in natural resource management. International Journal of Geographical Information Systems, vol. 5, no. 2, pp. 225-239, 1991.
 - TZU, Sun. A Arte da Guerra. Tradução: Pietro Nassetti. 1. ed. São Paulo: Martin Claret, 2003. 141p.
 - VARGAS, Milton; Introdução à Mecânica dos Solos, McGraw Hill do Brasil, 1978.
 - VELASCO, F. R. D. *et al.* Sistema MAXVER: Manual do usuário. São José dos Campos: INPE, 1978. 72p.