



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

INPE-14813-TDI/1255

**DADOS GEOMORFOMÉTRICOS COMO SUBSÍDIO AO  
MAPEAMENTO DA VEGETAÇÃO**

Polyanna da Conceição Bispo

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,  
orientada pelos Drs. Márcio de Morisson Valeriano e Tatiana Mora Kuplich, aprovada  
em 19 de março de 2007.

INPE  
São José dos Campos  
2007

Publicado por:

**esta página é responsabilidade do SID**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Gabinete do Diretor – (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 – CEP 12.245-970

São José dos Campos – SP – Brasil

Tel.: (012) 3945-6911

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: [pubtc@sid.inpe.br](mailto:pubtc@sid.inpe.br)

**Solicita-se intercâmbio  
We ask for exchange**

**Publicação Externa – É permitida sua reprodução para interessados.**



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

INPE-14813-TDI/1255

**DADOS GEOMORFOMÉTRICOS COMO SUBSÍDIO AO  
MAPEAMENTO DA VEGETAÇÃO**

Polyanna da Conceição Bispo

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,  
orientada pelos Drs. Márcio de Morisson Valeriano e Tatiana Mora Kuplich, aprovada  
em 19 de março de 2007.

INPE  
São José dos Campos  
2007

528.711.7

Bispo, P. C.

Dados geomorfométricos como subsídio ao  
mapeamento da vegetação / Polyanna da Conceição Bispo.

- São José dos Campos: INPE, 2007.

120 p. ; (INPE-14813-TDI/1255)

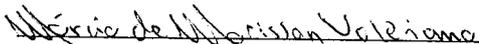
1. Vegetação. 2. Modelo digital de elevação.
3. Análises discriminantes. 4. Topografia.
5. Sensoriamento remoto. I. Título.

Aprovado (a) pela Banca Examinadora  
em cumprimento ao requisito exigido para  
obtenção do Título de Mestre em  
Sensoriamento Remoto

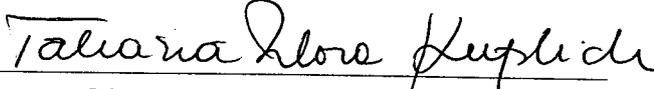
Dr. Yosio Edemir Shimabukuro

  
Presidente / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Márcio de Morisson Valeriano

  
Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

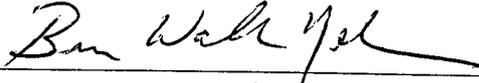
Dra. Tatiana Mora Kuplich

  
Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Camilo Daleles Rennó

  
Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Bruce Walker Nelson

  
Convidado(a) / INPA/Manaus / Manaus - AM

Aluno (a): Polyanna da Conceição Bispo

São José dos Campos, 19 de Março de 2007



*“Sobre o ensino:*

*Nenhum homem vos pode revelar nada que não repouse já meio adormecido na manhã do vosso conhecimento. O mestre que caminha à sombra do templo, entre os discípulos, não reparte a sua sabedoria, mas antes da sua fé e do seu amor.*

*Se for verdadeiramente sábio, não vos convidará a entrar na casa da sabedoria, mas levar-vos-á aos umbrais do vosso próprio espírito.*

*O astrônomo pode falar-vos da sua compreensão do espaço, mas não pode dar-vos a sua compreensão.*

*O músico pode cantar para vós a melodia que enche todo o espaço, mas não pode dar-vos o ouvido que aprende o ritmo nem a voz que lhe devolve o eco.*

*E o que é versado na ciência dos números, pode falar nas relações dos pesos e medidas, mas não pode levar-vos até lá.*

*Porque a visão de um homem não pode emprestar as suas asas a outro homem.*

*E assim como cada um de vós se agüenta sozinho no conhecimento de Deus, assim deve estar sozinho no seu conhecimento de Deus e na compreensão da terra”.*

*Kalil Gibran , escritor árabe*



*Àquele que é tão amado e amável, que me presenteia com a constância de sua presença, amizade e exemplo de fortaleza de vida e objetividade de ideais. Àquele cujo apoio tornou mais leve a caminhada, mais divertidos os dias. Estar distante dessa pessoa pela força de nossas escolhas não é experiência de distância, mas de constante presença de quem deixa a força do bem estampar de sua alma e me alcança com sua força onde quer que eu esteja. Partilho contigo a vida, meus ideais e te ofereço essa conquista. Dedico este trabalho ao meu precioso irmão Pitágoras da C. Bispo.*



## AGRADECIMENTOS

Se elaborar um trabalho desta natureza constitui, de certa forma um desafio, mencionar a totalidade de pessoas que colaboraram para realização deste, talvez seja tarefa ainda mais difícil. No entanto, impossível deixar de citar nomes. Assim, gostaria de expressar minha gratidão:

Ao Dr. Márcio de Morisson Valeriano na condição de orientador, pela sabedoria e conhecimentos transmitidos, os quais abriram caminhos para meu aperfeiçoamento científico e grande aprendizado, pelo incentivo e apoio nos caminhos escolhidos. Por ter me ensinado a prática de que o trabalho se realiza quando transcendemos não só as possibilidades de um trabalho científico, mas todas as possibilidades que, enquanto pessoa, podemos construir. Na condição de amigo pela amabilidade e agradável convívio, presenteando-me com enriquecedoras discussões e palavras, as quais levarei para sempre comigo. Minha gratidão por tão especial presença em meu caminho.

À Dra. Tatiana Mora Kuplich pela orientação, apoio e incentivo. Aliada à doçura e com a qual sempre me recebeu, pelas discussões enriquecedoras que contribuíram imensamente para execução desta pesquisa, pela valiosa amizade e agradável convivência.

Ao Vitor Celso de Carvalho pelo fornecimento do Mapa de Vegetação da Reserva do Patrimônio Natural de Serra das Almas por ele construído em sua dissertação de mestrado.

Ao grupo de pesquisa Biodiversidade- Zoneamento Ecológico Econômico, coordenado por Jasen Zunon (INPA), em especial ao Marcelo Moreira, pelo fornecimento do Mapa de Vegetação da Microbacia do Igarapé Asu. Por sua atenção e prontidão nos esclarecimentos de quaisquer dúvidas surgidas referentes ao mapeamento da área.

Ao Manuel Eduardo Ferreira pelo fornecimento do Mapa de Vegetação do Parque Nacional de Brasília, atualizado em sua dissertação.

Ao Dr. Bruce Nelson (INPA), pelo fornecimento da base de dados do SIPAM, dos quais obtivemos a área de estudo do Parque Nacional dos Campos Amazônicos.

À Dr.<sup>a</sup> Evlyn Novo (INPE) , pelo apoio e oportunidade, colocando-me em contato com meus atuais orientadores.

Ao Camilo Renó (INPE) e Pitágoras da C. Bispo (UNESP) pela atenção e auxílio durante as análises estatísticas.

A uma das minhas mais amadas preciosidades, pelo profundo bem querer que sintoniza nossas almas a todo tempo, mostrando-me a beleza que é estar partilhando a minha existência com pessoa de tão admirável coragem, força e clareza de objetivos. A você minha querida irmã Patrícia da C. Bispo, por ser presença inspiradora em minha vida.

À minha cunhada Vera e minha linda sobrinha Maria Julia pelo apoio, carinho e por fazerem parte desse círculo de amor que é a minha família.

Aos amigos, Fábio Iwashita, Leila Sheila Lisboa, Thiago Rabelo, Taise Faria, André Maia, Javier Portilio, Wagner Silva, Fábio Gonçalvez e Rui Epiphanyo pela amizade e troca de conhecimentos.

À família “As Traças”, minha querida república, Flávia Cardoso, Fernanda Fonseca e Érica Diogo, e as amigas do “Trio Fantástico”, minhas queridas vizinhas de baia, Carolina Carvalho e Sheila Knust pelo apoio, carinho, gargalhadas, partilha de experiências vividas e preciosa amizade, proporcionando momentos de alegria que jamais esquecerei.

Ao querido amigo Misael L. da Silva e sua família pelo apoio e atenção, em especial à D. Paula pela hospitalidade, acolhida e carinho durante a minha estada em São José dos Campos.

Ao INPE pela acolhida e apoio logístico.

Ao CNPQ pela bolsa de mestrado, viabilizando a realização desta pesquisa.

## RESUMO

O presente trabalho buscou avaliar o potencial das variáveis geomorfométricas extraídas de dados SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) para identificação de tipos vegetacionais de quatro áreas testes que representaram alguns dos principais biomas brasileiros (Caatinga, Cerrado e Floresta Amazônica). As análises recaíram sobre planos de informação correspondentes às variáveis geomorfométricas e seu confronto com dados de mapeamento de vegetação existentes. Para isso foram utilizados dados SRTM e dados vegetacionais já publicados. As áreas diferiram em termos do potencial de utilização dos dados topográficos para o mapeamento da vegetação, de acordo com a variação das condições geomorfométricas e diferenciação de escala e detalhamento dos mapas de vegetação referência. As análises indicaram, em cada área de estudo, os grupos de classes que podem ser separados mais facilmente em contraste a outros grupos que ocorrem sob mesmas condições topográficas. As variáveis mais importantes na distinção entre os tipos vegetacionais foram a elevação, a curvatura horizontal e a curvatura vertical. Apesar de os dados geomorfométricos mostrarem potencial indicativo das classes de vegetação, estas puderam ser identificadas em um nível aquém do detalhamento temático da maioria dos mapas em função da co-ocorrência de classes com semelhantes estruturas vegetacionais. Assim, com base nas análises discriminantes foi possível se mapear a vegetação experimentalmente até o nível de subfisionomias. Os melhores resultados encontrados foram para a RPPNSA e para o PNCA, sendo bem mapeadas também as subfisionomias deste último. O PNB apresentou o pior resultado no nível de fitofisionomia, enquanto as subfisionomias testadas apresentaram resultados satisfatórios. Assim o procedimento empregado partindo-se das análises discriminantes com variáveis geomorfométricas pode subsidiar o mapeamento da vegetação.

Palavras-chave: vegetação, modelo digital de elevação, análises discriminantes, topografia, sensoriamento remoto



## GEOMORPHOMETRIC DATA AS SUBSIDY FOR VEGETATION MAPPING

### ABSTRACT

The potentials of geomorphometric variables derived from SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) for the mapping of vegetation types were investigated. Four published vegetation maps for study areas inside three Brazilian biomes (Amazonian forest, Savanna and Steppe) served as reference for testing the discriminatory potential of the geomorphometric variables. The study sites differed in the feasibility of applying topographic data to vegetation mapping according to the variation of geomorphometric conditions and vegetation reference mapping scale and detail level. The analysis indicated the vegetation class groups prone to classification in contrast to groups occurring in similar topographic conditions. The variables that presented strongest relationships with the vegetation classes were elevation, horizontal and vertical curvature. Although geomorphometric data had shown potential for discriminating vegetation classes, the achieved classification could not reach the thematic detail level of the reference maps due to co-occurrence of classes with similar vegetational structures. Based on discriminant analysis, it was possible to experimentally map to the sub-phytophysiological level. The best results were found for the RPPNSA and PNCA sites, and the sub-physiognomies of the latter. PNB site showed the worst results at the phytophysiology level, while its tested sub-physiognomies performed satisfactorily. It was found that discriminant analysis of geomorphometric data could subsidy vegetation mapping.

Key-words: vegetation, digital elevation model, discriminant analysis, topography, remote sensing



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	
1 INTRODUÇÃO	23
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.	25
2.1 Condicionantes topográficos da paisagem	25
2.2 Estudos das relações entre topografia e vegetação..	26
2.3 SRTM	31
2.4 Métodos de classificação de imagens	34
2.4.1 <i>Cluster</i>	35
2.4.2 Fatiamento	36
2.4.3 Máxima Verossimilhança ( <i>MaxVer</i> )	37
2.5 Análise Discriminante	39
2.6 Dados de Vegetação	40
2.6.1 Bioma Caatinga	40
2.6.2 Bioma Amazônia	42
2.6.2.1 Microbacia do Igarapé Asu	46
2.6.2.2 Parque Nacional dos Campos Amazônicos	47
2.6.3 Bioma Cerrado.	50
3 MATERIAL E MÉTODOS	55
3.1 Detalhamento do fluxo de trabalho	55
3.2 Recursos	56
3.2.1 As áreas de estudo	56
3.2.2 Dados de vegetação	57
3.2.3 Dados topográficos.	58
3.2.4 Especificação dos equipamentos utilizados	59
3.3 Procedimentos	59
3.3.1 Compatibilização e pareamento dos dados	59
3.3.2 Análise dos resultados	60
3.3.3 Processamentos experimentais	61
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	63

4.1	Apreciação dos dados	63
4.2	Análises discriminantes	77
4.3	Processamentos experimentais	100
5	CONCLUSÕES	117
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119

## LISTA DE FIGURAS

2.1 –	Espaço de atributos para as classes A, B e C mostrando na forma de contornos a densidade de <i>pixels</i> nos diversos conjuntos de treinamento.	38
3.1 –	Fluxo de atividades	55
3.2 –	Localização das áreas de estudo	57
4.1 –	Variáveis geomorfométricas da RPPNSA e seu mapa de vegetação	64
4.2 –	Variáveis geomorfométricas da MIA e seu mapa de vegetação	65
4.3 –	Variáveis geomorfométricas do PNCA e seu mapa de vegetação	66
4.4 –	Variáveis geomorfométricas do PNB e seu mapa de vegetação	67
4.5 –	Distribuição de frequência (f) das variáveis topográficas nas classes de vegetação da RPPNSA	69
4.6 –	Distribuição de frequência (f) das variáveis topográficas nas classes de vegetação da MIA	71
4.7 –	Distribuição de frequência (f) das variáveis topográficas nas classes de vegetação da PNCA	73
4.8 –	Distribuição de frequência (f) das variáveis topográficas nas classes de vegetação do PNB	75
4.9 –	Dispersão das Funções discriminantes das variáveis topográficas entre os grupos vegetacionais. Área da RPPNSA	80
4.10 –	Dispersão das Funções discriminantes das variáveis topográficas entre os grupos vegetacionais do grupo Complexo Arbóreo da Área da RPPNSA	82
4.11 –	Dispersão das Funções discriminantes das variáveis topográficas entre os grupos vegetacionais do Complexo Arbóreo-arbustivoda Área da RPPNSA	83
4.12 –	Dispersão das Funções discriminantes das variáveis topográficas entre os grupos vegetacionais. Área da MIA	86
4.13 –	Dispersão das Funções discriminantes das variáveis topográficas entre os grupos vegetacionais. Área do PNCA	88
4.14 –	Dispersão das Funções discriminantes das variáveis topográficas entre os grupos vegetacionais do grupo Formações Pioneiras do PNCA	90
4.15 –	Dispersão das Funções discriminantes das variáveis topográficas entre os grupos vegetacionais do grupo Floresta Ombrófila densa do PNCA	92
4.16 –	Dispersão das Funções discriminantes das variáveis topográficas entre os grupos vegetacionais do PNB	95
4.17 –	Dispersão das Funções discriminantes das variáveis topográficas entre os grupos Campo Limpo do PNB	97

4.18 –	Dispersão das Funções discriminantes das variáveis topográficas entre os grupos vegetacionais do grupo Mata do PNB	100
4.19 –	Classificações sobre variáveis geomorfométricas para a RPPNSA utilizando métodos de <i>Cluster</i> , Máxima Verossimelhança ( <i>MaxVer</i> ), Fatiamento e Mapa de vegetação usado como referência	103
4.20 –	Classificações sobre variáveis geomorfométricas para a MIA utilizando métodos de <i>Cluster</i> , Máxima Verossimelhança ( <i>MaxVer</i> ), Fatiamento e Mapa de vegetação usado como referência	104
4.21 –	Classificações sobre variáveis geomorfométricas para o PNCA utilizando métodos de <i>Cluster</i> , Máxima Verossimelhança ( <i>MaxVer</i> ), Fatiamento e Mapa de vegetação usado como referência	105
4.22 –	Classificações sobre variáveis geomorfométricas para o PNB utilizando métodos de <i>Cluster</i> , Máxima Verossimelhança ( <i>MaxVer</i> ), Fatiamento e Mapa de vegetação usado como referência	106
4.23 –	Imagens das Funções discriminantes 1 e 2, Classificação por Fatiamento da Função discriminante 1 sobre variáveis geomorfométricas para a RPPNS e Mapa de vegetação agrupada referência	107
4.24 –	Imagens das Funções discriminantes 1 e 2, Classificação por Fatiamento da Função discriminante 1 sobre variáveis geomorfométricas para o Complexo Arbóreo da RPPNSA e Mapa de vegetação referência	108
4.25 –	Imagens das Funções discriminantes 1 e 2, Classificação por Fatiamento da Função discriminante 1 sobre variáveis geomorfométricas para a MIA e Mapa de vegetação referência	109
4.26 –	Imagens das Funções discriminantes 1 e 2, Classificação por Fatiamento da Função discriminante 1 sobre variáveis geomorfométricas para o PNCA e Mapa de vegetação referência	110
4.27 –	Imagens das Funções discriminantes 1 e 2, Classificação por Fatiamento da Função discriminante 1 sobre variáveis geomorfométricas para as Formações Pioneiras do PNCA e Mapa de vegetação referência	111
4.28 –	Imagens das Funções discriminantes 1 e 2, Classificação por Fatiamento da Função discriminante 1 sobre variáveis geomorfométricas para a Floresta ombrófila densa do PNCA e Mapa de vegetação referência	112
4.29 –	Imagens das Funções discriminantes 1 e 2, Classificação por Fatiamento da Função discriminante 1 sobre variáveis geomorfométricas para o PNB e Mapa de vegetação referência.	113
4.30 –	Imagens das Funções discriminantes 1 e 2, Classificação por Fatiamento da Função discriminante 1 sobre variáveis geomorfométricas para o Campo Limpo do PNB) e Mapa de vegetação referência	114
4.31 –	Imagens das Funções discriminantes 1 e 2, Classificação por Fatiamento da Função discriminante 1 sobre variáveis geomorfométricas para a Mata do PNB e Mapa de vegetação referência	115

## LISTA DE TABELAS

1.1 –	Definição de variáveis topográficas segundo Florinsky e Kuryakova (1996)	31
3.1 –	Geometria dos planos de informação armazenados	59
4.1 –	Sumário da análise da função discriminante. Área da RPPNSA	78
4.2 –	Distância de Mahalanobis entre grupos no espaço discriminante. Área RPPNSA	79
4.3 –	Matriz de correlação das variáveis do fator de estrutura. Área da RPPNSA	79
4.4 –	Sumário da análise da função discriminante do grupo Complexo Arbóreo da Área da RPPNSA	81
4.5 –	Distância de Mahalanobis entre grupos no espaço discriminante do grupo Complexo Arbóreo da Área da RPPNSA	81
4.6 –	Matriz de correlação das variáveis do fator de estrutura do grupo Complexo Arbóreo da Área da RPPNSA	82
4.7 –	Sumário da análise da função discriminante do grupo Complexo Arbóreo-arbustivoda Área da RPPNSA	83
4.8 –	Sumário da análise da função discriminante. Área MIA	84
4.9 –	Distância de Mahalanobis entre grupos no espaço discriminante. Área da MIA	84
4.10 –	Matriz de correlação das variáveis do fator de estrutura. Área da MIA	85
4.11 –	Sumário da análise da funções discriminante. Área do PNCA	87
4.12 –	Distância de Mahalanobis entre grupos no espaço discriminante. Área do PNCA	87
4.13 –	Matriz de correlação das variáveis do fator de estrutura. Área do PNCA	88
4.14 –	Sumário da análise da função discriminante do grupo Formação Pioneira do PNCA	89
4.15 –	Distância de Mahalanobis entre grupos no espaço discriminante do grupo Formações Pioneiras do PNCA	89
4.16 –	Matriz de correlação das variáveis do fator de estrutura do grupo Formações Pioneiras do PNCA	90
4.17 –	Sumário da análise da funções discriminante do grupo Floresta Ombrófila densa do PNCA	91
4.18 –	Distância de Mahalanobis entre grupos no espaço discriminante do grupo Floresta Ombrófila densa do PNCA	91
4.19 –	Matriz de correlação das variáveis do fator de estrutura do grupo Floresta Ombrófila densa PNCA	92
4.20 –	Sumário da análise da função discriminante. Área do PNB	93

4.21 –	Distância de Mahalanobis entre grupos no espaço discriminante. Área do PNB	94
4.22 –	Matriz de correlação das variáveis do fator de estrutura. Área do PNB	94
4.23 –	Sumário da análise da função discriminante do grupo Campo Limpo do PNB	96
4.24 –	Distância de Mahalanobis entre grupos no espaço discriminante do grupo Campo Limpo do PNB	96
4.25 –	Matriz de correlação das variáveis do fator de estrutura do grupo Campo Limpo do PNB	97
4.26 –	Sumário da análise da função discriminante do grupo Mata do PNB	98
4.27 –	Distância de Mahalanobis entre grupos no espaço discriminante do grupo Mata do PNB	99
4.28 –	Matriz de correlação das variáveis do fator de estrutura do grupo Mata do PNB	99

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

DOD – Departamento de Defesa dos Estados Unidos  
IBGE – Fundação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
InSAR – Interferometric Synthetic Aperture Radar  
JPL – Jet Propulsion Laboratory)  
MDE – Modelo Digital de Elevação  
MIA – Microbacia do Igarapé Asu  
NASA – National Aeronautics and Space Administration  
NIMA - National Imagery and Mapping Agency  
PNB – Parque Nacional de Brasília  
PNCA – Parque Nacional dos Campos Amazônicos  
RPPNSA – Reserva Particular do Patrimônio Natural de Serra das Almas  
SIG – Sistema de Informações Geográficas  
SRTM - Shuttle Radar Topographic Mission  
USGS -United States Geological Survey



## 1 INTRODUÇÃO

Dados de sensoriamento remoto têm servido como base, há décadas, para mapeamentos de vegetação em diferentes escalas. Entretanto, ainda existem lacunas no conhecimento a respeito da ocorrência das diferentes formações vegetais brasileiras, assim como sua extensão e estado de conservação. Assim, dados de sensores ópticos a bordo de satélites ou aeronaves fornecem informações sobre o dossel vegetal que, com apoio de campo, são usados em mapeamentos diversos. Evidentemente, estes dados têm sua capacidade limitada à medida que determinadas formações vegetais possuem respostas espectrais semelhantes. Um dos principais projetos que visaram ao mapeamento da cobertura vegetal brasileira foi o RADAMBRASIL. A variedade de atributos usados no sistema de classificação refletiu a variabilidade estrutural dos tipos de vegetação do Brasil. As informações geradas pelo projeto também confirmaram a importância da topografia na caracterização da paisagem local e regional, já que é um dos fatores determinantes do estabelecimento, distribuição e diversidade de espécies vegetais.

Embora se reconheçam os dados topográficos como importante fonte de informações para subsidiar o mapeamento da vegetação, o estabelecimento de metodologias com este aporte requer o desenvolvimento de estudos específicos para determinar as relações que existem entre ambos os aspectos. Tal condição pode ser explicada por uma histórica de ausência de levantamentos topográficos detalhados, pela qual grande parte do território nacional permanece com mapeamentos em escalas inadequadas para várias aplicações. Neste contexto, a utilização de bases topográficas obtidas por sensores orbitais pode enfim significar a viabilização de tais estudos. A missão SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), ocorrida em 2000, possibilitou a coleta de dados altimétricos para praticamente toda a superfície terrestre. A existência desses dados em cobertura nacional permite que se avalie e se desenvolva seu potencial para o mapeamento da vegetação de forma relativamente padronizada em diferentes ambientes.

Os dados SRTM mostraram-se passíveis de derivação em variáveis geomorfométricas, para expressão das diferentes características do relevo, o que resulta num conjunto de dados em complemento à altimetria. Cada variável condiciona a vegetação através de diferentes aspectos da paisagem (temperatura, exposição solar e hidrologia, por

exemplo), além do controle direto sobre o transporte e o acúmulo de estruturas de propagação, biomassa e substâncias vegetais que afetam sua distribuição. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo principal a avaliação das variáveis geomorfométricas extraídas de modelos digitais de elevação SRTM para identificação de tipos vegetacionais. As análises recairão sobre planos de informação correspondentes às variáveis geomorfométricas e seu confronto com dados de mapeamento de vegetação existentes.

Tal objetivo compreende o atendimento às seguintes metas específicas:

- Identificar as variáveis geomorfométricas que melhor caracterizem diferentes tipos de vegetação.
- Caracterizar os tipos de vegetação em termos das condições geomorfométricas de sua ocorrência.
- Analisar a capacidade de discriminação dos tipos vegetacionais mapeados a partir dos dados geomorfométricas.
- Aplicar os resultados anteriores ao mapeamento da vegetação como forma de avaliação.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Para a compreensão deste trabalho, este capítulo faz uma breve fundamentação dos condicionantes topográficos da paisagem e suas relações com a vegetação. Em seguida, são apresentadas as fontes e demais especificações técnicas dos dados topográficos e de vegetação aplicados neste estudo.

### **2.1 Condicionantes topográficos da paisagem**

A topografia ao lado de outras variáveis ambientais é fundamental na caracterização da paisagem local e regional. Diversos estudos têm relacionado variáveis topográficas com o estabelecimento, distribuição e diversidades de espécies vegetais. Schmidt et al. (2003) descrevem as principais variáveis topográficas extraídas de Modelos Digitais de Elevação (MDE), que podem ser geradas a partir do SRTM.

Segue-se a definição das variáveis topográficas mais utilizadas em estudos de caracterização da paisagem.

- a- Elevação: corresponde a altitude do terreno. Está relacionada à distribuição altitudinal do solo e clima, condicionando diferentes padrões vegetacionais na paisagem.
- b- Declividade: corresponde ao ângulo de inclinação da superfície local. Possui ação direta sobre o equilíbrio entre a infiltração de água no solo e escoamento superficial, além de controlar a intensidade dos fluxos de matéria e insolação. Esse conjunto de fatores resulta na formação de ambientes com diferentes características físicas e biológicas, as quais permitem o estabelecimento de diferentes tipos de vegetação.
- c- Orientação de vertentes: corresponde ao alinhamento do terreno em relação ao sol, é a medida do ângulo horizontal da direção esperada do escoamento superficial, geralmente expressa em azimute. Dentre os vários aspectos (relação com distribuição de diferentes substratos, refúgios ecológicos etc.), esta variável relaciona-se ao grau de sombreamento ou iluminação do terreno selecionando ambientes mais propícios para o desenvolvimento de determinados tipos de

vegetação em detrimento de outros. Assim, a orientação de vertentes controla a direção dos fluxos de matéria e insolação, portanto, com efeitos locais sobre os regimes hídricos e de energia, definindo diferentes padrões vegetacionais.

- d- Curvatura vertical: refere-se ao caráter convexo/côncavo do terreno quando analisado em perfil.
- e- Curvatura horizontal: refere-se ao caráter divergente/convergente dos fluxos de matéria sobre o terreno quando analisado em projeção horizontal.

As duas últimas variáveis estão relacionadas aos processos de migração e acúmulo de água, minerais e materiais orgânicos no solo através da superfície, proporcionados pela gravidade. Estas duas variáveis combinadas representam uma caracterização das formas do terreno, que se associam diretamente a propriedades hidrológicas e de transporte, exercendo influência indireta sobre a vegetação local.

## **2.2 Estudos das relações entre topografia e vegetação**

Alguns estudos têm mostrado que a topografia exerce influência indireta sobre a vegetação, uma vez que determina feições hidrológicas, variações na disponibilidade de água no solo, distribuição dos tipos de solo e topoclimas. Outros, cujo foco é a relação direta entre a topografia e a vegetação, verificam tal influência baseados em variáveis topográficas, especialmente elevação, declividade e orientação de vertentes, e mais raramente estudos baseados nas curvaturas vertical e horizontal do terreno (DARGIE, 1984, 1987; KIRKBY et al., 1990; VELÁQUEZ-ROSAS et al., 2002). O texto subsequente se refere a tais estudos.

São reconhecidos os efeitos principais da topografia no estabelecimento da vegetação, ao lado da ação do clima, da geologia, dos solos e da intervenção antrópica. A variabilidade topográfica induz a uma diversidade de fauna e flora significativa no ecossistema. O desenvolvimento deste é controlado, ainda, por fatores abióticos, tais como disponibilidade de água, temperatura e incidência de radiação.

Em paisagens, tais como as savanas, as feições hidrológicas baseadas na topografia exercem influência sobre modelos de propagação de vegetação arbórea. Estas áreas

podem capturar e reter nutrientes e água escassa provenientes de regiões montanhosas, ou mesmo, devido ao regime hídrico (infiltração/escoamento superficial), determinar o padrão de distribuição da vegetação (WU et al., 2005). Nas paisagens de florestas boreais, especialmente em casos onde a topografia varia, a variação espacial da disponibilidade da água do solo é um importante fator que afeta o crescimento e a composição da vegetação. A floresta ripária dessas áreas, por exemplo, tem um suprimento constante de água no solo próximo à superfície, assim têm consideravelmente mais espécies de plantas vasculares do que florestas dos terrenos mais elevados (ZINKO et al., 2005). Este gradiente florístico aí observado, também é evidente em outras feições fitofisionômicas. CLARK et al. (1999) verificaram que há um claro gradiente florístico em resposta aos tipos de solo e que estes variaram em função da posição topográfica. Os autores estudaram a distribuição e abundância de palmeiras e outras árvores na Estação Ecológica La Selva na Costa Rica. Eles concluíram que menos de 30% das espécies apresentaram distribuição influenciada por efeitos edáficos ou topográficos. Entretanto, as variáveis ambientais estudadas (solos e topografia entre outras) foram capazes de explicar somente uma pequena proporção da variação florística.

Nas paisagens brasileiras, onde predominam altitudes modestas (maior parte entre 200 e 1200 m), as diversas formas do terreno, também são determinantes de diferentes padrões fitofisionômicos. Na Amazônia, por exemplo, onde o relevo é descrito como de pequena amplitude, a simples posição no relevo pode manifestar diferenças na vegetação. Segundo Ayres (1993), a vegetação da Amazônia pode ser dividida em campinaranas que são florestas sobre solo arenoso, caracterizadas por vegetação escleromórfica, pobre e baixa, e florestas de terra firme, que se situam geralmente em terrenos ondulados, a baixas altitudes, com árvores mais altas, algumas chegando até 50m. A topografia pode definir a riqueza e distribuição de espécies vegetais ao longo do gradiente de inundação e sedimentação em florestas de várzea na Amazônia. Wittman et al. (2004), estudando tal questão, observaram que apenas 2,6% dos 222 registros de espécies de árvores ocorreram abaixo da cota de inundação. A sedimentação foi mais alta em estágios sucessionais iniciais, próxima às calhas dos rios principais, e decresceu

com o aumento do nível da topografia dos sítios de florestas e em processos de sucessão, e alcançaram menores taxas nas florestas de várzea alta.

Estudos mostram que a heterogeneidade das condições do solo na Amazônia é frequentemente ligada à topografia e exerce uma notável influência sobre a composição, a estrutura e os padrões de diversidade da floresta (LESCURES; BOULET, 1985; PELISSIER et al., 2001). A topografia da Amazônia Central é fortemente correlacionada com a textura do solo (CHAUVEL, et al. 1987), e estes fatores são os maiores condicionantes da distribuição de espécies vegetais e da estrutura de suas comunidades, em escalas local e regional (SOLLINS 1988; LIEBERMAN, 1985; KUBOTA, 2004). A comunidade de palmeiras, por exemplo, se distribue em três zonas de acordo com as condições hidromórficas do solo. Assim, pode-se reconhecer: solos bem drenados (platô, topo, vertente), solos pobremente drenados (zona de transição), solos sazonalmente inundados (igarapés) nos quais estas diferentes espécies se distribuem. Desse modo, verifica-se que a distribuição de diferentes espécies de palmeiras estão fortemente relacionadas ao tipo de solo, cuja distribuição depende da situação topográfica local (KAHN; CASTRO, 1985). Tal condicionamento não se restringe à distribuição de tipos vegetacionais: cerca de 30% das variações espaciais nas estimativas de biomassa de árvores estão relacionadas às características do solo e a topografia (LAURENCE et al., 1999; CASTILHO et al. 2006).

Em Florestas estacionais e no Cerrado, o estabelecimento dos diferentes tipos de vegetação se deve muito mais a fatores edáficos e climáticos, do que propriamente à topografia. Entretanto, a topografia explica de modo indireto, parte da variação vegetal, assim como a distribuição de possíveis fragmentos existentes nestas paisagens. Brottel et al. (2002), estudando a comunidade arbóreo-arbustiva, de um fragmento de floresta estacional semidecidual (Ingaí-MG), verificaram que estes fragmentos se distribuem sob influência do regime de água, da fertilidade química do solo e posição topográfica. Resultado também encontrado por Rodrigues et al. (2002), que estudando a florística da comunidade arbórea de um fragmento florestal em Luminárias, MG, verificaram que a alta diversidade de espécies aí encontradas pode estar relacionada à influência de formações vegetais próximas e aos diferentes microambientes proporcionados pela topografia, variações na fertilidade e umidade dos solos. Edivane e Schiavini (2002)

caracterizaram a topografia de um gradiente florestal na Estação Ecológica do Panga (Uberlândia, MG) e avaliaram sua relação com a distribuição das 20 principais espécies arbóreas inclusas neste gradiente (mata galeria, mesófila semidecídua de encosta e cerradão). Tal estudo mostrou que algumas das espécies são influenciadas positiva ou negativamente por variações de umidade do solo ocasionadas pela topografia ocorrentes na mata galeria, enquanto outras mostram maiores relações com outros fatores edáficos e/ou condições de luminosidade de bordas e clareiras. Também, referente ao ambiente de Cerrado, Fonseca e Silva-Junior (2003) verificaram a sua composição florística, densidade e área basal do componente lenhoso no sentido restrito, em duas situações num gradiente topográfico, designadas interflúvio e vale, no Jardim Botânico de Brasília, DF. Seus resultados salientaram que a topografia como forte determinante na distribuição de algumas populações e comunidades lenhosas, por meio de sua influência na variação do lençol freático, afetou a composição florística, a densidade e a área basal nos Cerrados, sentido restrito de interflúvio e vales estudados.

Cabe ressaltar, que a topografia não condiciona apenas processos ecológicos, mas também a ação humana. Na escala do nosso país, é evidente que os remanescentes florestais concentram-se em áreas menos apropriadas para a agricultura, o que é fortemente dependente do relevo (VIANA 1995; VIANA et al., 1997). Isto implica no fato de que a maioria dos fragmentos florestais estar localizada em áreas de topo e mais acidentadas, que não são propícias a práticas agrícolas ou ocupação humana.

Embora os estudos que abordam especificamente as relações entre as variáveis topográficas e os tipos vegetacionais sejam menos freqüentes, eles são de grande importância para o entendimento do ambiente biofísico de modo geral. Algumas destas pesquisas revelam que a elevação, a declividade e a orientação de vertente são as principais variáveis relacionadas a variações na distribuição de fitofisionomias (DARGIE, 1984, 1987; KIRKBY et al., 1990; VELÁSQUES-ROSAS et al., 2002).

Em conjunto com outras variáveis geomorfométricas, a declividade, em especial, produz uma variedade de situações ambientais, tais como: gradientes de umidade no solo entre o topo e a base de uma vertente, por exemplo; favorecimento de transporte de partículas de solo ao longo de um perfil; interferência na organização vertical do dossel,

ocasionando variações nos ângulos de penetração e distribuição da luz no interior de florestas; promoção da aparente elevação da copa de indivíduos menores e mais jovens de áreas superiores, de modo que alcancem mais rápido o dossel em áreas de declividade acentuada (GANDOLFI, 2000). A declividade e a orientação de vertentes controlam respectivamente a intensidade e a direção de fluxos de matéria e de insolação, portanto, com efeitos locais sobre os regimes hídricos e de energia. No entanto, estas variáveis podem fornecer informações aquém do potencial de utilização de MDE quando se busca o levantamento para estudo da cobertura vegetal, com respostas variadas quando estudadas sob diferentes situações. Qi e Zhu (2003) consideram que um conjunto básico de variáveis topográficas para caracterização morfométrica do terreno local deve incluir, além dessas, as curvaturas horizontal e vertical (SCHMIDT et al., 2003; VALERIANO, 2003; VALERIANO; CARVALHO JÚNIOR, 2003).

Os estudos aplicados à caracterização da paisagem com variáveis topográficas numéricas (morfometria) têm sido favorecidos com o desenvolvimento de métodos automáticos de análise de MDE. A importância de tais estudos está no fato de serem desenvolvidos em ambiente computacional, o que propicia uma redução de trabalho manual e a subjetividade dessas atividades.

Pressupondo o processo de formação de solos como resposta à distribuição dos processos hidrológicos e erosivos e da temperatura do solo, Moore et al. (1993) relacionaram atributos pedológicos às variáveis topográficas, verificando que a situação topográfica explicou em parte expressiva a variação de importantes propriedades do solo. Brubaker et al. (1993) fizeram inferências semelhantes baseados na posição das observações sobre a superfície de vertentes. Briggs e Shishira (1985) observaram uma considerável redução na variabilidade dos atributos de solo dentro de cada unidade homogênea de relevo.

Tais efeitos edáficos, associados aos efeitos climáticos, além da ação direta do relevo sobre a vegetação, têm dado suporte, por exemplo, ao estudo de efeitos topográficos no estabelecimento de diferentes tipos de vegetação. Florinsky e Kuryakova (1996) consideraram como ação direta da topografia o transporte e o acúmulo de material orgânico, incluindo sementes e outras estruturas de propagação e recomendam o uso de

modelos digitais e mapas de variáveis topográficas (Tabela 1.1) para levantamento, mapeamento e compreensão dos aspectos dinâmicos da vegetação.

Tabela 1.1 – Definição de variáveis topográficas segundo Florinsky e Kuryakova (1996)

Variável, unidade	Definição
$h$ , m	Elevação em relação ao nível do mar (altitude)
$G$ , ° ou%	Ângulo vertical, entre os planos horizontal e tangente à superfície do terreno (declividade)
$A$ , °	Ângulo horizontal, entre norte e a projeção horizontal de um vetor normal à superfície (orientação de vertente)
$k_v$ , $m^{-1}$	Curvatura de uma seção normal da superfície terrestre por um plano contendo um vetor externo normal e um vetor da aceleração da gravidade (curvatura vertical)
$k_h$ , $m^{-1}$	Curvatura de uma seção normal da superfície terrestre que é ortogonal à seção em $k_v$ (curvatura horizontal)
$H$ , $m^{-1}$	Média das curvaturas vertical e horizontal (curvatura média)
$CA$ , $m^2 m^{-1}$	Área de terreno cujas linhas de escoamento passam por um determinado segmento de isolinha dividido pelo comprimento desse segmento (área de captação)
TI	TI = $\ln(CA/G)$ (índice topográfico)
SI	SI = $CA.G$ (índice de enxurrada)

Florinsky e Kuryakova (1996) estudaram relações entre a cobertura florestal e variáveis topográficas em quatro diferentes áreas de estudo. Ficou evidente que o controle topográfico das propriedades da vegetação é realizado de formas diferentes em diferentes terrenos. O exemplo citado apresenta a maior dependência da vegetação relativa à intensidade de fluxo de água superficial (escoamento) em regiões áridas, que é controlado por  $k_h$ . Por outro lado, em regiões de baixas temperaturas, ou grandes latitudes, espera-se maior influência da insolação, controlada por  $G$  e  $A$ . Os resultados indicam que a distribuição da cobertura vegetal é mais bem explicada quando não se restringem a análise do relevo às variáveis  $h$ ,  $G$  e  $A$ . Foram também observadas algumas relações entre propriedades da vegetação e classes do terreno relativas à erosão.

### 2.3 SRTM

Em fevereiro de 2000 um rico conjunto de dados de elevação global, baseado na tecnologia InSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*), foi adquirido por meio do projeto SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) do JPL (*Jet Propulsion*

*Laboratory*) integrado à NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), resultando na base de dados topográficos digitais mais completa já construída. As informações que se seguem foram retiradas do site do JPL (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtn/>) e de Valeriano (2003).

O projeto SRTM provém da cooperação entre a NASA, NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*), DOD (Departamento de Defesa) dos Estados Unidos e das agências espaciais da Itália e Alemanha. Esta missão se utilizou do mesmo instrumento usado em 1994 pelo programa *Spaceborne Imaging Radar-C/X-Band Synthetic Aperture Radar* (SIR-C/X-SAR), a bordo do ônibus espacial Endeavour. À nave foi adicionada um mastro de 60 m, em cuja extremidade foram instaladas antenas para bandas C e X, além de ajustes nos dispositivos de controle e navegação. Isto permitiu a coleta de medidas tridimensionais da superfície terrestre através de interferometria.

O processamento dos dados coletados visou à construção de um MDE mundial elaborado continente por continente. O sobrevôo da SRTM ocorreu entre 11 e 22 de fevereiro de 2000, durante o qual foram percorridas 16 órbitas por dia resultando num total de 176 órbitas. Desse modo foram coletados 12TB dados. A conclusão de cada continente foi seguida pelo envio de dados ao NIMA para serem editados, verificados e ajustados aos padrões norte-americanos de exatidão de mapas (*National Map Accuracy Standards*). Estes dados foram então devolvidos à NASA para distribuição pública através da USGS (*United States Geological Survey*).

Entre as latitudes 60° N e 56° S, cerca de 80% da superfície terrestre foi coberta, sendo realizadas para tanto de uma a quatro passagens. Um conjunto menor de dados foi coletado sobre a água para calibração. Do total de dados SRTM, os da banda C foram processados no JPL e os da banda X no Centro Aeroespacial da Alemanha (DLR). Estes foram usados para criar MDE de resolução mais alta, porém sem cobertura global.

O projeto teve apoio de campo, sobretudo com base em levantamentos geodésicos, no qual foi empregado o método Sistema de Posicionamento Global Cinemático (*Kinematic Global Positioning System*). Foram coletadas ao todo cerca de 70.000 Km de linhas (transectos), aliada à distribuição de refletores com coordenadas precisamente definidas pela JPL, para geração do conjunto de pontos referência ou controle.

Em paralelo à montagem do MDE global foi feito o processamento de dados locais específicos. Cada área cobre uma célula de 1 grau de latitude por um grau de longitude, cujos dados consistem em mapas, imagens e dados auxiliares inéditos.

Segundo a JPL, embora a NIMA aplicasse várias operações de pós-tratamento, que incluem remoção de picos e vórtices, nas informações que acompanham os dados do usuário são lembradas suas características (inerente a todo dado geo-espacial) devem condicionar seu desempenho diante das aplicações específicas: uma característica dos dados SRTM que o torna inadequado para uma dada aplicação pode ser inócua para outra. Informa-se ainda que nenhuma edição foi aplicada sobre os dados e que o conjunto em questão contém um grande número de vãos e outros pontos espúrios, como valores extremamente altos (picos) e outros extremamente baixos (vórtices). Corpos d'água serão geralmente mal definidos, assim como as linhas de costa.

Em janeiro de 2002, a NASA iniciou a distribuição pública destes pequenos conjuntos de dados de locais dentro dos Estados Unidos. Enfim, foram gerados MDE sob resolução de 30m (em coordenadas geográficas, com 1", ou 0,000277°) para os Estados Unidos e 90m (em coordenadas geográficas, com 3", ou 0,000833°) para o resto do mundo. O datum e elipsóide de referência são WGS84, com dados z em metros inteiros.

Uma apreciação preliminar dos dados SRTM mostrou uma série de características indesejáveis tais como falhas negativas (vórtices) representadas por cotas negativas (-8388607 m). Estes artefatos são facilmente reconhecíveis nas imagens, porém, devido ao elevado módulo deste valor, sua remoção requer operações cuidadosas para que não se contaminem as informações válidas. Técnicas tais como filtragens, não são capazes de eliminar este problema, mas podem ampliar a sua área de influência modificando as cotas de linhas vizinhas, formando uma feição artificial que se assemelha a um vale ou sulco retilíneo, com orientação E-W ou N-S. Estes dados são sensíveis a quaisquer objetos presentes sobre a superfície do terreno, tais como antenas, edificações e mesmo variações na cobertura vegetal. A presença destes artefatos atrapalha a percepção do terreno em si no modelo, como de fato é o intuito da obtenção de informações topográficas. A utilização de filtragens apesar de minimizar os efeitos destes artefatos, propicia a suavização da superfície como um todo, o que não é desejável.

Alguns estudos têm demonstrado que suavizações desnecessárias do MDE prejudicam o desempenho de algoritmos de declividade, por exemplo (VALERIANO, 2003). Considerando que grande parte do território nacional é provida de mapeamentos demasiadamente generalizados para várias utilizações da informação topográfica, o dado SRTM pode ser considerado a melhor informação topográfica já disponibilizada para o nosso território. A resolução de 90m deste dado representa um avanço importante em relação à dados até então disponíveis, os dados RADARSAT-1, com resolução quilométrica.

Como citado anteriormente, os dados SRTM trazem consigo limitações intrínsecas do sistema e estão sujeitos a uma série de fatores que alteram a relação de precisão ou fidelidade para com a paisagem existente. Neste sentido, métodos de tratamento de dados vêm sendo desenvolvidos com o intuito de adequar os dados aos objetivos das pesquisas, sem, entretanto, alterar a informação que se deseja extrair. Valeriano (2004) aplicando a interpolação dos dados por krigagem e as teorias da geoestatística na fundamentação desta técnica, preservou as características do terreno no MDE formado. Desta forma, o tratamento destes dados consiste na modificação do MDE SRTM original para um MDE com características desejáveis: resolução melhorada de 1”(~30m); redução de artefatos; remoção de falhas e distribuição da aleatoriedade espacial.

#### **2.4 Métodos de classificação de imagens**

Segundo Crósta (2002) um dos principais objetivos do sensoriamento remoto é o de distinguir entre e identificar as composições de diferentes materiais superficiais (tipos de vegetação, padrões de uso do solo entre outros). Essa distinção e identificação tornam-se possíveis diante do fato de os materiais superficiais terem comportamento específico ao longo do espectro eletromagnético o que permite identificá-los ou classificá-los.

A classificação automática de imagens multiespectrais de sensoriamento remoto diz respeito a associar cada *pixel* da imagem a um “rótulo” descrevendo um objeto real (vegetação, solo, etc.). Dessa forma, os valores numéricos (DNs) associados à cada *pixel*, definidos pela reflectância dos materiais que compõem esse *pixel*, são identificados em termos de um tipo de cobertura da superfície terrestre imageada

(água, solo, tipo de vegetação, rocha, etc.), chamadas então tema. Após esse processo ser completado para todos os *pixels* de uma determinada área, o resultado é um mapa temático mostrando a distribuição geográfica de um tema, tal como vegetação ou solo. Desse modo pode-se dizer, então que uma imagem de sensoriamento remoto classificada é uma forma de mapa digital temático.

Segue-se a definição, segundo Crosta (2002) dos tipos de classificações testadas (*Cluster*, *MaxVer* e Fatiamento) no presente trabalho.

#### **2.4.1 Cluster**

Para a classificação por *cluster*, o espaço de atributos possui agrupamentos, *cluster* ou “nuvens”, os quais podem ser caracterizados por curvas de contorno. No processo de classificação estas nuvens são identificadas e usadas como áreas de treinamento.

O primeiro passo neste tipo de classificação é a realização de uma análise de agrupamento, utilizando para tal, técnicas estatísticas padrão. Através dessa análise as nuvens de dados são identificadas no espaço de atributos. Uma vez feita essa análise, uma decisão deve ser tomada em relação às quais concentrações devem ser tratadas como grupos separados. A melhor maneira de fazer isso é aceitar apenas aquelas cujas modas ultrapassam certo limiar.

O software Idrisi versão 2.0, oferece a uma definição condizente com a anterior, porém mais detalhada:

O *cluster* é uma técnica que se baseia na análise das modas (picos) do histograma de uma variável de uma área a ser analisada, em que uma moda é definida como o valor de maior frequência comparativamente aos seus vizinhos. Isto é equivalente a buscar os picos como um histograma unidimensional, porém são avaliados  $n$  histogramas ( $n$  variáveis) simultaneamente, identificando-se assim aglomerações, ou nuvens (*clusters*) de pontos no espaço  $n$ -dimensional. Uma vez que os aglomerados tenham sido identificados, todas as classes serão atribuídas com base no pico de concentração mais próximo. As divisões entre as classes se inserem nos pontos de menor ocorrência de valores observados entre tais picos. Os melhores resultados ocorrem quando as variáveis não estão correlacionadas entre si.

Em relação às condições da operação do algoritmo utilizado (EASTMAN, 1995), o *cluster* tem melhor desempenho se a imagem composta tiver sido criada usando a opção linear com saturação. Isto assegura que os seis níveis por a faixa na composição ocupem mais intensamente a região onde os dados são os mais concentrados. Geralmente os melhores resultados são encontrados com níveis de saturação entre aproximadamente 1% - 2.5%. Este algoritmo trabalha apenas em imagens produzidas por composição colorida. A imagem composta consiste em índices de cores, em que cada índice  $I_{rgb}$  é dado por  $I_{rgb} = I_{B(azul)} + 6 I_{G(verde)} + 36 I_{R(vermelho)}$ , em que cada canal ( $I_R$ ,  $I_G$  ou  $I_B$ ) assume um valor no intervalo de 0-5. Por exemplo, um *pixel* com  $I_{RGB}$  de valores de 1, 5 e 3 (respectivamente  $I_R$ ,  $I_G$  e  $I_B$ ) teria um índice de  $3 + (5 * 6) + (1 * 36) = 69$ . Assim a operação do *Cluster* decompõe os valores da composição colorida para criar um histograma tridimensional.

#### **2.4.2 Fatiamento**

O fatiamento de níveis de intensidade representa a forma mais simples de classificação e é aplicado a uma única banda espectral de cada vez. A operação de fatiamento consiste simplesmente em realçar os *pixels* cujas intensidades se situam dentro do intervalo especificado (a fatia), isto é, entre um máximo e um mínimo. O fatiamento é feito de modo interativo, geralmente, no qual o usuário define tanto a largura quanto o centro do intervalo desejado. Essa fatia é então ajustada até que as feições de interesse sejam realçadas e separadas das áreas originalmente diferentes, sendo então representadas por um mesmo DN.

O fatiamento de uma única banda espectral pode ser estendido para o domínio multiespectral através de uma série de etapas, descritas a seguir. Desse modo aumenta-se a precisão da classificação, uma vez que a superfície que se deseja classificar terá uma maior probabilidade de se diferenciar das outras presentes na imagem, quanto maior for o número de bandas considerado.

Para isso toma-se uma banda espectral e define-se uma região previamente conhecida, contendo a superfície de interesse. Em seguida aplica-se o fatiamento à primeira banda, definindo-se os parâmetros (centro e largura da fatia), até que a região de interesse seja realçada, juntamente com os outros *pixels* dessa banda que possuam o mesmo DN da

região de interesse. Se salva o resultado e repete-se o processo para cada uma das bandas espectrais disponíveis. Finalmente, combinam-se todas as bandas fatiadas em uma só imagem, através da adição.

No que se refere a presente pesquisa foram utilizadas bandas representadas pelas variáveis geomorfométricas locais correspondentes a cada área de estudo. Estas “bandas” foram fatiadas através de análises de histogramas buscando identificar nos histogramas referentes a cada classe vegetacional, pontos em que as classes vegetacionais melhor se distinguiam. Em locais onde havia grande sobreposição entre os histogramas, escolheu-se como critério fatiar em pontos onde havia maior frequência de distribuição dessas variáveis geomorfométricas. Em seguida, as imagens geradas por cada fatiamento foram sobrepostas através de uma operação de adição.

#### **2.4.3 Máxima Verossimilhança (*MaxVer*)**

O *MaxVer* é o método mais comum que considera a ponderação das distâncias das médias utiliza parâmetros estatísticos.

A classificação por máxima verossimilhança exige um número consideravelmente elevado de *pixels* para cada conjunto treinamento, número preferencialmente acima de uma centena, para que seja precisa o suficiente. Esse número permite uma base segura para o treinamento estatístico. Devido a esse número alto de *pixels*, não é possível representá-los graficamente de maneira individualizada. Desse modo, nesse caso usa-se isolinhas ou curvas de contorno no espaço de atributos, representando a densidade de *pixels* do conjunto de treinamento de cada região (Figura 1).

Estes contornos representam, na realidade, um ajuste baseado em distribuições normais ou Gaussianas dos *pixels* das áreas de treinamento, do contrário, os contornos seriam totalmente irregulares. Ressalta-se que devido a esse ajuste os contornos são simétricos. Os contornos ao redor de cada classe na Figura 2.1 podem ser entendidos como a probabilidade de existir um *pixel* naquele conjunto de treinamento como uma determinada combinação de DN's. Do mesmo modo, se as áreas de treinamento forem realmente representativas das superfícies que se deseja classificar. Os mesmos contornos podem ser vistos como a probabilidade de qualquer *pixel* desconhecido pertencer a uma determinada classe na qual ele plotar.

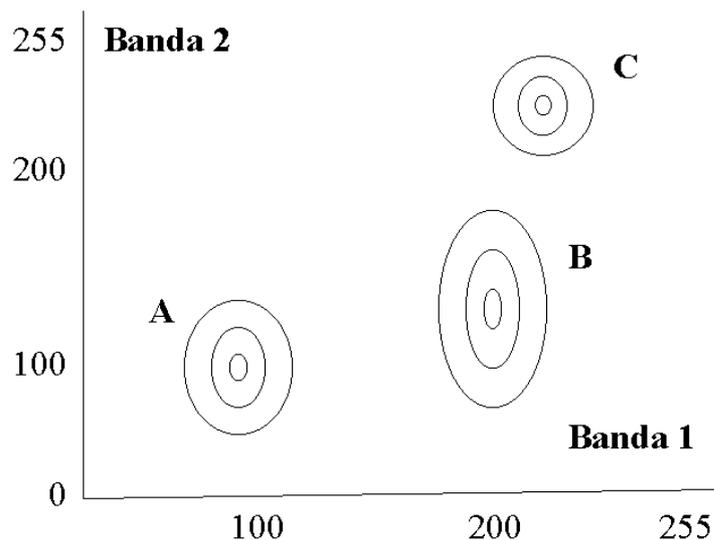


Figura 2.1 – Espaço de atributos para as classes A, B e C mostrando na forma de contornos a densidade de *pixels* nos diversos conjuntos de treinamento.

Essas probabilidades representam uma ferramenta de classificação poderosa e flexível, através da qual se pode escolher, por exemplo, classificar apenas os *pixels* desconhecidos que são bastante semelhantes à média de uma classe. Isso é feito escolhendo-se o limite de decisão coincidindo com o contorno mais próximo da média, cuja distância é normalmente fixada como um desvio padrão a partir da média.

Por outro lado, pode-se julgar necessário classificar os *pixels* desconhecidos que se situam a qualquer distância da média, dentro da área geral definida pelo conjunto treinamento. Neste caso, escolher-se ia como limite de decisão o contorno que engloba 99% dos *pixels* da área de treinamento. Jogando os restantes 1% fora, pode-se compensar, por exemplo, a possibilidade de que alguns dos *pixels* da área de treinamento foram incluídos por engano, podendo representar ruído ou *pixels* contendo um limite entre dois tipos de cobertura.

É importante ressaltar que o método *MaxVer* é passível de enganos e imprecisões. Um exemplo disso pode ser quando existem alguns *pixels* pertencentes a uma determinada área de treinamento, são atribuídos, pelas regras de decisão dos métodos, à uma classe diferente.

Tudo que o *MaxVer* consegue fazer é tentar minimizar a porcentagem dos *pixels* classificados erroneamente. O método *MaxVer*, assim como outros métodos de classificação supervisionada vistos anteriormente, parte do princípio de que o usuário

conhece bastante da imagem a ser classificada para poder definir classes que sejam representativas. Nos casos em que isto não ocorre, é possível partir de algumas premissas razoáveis o suficiente para permitir bons resultados.

## **2.5 Análise Discriminante**

O número de variáveis geomorfométricas que condicionam a distribuição de tipos de vegetação de um determinado bioma sugere que análises estatísticas multivariadas sejam feitas. De modo freqüente as mais usadas são análises de correlação, análises baseadas em superfície de tendência (DARGIE, 1984, 1987), análise de agrupamento (EDIVANE; SCHIAVIVI, 2002), e análise de regressão (FLORINSKY; KURYAKOVA, 1996). Especificamente, quando se deseja investigar as relações entre uma variável qualitativa, tipos vegetacionais, por exemplo, e variáveis numéricas como as variáveis topográficas, a técnica de análise mais apropriada é a análise discriminante (HAIR Jr. et al., 1995). Tal análise utilizaria de combinações lineares das variáveis morfométricas, para discriminar o melhor entre os grupos vegetacionais previamente selecionados.

De acordo com Hair Jr. et al. (1995) o objetivo principal da análise discriminante consiste em estimar a relação entre a única variável dependente não métrica (categórica) e um conjunto de variáveis métricas independentes.

A técnica da análise discriminante múltipla se utiliza de combinações lineares das variáveis independentes, para discriminar o melhor entre os grupos previamente selecionados. Esta discriminação é obtida com a atribuição de pesos às variáveis de forma a maximizar a variância relativa entre os grupos. A combinação linear obtida com a análise é chamada função discriminante.

Essa técnica pode ser indicada para testes estatísticos de hipóteses. O procedimento começa com a atribuição de valores a cada um dos indivíduos através da função discriminante. Com os valores dos indivíduos de um mesmo grupo, é possível obter a média do grupo. Este valor médio é chamado de centróide do grupo. A comparação dos centróides de grupos existentes traz a orientação de quão longe estão um do outro em relação à dimensão que está sendo testada (MANLY, 1994). Uma grande sobreposição

entre os grupos sugere a obtenção de uma pobre função discriminante. Por outro lado, grupos bastante distintos (com pouca sobreposição) sugerem a possibilidade de uma boa função discriminante.

Hair Jr. et al. (1995) define que para dois grupos representantes da variável dependente (por exemplo, grande e pequeno), extrai-se uma função discriminante. Para dois grupos serão duas as funções discriminantes extraídas, e assim por diante. Ou seja, existirão sempre  $n-1$  funções discriminantes para  $n$  grupos.

Depois de estimada uma função discriminante, ela deve ser interpretada. Este estágio revela a importância relativa de cada variável independente na discriminação dos grupos.

Green (1978) descreve que antes de tentar interpretar a função discriminante, o analista cuidadoso deverá checar sua significância estatística. Tipicamente a investigação é conduzida através da aplicação de testes de significância estatística da estatística  $D^2$  de Mahalanobis, que é uma medida quadrática similar a medida euclidiana de distância padrão. Mais particularmente ela mede a distância de cada caso à média do grupo. Normalmente a estatística  $F$  do teste de significância da estatística  $D^2$  é comumente disponibilizada pela maioria dos pacotes estatísticos.

## **2.6 Dados de Vegetação**

Para análise da relação entre vegetação e variáveis morfométricas, foram selecionadas áreas pertencentes a diferentes biomas brasileiros. A seguir, são apresentadas características gerais destes biomas, assim como das áreas selecionadas para as quais os mapas de vegetação são disponíveis.

### **2.6.1 Bioma Caatinga**

A Caatinga caracteriza-se por apresentar uma grande diversidade de paisagens, além de ser um dos menos conhecidos e mais complexos biomas brasileiros. A Reserva Particular do Patrimônio Natural de Serra das Almas foi selecionada para representá-la, no presente estudo.

Esta área abrange a Área Prioritária n.6 do PPBIO (Programa de Pesquisa em Biodiversidade do Semi-Árido) e foi criada em 1998, com aproximadamente 5.244 hectares, sendo delimitada pelas coordenadas geográficas 05° 00' a 05° 20' S e 40° 48' a 41° 12' W, na fronteira entre os Estados do Piauí e Ceará.

A área é considerada como uma amostra representativa da Ecoregião Complexo Ibiapaba-Araripe e possui alta importância biológica. Ela possui como principais fitofisionomias: Mata Seca, Carrasco, Caatinga Florestada, Caatinga Arbórea, Caatinga Arbórea-arbustiva, Caatinga Herbáceo-Lenhosa (CARVALHO; PINHEIRO JÚNIOR, 2004). Como para algumas áreas não foi feito levantamento florístico, as classes de mapeamentos propostas para designar padrões fitofisionômicos que se destacam nas imagens TM/Landsat por uma resposta marcante diferenciada por uma determinada coloração, foram denominadas Complexos. São eles: Complexo Galeria, Complexo Arbóreo e Complexo Arbóreo-arbustivo. Segue-se a definição de cada uma das classes citadas acima, segundo Carvalho e Pinheiro Júnior (2004).

### **Mata Seca**

Esta classe corresponde, segundo o IBGE (1992), à Floresta Estacional Decidual Montana (Floresta Tropical Caducifólia). Este tipo de vegetação é caracterizado por duas estações climáticas bem demarcadas, uma chuvosa seguida de um longo período biologicamente seco, ocorre na forma de disjunções florestais apresentando o estrato dominante macro ou mesofanerófito predominantemente caducifólio com mais de 50% dos indivíduos despidos de folhagem nos períodos desfavoráveis. Ocupam nessas paisagens os topos elevados, de altitudes variando de 600 a 750 metros, de relevo plano e suave ondulado. As elevadas altitudes, chegando até 750 m, já não atenuam as características semi-áridas do Sertão, com as temperaturas mantendo-se elevadas, variando de 25 a 27°C. Mas a precipitação aumenta, dominando um clima sub-úmido seco, com precipitações médias anuais variando de 800 a 1000 mm.

Nestes ambientes predominam os latossolos profundos, ácidos, em geral arenosos com baixa fertilidade natural e muito bem drenados (LVa- Latossolo Vermelho-Amarelo álico).

## **Carrasco**

De acordo com Araújo (1998), trata-se de uma vegetação arbustiva densa caducifólia não espinhosa. Nela se encontram a faveira, o angico, a pitombeira, o jatobá, a catingueira e o sabiá entre outras. O xique-xique e o caroá aparecem como subarbustos. Este tipo vegetacional ocorre em ambientes mais arenosos e secos.

Na área da Serra das Almas, ocupa uma pequena parte da Paisagem da Depressão Sertaneja Setentrional. Nesta paisagem o Carrasco ocupa as superfícies pediplanadas altas, com altitudes variando de 400 a 650 m, de relevo plano a suavemente ondulado. Deve estar submetida a uma condição de transição climática, com precipitações médias anuais em torno de 850 mm.

Neste ambiente predominam os solos arenosos profundos, excessivamente drenados, álicos e com fertilidade natural baixa (Areias Quartzosas álicas- AQa4 e AQa10), associado ao Latossolo Vermelho-Amarelo álico (LVa).

## **Caatinga Florestada**

Esta classe corresponde ao contato Savana-Estépica/Floresta Estacional-ecótono definido pelo IBGE (1992). Trata-se de uma vegetação de transição, ou seja, entre duas ou mais regiões ecológicas ou tipos de vegetação, existem sempre, ou pelo menos na maioria das vezes, comunidades indiferenciadas onde as floras se interpenetram constituindo as transições florísticas ou contatos edáficos.

De acordo com o IBGE e Governo do Estado do Ceará (1973), este tipo de cobertura vegetal obedece a um escalonamento de acordo com o nível em que se situa, ocorrendo pelo menos duas sinécias, cuja transição se verifica onde a caatinga desaparece e começa a mata tropical.

Na Área das Serras das Almas, a borda mais oriental da Paisagem das Chapadas Intermediárias e Baixas, a Caatinga Florestada ocupa uma estreita faixa. Na Paisagem das Chapadas Intermediárias e Baixas ocupa um modelo de dissecação aguçada intermediária, com altitudes variando de 400 a 700 m, de relevo fortemente ondulado e montanhoso. Segundo as condições de transição climática, pode-se dizer que as

precipitações anuais variam de 800 a 1000 mm. Neste tipo de ambiente ocorre uma associação de três tipos de solo pouco desenvolvidos e rasos. Nas partes intermediárias, de declives menos abruptos e relevos menos acidentados (suave ondulado a ondulado), apresentam-se o que pode se considerar o mais característico, os solos Podzólicos Vermelho-Amarelo eutróficos (PE), com argila de atividade fraca, horizonte A moderado, textura média/argilosa. Nos relevos mais acidentados (fortemente ondulados a montanhosas), aparecem os solos Litólicos eutróficos (RE), com horizonte A moderado, textura arenosa a média, fase pedregosa e rochosa, associados aos Afloramentos Rochosos (AR).

### **Caatinga Arbórea**

Esta classe corresponde à Savana-Estépica do IBGE (1992). Trata-se de um subgrupo de formação caracterizado por micro e/ou nanofanerófitos, com média de 5 m, excepcionalmente ultrapassando os 7 m de altura, mais ou menos, com grossos troncos e engalhamento bastante ramificado em geral provido de espinhos e/ou acúleos, com total decidualidade na época desfavorável.

Em Serra das Almas, ocupa uma pequena parte da Paisagem da Depressão Sertaneja Setentrional e da Paisagem das Chapadas Intermediárias e Baixas. Nesta paisagem é encontrada em modelos de Dissecação Tabular Baixo, com altitudes bastante variadas, de 300 até 600 m e relevos ondulados a fortemente ondulados.

Para este tipo de vegetação o clima varia desde um clima Subúmido úmido com precipitações médias anuais de mais de 1000 mm, passando pelo Semi-árido atenuado com precipitações médias anuais variando de 750 a 800 mm, até o Semi-árido moderado com precipitações médias anuais variando de 500 a 750 mm.

A mesma variabilidade pode ser observada quando se considera as demais características ambientais. Começando pelos diferentes substratos geológicos que sob essas diferenças climáticas geram diferentes formas de relevo, que variam de plano ao ondulado e modelos dissecados a aplainados, com altitudes de 300 a 500 m. Bem como tipos de solos, como os Podzólicos Vermelho-Amarelo, Areias Quartzosas, Latossolo Vermelho-Amarelo e Solonets Solodizados.

### **Caatinga Abóreo-arbustiva**

Esta classe corresponde à Savana-Estépica Arborizada do IBGE (1992). Este subgrupo de formação apresenta as mesmas características de florísticas da fisionomia ecológica anterior, porém os indivíduos que o compõem são mais baixos, existindo clarões entre eles.

Possui amplos interflúvios e baixo grau de aprofundamento de drenagem, com altitudes variando de 200 a 300 m e relevos planos a suave ondulados. Este tipo vegetacional domina num clima Semi-árido moderado com chuvas de verão-outono e 7 a 8 meses secos. Os tipos de solo variam bastante, desde Areias Quartzosas, Planossolos Solódicos, Ragassolos e Bruno não cálcicos, que se tornam os principais fatores limitantes para o uso da terra, junto com o clima dominante.

### **Caatinga Herbáceo-lenhosa**

Esta classe corresponde à Savana-Etépica Parque do IBGE (1992). Este subgrupo de formação é o que apresenta características fisionômicas mais típicas, com nanofanerófitos de um mesmo ecótipo bastante espaçados, como se fossem plantados, isto porque apresentam uma pseudo-ordenação de plantas lenhosas raquíticas sobre denso tapete gramíneo-lenhoso de hemicriptófitos e caméfitos. Possui relevos planos a suavemente ondulados, e altitudes variando de 200 a 300 m. Este tipo vegetacional domina num clima Sub-úmido com chuvas de verão-outono e 7 meses secos. Estas condições ambientais geraram solos do tipo Areias Quartzosas álicas, que por suas características se tornam o principal fator limitante para o uso da terra.

### **Complexo Galeria**

Essa classe de mapeamento foi proposta para designar todo um complexo fisionômico que se destaca nas imagens TM/Landsat por uma resposta marcante diferenciada por sua coloração verde-intenso na composição colorida normal empregada, indicando uma alta resposta no infravermelho próximo. Esta tonalidade indica uma cobertura vegetal verde, com folhagem total ou parcial na época seca, estando associada às áreas de várzeas, acompanhando alguns cursos d'água, geralmente os mais caudalosos.

### **Complexo Arbóreo**

Semelhante a classe anterior, propôs-se aqui esta denominação para abarcar um padrão complexo que se destaca nas imagens TM/Landsat por uma resposta regular associando áreas escuras (sombreadas), áreas com verde-escuro e com verde-claro. De acordo com informações bibliográficas, neste ambiente deve predominar uma Caatinga Arbórea (Savana-Estépica Florestada), porém de acordo com o RADAMBRASIL (1981) pode-se supor que floristicamente é semelhante à Estepe Arbórea Densa.

Como não foi possível amostrar a unidade de mapeamento, para confirmar estas considerações, preferiu-se empregar esta nomenclatura.

Suas altitudes variam rapidamente de cerca de 300 a 600 m com interflúvios de pequena amplitude e de mediana intensidade de aprofundamento de drenagem. Neles devem predominar o clima tropical megatérmico semi-árido atenuado com chuvas de verão-outono e 7 meses secos. Onde dominam os Solos Litólicos álicos, fase pedregosa e rochos.

### **Complexo Arbóreo-arbustivo**

Na imagem TM/Landsat possui uma resposta singular de tonalidade subentendendo muito afloramento de solo e/ou rocha nua. Segundo IBGE (1992) corresponde a formação Savana Estépica Arborizada (Caatinga Arbórea-arbustiva).

Esses ambientes ocupam parte do Modelado das Formas Erosivas, com relevos planos a suavemente ondulados, onde as altitudes variam de cerca de 220 a 300 m. Neles deve predominar um clima megatérmico sub-úmido úmido com chuva de verão-outono e 7 meses secos, onde dominam Areias Quartzosas álicas.

### **2.6.2 Bioma Amazônia**

O Bioma Amazônia está situado na porção centro-norte do Brasil, é cortado pela linha equatorial e, portanto, compreendido em áreas de baixas latitudes. O clima é do tipo equatorial, quente e úmido, com a temperatura variando pouco durante o ano, em torno

de 26°C, com períodos de chuva provocados em grande parte pelo vapor d'água trazido do leste pelos ventos.

A maioria dos 7 milhões de km<sup>2</sup> da Floresta Amazônica é constituída por uma floresta de terra firme. Esta é uma floresta que nunca é alagada e se espalha sobre uma grande planície de até 130-200 m de altitude, até os sopés das montanhas. A grande planície corresponde aos sedimentos deixados pelo lago "Belterra", que ocupou a maior parte da bacia Amazônica durante o Mioceno e o Plioceno, entre 25 mil e 1,8 milhão de anos atrás. O silte e as argilas depositados neste antigo lago foram submetidos a um suave movimento de elevação epirogenético, enquanto os Andes se ergueram e os modernos rios começaram a cavar os seus leitos. Assim, surgiram os três tipos de florestas amazônicas: as florestas montanhosas Andinas, as florestas de terra firme e as florestas fluviais alagadas, as duas últimas na Amazônia brasileira. A Amazônia brasileira compreende aproximadamente 3.581 km<sup>2</sup>, o que equivale a 42,07% do país (Fonseca & Dov, 2000). Como representantes deste bioma foram selecionadas áreas de estudo com diferentes tamanhos e classes de vegetação: a Microbacia do Igarapé Asu, que cobre aproximadamente 10 km<sup>2</sup> e o Parque Nacional dos Campos Amazônicos, que cobre aproximadamente 300 km<sup>2</sup>.

#### **2.6.2.1 Microbacia do Igarapé Asu**

A microbacia do Igarapé Asu, pertencente à bacia do Rio Negro, possui tipos de vegetação que se diferenciam principalmente pela altura e densidade de indivíduos. A floresta de alto platô é a floresta densa com árvores emergentes, ao passo que a floresta de campinarana apresenta-se mais baixa e com densidade menor de indivíduos (AYRES, 1993). A condição topográfica pode induzir à ocorrência de cheias e a presença de formações vegetais mais baixas e menos densas, em constante estágio de sucessão (WHITTMANN et al., 2002). De modo geral, os principais tipos de vegetação encontrados na área são:

#### **Floresta de Platô Alto**

As florestas de terra firme cobrem planaltos e florestas de encosta e são áreas com dossel mais fechado, solos bem drenados em qualquer época do ano, e que são

inundadas por rios e fluxos pequenos de água. Estas florestas são dominadas por árvores grandes e caracterizam-se por estrutura vertical bem desenvolvida e diversidade de espécies arbóreas muito altas em relação às florestas sazonalmente inundadas (PRANCE et al., 1976).

### **Floresta de Baixio**

Os baixios são definidos como florestas que inundam sazonalmente no período de novembro-março e/ou que sofrem influência direta dos igarapés. Estas florestas devido à topografia possuem lençol freático mais superficial, que em épocas chuvosas, aflorando e inundando essas áreas. Além disso, apresentam dossel mais aberto em relação às florestas de terra firme (LAMOTTE, 1990), pela predominância de palmeiras arborescentes e uma grande abundância de palmeiras no sub-bosque.

### **Floresta de Platô Baixo com campinarana**

A Campinarana ocorre entre a floresta de terra firme e a Floresta de Baixio, daí a denominação Floresta de Platô Baixo com campinarana. Fisionomicamente caracteriza-se por um dossel de árvores de porte menor que as do platô, com alta densidade de epífitas. Desenvolve-se sobre solo arenoso, coberto por uma camada de serrapilheira, entremeada com um denso tapete de raízes.

#### **2.6.2.2 Parque Nacional dos Campos Amazônicos**

O Parque Nacional dos Campos Amazônicos, criado em 21/06/2006, possui 876 mil hectares e se localiza nos estados do Amazonas, Rondônia e Mato Grosso, abrangendo trechos dos rios Roosevelt, Guaribas, Branco, Madeirinha e Ji-Paraná.

O Parque protege uma enorme variedade de ecossistemas, incluindo diferentes formações florestais, bem como uma das maiores manchas de Cerrado - os "campos" - de toda Amazônia. A paisagem dos Cerrados/savanas é composta por campos sujos, campos limpos e Cerrados propriamente ditos. Matas de galeria são encontradas ao longo dos rios e riachos que cortam a savana. O solo dos Cerrados da região é arenoso e raso, de baixa fertilidade, muito suscetíveis à erosão.

Nas demais áreas do Parque existem florestas abertas e densas. A Floresta Ombrófila Densa de modo geral apresenta dossel fechado, compacto, com altura entre 25 e 35 m, do qual sobressaem as árvores emergentes, atingindo até 40 m. A Floresta Ombrófila Aberta é caracterizada fisionalmente pela presença de grandes árvores espaçadas, possibilitando a penetração de luz. Esta diversidade de habitats em uma mesma região condiciona a ocorrência de diversas espécies. O Parque Nacional incorpora regiões consideradas de prioridade extremamente alta para a conservação da biodiversidade da Amazônia (WEBVENTURE, 2001).

Quanto aos solos, de modo geral os mais encontrados na região são os solos aluviais, Latossolo Vermelho amarelo, Podzólico Vermelho Amarelo, Laterita Hidromórfica e o Podzol Hidromórfico.

A área selecionada abrange as cartas topográficas 1:250.000 SB-20-Y-C (Labrea) e SB-20-Y-D (Humaitá), descritas no volume 17 – Purus – do Projeto RADAMBRASIL (1978). Os principais tipos de vegetação abrigados pelo Parque Nacional dos Campos Amazônicos são descritos abaixo, com informações do Projeto RADAMBRASIL (1978):

### **Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas**

Formação que apresenta agrupamentos de árvores emergentes nas elevações mais pronunciadas dos interflúvios, como o argelim-da-mata (*Hymenolobium petraeum*), argelim-de-pedra (*Dinizia excelsa*), tauari (*Couratari spp.*), castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa*) entre outras. É significativa a presença de palmeiras que competem por luz no estrato arbóreo superior: babaçu (*Orbygnia spp.*), patauá (*Oenocarpus bataua*), açáí (*Euterpe spp.*), ocorrendo preferencialmente nos locais mais úmidos.

### **Floresta Ombrófila Densa Aluvial**

Formação característica das áreas inundáveis pelas cheias sazonais, ecologicamente adaptados às intensas variações do nível da água, entretanto, beneficia-se da renovação regular do solo decorrente das enchentes periódicas. Não constitui ambiente clímax.

Durante a época das cheias, existe uma diminuição das atividades biológicas (dormência e seca fisiológica), quando ocorrem inundações prolongadas. A sumaúma (*Ceiba pentandra*), provida de enormes raízes tabulares, é a representante mais expressiva neste grupo de formação. Apresenta também muitas palmeiras no estrato intermediário.

### **Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas**

Formação característica por feição mista de palmeiras e árvores latifoliadas, sempre verdes e bem espaçadas, de altura irregular (entre 15 e 25m), com grupamentos de babaçu (*Orbygnia sp.*) e patauá (*Oenocarpus bataua*), principalmente nos interflúvios do Terciário. Nos vales de fundo chato, de encharcamento constante ocorre concentração de buriti (*Mauritia flexuosa*), em povoamento puro.

### **Floresta Ombrófila Aberta Aluvial**

É uma formação arbórea com palmeiras que ocupa principalmente as planícies e terraços dos rios Madeira, Purus, Coari e Tefé. Característico de regiões inundáveis pelas cheias sazonais, ecologicamente adaptado às intensas variações do nível da água, beneficiá-se da renovação do solo decorrentes das enchentes periódicas.

### **Savana Gramíneo-Lenhosa**

Prevalecem nesta fisionomia, quando natural, os gramados entremeados por plantas lenhosas raquíticas, que ocupam extensas áreas dominadas por hemicriptófitos e que, aos poucos, quando manejadas através do fogo ou pastoreio, vão sendo substituídas por geófitos que se distinguem por apresentarem colmos subterrâneos, portanto, mais resistentes ao pisoteio do gado ao fogo.

### **Savana Parque**

Formação com características fisionômicas mais típicas, com nanofanerófitos (plantas lenhosas que vivem longos anos com suas gemas a menos de 3 m) de um mesmo ecótipo bastante espaçados, isto porque apresentam uma pseudo-ordenação de plantas lenhosas raquíticas sobre denso tapete gramíneo lenhoso de hemicriptófitos (plantas herbáceas com gemas embaixo da superfície do solo, ou imediatamente abaixo) e

caméfitos (plantas herbáceas ou lenhosas que vivem longos anos com suas gemas acima do solo pelo menos a 25 cm de altura).

### **Formações Pioneiras**

São formações em fase de sucessão (hidrossere), encontradas em ambientes de solos sazonais, que se situam ao longo dos rios e em locais deprimidos dos interflúvios tabulares do Terciário ou dispersas no interior das florestas Densa e/ou Aberta. As comunidades ribeirinhas são constituídas de um maior número de espécies hidrófitas, enquanto aquelas mais distantes possuem um maior número de espécies mesófitas e higrófitas. Os líquens, por exemplo, são mais abundantes nos ambientes mais distantes dos cursos de água. Estas formações ocupam áreas de influência aluvial (planícies e terraços) e de influência pluvial (depressões nos interflúvios).

### **2.6.3 Bioma Cerrado**

Segundo Coutinho (2000), o Bioma Cerrado apresenta-se como um mosaico de formas fisionômicas ora manifestando-se como Campo Sujo, ora como Cerradão, ora como Cerrado *sensu strictu* ou Campo Limpo. Este mosaico é determinado pelo mosaico de manchas de solo pouco mais pobres ou pouco menos pobres, pela irregularidade dos regimes, características de queimada de cada local (frequência, época, intensidade) e ação humana.

De um modo geral, podemos distinguir dois estratos na vegetação dos Cerrados: o estrato lenhoso, constituído por árvores e arbustos, e o estrato herbáceo, formado por ervas e subarbustos. Ambos são curiosamente heliófilos. Ao contrário do caso de uma floresta, o estrato herbáceo não é formado por espécies de sombra, ombrófilas, dependentes do estrato lenhoso. O sombreamento lhe faz mal, prejudica seu crescimento e desenvolvimento. O adensamento da vegetação lenhosa acaba por eliminar em grande parte o estrato herbáceo. Por assim dizer, estes dois estratos se antagonizam. Por esta razão entende-se que as formas intermediárias de Cerrado - Campo Sujo, Campo Cerrado e Cerrado *sensu strictu* – apresentam-se como verdadeiros ecótonos, onde a vegetação herbácea/subarbusciva e a vegetação arbórea/arbustiva estão em intensa

competição, procurando, cada qual, ocupar aquele espaço de forma independente, individual.

Como representante deste bioma foi selecionada a área do Parque Nacional de Brasília, localizado entre as coordenadas 15°45' a 15°33' S e 48°6' a 47°50' W. Esta área possui uma extensão aproximada de 30 mil hectares, sendo a unidade de conservação de maior destaque no Distrito Federal. Tal importância se deve à presença de inúmeras espécies representativas da fauna e flora do bioma Cerrado, assim como importantes mananciais hídricos.

Segundo a carta climática do Distrito Federal, a região do Parque Nacional de Brasília está submetida a dois tipos de clima, de acordo com a temperatura local (Koppen): o Cwa, tropical de altitude com temperatura do mês mais frio a 18°C, e a média do mês mais quente superior a 22°C (cotas altimétricas de 1.000 a 1.200 m); e o Cwb, tropical de altitude com temperatura do mês mais frio inferior a 18°C, e média do mês mais quente inferior a 22°C (cotas altimétricas acima de 1.200 m). A ocorrência de chuvas se dá nos meses de outubro a março, com máxima de dezembro a agosto. Entre os meses de abril a setembro ocorre a época seca, sendo que, os meses mais críticos são junho e julho.

Os principais tipos de solos encontrados no PNB são os Latossolos Vermelho-Escuro e Vermelho-Amarelo (cerca de 38%), os Cambissolos (cerca de 22%) e os Solos Hidromórficos (RAMOS, 1995). Os demais grupos, como Podzólicos hidromórficos, aparecem em trechos isolados. Os Latossolos são solos profundos, caracterizados por uma textura argilosa ou média, porosos e bastante permeáveis. No Cerrado em geral, o estrato arbóreo está mais associado às áreas com um relevo plano a suavemente ondulado, encontrando-se fitofisionomias como Cerradão, Cerrado *sensu strictu* e o Campo Cerrado (GUIMARÃES, 2000). Já os Cambissolos são pouco desenvolvidos, com baixa fertilidade e facilmente intemperizados. No PNB esse tipo de solo favorece o desenvolvimento de fisionomias do estrato herbáceo-arbustivo, como as classes Campo Limpo e Campo Sujo, por exemplo. Os solos hidromórficos, por sua vez, são observados em torno de drenagens ou pequenos córregos, estando associados ao afloramento do lençol freático. A vegetação nesse solo é marcada principalmente pela

presença de campos com Murunduns associada com outras classes de Cerrado, tal como Campo Limpo, Campo Limpo Úmido e Campo Sujo.

No Parque Nacional de Brasília estão reunidas as principais fitofisionomias do bioma Cerrado, subdivididas em três estratos vegetacionais, de acordo com a classificação definida por Ribeiro e Walter (1998): Campo Limpo e Campo Sujo (estrato herbáceo arbustivo); Campo Cerrado e Cerrado *sensu strictu* (estrato arborescente); e Mata de Galeria (estrato arbóreo). O Cerradão, classe pertencente ao estrato arbóreo do Cerrado, não é encontrado no parque. Porém, segundo Ferreira (2003) é possível, ainda, se distinguir nesse ambiente o Campo Limpo Úmido, Campo Limpo com Murundum, Campo úmido, Campo Cerrado com Trembléias, Campo Sujo com presença de *Lychnophora ericoides* (amica) e “canela de ema”, Mata de Interflúvio e Brejo. As características de algumas destas feições fitofisionômicas seguem-se abaixo. Seguem-se a definição destas classes, segundo SEMARH (2000).

### **Cerrado *sensu strictu***

Formação savânica que tem como característica de destaque uma camada arbórea descontínua atingindo os 8 m de altura, excepcionalmente mais alta, cobrindo de 10 a 60% da superfície e um estrato herbáceo-arbustivo bastante diversificado com cobertura de até 95%.

### **Campo Cerrado**

Forma intermediária de vegetação entre o Cerrado *sensu strictu* e o Campo Sujo, sendo a de maior ocorrência no Distrito Federal. Seu dossel atinge em média 10% de cobertura com árvores de mais ou menos 3 m de altura, bem espalhadas, algumas espécies atingindo, excepcionalmente, os 10 m, como a gomeira – *Vochysia thyrsoidea*. Às vezes ocorre alta densidade de herbáceas com destaque para as gramíneas.

### **Campo Sujo**

A cobertura por arbustos e subarbustos é mínima, sempre com altura inferior a 3 m, em meio à densa camada graminosa de até 1 m. Os arbustos e subarbustos têm caules

relativamente finos, geralmente morrem a cada ano, sendo continuamente renovados a partir de brotações da base lenhosa.

### **Campo Limpo**

Forma de vegetação predominantemente herbácea, com raros arbustos e ausência completa de árvores, com destaque para gramíneas que medem de 0,3 m a 1 m. Os campos usualmente se situam sobre solos arenosos, rasos e duros, nos quais ocorre uma real deficiência de água durante os meses secos. Podem chegar a recobrir a totalidade das chapadas arenosas, topos e encostas dos morros.

### **Campo Limpo Úmido**

Situa-se sobre solo inclinado nas encostas dos vales. Normalmente o lençol freático permanece na superfície durante parte do ano e no período de seca, sofre um rebaixamento, em que as camadas sub-superficiais mantêm o encharcamento do solo. Possui estrato herbáceo, predominantemente graminoso.

### **Campo Limpo com Murundum**

Ocorre em terreno pouco inclinado, com ilhas de Campo Limpo, arredondadas e um pouco mais altas, com cerca de 1 a 10 m de diâmetro por alguns decímetros de altura. Os murunduns são formados por erosão diferencial do terreno e deposição de terra por térmitas, recobertos por vegetação de Cerrado e o solo permanentemente saturado de água entre os murunduns.

### **Brejo**

A vegetação herbáceo-arbustiva das áreas Brejosas forma comunidades que ocupam as planícies permanentemente encharcadas, sem ocorrência do buriti (*Mauritia flexuosa*), que freqüentemente surge nas bordas das matas ciliares dos vales rasos da região do Cerrado. A característica marcante é o nível da água sempre acima do solo, embora haja variações durante o ano. No Distrito Federal, ocorrem basicamente três tipos de Brejo: Brejo graminoso, Brejo de piúna (*Ludwigia brachyphyla*) e Brejo de taboa (*Typha dominguensis*).

## **Mata de Galeria**

Segundo Ribeiro e Walter (1998), consiste na vegetação florestal que acompanha os cursos d'água de pequeno porte dos planaltos do Brasil Central, formando corredores fechados (galeria). Geralmente localizada nos fundos dos vales ou nas cabeceiras de drenagem, não apresenta caducifólia durante a estação seca. O estrato arbóreo varia entre 20 a 30 m, ocorrendo a superposição das copas, com fechamento do dossel entre 70 a 95%.

Os solos são geralmente Cambissolos, Plintossolos, Podzólicos, Hidromórficos ou Aluviais. Além disso, de acordo com a composição florística e características ambientais, como topografia e variação na altura do lençol freático ao longo do ano, a Mata de Galeria pode ser de dois subtipos: Mata de Galeria não inundável e Mata de Galeria inundável (temporariamente inundada).

## **Mata de Interflúvio**

Formações que ocorrem em lugares com umidade suficiente para um amplo desenvolvimento vegetativo. Em função do tipo e, principalmente, da profundidade do solo, esse tipo de mata apresenta níveis diferentes de caducifólia. A mata calcária é decídua e ocorre sobre a rocha calcária. A semidecídua é a de ocorrência mais comum, e a mata sempre-verde se desenvolve sobre solos de maior fertilidade, profundidade maior e melhores condições de umidade.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Detalhamento do fluxo de trabalho

O objetivo geral da pesquisa pressupõe o atendimento de metas, das quais depende o sucesso do primeiro. Pode-se desdobrar os objetivos em sub-etapas sucessivas, de modo a se individualizarem as atividades de trabalho (Figura 3.1).

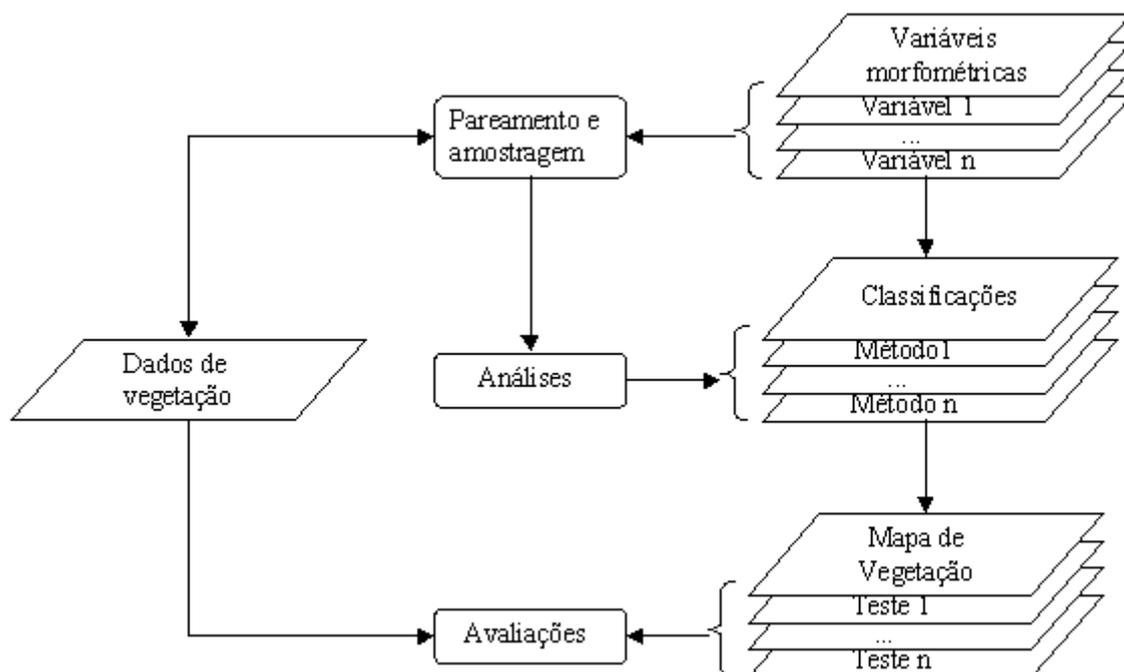


Figura 3.1 – Fluxo de atividades

Assim, a realização deste trabalho requer:

- a) Coleta e estruturação dos dados.
- b) Análises.
- c) Testes de aplicação.

Estas etapas podem ser divididas nas seguintes atividades:

a1) Coleta e estruturação de dados vegetacionais: foram procurados mapas de vegetação natural nos biomas estudados, selecionando-se as áreas de estudo em função dos mapeamentos disponíveis. Encontrados em formato digital, os mapas demandaram um

esforço de pré-processamento para o armazenamento compatível com as especificações dos dados topográficos.

a2) Obtenção dos dados topográficos: os dados SRTM das áreas selecionadas foram processados para sua derivação em variáveis geomorfométricas, estruturadas em planos de informação compatíveis com os dados de vegetação.

b1) Apreciação dos dados: os dados foram confeccionados, para observação conjunta aos mapas de vegetação, mapas das variáveis geomorfométricas, cujas distribuições foram observadas em histogramas das diferentes áreas em cada classe de vegetação.

b2) Análises estatísticas: as análises estatísticas tabulares foram empregadas fora do ambiente de SIG (Sistema de Informação Geográfica). Para avaliar as variáveis geomorfométricas como preditoras dos diferentes tipos vegetacionais, foram aplicadas análises discriminantes.

c) Testes de aplicação: baseado nos resultados das etapas anteriores, uma série de processamentos foi aplicada aos planos de informação geomorfométrica para avaliação de seu potencial no mapeamento da vegetação.

## **3.2 Recursos**

### **3.2.1 As áreas de estudo**

Tendo em vista os objetivos da pesquisa, buscou-se selecionar áreas com diversidade topográfica e vegetacional e que dispusessem de mapeamento da vegetação. Assim, foram aventadas potenciais áreas de estudo em diferentes biomas (Figura 3.2).

A seleção definitiva das áreas foi feita após uma avaliação dos mapas encontrados, em que se buscaram as condições de escala (geométrica e temática) e confiabilidade mais adequadas para esta pesquisa. Diante disso, a Reserva Particular do Patrimônio Natural de Serra das Almas (Piauí/Ceará) foi selecionada como representante do Bioma Caatinga, o Parque Nacional de Brasília (Brasília) como representante do Cerrado, o Parque Nacional dos Campos Amazônicos (Amazônia) e a Microbacia do Igarapé Asu (Amazônia) como representantes da Floresta Amazônica. Com uma área relativamente

pequena e com feições distintas do Parque Nacional dos Campos Amazônicos, esta microbacia foi selecionada para observar os efeitos da topografia no estabelecimento da vegetação em escala detalhada. A descrição da vegetação de cada uma destas áreas, bem como das principais características biofísicas do terreno que as abriga, encontram-se no item 2.4.

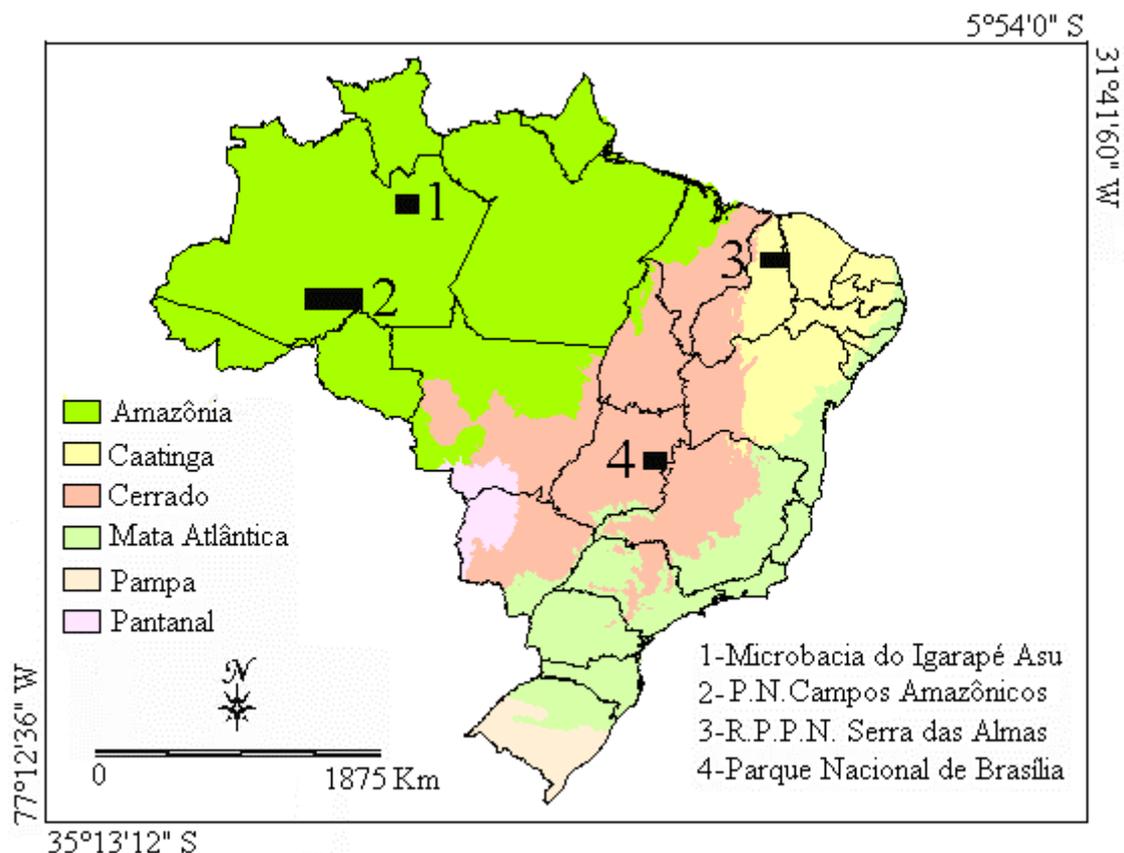


Figura 3.2 – Localização das áreas de estudo

FONTE : Mapa dos Biomas Brasileiros, IBGE - 2003

### 3.2.2 Dados de vegetação

Os dados de vegetação se referem aos seguintes mapeamentos:

- a) Reserva Particular do Patrimônio Natural de Serra das Almas - mapa da vegetação na escala de 1:100.000, de Carvalho e Pinheiro-Júnior (2004), obtido pela identificação de cada classe vegetacional nas imagens orbitais TM/Landsat, através de uma abordagem integrada, usando o processo de classificação por

segmentação por regiões, interpretação visual e caracterização florísticofisionômica em campo. As classes temáticas que não puderam ser identificadas no campo e que apresentaram padrões individualizados nas imagens orbitais receberam uma denominação diferenciadora como Complexos vegetais.

- b) Parque Nacional de Brasília – mapa de vegetação na escala de 1:10.000, de Ferreira (2003), gerado a partir da atualização de um mapa de vegetação pré-existente. Esta atualização foi feita a partir da aplicação de um modelo linear de mistura sobre uma cena do ETM+/Landsat e emprego de cenas IKONOS II de porções da parte leste e oeste da área.
- c) Microbacia do Igarapé Asu: mapa de vegetação em escala 1:10.000 foi fornecido pelo grupo de pesquisa Biodiversidade – Zoneamento Ecológico Econômico, coordenado por Jasen Zunon (INPA). Para a construção do mapa de vegetação foi utilizada a imagem TM/Landsat. As áreas dos platôs com as cotas mais altas (cotas acima de 61 m) e mais baixas (cotas de 0 a 60 m) foram extraídas das imagens do SRTM. Ressalta-se que para extrair as áreas de baixios foi utilizada a camada da hidrografia do IBGE, utilizando-se uma zona (buffer) de 50 m para cada lado dos igarapés.
- d) Parque Nacional dos Campos Amazônicos: mapa de vegetação em escala de 1:250.000 do RADAMBRASIL (1981), digitalizados pelo SIPAM (Sistema de Proteção da Amazônia).

### **3.2.3 Dados topográficos**

Os dados topográficos provieram de experimentos e testes em torno da construção de banco de dados geomorfométricos (TOPODATA – VALERIANO, 2005). Conforme os procedimentos estabelecidos nesta iniciativa, os dados SRTM das áreas selecionadas foram refinados de 3” para 1” com krigagem (VALERIANO, 2004) e em seguida derivados em variáveis geomorfométricas através de diferentes operações de vizinhança (VALERIANO et al., 2006). Os dados SRTM usados correspondem àqueles originalmente disponibilizados para a América do Sul em meados de 2003, conhecidos como “versão 1”. Os procedimentos adotados não alteram as especificações

cartográficas dos dados originais, coordenadas em latitude/longitude, não-projetadas. Como resultados foram obtidos os planos de informação de declividade, orientação de vertentes, curvatura vertical e curvatura horizontal, além da própria elevação, para cada área de estudo.

### 3.2.4 Especificação dos equipamentos utilizados

Os principais programas utilizados no trabalho foi o Idrisi versão 2.0 (EASTMAN, 1995) para geoprocessamento e o Statistic 6.0, para as análises estatísticas. Enquanto o cerne do geoprocessamento foi conduzido em Idrisi, outros SIGs se fizeram necessários para o pré-processamento, sobretudo durante a compatibilização das diferentes fontes de dados de vegetação.

## 3.3 Procedimentos

### 3.3.1 Compatibilização e pareamento dos dados

Após a seleção dos mapas de vegetação dentro dos requisitos necessários foi feita a migração e a compatibilização destes dados com os dados geomorfométricos. Este passo foi feito através de operações de exportação e importação de imagem (*raster*) entre os diferentes SIGs, em função das diferentes modalidades de conversão requeridas e das diferentes possibilidades de cada SIG. Após todo o trabalho de conversões, os dados foram definitivamente armazenados em Idrisi, onde foram realizadas as manipulações finais de preparo (geometria, resolução e posicionamento), assim como todo o processamento a partir de então. A estrutura definitiva de armazenamento dos dados em cada área de estudo está especificada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Geometria dos planos de informação armazenados.

Área	x <sub>mín</sub> (°)	y <sub>mín</sub> (°)	x <sub>máx</sub> (°)	y <sub>máx</sub> (°)	n°col.*	n°lin*
RPPNA	40°48'29"	5°0'31"	41°11'58"	5°17'1"	1410	990
MIA	60°17'6"	2°38'24"	60°10'26"	2°34'5"	400	259
PNCA	66°	8°	63°	7°	10800	3600
PNB	48°6'37"	15°45'5"	47°50'26"	15°33'24"	971	867

(\*) – resolução de 1" ou 0,00027778° (aproximadamente 30 m)

Foi feita uma amostragem das variáveis por classe vegetacional através de programas de lote (*macro*) em SIG. As amostras foram extraídas em esquema aleatório estratificado. Para cada classe foram escolhidos aproximadamente 50 pontos, pois devido a limitações do software não foi possível coletar exatos 50 pontos em alguns casos. O painel amostral assim formado foi aplicado em cada uma das variáveis para extração de amostragens uniformes entre as diferentes classes mapeadas. Os dados amostrados foram pareados em planilhas de acordo com sua posição geográfica e o conteúdo destas planilhas submetido às análises estatísticas.

### **3.3.2 Análise dos resultados**

Os planos de informação armazenados foram editados na forma de mapas uniformizados para uma visualização conjunta dos dados de vegetação e geomorfométricos. Este processo deu suporte a observações gerais como a distribuição de área entre as classes de vegetação, sua associação com o relevo, além de possíveis semelhanças e associações entre diferentes classes. Uma observação mais acurada das condições topográficas vigentes sob cada tipo de vegetação foi feita com histogramas. Foram elaborados histogramas das variáveis geomorfométricas dentro da área de cada classe de vegetação, buscando-se identificar grupos de classes de comportamento semelhantes e variáveis de maior poder indicativo dos mesmos.

A separabilidade estatística das classes de vegetação com base nas variáveis geomorfométricas foi avaliada através de análises discriminantes. A aplicação das análises aos dados fitofisionômicos foi feita após agrupar classes de vegetação com semelhantes estruturas vegetacionais, que no mapa de referência estavam muito particularizadas. Estas análises foram aplicadas, também, dentro dos grupos vegetacionais formados por mais de duas subfisionomias, com o intuito de testar a hipótese segundo a qual as variáveis geomorfométricas seriam preditoras algumas vezes, das subfisionomias vegetais. Para melhorar a linearidade dos dados, estes foram logaritmizados e posteriormente padronizados.

### 3.3.3 Processamentos experimentais

Com vistas a uma avaliação do potencial de aplicação dos dados geomorfométricos no mapeamento da vegetação, foram realizadas algumas manipulações sobre os planos de informação. Embora este processamento fosse aqui direcionado à formação de mapas (experimentais) de vegetação, convém lembrar que tal procedimento não está aventado entre as formas de aplicação da presente pesquisa. Ao contrário, propõe-se que a aplicação dos dados geomorfométricos, seja feita em complementaridade às fontes tradicionalmente utilizadas no mapeamento da vegetação.

Os processamentos experimentados (essencialmente classificações) tiveram como base as observações gerais e os resultados das análises estatísticas.

As análises discriminantes aplicadas sobre as classes vegetacionais reagrupadas, e também, dentro dos grupos que incluíam mais de duas subfisionomias, indicaram quais eram as variáveis geomorfométricas de maior peso na separação dos grupos, bem como quais desses grupos melhor se separavam entre si. A partir das primeiras funções discriminantes, nas quais a maior parte da variação dos dados se concentrava, foram geradas imagens. A avaliação dessas imagens e dos gráficos das funções discriminantes permitiu que os mapas baseados nas primeiras funções fossem gerados a partir de classificações por Fatiamentos. Esses resultados foram editados em mapas experimentais para comparação com os dados de vegetação agrupados sob as novas classes.

Para avaliar o potencial de aplicação dos dados topográficos no mapeamento da vegetação, estes foram aplicados em testes de classificação com recursos básicos de processamento de imagens. Para tanto, foi necessário que os dados estivessem na estrutura típica das imagens de satélite (byte/binário). Para isso foi feito um re-escalamento das variáveis para o intervalo de 0 a 255 (o Idrisi 2.0 exige que o dado esteja nesse formato para a realização das classificações), o que exigiu a seleção de valores extremos para cada variável. Para que o re-escalamento das variáveis fosse consistente sob diferentes condições de relevo, os valores extremos foram tomados após observação de 12 folhas 1:250.000 do Brasil, escolhidas pela presença de relevos

contrastantes entre as áreas já preparadas no TOPODATA. Essas folhas, que englobam terrenos que variam desde escarpas da Serra da Mantiqueira até os relevos deprimidos do Pantanal Matogrossense e da Ilha do Marajó, foram analisadas pelos histogramas de cada variável, procurando-se os valores extremos de suas distribuições. Os máximos e mínimos foram tomados nos valores em que cada curva de distribuição indicasse a frequência de 1% da frequência máxima, independentemente da ocorrência de valores fora desse intervalo. Os valores de declividade foram convertidos de porcentagem para graus antes desta transformação, para que a variável mantivesse proporcionalidade uniforme, no intervalo de 0° a 39°. A orientação de vertentes, originalmente uma variável circular, foi desdobrada nas componentes lineares cosseno (“o quão para norte se orienta”) e seno (“o quão para leste”) e ambas transformadas para byte binário no intervalo de -1 a +1. A curvatura vertical foi transformada no intervalo de -0,155°/m a +0,155°/m e a curvatura horizontal -2,1 %/m a +2,1 %/m. A elevação constitui-se uma exceção a essa padronização e foi transformada usando-se os limites observados localmente. Estas transformações foram feitas essencialmente através da operação de realce de contraste (*stretch*).

Uma vez que este estudo se ateve ao potencial de utilização dos dados topográficos, os testes de classificação apresentados - máxima verossimilhança (*MaxVer*), *Cluster* e Fatiamentos - foram aplicados de modo expedito, através dos recursos disponíveis no SIG. Ressalta-se que o Fatiamento foi feito com base na análise de histogramas verificando pontos onde as classes melhor se separavam.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

O presente capítulo apresenta os resultados em três partes principais. Na primeira parte, os dados preparados para o estudo são apresentados em mapas padronizados para sua observação conjunta. Em seguida, são apresentados os resultados das análises a que se submeteram estes dados, através de tabelas e plotagens dos resultados. Por fim, apresenta-se um conjunto de resultados experimentais, produto de manipulações sobre os planos de informação geomorfométrico, associado à avaliação de cada mapa produzido.

### **4.1 Apreciação dos dados**

A apreciação inicial dos dados consistiu na análise visual das variáveis geomorfométricas e do mapa de vegetação obtidos para cada área em estudo (Figuras 4.1 a 4.4). Nas legendas destas figuras, podem-se observar as faixas de amplitude numérica dos dados topográficos. A RPPNSA (Reserva Particular do Patrimônio Natural de Serra das Almas) apresentou a maior amplitude altimétrica, variando de 180 a 770 m dentro de um intervalo de 590 m, enquanto as demais áreas apresentaram menor variação altimétrica, sendo seu intervalo de apenas 97 m, para cada área. A RPPNSA apresenta também, a maior amplitude de declividade e de curvatura vertical. Com declividade variando de 0 a 98% e curvatura vertical variando na ordem de 0,29, a RPPNSA contrasta com as demais áreas, cujas amplitudes das referidas variáveis são bem menores. A declividade das demais áreas varia em torno de 30%, enquanto a variação da curvatura vertical está na ordem de 0,06; 0,08 e 0,05 representando a MIA (Microbacia do Igarapé Asu), o PNCA (Parque Nacional dos Campos Amazônicos) e o PNB (Parque Nacional de Brasília), respectivamente. Assim, as análises exploratórias indicaram que a maior diferenciação geomorfométrica dentro de cada variável ocorreu na RPPNSA.

Na área da RPPNSA (Figura 4.1), já foi possível verificar a correspondência entre determinados padrões topográficos e algumas classes de vegetação, especialmente entre a classe S\_F e a declividade; entre a classe S\_A e as variáveis elevação, declividade e

curvatura vertical; e entre a classe S\_H e as variáveis orientação de vertente e curvatura horizontal, sendo indicada, levemente, pelas variáveis declividade e elevação.

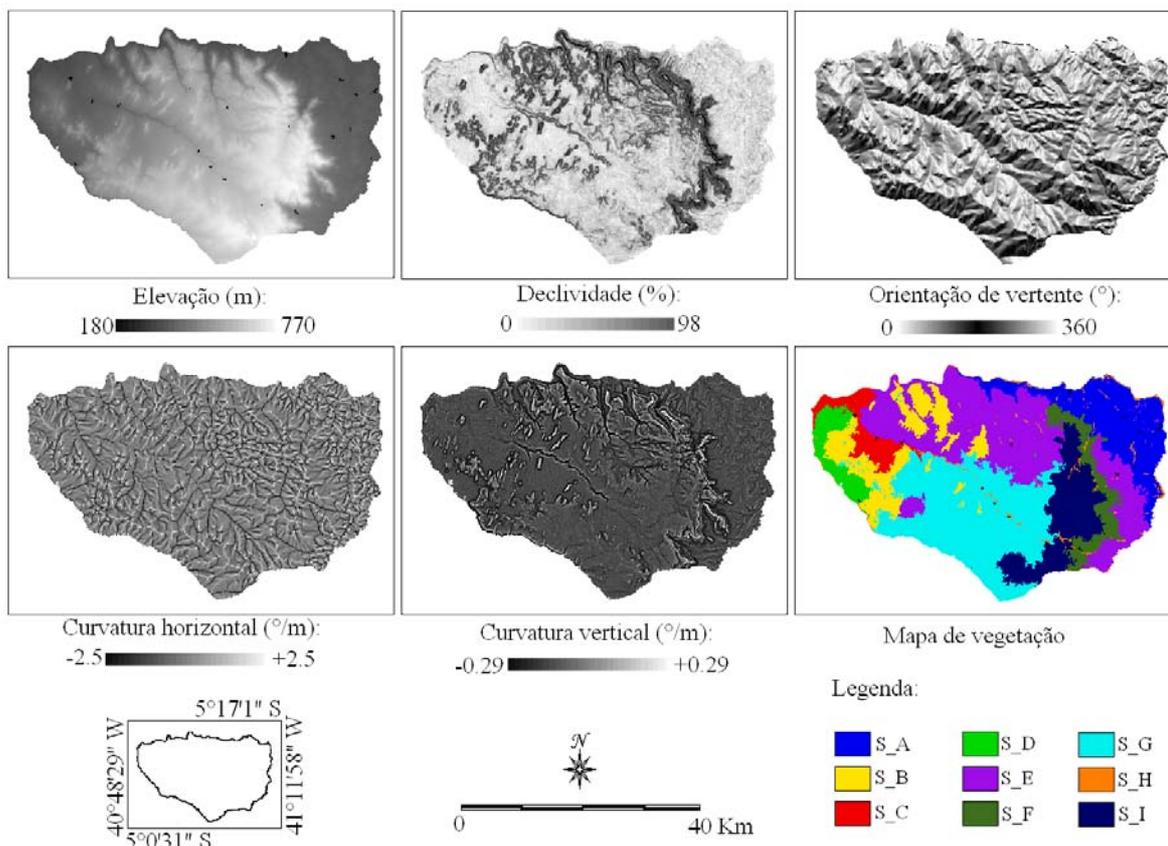


Figura 4.1 – Variáveis geomorfológicas da RPPNSA (Reserva Particular do Patrimônio Natural de Serra das Almas) e seu mapa de vegetação com as classes S\_A (Caatinga Arbórea-arbustiva), S\_B (Complexo Arbóreo), S\_C (Caatinga Herbáceo-Lenhosa), S\_D (Complexo Arbóreo-arbustivo), S\_E (Caatinga Arbórea), S\_F (Caatinga Florestada), S\_G (Carrasco), S\_H (Complexo Galeria) e S\_I (Mata Seca).

Na MIA (Figura 4.2), também, se nítida heterogeneidade do terreno dentro das variáveis geomorfológicas, com certas variações comparáveis às classes vegetacionais. Desse modo, as variáveis elevação, declividade e curvatura vertical mostraram-se indicativas das classes I\_B e I\_C, enquanto a classe I\_A foi sugerida apenas pela orientação de vertente e curvatura horizontal. Assim, de maneira geral as variáveis morfométricas ilustraram boas evidências da ocorrência de cada classe vegetacional. Ressalta-se que

dentre todas as áreas estudadas a MIA exibe a menor amplitude de declividade, variando de 0 a 23% e também uma das menores amplitudes de curvatura vertical, perdendo apenas para o PNB.

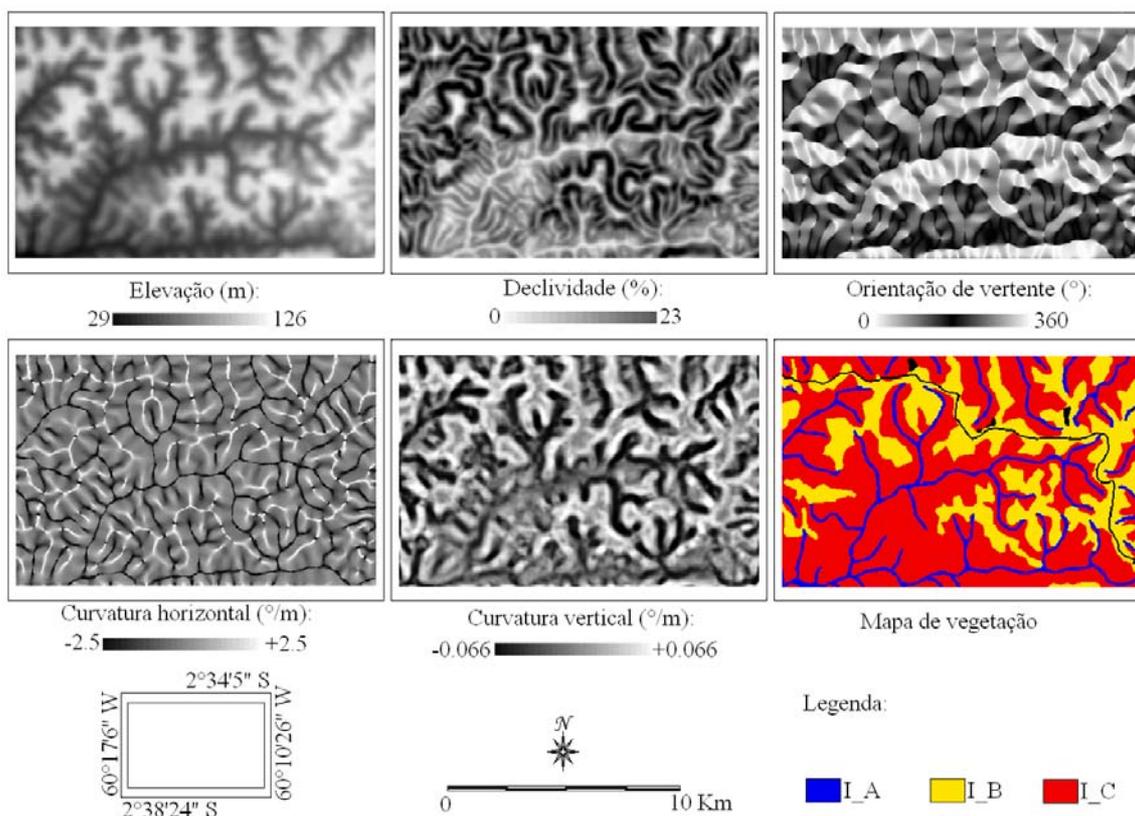


Figura 4.2 – Variáveis geomorfométricas da MIA (Microbacia do Igarapé Asu) e seu mapa de vegetação com as classes I\_A (Floresta de Baixo), I\_B (Floresta de Platô Alto) e I\_C (Floresta de Platô Baixo com campinarana).

O PNCA (Figura 4.3) apresentou um terreno mais homogêneo (devido à ruídos) quanto às variáveis curvatura horizontal e curvatura vertical, mostrando ligeira tendência de regionalização nas demais variáveis, especialmente na variável elevação. Esta última permite uma clara distinção entre as classes A\_A e A\_C. O PNB (Figura 4.4) demonstrou pouca variação topográfica entre as variáveis. Nesta área, apenas a classe B\_A foi indicada de modo inequívoco, porém foi evidenciada em todas as variáveis morfométricas.

Os mapas de vegetação utilizados apresentam diferentes níveis de detalhamento temático, de acordo com as diferentes escalas de mapeamento e as metodologias de levantamento.

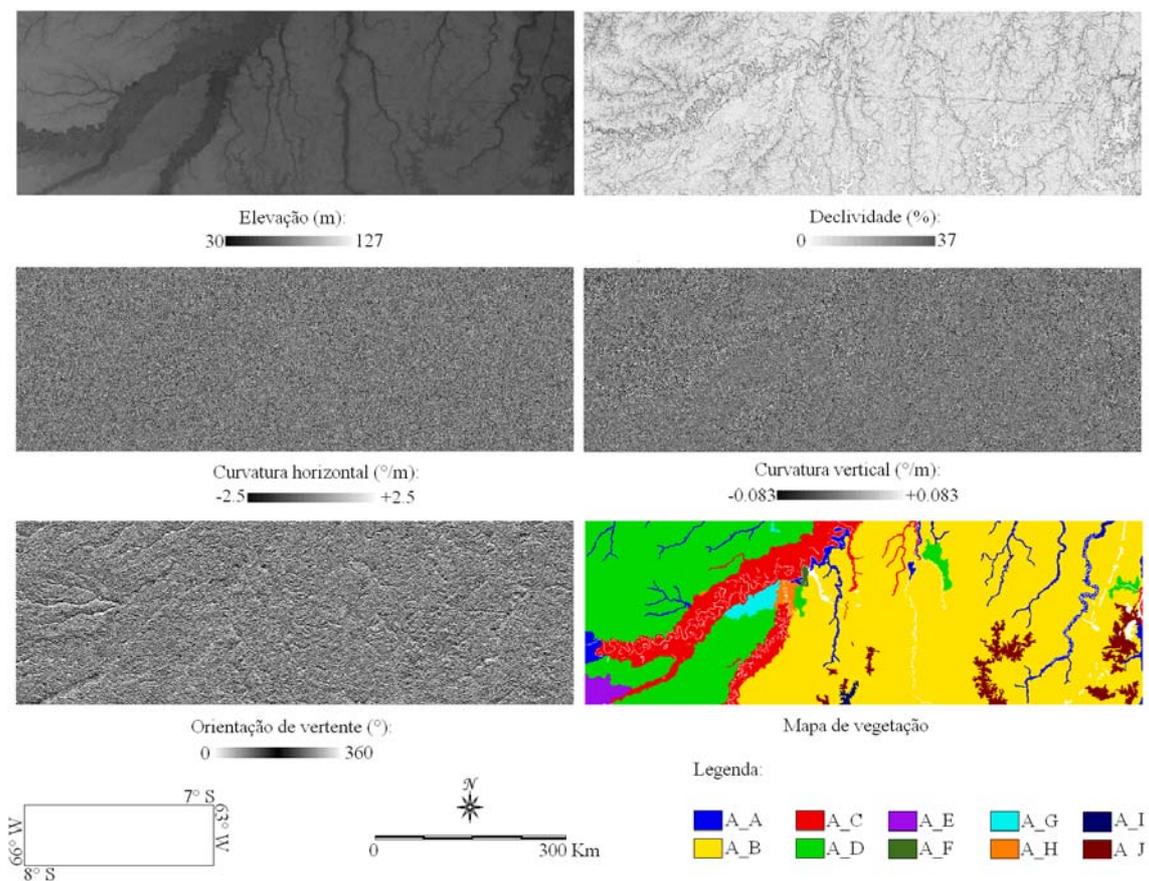


Figura 4.3 – Variáveis geomorfométricas do PNCA (Parque Nacional dos Campos Amazônicos) e seu mapa de vegetação com as classes A\_A (Floresta Ombrófila Aberta Aluvial com palmeiras), A\_B (Floresta Ombrófila Aberta Terras Baixas com palmeiras), A\_C (Floresta Ombrófila Densa Aluvial Dossel emergente), A\_D (Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel emergente), A\_E (Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel uniforme), A\_F (Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - arbustiva), A\_G (Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - arbustiva com palmeiras), A\_H (Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - herbácea), A\_I ( Savana Gramíneo-Lenhosa sem floresta-de-galeria) e A\_J (Savana Parque sem floresta-de-galeria).

O mapa de vegetação da RPPNSA (escala 1:100.000), apresenta uma boa precisão e detalhamento florístico, uma vez que, contou também, com a caracterização floristicofisionômica em campo para sua construção. O PNB (escala 1:10.000) também apresenta um bom detalhamento, sendo produto do refinamento do mapa de vegetação

já existente se utilizando de imagens IKONOS II para algumas cenas e também do Modelo Linear de Mistura. Em contraste, as áreas referentes ao bioma Amazônia não apresentam mapas de vegetação tão detalhados, sendo o da MIA (escala 1:10.000) e o do PNCA (1:250.000) construídos utilizando apenas imagens orbitais, sem um levantamento florístico em campo mais rigoroso.

As considerações feitas acima, referentes aos dois últimos mapas, sugerem a necessidade de refinamento dos mapas representantes do bioma Amazônia, através de levantamentos em campo mais completos e também, pelo aperfeiçoamento e desenvolvimento de novos métodos aplicáveis ao mapeamento deste tipo de fisionomia vegetal.

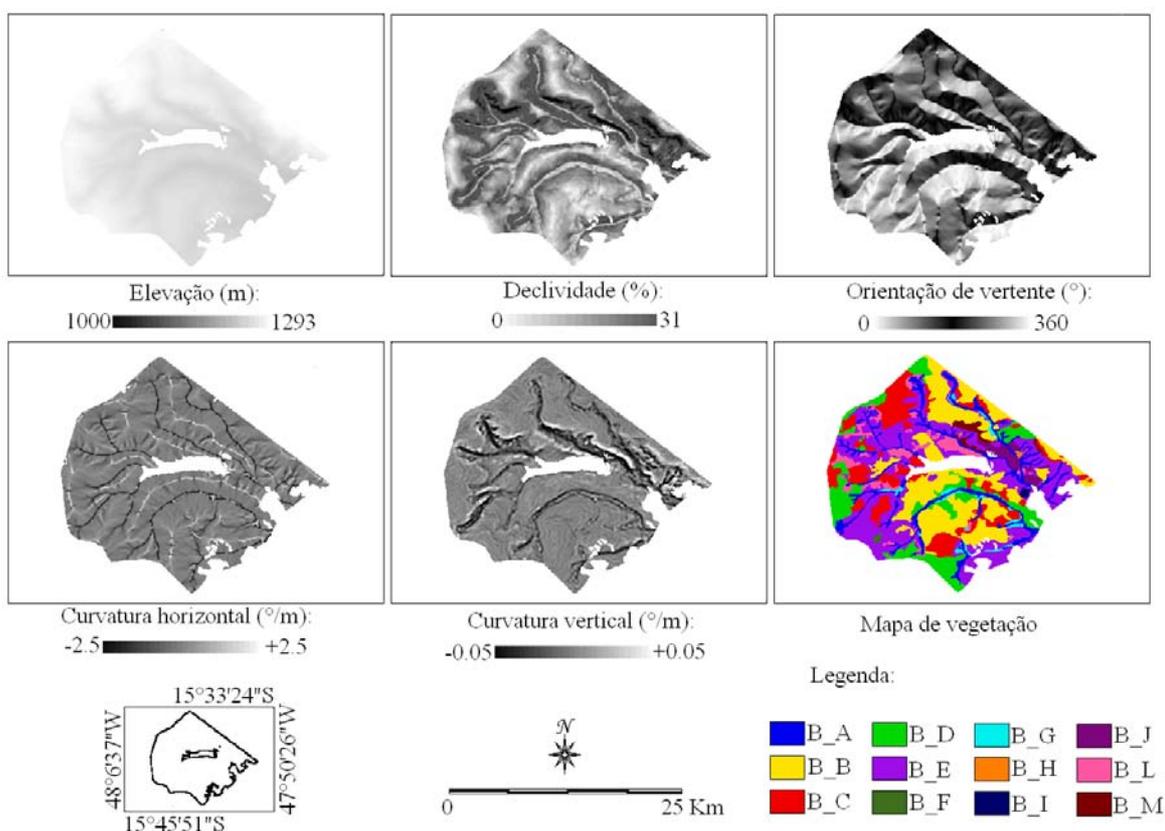


Figura 4.4 – Variáveis geomorfológicas do PNB (Parque Nacional de Brasília) e seu mapa de vegetação com as classes B\_A (Mata Galeria), B\_B (Cerrado *sensu strictu*), B\_C (Campo Cerrado), B\_D (Campo Sujo), B\_E (Campo Limpo), B\_F (Campo Limpo Úmido), B\_G (Brejo), B\_H (Mata de Interflúvio), B\_I (Reflorestamento), B\_J (Campo Cerrado com Trembléias), B\_L (Campo Limpo com Murundum) e B\_M (Campo Sujo com presença de *Lychnophora ericoides* (amica) e “canela de ema”).

A distribuição numérica e a amplitude dos dados geomorfométricos puderam ser observadas em histogramas, os quais propiciaram uma caracterização geomorfométrica das áreas de estudo bem como para cada classe de vegetação de cada área de estudo (Figuras 4.5 a 4.8).

A Figura 4.5 mostra a distribuição das variáveis geomorfométricas dentro de cada classe de vegetação da RPPNSA, em comparação com toda sua área. Verificando a área total, observa-se que a elevação varia entre 180 a 770 m, com distribuição bimodal, com o maior pico em valores mais baixos de altimetria. A sua declividade máxima está em torno de 98%, com uma relativa concentração da distribuição em torno de valores baixos. A direção de suas vertentes também apresenta distribuição bimodal. A simetria da distribuição da curvatura horizontal e curvatura vertical indicaram o equilíbrio entre terrenos convergentes e divergentes, e entre terrenos côncavos e convexos respectivamente.

A distribuição das freqüências para cada classe de vegetação e a RPPNSA revela as preferências de cada tipo vegetacional a determinadas condições topográficas. A Caatinga Arbóreo-arbustiva (S\_A) ocorre com maior freqüência em regiões de elevação em torno de 248 m e sua distribuição corresponde ao estrato menos elevado da área em questão, assim como o Complexo Arbóreo-arbustivo (S\_D). A distribuição da declividade revela que a vegetação se concentra em áreas com declividades mais baixas próximas a 8% (terreno ondulado), comportamento semelhante às classes de vegetação S\_C, S\_D, S\_G e S\_H. Além disso, as suas vertentes estão com maior freqüência voltadas ao norte e nordeste, e há um equilíbrio entre terrenos convergentes e divergentes (curvatura horizontal), comparável as classes S\_B, S\_C, S\_D, S\_E, S\_F, S\_G e S\_I. Quanto à curvatura vertical, esta também apresenta um equilíbrio entre áreas côncavas e convexas como as classes S\_C, S\_D, S\_E, S\_G e S\_I.

O Complexo Arbóreo (S\_B) ocorre com maior freqüência em regiões de altitudes em torno de 282 m apresentando uma distribuição mais platicúrtica, de comportamento semelhante à classe S\_F. A distribuição da declividade mostra que esta vegetação é menos tolerante a declividades baixas, já que os valores altos ocorrem em maior freqüência e em torno de 24% (terreno forte ondulado). Também relativo a esta classe,

as vertentes estão voltadas à norte e noroeste. Destaca-se uma ligeira preferência por terrenos côncavos (curvatura vertical).

A Caatinga Herbáceo-Lenhosa (S\_C) apresenta dois picos de elevação relativamente próximos, em torno de 248 e 316 m. Suas vertentes estão concentradas mais ao norte e noroeste, sem quase nenhuma ocorrência de vertentes à leste e sul.

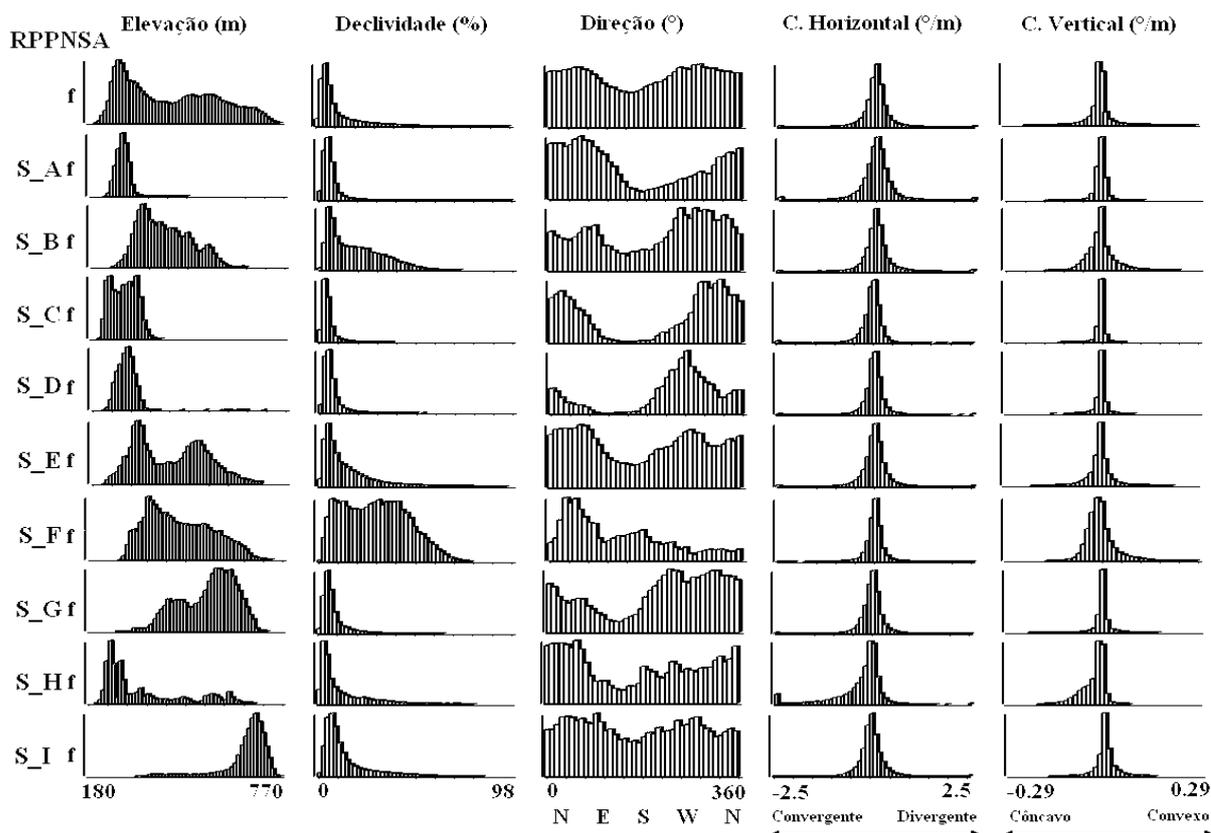


Figura 4.5 – Distribuição de frequência (f) das variáveis topográficas nas classes de vegetação da RPPNSA (Reserva Particular do Patrimônio Natural de Serra das Almas) em totalidade e de suas classes de vegetação: S\_A (Caatinga Arbórea-arbustiva), S\_B (Complexo Arbóreo), S\_C (Caatinga Herbáceo-Lenhosa), S\_D (Complexo Arbóreo-arbustivo), S\_E (Caatinga Arbórea), S\_F (Caatinga Florestada), S\_G (Carrasco), S\_H (Complexo Galeria) e S\_I (Mata Seca).

Para o Complexo Arbóreo-arbustivo (S\_D), a distribuição de vertentes indica que estão predominantemente voltadas para oeste.

A distribuição dos valores de elevação da Caatinga Arbórea (S\_E) indicam uma forma bimodal, sendo sua frequência distribuída com picos em torno de 282 e 384 m. A distribuição da declividade localiza-se entre 0 e 49% com maior frequência em 8% (terreno suave ondulado a ondulado).

A Caatinga Florestada (S\_F) apresenta uma declividade com distribuição mais ou menos uniforme, possuindo seu máximo valor em torno de 49% (terreno montanhoso). Possui uma maior concentração de suas vertentes a nordeste decaindo sua frequência na direção norte. Há ligeira preferência por terrenos côncavos (curvatura vertical).

O Carrasco (S\_G) possui sua elevação distribuída entre 316 e 770 m apresentando distribuição bimodal com dois estratos altimétricos, o mais baixo em torno de 385 m e o mais alto em torno de 508 m. Suas vertentes predominam à sudoeste e noroeste, com menor frequência à nordeste.

No Complexo Galeria (S\_H) a distribuição altimétrica apresenta um aspecto denteada, ocorrendo principalmente em ambientes com elevação em torno de 248 m. Destaca-se a preferência por terrenos com vertentes direcionadas ao nordeste e com menor frequência à sudoeste e noroeste. Há uma clara preferência por terrenos convergentes (curvatura horizontal) e côncavos (curvatura vertical).

A Mata Seca (S\_I) exibe preferência por altitudes em torno de 610 m com sua distribuição correspondendo ao estrato mais elevado da RPPNA. Também comparativamente à RPPNA, pode-se destacar uma distribuição mais ou menos homogênea quanto à orientação de vertentes, aliado a uma equilíbrio entre terrenos convergentes e divergentes (curvatura horizontal), e entre áreas côncavas e convexas (curvatura vertical).

A Figura 4.6 ilustra a distribuição das variáveis geomorfométricas dentro de cada classe de vegetação, em comparação com a área total da MIA. Observando a microbacia como um todo, verifica-se que a altitude varia entre 29 e 126 m, com distribuição bimodal, o que indica a existência de dois estratos altimétricos. A sua declividade máxima está em torno de 23%, com uma relativa concentração da distribuição em torno de valores baixos. A direção de suas vertentes apresenta-se distribuída de modo relativamente

homogêneo. A simetria da distribuição da curvatura horizontal indica o equilíbrio entre terrenos convergentes e divergentes, uma situação típica quando se analisa uma microbacia por inteiro. A assimetria da distribuição da curvatura vertical indica a predominância territorial de terrenos convexos.

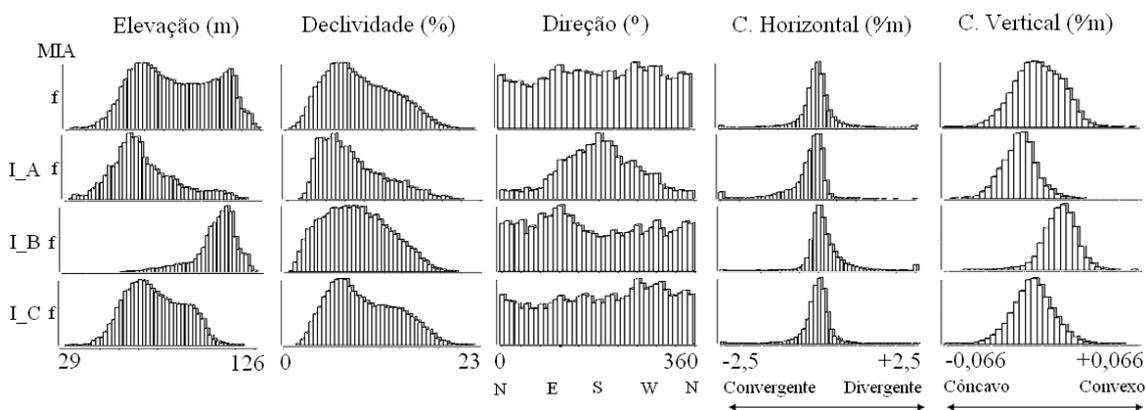


Figura 4.6 – Distribuição de frequência (f) das variáveis topográficas nas classes de vegetação da MIA (Microbacia do Igarapé Asu) em totalidade e de suas classes de vegetação: I\_A (Floresta de Baixo), I\_B (Floresta de Platô Alto) e I\_C (Floresta de Platô Baixo com campinarana).

As diferenças de distribuição entre cada classe de vegetação e a microbacia são indicadores de sua adaptação preferencial a determinadas condições topográficas. A Floresta de Baixo (I\_A) ocorre com maior frequência em regiões de altitudes em torno de 53 m e sua distribuição corresponde ao estrato menos elevado da microbacia. A distribuição da declividade mostra que esta vegetação se mostra menos tolerante a declividades mais altas, já que ocorrem valores altos em menor frequência do que na microbacia. Também relativo à microbacia, destaca-se uma clara preferência por terrenos convergentes (curvatura horizontal) e em menor grau, por áreas côncavas (curvatura vertical).

A Floresta de Platô Alto (I\_B) ocorre com maior frequência em regiões de altitudes em torno de 114 m, ocupando preferencialmente o estrato altimétrico superior. Em contraposição à Floresta de Baixo, demonstram maior adaptação a terrenos divergentes e áreas convexas.

A distribuição dos valores de elevação da Floresta de Platô Baixo com campinarana (I\_C) indica que esta ocupa uma posição intermediária, com ligeira restrição no estrato

superior da microbacia, com maior frequência entre 61 e 93 m. A semelhança das distribuições de declividade com a microbacia mostra que sua ocorrência independe desta variável, assim como a curvatura horizontal. Embora a curvatura vertical não tenha se mostrado uma restrição a sua ocorrência, o estreitamento de sua distribuição em torno de 0°/m indica sua ligeira preferência a terrenos retilíneos em relação a côncavos e convexos.

A Figura 4.7 mostra a distribuição das variáveis geomorfométricas dentro de cada classe de vegetação, em comparação com a área total do PNCA. Verificando a área total, observa-se que altitude varia entre 30 e 127 m, com distribuição bimodal com o maior pico em valores mais baixos de altimetria. A sua declividade máxima está em torno de 37%, com uma relativa concentração da distribuição em torno de valores baixos. A direção de suas vertentes tem um caráter homogêneo. A simetria da distribuição da curvatura horizontal indica o equilíbrio entre terrenos convergentes e divergentes. A distribuição da curvatura vertical indica também um equilíbrio entre terrenos côncavos e convexos.

As diferenças de distribuição entre cada classe de vegetação do PNCA são indicadores de sua adaptação preferencial a determinadas condições topográficas. A Floresta Ombrófila Aberta Aluvial com palmeiras (A\_A) ocorre com maior frequência em regiões de altitudes em torno 68 e de 86 m.

A distribuição da declividade mostra que esta vegetação se mostra pouco tolerante a declividades altas, se concentrando em áreas com declividades mais baixas próximas a 3% (plano), apresentando comportamento semelhante às demais classes de vegetação. Além disso, as suas vertentes estão com maior frequência voltadas à norte, e há um equilíbrio entre terrenos convergentes e divergentes (curvatura horizontal) e terrenos côncavos e convexos (curvatura vertical) similar às demais classes de vegetação.

A Floresta Ombrófila Aberta Terras Baixas com palmeiras (A\_B) ocorrem com maior frequência em regiões de altitudes em torno de 88 m. A direção de suas vertentes tem um caráter homogêneo assim como as classes A\_C, A\_D e A\_H.

A Floresta Ombrófila Densa Aluvial Dossel emergente (A\_C) possui distribuição alimétrica em torno 68 m. Ao passo que Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel emergente (A\_D) apresenta dois estratos de distribuição, o estrato mais alto em torno de 107m e o mais baixo em torno de 88 m.

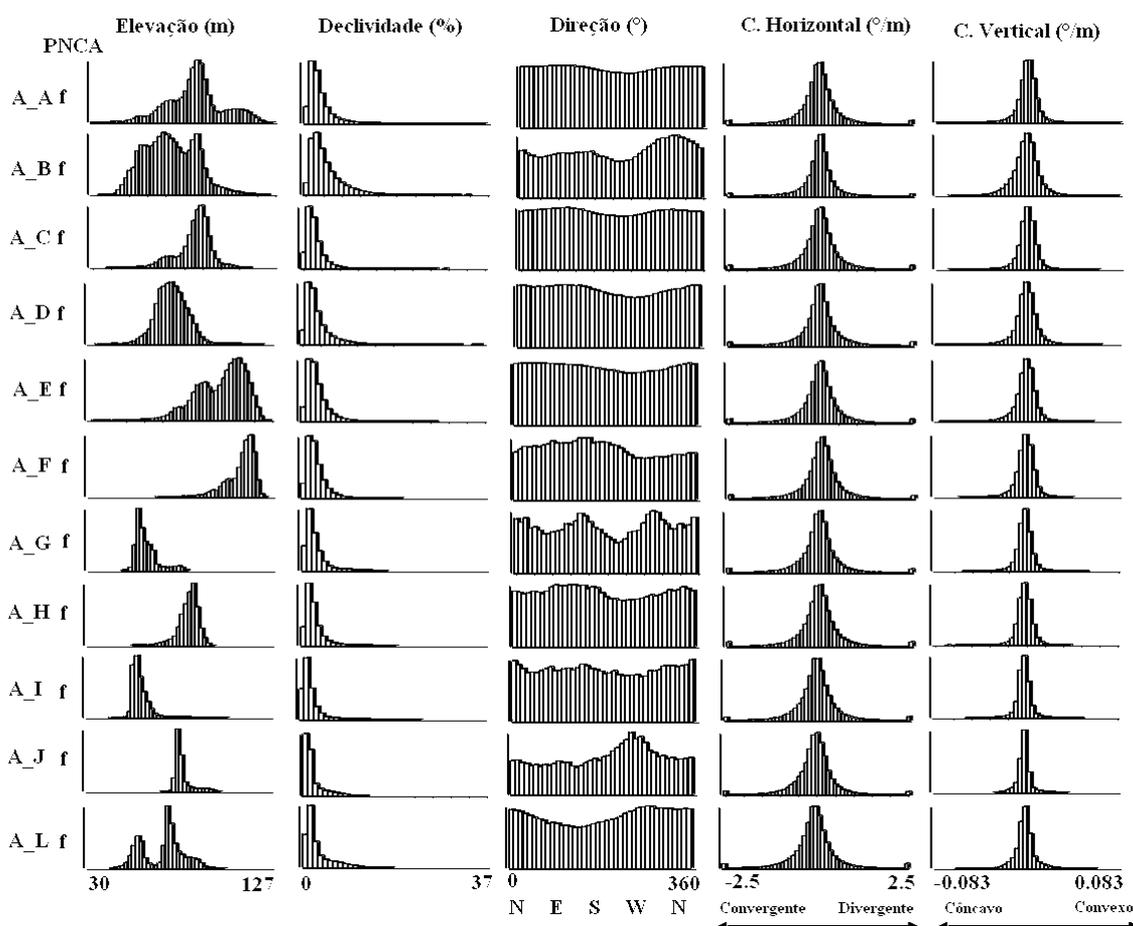


Figura 4.7 – Distribuição de frequência (f) das variáveis topográficas nas classes de vegetação da PNCA (Parque Nacional dos Campos Amazônicos) em totalidade e de suas classes de vegetação: A\_A (Floresta Ombrófila Aberta Aluvial com palmeiras), A\_B (Floresta Ombrófila Aberta Terras Baixas com palmeiras), A\_C (Floresta Ombrófila Densa Aluvial Dossel emergente), A\_D (Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel emergente), A\_E (Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel uniforme), A\_F (Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - arbustiva), A\_G (Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - arbustiva com palmeiras), A\_H (Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - herbácea), A\_I (Savana Gramíneo-Lenhosa sem floresta-de-galeria) e A\_J (Savana Parque sem floresta-de-galeria. ).

A Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel uniforme (A\_E) possui altitude em torno de 115 m, Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre – arbustiva (A\_F) em torno de 58 m, Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - arbustiva com palmeiras (A\_G) em torno de 83 m, Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre – herbácea (A\_H) em torno de 56 m, Savana Gramíneo-Lenhosa sem floresta-de-galeria (A\_I) em torno de 80 m e Savana Parque sem floresta-de-galeria (A\_J) em torno de 56 a 72 m.

A Figura 4.8 mostra a distribuição das variáveis geomorfométricas dentro de cada classe de vegetação, em comparação com a área total do PNB. Verificando a área total, observa-se uma distribuição bimodal com o maior pico em valores em torno de 1.140 e 1.280 m. A sua declividade máxima está em torno de 31% (terreno forte ondulado), com uma relativa concentração da distribuição em torno de valores baixos. A direção de suas vertentes apresenta distribuição bem variável. A simetria da distribuição da curvatura horizontal indica o equilíbrio entre terrenos convergentes e divergentes e terrenos côncavos e convexos respectivamente.

As diferenças de distribuição entre cada classe de vegetação e o PNB são indicadores de sua adaptação preferencial a determinadas condições topográficas. A Mata galeria (B\_A) ocorre com maior frequência em regiões de altitudes em torno de 1.048 e 1.096 m. A distribuição da declividade mostra um intervalo de variação concentrado entre 0 e 14% com pico em torno de 4% sendo portanto, este tipo de vegetação concentrado em ambientes planos a suave ondulados, comportamento similar ao da classe E. Aliado a isso, as suas vertentes estão com maior frequência direcionadas à nordeste e sudoeste. Destaca-se nesta classe, uma clara preferência por terrenos convergentes (curvatura horizontal) e por áreas côncavas (curvatura vertical) assim como na classe B\_G.

O Cerrado *sensu strictu* (B\_B) apresenta dois estratos de distribuição, o estrato mais alto em torno de 1.097 m e o mais baixo em torno de 1.194 m. A distribuição da declividade mostra um intervalo de variação concentrado entre 0 e 7% com pico em torno de 4%, sendo portanto, este tipo de vegetação concentrado em ambientes planos a suave ondulados, similar às classes B\_C, B\_D e B\_G. Suas vertentes distribuídas de modo mais ou menos homogêneo, apresentando uma menor concentração de vertentes

voltadas à nordeste. Destaca-se uma ligeira preferência por terrenos convergentes (curvatura horizontal) e um equilíbrio entre terrenos côncavos e convexos (curvatura vertical).

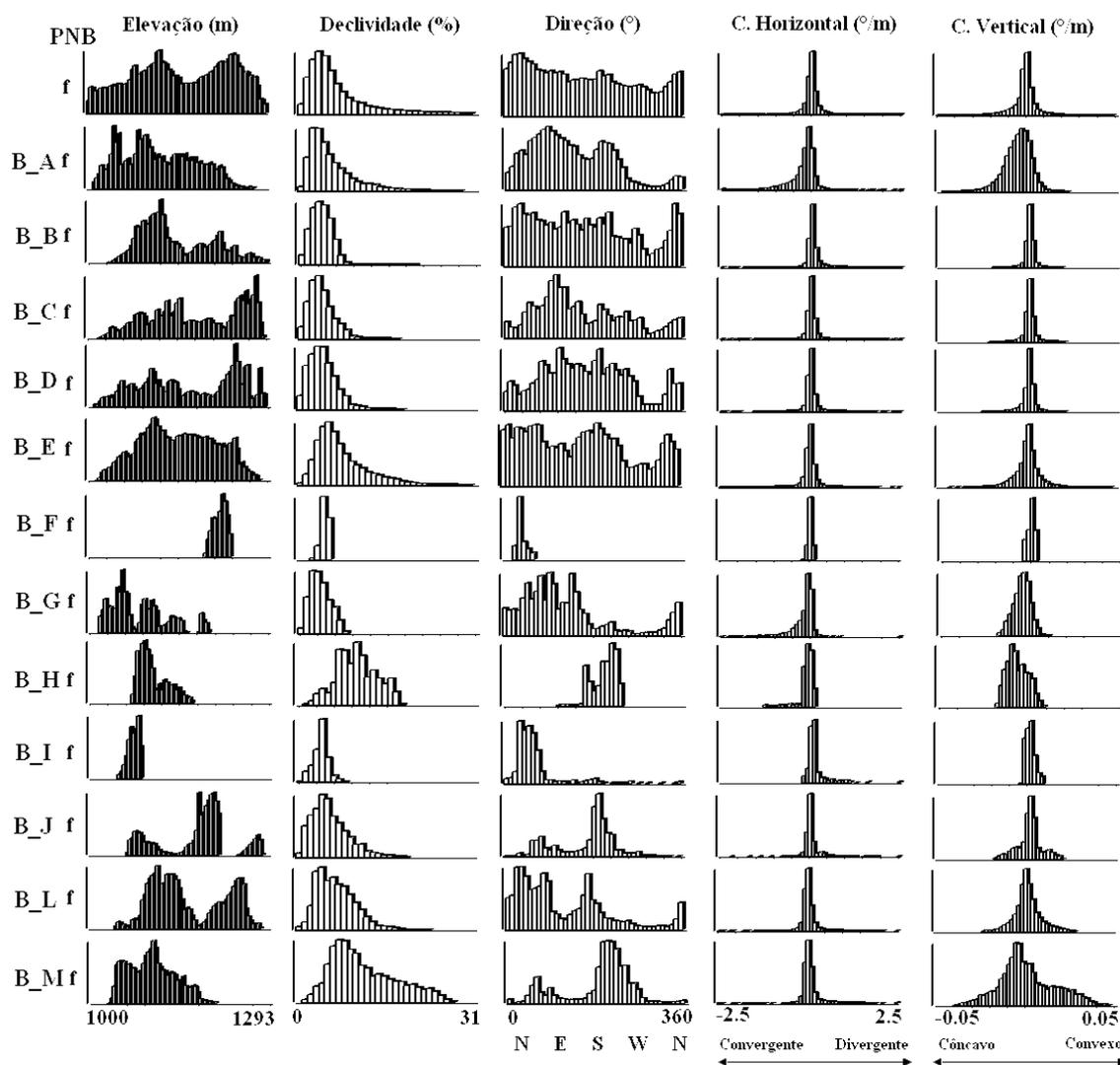


Figura 4.8 – Distribuição de freqüência (f) das variáveis topográficas nas classes de vegetação do PNB (Parque Nacional de Brasília) em sua totalidade e de suas classes de vegetação: B\_A (Mata galeria), B\_B (Cerrado *sensu strictu*), B\_C (Campo Cerrado), B\_D (Campo Sujo), B\_E (Campo Limpo), B\_F (Campo Limpo Úmido), B\_G (Brejo), B\_H (Mata de Interflúvio), B\_I (Reflorestamento), B\_J (Campo Cerrado com Trembléias), B\_L (Campo Limpo com Murundum) e B\_M (Campo Sujo com presença de *Lychnophora ericoides* (amica) e “canaleta de ema”).

O Campo Cerrado (B\_C) possui distribuição altimétrica abrangendo todo o intervalo de valores assim como as classes B\_D e B\_E, porém estas últimas possuem valores mais

altos em torno de 1.244 e 1.097 m respectivamente, ao passo que a primeira é em torno de 1.285 m. A maioria de suas vertentes estão voltadas à sudeste. Pode-se também observar que há um nítido equilíbrio entre terrenos convergentes e divergentes (curvatura horizontal) e terrenos côncavos e convexos (curvatura vertical), assim como em B\_D e B\_E. Entretanto, esta última apresenta uma maior distribuição entre seus terrenos côncavos convexos.

A distribuição de vertentes para o Campo Sujo (B\_D) indica uma predominância das direcionadas ao sudeste e sul. Ao passo que a maior parte das vertentes do Campo Limpo (B\_E) estão voltadas para o nordeste e sudoeste.

O Campo Limpo Úmido (B\_F) apresenta sua altimetria restrita a uma pequena faixa em torno de 1.234 m. Sua declividade também está restrita a aproximadamente 3% (plano e suave ondulado). Todas as suas vertentes estão voltadas para o norte. Há uma nítida preferência por terrenos planares (curvatura horizontal) e retilíneos (curvatura vertical).

O Brejo (B\_G) possui distribuição altimétrica multimodal. Suas vertentes predominam à nordeste e sudeste.

Na Mata de Interflúvio (B\_H) a distribuição altimétrica apresenta dois estratos de distribuição, o estrato mais alto em torno de 1.097 m, sendo a distribuição concentrada entre 1.073 e 1.147 m. A distribuição da declividade mostra um intervalo de variação concentrado entre 0 e 18% com pico em torno de 10% sendo portanto, este tipo de vegetação concentrado em ambientes ondulados. Destaca-se a preferência por terrenos com vertentes concentradas a sudoeste. Há predominância por terrenos planos (curvatura horizontal) e em menor grau, côncavos (curvatura vertical).

O Reflorestamento (B\_I) ocorre de modo restrito a regiões de altitudes em torno de 1.097 m. A distribuição da declividade mostra uma concentração em torno de 4% sendo portanto, este tipo de vegetação concentrado em ambientes planos a suave ondulados. Há uma concentração de vertentes orientadas a nordeste, aliado a uma clara predominância de terrenos planos (curvatura horizontal) e retilíneos (curvatura vertical).

No Campo Cerrado com Trembléias (B\_J), a distribuição altimétrica é trimodal apresentando o maior pico em torno de 1.219 m. A distribuição da declividade em B\_J é semelhante a B\_L com pico em torno de 4%. Destaca-se a preferência por terrenos com vertentes concentradas a sudoeste. Há predominância por terrenos planos (curvatura horizontal) e terrenos retilíneos (curvatura vertical), embora exista certo equilíbrio entre terrenos que ocorrem com menor frequência, os côncavos e convexos.

No Campo Limpo com Murundum (B\_L), a distribuição altimétrica é bimodal. Destaca-se a preferência por terrenos com vertentes voltadas ao norte, nordeste e sudeste. Há predominância por terrenos planos (curvatura horizontal) e um equilíbrio entre terrenos côncavos e convexos, estes mais bem distribuídos dentro desta classe do que nas demais classes.

A classe Campo Sujo com presença de *Lychnophora ericoides* (amica) e “canela de ema” (B\_M) ocorre com maior frequência em regiões de altitudes em torno de 1.097 m. A distribuição da declividade mostra que esta vegetação se mostra tolerante, distribuída por todo espectro desta classe, apresentando uma distribuição mais ou menos platicúrtica. Existe uma clara preferência por terrenos planos (curvatura horizontal), por áreas convexas e em menor grau por áreas côncavas (curvatura vertical).

Da observação conjunta dos histogramas de todas as áreas verifica-se que as preferências ecofisiológicas das diferentes classes de vegetação, quando expressas, estão representadas pela concentração de frequência das variáveis geomorfométricas. Entretanto, mesmo entre as classes de maior contraste geomorfométrico, as distribuições apresentam amplitudes sobrepostas, com raros casos de condições excludentes.

#### **4.2 Análises discriminantes**

As análises estatísticas foram empregadas diante do agrupamento de classes vegetacionais segundo a estrutura de sua vegetação. Assim foram gerados novos mapas de vegetação referência.

Para a RPPNSA a análise discriminante entre os grupos vegetacionais Complexo Arbóreo arbustiva (Classes agrupadas: Caatinga Arbóreo-arbustiva (S\_A); Caatinga

Herbáceo-Lenhosa (S\_C); Complexo Arbóreo-arbustivo (S\_D)), Complexo Arbóreo (Classes agrupadas: Complexo Arbóreo (S\_B); Caatinga Arbórea (S\_E); Caatinga Florestada (S\_F)), Carrasco, Complexo Galeria e Mata Seca, mostrou uma significativa separação entre tais grupos, considerando as variáveis topográficas (Wilks' Lambda= 0,20056; F (20,1437)=44,781; p<0,0000). O Wilks' Lambda geral (que consta no título das Tabelas) é um parâmetro que varia de 0 (maior poder de discriminação) a 1 (menor poder de discriminação). Os Wilks' Lambda parciais observados nos sumários das análises das funções discriminantes de cada área (no corpo das Tabelas) indicam, por sua vez, a participação de cada variável na redução do Wilks' Lambda geral. Ressalta-se aqui que esses parâmetros apresentam relação numérica inversa: o W/L geral desejável é o menor possível, enquanto que as variáveis de maior influência são identificadas pelos maiores valores de Wilks' Lambda parcial. Desse modo, é gerado o melhor modelo baseado não apenas no p-valor, mas também por meio da avaliação dos outros parâmetros, como ilustrado na Tabela 4.1. Diante disso, as variáveis elevação (*h*), declividade (*G*), curvatura vertical (*k<sub>v</sub>*), orientação de vertente (*A*) e curvatura horizontal (*k<sub>h</sub>*) foram consideradas importantes na discriminação entre as classes de vegetação e assim incluídas em todas as funções discriminantes, independentemente do respectivo p-valor (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Sumário da análise da função discriminante. Área da Reserva Particular do Patrimônio Natural de Serra das Almas (RPPNSA). N° de variáveis no modelo: 5; grupo: veg (5 grupos). Wilks' Lambda: 0,20056. F (20,1437)=44,781 p<0,0000

	Wilks'	Parcial	F-remove	p-valor	Toler.	1-Toler.
<i>h</i>	0,663747	0,302162	250,0011	0,000000	0,922217	0,077783
<i>G</i>	0,259549	0,772724	31,8389	0,000000	0,861859	0,138141
<i>k<sub>v</sub></i>	0,208862	0,960247	4,4814	0,001474	0,834870	0,165130
<i>A</i>	0,203935	0,983449	1,8218	0,123577	0,988884	0,011116
<i>k<sub>h</sub></i>	0,202481	0,990507	1,0374	0,387468	0,900033	0,099967

Observando a distância entre os centróides, distância de Mahalanobis, dos grupos no espaço discriminante (Tabela 4.2), verificou-se que os grupos mais distantes entre si foram a Mata Seca e o Complexo Arbóreo-arbustivo (22,44425) e os mais próximos foram Mata Seca e Carrasco (1,54077). Esta proximidade foi refletida na considerável

sobreposição entre seus escores (Figura 4.9), uma vez que, ambos os tipos de vegetação ocupam relevos planos e suave ondulados em altitudes em torno de 600 m. Ressalta-se que também apresentam semelhanças quanto ao comportamento caducifólio com indivíduos despídos de folhagem nos períodos desfavoráveis. Todas as distâncias foram significativas, indicando que as variáveis geomorfométricas podem ser capazes de discriminar todas as fisionomias vegetais consideradas na análise.

Tabela 4.2 – Distância de Mahalanobis entre grupos no espaço discriminante. Área da Reserva Particular do Patrimônio Natural de Serra das Almas (RPPNSA)

	C.A. arbustivo	C.arbóreo	Carrasco	C.galeria	Mata Seca
C.A. arbustivo	0,00000	5,952712	13,51015	2,32019	22,44425
C.arbóreo		0,000000	4,71739	2,02914	7,90304
Carrasco			0,00000	6,29755	1,54077
C.galeria				0,00000	12,63179
Mata Seca					0,00000

Adotou-se 0,5 como nível de corte para as todas as correlações deste estudo. Assim a Tabela 4.3, mostra que a variável elevação destacou-se, correlacionando negativamente com o eixo 1. A Função 1 discriminou claramente Mata Seca do Complexo Arbóreo-arbustivo, mostrando que a Mata Seca ocorreu preferencialmente em locais com maior altitude e o Complexo Arbóreo-arbustivo em locais com menor altitude. A Função 2 não definiu claramente a separação entre os grupos vegetacionais.

Tabela 4.3 – Matriz de correlação das variáveis geomorfométricas. Área da Reserva Particular do Patrimônio Natural de Serra das Almas (RPPNSA)

	Função 1	Função 2
$h$	-0,986606	0,016661
$G$	-0,202112	0,966076
$k_v$	0,013402	-0,155967
$A$	0,029651	-0,108341
$k_h$	-0,020558	0,140234

Analisando a Figura 4.9, onde os escores das observações num espaço discriminante bidimensional é apresentada, observa-se que o eixo da Função 1 discriminou melhor os grupos vegetacionais. O eixo 1 representou 87% e o eixo 2 representou 10% do espaço

discriminante. Houve também, certa sobreposição entre várias fisionomias vegetais, o que indica que as variáveis geomorfométricas podem variar em um gradiente topográfico, o que possivelmente acarretaria em faixas transicionais de vegetação.

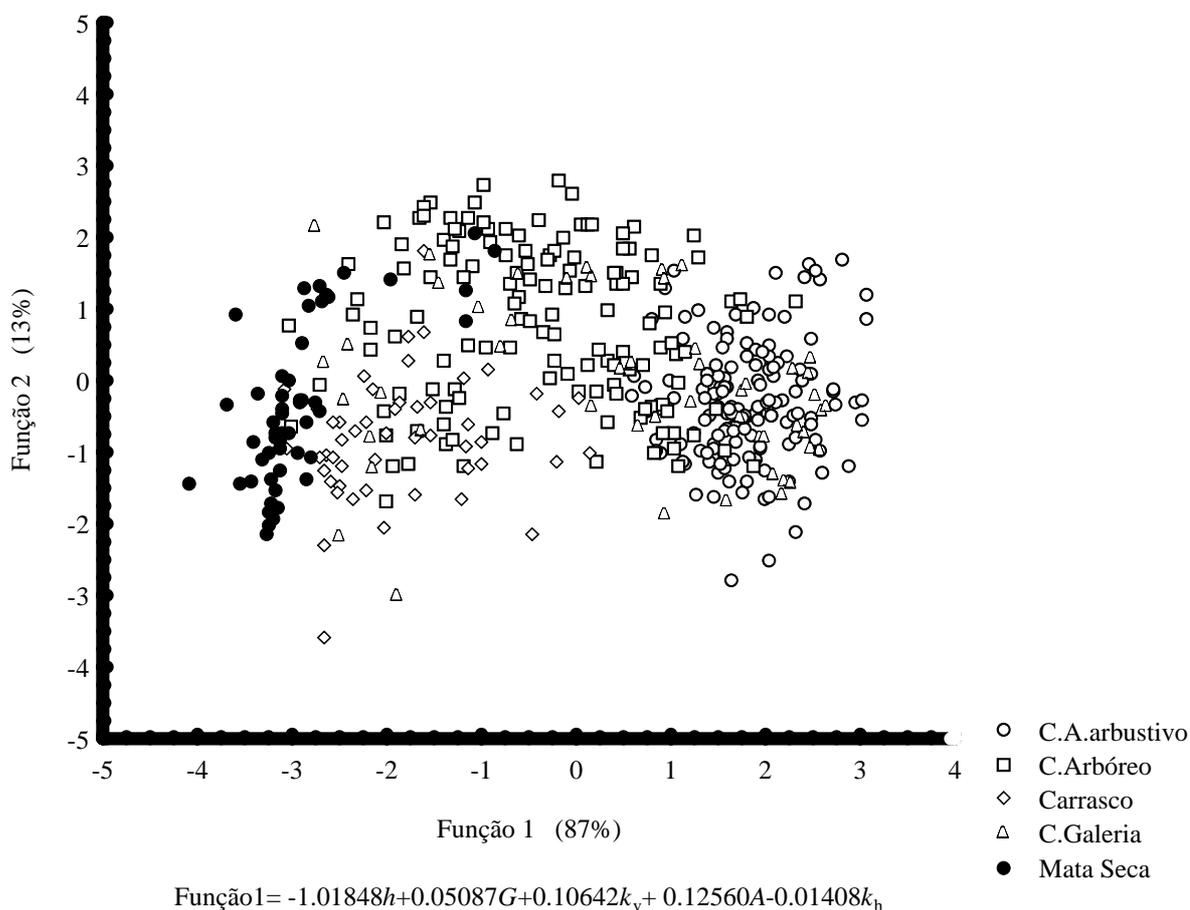


Figura 4.9 – Dispersão das Funções discriminantes das variáveis topográficas entre os grupos vegetacionais. Área da Reserva Particular do Patrimônio Natural de Serra das Almas (RPPNSA)

Como o Complexo Arbóreo e o Complexo Arbóreo-arbustivo apresentaram subfisionomias, foram feitas análises separadas para as mesmas. O objetivo dessas análises foi verificar se as variáveis topográficas também são boas predictoras dessas subfisionomias. No que se refere a Complexo Arbóreo, a análise discriminante mostrou-se significativa na separação dos grupos vegetacionais incluídos nessa classe (Complexo Arbóreo, Caatinga Arbórea e Caatinga Florestada) com base nas variáveis morfométricas (Wilks' Lambda: 0,78872 F (8,268)=4,2211 p< 0,0001). As maiores

significâncias na construção do modelo foram as variáveis declividade ( $G$ ), orientação de vertente ( $A$ ), curvatura vertical ( $k_v$ ) e elevação ( $h$ ) (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 – Sumário da análise da função discriminante do grupo Complexo Arbóreo da Área da Reserva Particular do Patrimônio Natural de Serra das Almas (RPPNSA). N° de variáveis no modelo: 4; grupo: veg (3 grupos). Wilks' Lambda: 0,78872 F (8,268)=4,2211 p< 0,0001

	Wilks'	Parcial	F-remove	p-valor	Toler.	1-Toler.
$G$	0, 878947	0, 897342	7, 664994	0, 000705	0, 872484	0, 127516
$A$	0, 838624	0, 940489	4,239559	0, 016394	0, 967195	0, 032805
$k_v$	0, 810139	0, 973556	1, 819867	0, 166030	0, 959694	0, 040306
$h$	0, 806097	0, 978438	1, 476497	0, 232129	0, 853277	0, 146723

A distância entre os centróides dos grupos no espaço discriminante indicou que os grupos mais distantes entre si foram Caatinga Florestada e Caatinga Arbórea e as mais próximas foram Complexo Arbóreo e Caatinga Arbórea (Tabela 4.5). Essa proximidade foi também evidente analisando gráfico da função discriminante (Figura 4.10). Entretanto, a distância entre Complexo Arbóreo e Caatinga Arbórea não foi significativa, indicando que as variáveis morfométricas não foram capazes de discriminá-las entre si.

Tabela 4.5 – Distância de Mahalanobis entre grupos no espaço discriminante do grupo Complexo Arbóreo da Área da Reserva Particular do Patrimônio Natural de Serra das Almas (RPPNSA)

	C. arbóreo	C. arbórea	C. florestada
C. arbóreo	0, 000000	0, 344034 *	0, 790777
C. arbórea		0, 000000	1, 259096
C. florestada			0, 000000

\* Distância não significativa

A partir da 4.6 pode-se verificar que a declividade correlacionou-se positivamente com o eixo 1 (Tabela 4.6).

Tabela 4.6 – Matriz de correlação das variáveis geomorfométricas do grupo Complexo Arbóreo da Área da Reserva Particular do Patrimônio Natural de Serra das Almas (RPPNSA)

	Função 1	Função 2
<i>G</i>	0,774776	-0,300435
<i>A</i>	-0,414084	-0,641590
<i>k<sub>v</sub></i>	-0,488321	0,194645
<i>h</i>	0,155299	0,502098

Analisando os escores das observações (Figura 4.10), verificou-se que o primeiro eixo representou 82% e o segundo eixo 18% do espaço discriminante. Existe grande sobreposição entre os grupos, indicando que a topografia não foi capaz de diferenciar tais grupos entre si.

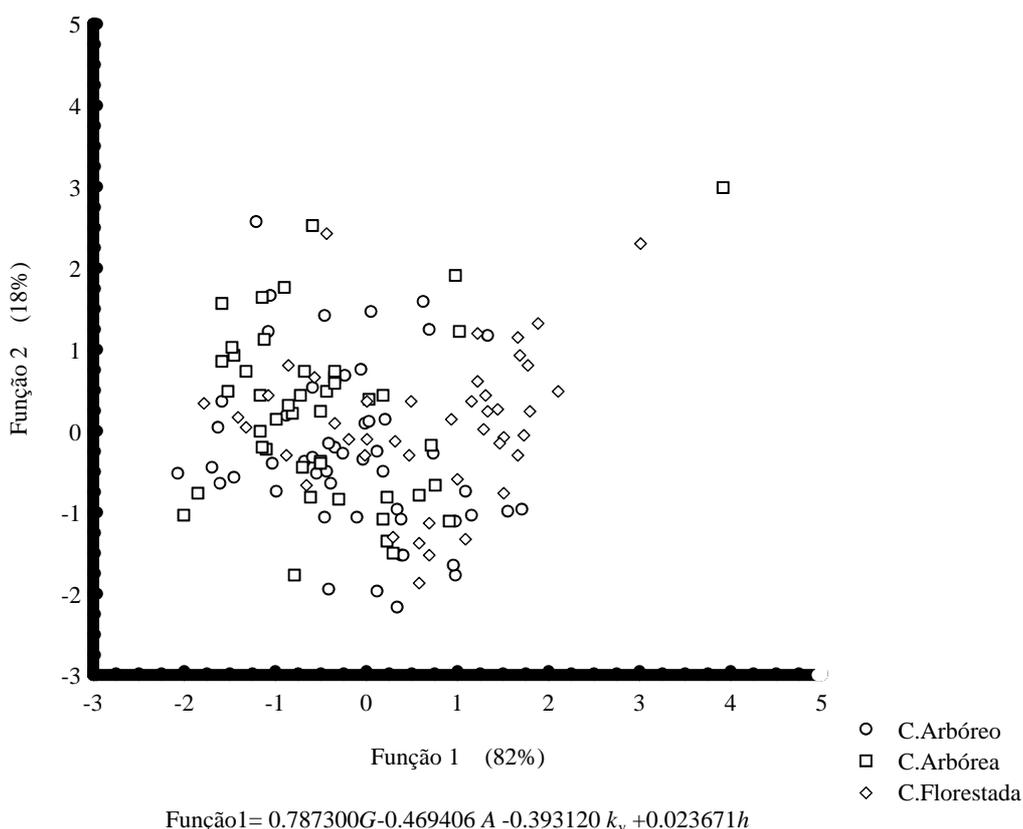


Figura 4.10 – Dispersão das Funções discriminantes das variáveis topográficas entre os grupos vegetacionais do grupo Complexo Arbóreo da Área da Reserva Particular do Patrimônio Natural de Serra das Almas (RPPNSA)

A análise discriminante do Complexo Arbóreo-arbustivo, não se mostrou significativa na avaliação dos grupos vegetacionais incluídos nesta classe (Caatinga Arbórea-arbustiva, Caatinga Herbáceo-Lenhosa e Complexo Arbóreo-arbustivo) com base nas variáveis morfométricas. (Wilks' Lambda: 0,95796 F (4,288)=1,5629 p< 0,1843 p>0.05) (Tabela 4.7), o que indicou que estes grupos não foram separáveis entre si como pode se observar no gráfico da função discriminante (Figura 4.11).

Tabela 4.7 – Sumário da análise da função discriminante do grupo Complexo Arbóreo-arbustivo da Área da Reserva Particular do Patrimônio Natural de Serra das Almas (RPPNSA). N°. de variáveis no modelo: 2; grupos: veg (3grupos). Wilks' Lambda: 0,95796 F (4,288)=1,5629 p< 0,1843

	Wilks'	Parcial	F-remove	p-valor	Toler.	1-Toler.
G	0,987485	0,970100	2,219127	0,112408	0,996626	0,003375
A	0,971696	0,985863	1,032457	0,358752	0,996626	0,003374

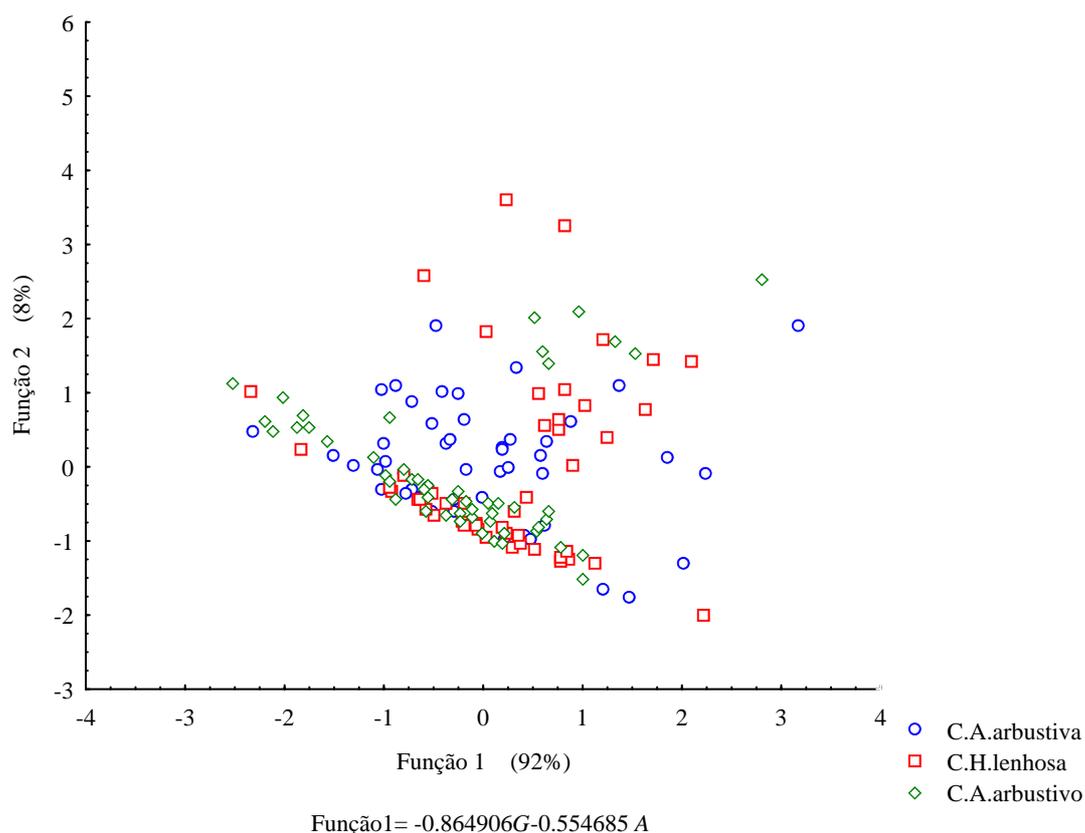


Figura 4.11 – Dispersão das Funções discriminantes das variáveis topográficas entre os grupos vegetacionais do Complexo Arbóreo-arbustivo da Área da Reserva Particular do Patrimônio Natural de Serra das Almas (RPPNSA)

Para a MIA a análise discriminante separou os grupos vegetacionais de modo significativo, considerando as variáveis topográficas (Wilks' Lambda: 0,39562; F (10,290)=17,106 p<0,0000). As variáveis elevação (*h*), curvatura vertical (*k<sub>v</sub>*), declividade (*G*), orientação de vertente (*A*) e curvatura horizontal (*k<sub>h</sub>*) foram importantes na discriminação entre os grupos de vegetação (Tabela 4.8), o que concorda com a Figura 4.12.

Tabela 4.8 – Sumário da análise da função discriminante. Área da Microbacia do Igarapé Asu (MIA). N° de variáveis no modelo: 5; grupo: veg (3grupos). Wilks' Lambda: 0,39562 F (10,290)= 17,106 p<0,0000

	Wilks'	Parcial	F-remove	p-valor	Toler.	1-Toler.
<i>h</i>	0,525606	0,752689	23,82137	0,000000	0,766851	0,233149
<i>A</i>	0,407103	0,971788	2,10474	0,125585	0,977078	0,022922
<i>k<sub>v</sub></i>	0,464929	0,850920	12,70185	0,000008	0,811175	0,188825
<i>G</i>	0,440473	0,898165	8,22012	0,000415	0,894754	0,105246
<i>k<sub>h</sub></i>	0,404755	0,977425	1,67452	0,191002	0,936637	0,063363

A distância de Mahalanobis, dos grupos no espaço discriminante indicou que todas as distâncias foram significativas, indicando que as variáveis morfométricas foram capazes de discriminar todas as fisionomias vegetais. Os grupos mais distantes entre si foram a Floresta de Baixio e a Floresta de Platô Alto (6,233659) e os mais próximos foram a Floresta de Baixio e Floresta de Platô Baixo com campinarana (1,585357) (Tabela 4.9). Estes últimos apresentaram considerável sobreposição (Figura 4.11), o que condiz com a transição das fisionomias vegetacionais.

Tabela 4.9 – Distância de Mahalanobis entre grupos no espaço discriminante. Área da Microbacia do Igarapé Asu (MIA)

	F. Baixio	F. P. Alto	F. P. B. Camp.
F. Baixio	0,000000	6,233659	1,585357
F. P. Alto		0,000000	3,867290
F. P. B. Camp.			0,000000

Segundo Ribeiro et al. (1999) a comunidade vegetal de vertente representa uma faixa de transição entre as florestas de platô e campinarana. Nas partes mais altas e floristicamente semelhantes à comunidade de platô (TELLO, 1995) e, nas mais baixas,

fisionomicamente parecida com campinarana (RIBEIRO et al., 1999), porém sem apresentar as espécies que a caracteriza. Por outro lado, outras espécies são exclusivas desse ecossistema florestal. Esta heterogeneidade fisionômica decorre de uma grande diversidade edáfica e topográfica na área (TELLO, 1995; RIBEIRO et al., 1999).

Os escores das observações num espaço discriminante bidimensional são apresnetados na Figura 4.12 O primeiro eixo representou 85% e o segundo eixo 15% do espaço discriminante. As variáveis elevação e a curvatura vertical estão correlacionadas positivamente com o eixo 1 (Tabela 4.10). A primeira discriminante separou claramente a Floresta de Platô Alto, mostrando ocorrência em locais de maiores altitudes e curvatura vertical e a da Floresta de Baixio em locais de menores altitudes e curvatura vetical, enquanto a Floresta de Platô Baixo com campinarana ocorreu em locais de transição entre estas duas feições, apresentando valores intermediários das mesmas variáveis. Quanto ao segundo eixo, a posição dos escores das observações no espaço discriminante não mostram uma discriminação muito clara.

Tabela 4.10 – Matriz de correlação das variáveis geomorfométricas. Área da Microbacia do Igarapé Asu (MIA)

	Função 1	Função 2
<i>h</i>	0,868610	-0,187333
<i>A</i>	0,031881	0,334352
<i>k<sub>v</sub></i>	0,743142	0,292901
<i>G</i>	0,031881	0,662975
<i>k<sub>h</sub></i>	0,269970	0,341848

Diante do exposto, pode-se concluir que a Floresta de Baixio e a Floresta de Platô Alto são mais separáveis entre si pelas variáveis geomorfométricas, enquanto que a Floresta de Baixio com campinarana se confunde com as duas primeiras. Assim, pode haver dificuldades na identificação deste tipo vegetacional com base apenas nas variáveis morfométricas do terreno.

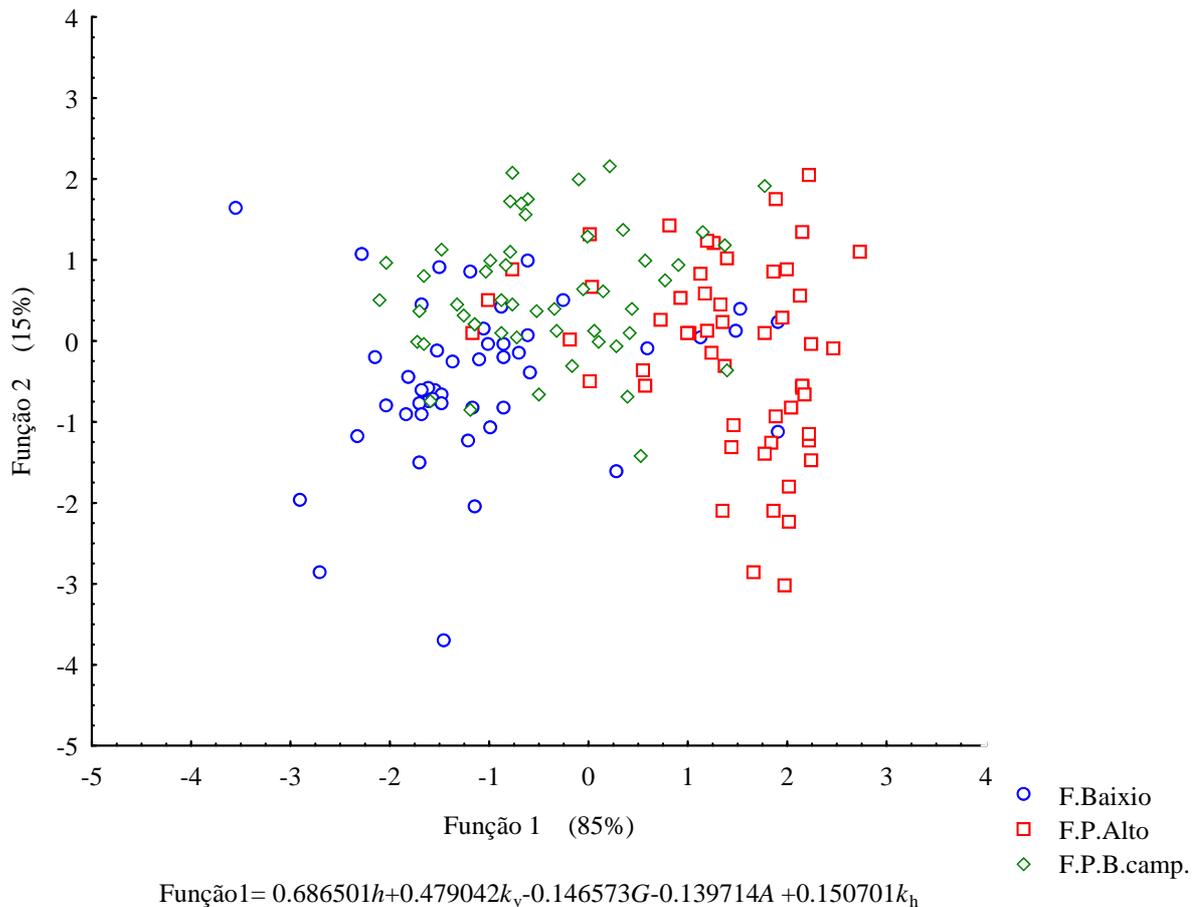


Figura 4.12 – Dispersão das Funções discriminantes das variáveis topográficas entre os grupos vegetacionais. Área da Microbacia do Igarapé Asu (MIA)

Quanto ao PNCA, a análise discriminante mostrou-se significativa na separação dos grupos vegetacionais Floresta Ombrófila Aberta Aluvial com palmeiras, Floresta Ombrófila Aberta Terras Baixas com palmeiras, Formações Pioneiras (Classes agrupadas: (A\_F) Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - arbustiva, (A\_G) Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - arbustiva com palmeiras, (A\_H) Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre – herbácea), Floresta Ombrófila Densa ( (A\_C) Floresta Ombrófila Densa Aluvial Dossel emergente, (A\_D) Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel emergente, (A\_E) Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel uniforme), Savana Gramíneo-lenhosa sem Floresta-de-galeria e Savana Parque sem floresta-de-galeria, com base nas variáveis morfométricas (Wilks' Lambda: 0,59817 F (9,1199)= 31,346 p<0. 0000). As maiores

significâncias na construção do modelo foram as variáveis elevação ( $h$ ), declividade ( $G$ ) e a curvatura vertical( $k_v$ ) (Tabela 4.11).

Tabela 4.11 – Sumário da análise da funções discriminante. Área do Parque Nacional dos Campos Amazônicos (PNCA). N° de variáveis no modelo: 3; grupos: veg (4grupos). Wilks' Lambda: 0,59817 F (9,1199)= 31,346 p<0. 0000

	Wilks'	Parcial	F-remove	p-valor	Toler.	1-Toler.
$h$	0.897849	0.666221	82.33170	0.000000	0.991641	0.008359
$G$	0.655090	0.913105	15.63869	0.000000	0.990296	0.009704
$k_v$	0.604121	0.990143	1.63604	0.180123	0.982358	0.017642

A distância entre os centróides dos grupos no espaço discriminante mostrou que os grupos mais distantes entre si foram Floresta Ombrófil Densa e Formações Pioneiras (3.769699) e as mais próximas foram Savana e Formações Pioneiras (0.747576) (Tabela 4.12). Todas as distâncias foram significativas, indicando que as variáveis geomorfométricas foram capazes de discriminar a maioria dos tipos de vegetação.

Tabela 4.12 – Distância de Mahalanobis entre grupos no espaço discriminante. Área do Parque Nacional dos Campos Amazônicos (PNCA)

	F. O. Aberta	F. O. Densa	F. Pioneiras	Savana
F. O. Aberta	0.000000	1.009975	1.192925	0.747576
F. O. Densa		0.000000	3.769699	1.756117
F. Pioneiras			0.000000	0.636013
Savana				0.000000

Os escores das observações num espaço discriminante bidimensional são apresentados na Figura 4.13 O primeiro eixo representou 89% e o segundo eixo 10% do espaço discriminante. A elevação foi correlacionada negativamente com o eixo 1 (Tabela 4.13). A primeira função discriminante separou bem as Formações Pioneiras e Floresta Ombrófila Densa, com uma nítida concentração da Floresta Ombrófila Densa em regiões de maiores altitudes comparativamente e da Savana em altitudes intermediárias. A posição dos escores do segundo eixo, por sua vez, não mostra uma discriminação não muito clara.

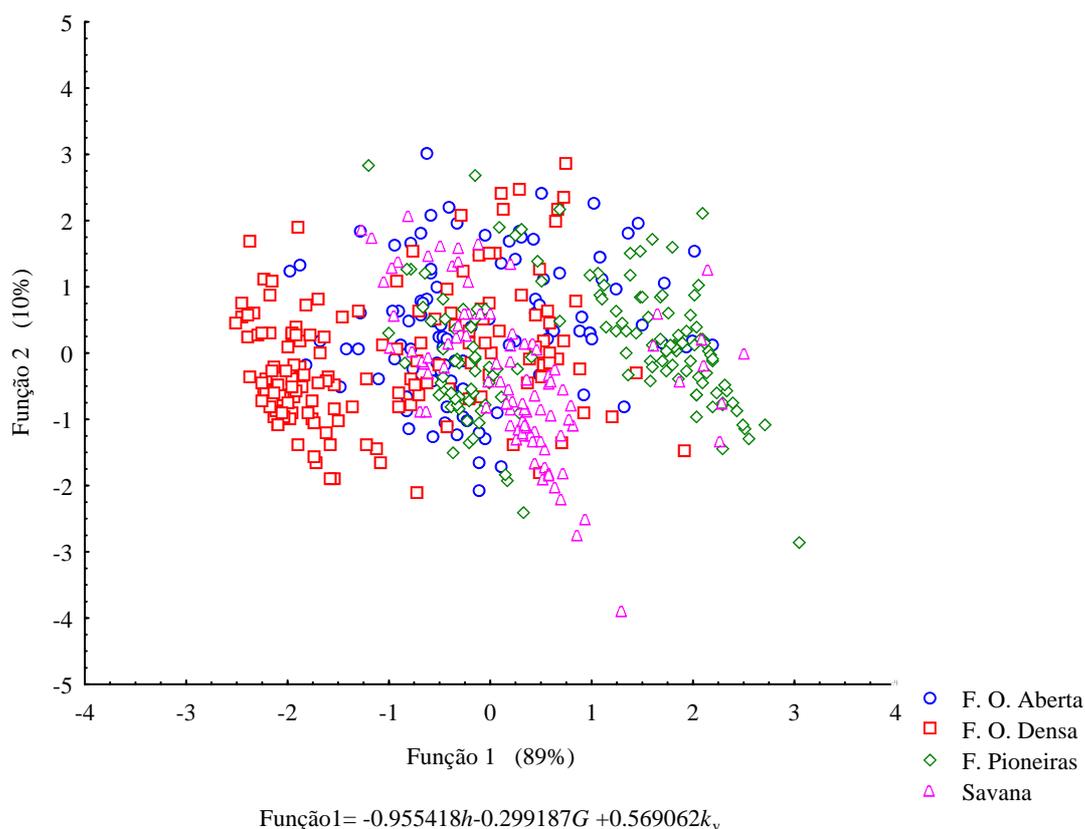


Figura 4.13– Dispersão das Funções discriminantes das variáveis topográficas entre os grupos vegetacionais. Área do Parque Nacional dos Campos Amazônicos (PNCA)

Houve uma grande sobreposição entre as fitofisionomias vegetais. Aliado a isso as variáveis topográficas explicaram apenas parte da variação, sendo fundamental a consideração de outros fatores ambientais que influenciam tal variação.

Tabela 4.13 – Matriz de correlação das variáveis geomorfométricas. Área do Parque Nacional dos Campos Amazônicos (PNCA)

	Função 1	Função 2
<i>h</i>	-0.946199	-0.285135
<i>G</i>	-0.299888	0.953434
<i>k<sub>v</sub></i>	0.040028	0.082033

Dentro dos grupos Formações Pioneiras e Floresta Ombrófila Densa, também foi feita análise discriminante para verificar se as variáveis topográficas são preditoras das diferenças existentes dentro destes grupos.

A análise discriminante referente às Formações Pioneiras, mostrou-se significativa na separação dos grupos vegetacionais com base nas variáveis morfométricas (Wilks' Lambda: 0,21944 F (9,474)=45. 619 p<0,0000). As variáveis elevação (*h*), curvatura vertical (*k<sub>v</sub>*) e orientação de vertentes (*A*) foram as mais importantes na discriminação dos grupos (Tabela 4.14).

Tabela 4.14 – Sumário da análise da função discriminante do grupo Formação Pioneira do Parque Nacional dos Campos Amazônicos (PNCA). N° de variáveis no modelo: 3; grupos: veg (4grupos). Wilks' Lambda: 0,21944 F (9,474)=45. 619 p<0,0000

	Wilks'	Parcial	F-remove	p-valor	Toler.	1-Toler.
<i>h</i>	0.988327	0.189399	291.0298	0.000000	0.794133	0.205867
<i>k<sub>v</sub></i>	0.203510	0.919798	5.9293	0.003397	0.868437	0.131563
<i>A</i>	0.200203	0.934994	4.7277	0.010352	0.886704	0.113296

Observando a distância entre os centróides (Tabela 4.15) dos grupos no espaço discriminante verificou-se que os grupos mais distantes entre si foram Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - herbácea (F. P. F. L. H) e Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre – arbustiva com palmeiras (F. P. F. L. C. P) (19.75363) e as mais próximas foram Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - herbácea (F. P. F. L. H) e Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - arbustiva (F. P. F. L. A) (0.16718). Entretanto as distâncias entre estas últimas não foram consideradas significativas ( Figura 4.14).

Tabela 4.15 – Distância de Mahalanobis entre grupos no espaço discriminante do grupo Formações Pioneiras do Parque Nacional dos Campos Amazônicos (PNCA)

	F. P. F. L. A.	F. P. F. L. A. C. P	F. P. F. L. H
F. P. F. L. A	0.00000	16.78342	0.16718 *
F. P. F. L. A. C. P		0.00000	19.75363
F. P. F. L. H			0.00000

\* Distância não significativa

Na Tabela 4.16 são apresentadas as primeiras funções discriminante e a Figura 4.14 apresenta a distribuição dos escores observados. O eixo 1 representou 99% e o segundo eixo 1% da variação no espaço discriminante. Nota-se também, a formação de dois conglomerados, um constituído por F. P. F. L. A. C. P (Formações Pioneiras com

influência fluvial/lacustre arbustiva com palmeiras) e o outro formado por Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - herbácea (F. P. F. L. H) e Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - arbustiva (F. P. F. L. A).

Tabela 4.16 – Matriz de correlação das variáveis geomorfométricas do grupo Formações Pioneiras do Parque Nacional dos Campos Amazônicos (PNCA)

	Função 1	Função 2
$h$	-0.905447	0.253524
$k_v$	-0.029439	0.965668
$A$	-0.019900	-0.094568

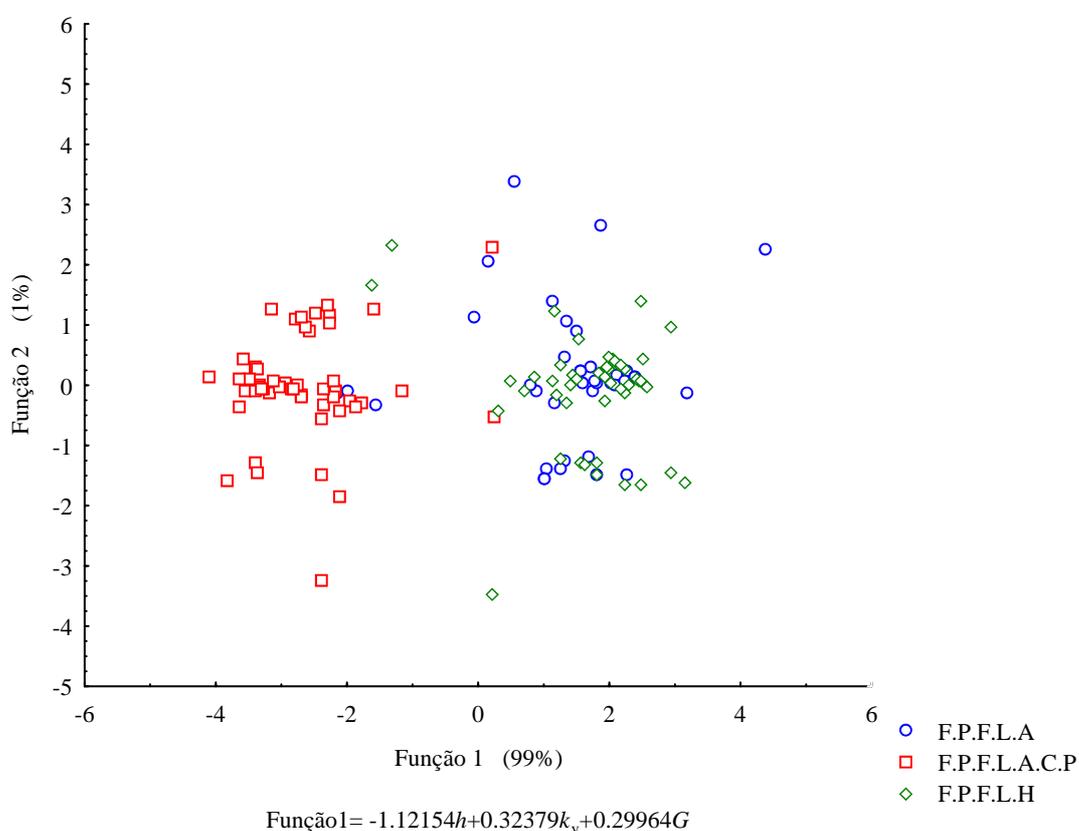


Figura 4.14 – Dispersão das Funções discriminantes das variáveis topográficas entre os grupos vegetacionais do grupo Formações Pioneiras do Parque Nacional dos Campos Amazônicos (PNCA)

A Floresta ombrófila densa apresentou uma análise discriminante significativa na separação dos grupos vegetacionais com base nas variáveis morfométricas (Wilks' Lambda: 0,25052 F (6,292)=48,565 p<0,0000). As variáveis mais importantes na

discriminação dos grupos foram a elevação ( $h$ ), curvatura vertical ( $k_v$ ) e curvatura horizontal ( $k_h$ ) (Tabela 4.17).

Tabela 4.17 – Sumário da análise da funções discriminante do grupo Floresta Ombrófila densa do Parque Nacional dos Campos Amazônicos (PNCA). N° de variáveis no modelo: 3; grupos: veg (3grupos). Wilks' Lambda: 0,25052 F (6,292)=48,565 p<0,0000

	Wilks'	Parcial	F-remove	p-valor	Toler.	1-Toler.
$h$	0,915853	0,273539	193,8718	0,000000	0,896351	0,103650
$k_v$	0,287718	0,870722	10,8385	0,000041	0,882093	0,117907
$k_h$	0,255539	0,980367	1,4619	0,235163	0,971082	0,028918

Observando a distância entre os centróides (Tabela 4.18) dos grupos no espaço discriminante verificou-se que os grupos mais distantes entre si foram Floresta Ombrófila Densa Aluvial Dossel emergente (F. O. D. A. D. E) e Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel uniforme (F. O. D. T. B. D. U.) (17. 02336) e as mais próximos foram Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel emergente (F. O. D. T. B. D. E) e Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel uniforme (F. O. D. T. B. D. U.) (1. 427646).

4.18 – Distância de Mahalanobis entre grupos no espaço discriminante do grupo Floresta Ombrófila Tabela densa do Parque Nacional dos Campos Amazônicos (PNCA)

	F. O. D. A. D. E.	F. O. D. T. B. D. E.	F. O. D. T. B. D. U.
F. O. D. A. D. E.	0,00000	8,602946	17,02336
F. O. D. T. B. D. E.		0,000000	1,42765
F. O. D. T. B. D. U.			0,00000

Analisando a Tabela 4.19 e a Figura 4.15 observa-se que o eixo da função 1 discriminou melhor os grupos vegetacionais. A altitude correlacionou-se negativamente com o eixo 1. O gráfico mostra uma clara separação entre F. O. D. A. D. E e F. O. D. T. B. D. U.

Tabela 4.19 – Matriz de correlação das variáveis geomorfométricas do grupo Floresta Ombrófila densa do Parque Nacional dos Campos Amazônicos (PNCA)

	Função 1	Função 2
$h$	-0,883092	0,273758
$k_v$	0,137193	0,809932
$k_h$	-0,128734	0,445988

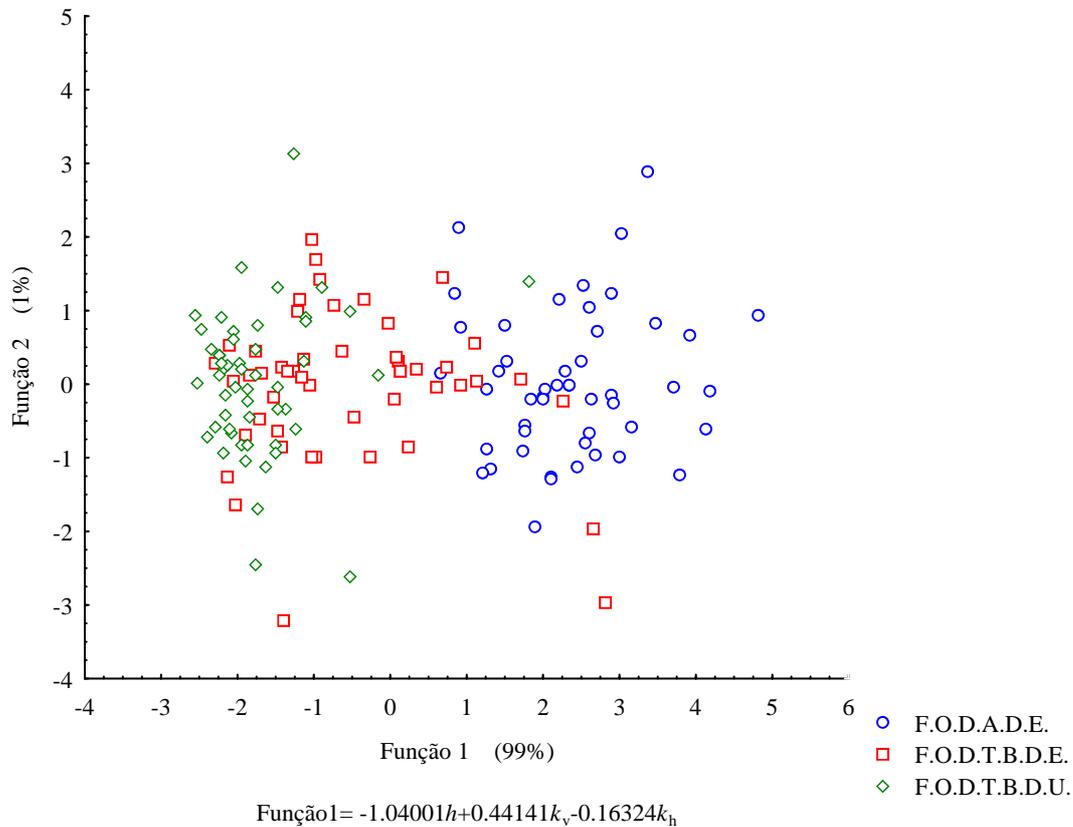


Figura 4.15 – Dispersão das Funções discriminantes das variáveis topográficas entre os grupos vegetacionais do grupo Floresta Ombrófila densa do Parque Nacional dos Campos Amazônicos (PNCA)

Finalmente o PNB apresentou uma análise discriminante significativa na separação dos grupos vegetacionais Mata (Classes agrupadas: Mata Galeria (B\_A), Brejo (B\_G) e Mata de Interflúvio (B\_H)), Cerrado *sensu strictu* (B\_B) Campo Cerrado (Classes agrupadas: Campo Cerrado (B\_C) e Campo Cerrado com Trembléias (B\_J)), Campo Sujo (Classes agrupadas: Campo Sujo (B\_D) e Campo Sujo com presença de *Lychnophora ericoides* (amica) e “canela de ema” (B\_M)) e Campo Limpo (Campo Limpo (B\_E), Campo Limpo Úmido (B\_F) e Campo Limpo com Murundum (B\_L)) com base nas variáveis morfométricas (Wilks' Lambda: 0,54942 F (20,2163)=21,407 p<0,0000). Cabe ressaltar que para tal análise foi excluída a classe reflorestamento. As variáveis orientação de vertente (A), elevação (h), declividade (G), curvatura horizontal

( $k_h$ ) e curvatura vertical ( $k_v$ ) foram importantes na discriminação entre estes tipos de vegetação (Tabela 4.20).

Tabela 4.20 – Sumário da análise da função discriminante. Área do Parque Nacional de Brasília (PNB).  
Nº de variáveis no modelo: 5; grupos: veg (3grupos). Wilks' Lambda: 0,54942F  
(20,2163)=21,407 p<0,0000.

	Wilks'	Parcial	F-remove	p-valor	Toler.	1-Toler.
<i>h</i>	0,645090	0,851699	28,38221	0,000000	0,897342	0,102659
<i>A</i>	0,652288	0,842300	30,51769	0,000000	0,950633	0,049367
$k_h$	0,581610	0,944658	9,54928	0,000000	0,928414	0,071586
$k_v$	0,571084	0,962070	6,42639	0,000045	0,905045	0,094955
<i>G</i>	0,604029	0,909596	16,20052	0,000000	0,917956	0,082044

Observando a distância entre os centróides (Tabela 4.21) dos grupos no espaço discriminante verificou-se que os grupos mais distantes entre si foram Campo Limpo e Mata (2,769105) e as mais próximos foram Campo Cerrado e Cerrado *sensu strictu* (0,420457). A proximidade destes últimos quanto ao conjunto de variáveis morfométricas que os definiram é comparável com a estrutura vegetacional, uma vez que ambas as feições vegetacionais são muito parecidas. O Campo Cerrado é a forma de vegetação intermediária entre o Campo Sujo e o Cerrado *sensu strictu*, se diferenciando deste último apenas pelo maior espaçamento e a sua menor quantidade de vegetação arbórea comparativamente com o Cerrado *sensu strictu*.

Todas as distâncias foram significativas, indicando que as variáveis geomorfométricas foram capazes de discriminar todas as fitofisionomias vegetais consideradas na análise.

Tabela 4.21 – Distância de Mahalanobis entre grupos no espaço discriminante. Área do Parque Nacional de Brasília (PNB)

	Mata	C. <i>s. strictu</i>	C. Cerrado	C. sujo	C. limpo
Mata	0,000000	1,753158	2,308279	1,259045	2,769105
C. <i>s. strictu</i>		0,000000	0,420457	0,651613	1,889539
C. Cerrado			0,000000	0,951929	1,594591
C. sujo				0,000000	1,605777
C. limpo					0,000000

Os escores das observações num espaço bidimensional são apresentados na Figura 4.16 e as primeiras funções na Tabela 4.22. O primeiro eixo representou pouco mais da metade do espaço discriminante com 57% da variação, enquanto o segundo representou 31%. A elevação foi correlacionada positivamente com o eixo 1. A primeira função separou claramente a Mata do Campo Limpo, mostrando que a Mata ocorreu preferencialmente em locais com menor altitude e o Campo Limpo em locais com maior altitude. Quanto ao segundo eixo, a posição dos escores das observações no espaço discriminante não mostrou uma discriminação muito clara.

Tabela 4.22 – Matriz de correlação das variáveis geomorfométricas. Área do Parque Nacional de Brasília (PNB)

	Função 1	Função 2
<i>h</i>	0,787500	-0,269384
<i>A</i>	-0,406321	-0,652026
<i>k<sub>h</sub></i>	0,474768	-0,356403
<i>k<sub>v</sub></i>	0,457941	-0,406250
<i>G</i>	0,034063	0,410172

Houve uma sobreposição entre as várias fitofisionomias vegetais (Figura 4.16), o que indica que as variáveis topográficas podem variar em gradiente e não de forma discreta, o que levaria a vegetação ter faixas transicionais e não limites bem definidos. Aliado a isso, as variáveis topográficas explicaram parte da variação vegetacional, no entanto, outros fatores podem ser importantes. Assim, nessa graduação de Campo Limpo a Cerradosensu strictu (Campo Limpo, Campo Sujo, Campo Cerrado e Cerrado sensu strictu), o aumento de biomassa que acompanha o adensamento arbóreo se deve a um conjunto de três fatores: o pedológico, pela oligotrofia mineral, toxidez por alumínio e diferenças de drenagem e profundidade dos solos; o pirogênico, pela ação do fogo na biota; e o climático, principalmente pelo efeito sazonal que limita a disponibilidade de água (COUTINHO, 1990; 2000; RIBEIRO; WALTER, 1998). Além disso, desde o século passado, o fator antrópico passou a causar modificações intensas na paisagem do domínio do Cerrado, com abertura de áreas para produção agropecuária, produção de carvão, retirada seletiva de madeira, construção de cidades e estradas e uso frequente de fogo (COUTINHO, 1990). Passos (1981) admite também que as seções de Cerrado, sua

estrutura estética e a composição florística variam marcadamente em função dos traços morfológicos e pedológicos; ação do fogo, criação intensa do gado bovino e pelo uso predatório de seus recursos para fins variados. Apesar desse grande número de fatores determinantes das diferentes fisionomias de Cerrado, as variáveis topográficas podem ser consideradas importantes preditoras dessas fisionomias.

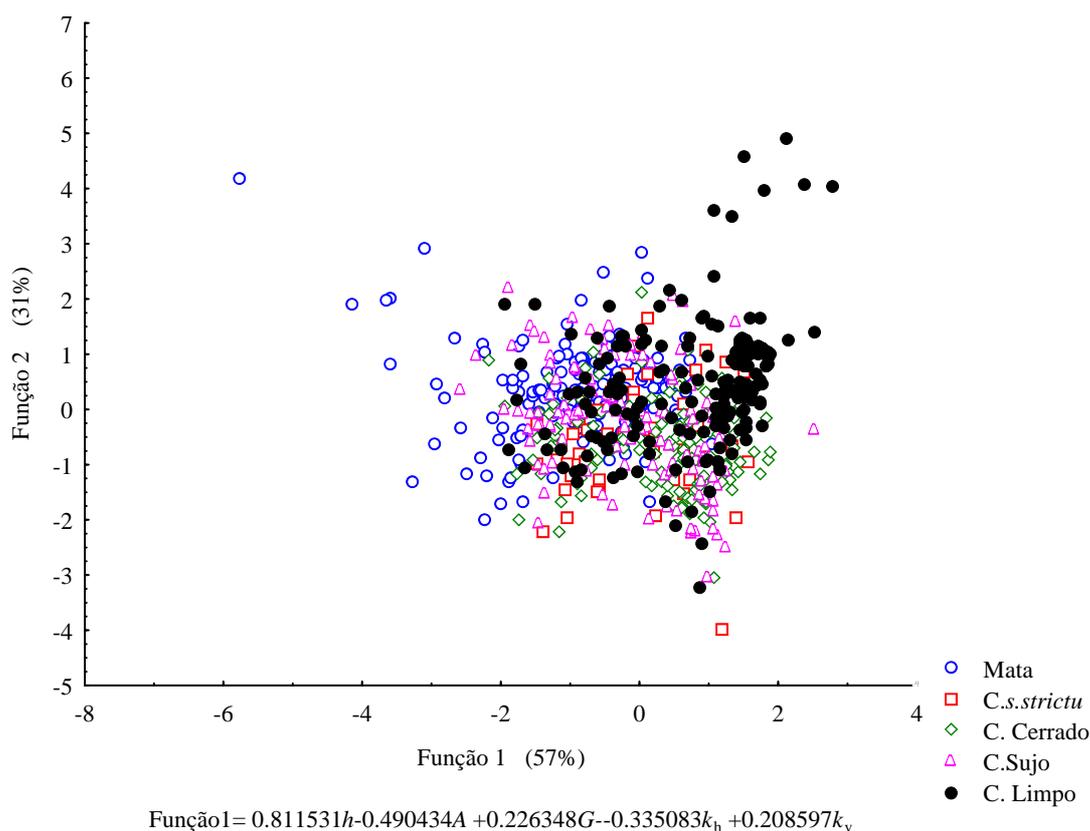


Figura 4.16 – Dispersão das Funções discriminantes das variáveis topográficas entre os grupos vegetacionais do Parque Nacional de Brasília (PNB)

Como o Campo Limpo e a Mata apresentaram subfisionomias, foram feitas análises separadas para as mesmas. O objetivo dessas análises foi verificar se as variáveis topográficas também são boas preditoras dessas subfisionomias.

Para o Campo Limpo, a análise discriminante mostrou-se significativa na separação dos grupo vegetacionais com base nas variáveis morfométricas (Wilks' Lambda: 0,54780 F (10,360)=12,640  $p < 0,0000$ ). As maiores significâncias na construção do modelo foram

as altitude (0,713429), orientação de vertente (0,676059), e curvatura vertical (0,579371) (Tabela 4.23).

Tabela 4.23 – Sumário da análise da função discriminante do grupo Campo Limpo do Parque Nacional de Brasília (PNB). N° de variáveis no modelo: 5; grupos: veg (3grupos). Wilks' Lambda: 0,54780 F (10,360)=12,640 p<0,0000

	Wilks'	Parcial	F-remove	p-valor	Toler.	1-Toler.
<i>h</i>	0,713429	0,767837	27,21238	0,000000	0,881053	0,118947
<i>A</i>	0,676059	0,810280	21,07265	0,000000	0,919987	0,080013
<i>k<sub>h</sub></i>	0,555943	0,985349	1,33820	0,264915	0,785837	0,214163
<i>k<sub>v</sub></i>	0,579371	0,945503	5,18741	0,006452	0,815523	0,184476
<i>G</i>	0,559424	0,979216	1,91025	0,151033	0,940045	0,059955

Observando a distância entre os centróides (Tabela 4.24) dos grupos no espaço discriminante verificou-se que os grupos mais distantes entre si foram Campo Limpo e Campo Limpo Úmido (4,279562) e as mais próximos foram Campo Limpo e Campo Limpo com Murundum (0,648776). Essa proximidade é também evidenciada analisando gráfico da função discriminante (Figura 4.16).

Tabela 4.24 – Distância de Mahalanobis entre grupos no espaço discriminante do grupo Campo Limpo do Parque Nacional de Brasília (PNB)

	C. Limpo	C. L. Úmido	C. L. Murundum
C. Limpo	0,000000	4,279562	0,648776
C. L. Úmido		0,000000	2,373841
C. L. Murundum			0,000000

Analisando a Figura 4.16 e a Tabela 4.25 observa-se que o eixo da Função 1 discrimina melhor os grupos vegetacionais. A altitude foi a variável topográfica que apresentou maior correlação positiva com o eixo discriminante 1 (0,704843).

Tabela 4.25 – Matriz de correlação das variáveis geomorfométricas do grupo Campo Limpo do Parque Nacional de Brasília (PNB)

	Função 1	Função 2
$h$	0,704843	-0,010358
$A$	-0,567686	-0,304501
$k_h$	0,055032	-0,173645
$k_v$	0,042136	0,713181
$G$	-0,318338	0,315520

A partir da Figura 4.17, verifica-se que houve uma grande sobreposição entre certos grupos.

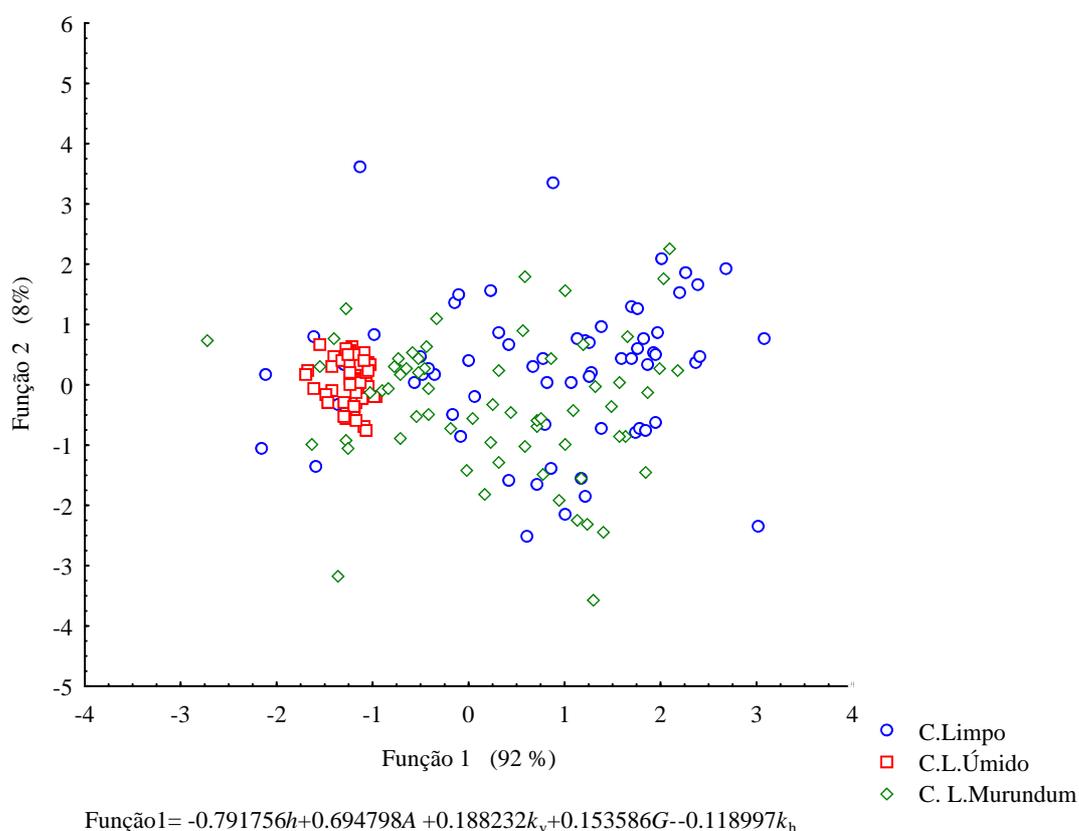


Figura 4.17 – Dispersão das Funções discriminantes das variáveis topográficas entre os grupos Campo Limpo do Parque Nacional de Brasília (PNB)

Os grupos Campo Limpo e Campo Limpo com Murundum mostraram uma certa sobreposição entre si. Enquanto o Campo Limpo Úmido se encontra com uma distribuição mais restrita e isolada dos outros dois. Isso pode se explicar por sua preferência por ambientes mais úmidos e áreas de encostas de vales. Nestes ambientes, geralmente o lençol freático permanece na superfície durante parte do ano e, no período

de seca, sofre um rebaixamento, em que as camadas subsuperficiais mantêm o encharcamento do solo (PIVELLO et al., 1998). Enquanto que a sobreposição entre Campo Limpo e Campo Limpo com Murundum se deve ao fato deste ser basicamente um campo úmido em terreno pouco inclinado, com ilhas de Campo Limpo, arredondadas e um pouco mais altas. Os murunduns são formados por erosão diferencial do terreno e deposição da terra por térmitas, recobertas por vegetação de Cerrado e solo permanentemente saturado de água entre os murunduns (ARAÚJO-NETO, 1986).

Para a Mata, a análise discriminante mostrou-se significativa na separação dos grupo vegetacionais com base nas variáveis morfométricas, (Wilks' Lambda: 0,45369 F (8,334)=20,234 p<0,0000). As maiores significâncias na construção do modelo foram as altitude (0,713429), orientação de vertente (0,676059), e curvatura vertical (0,579371) (Tabela 4.26).

Tabela 4.26 – Sumário da análise da função discriminante do grupo Mata do Parque nacional de Brasília (PNB). N° de variáveis no modelo: 4; grupos: veg (3grupos). Wilks' Lambda: 0,45369 F (8,334)=20,234 p<0,0000.

	Wilks'	Parcial	F-remove	p-valor	Toler.	1-Toler.
<i>G</i>	0, 740994	0, 612267	52, 87851	0, 000000	0, 832297	0, 167703
<i>A</i>	0, 507837	0, 893369	9, 96642	0, 000081	0, 966140	0, 033860
<i>h</i>	0, 489610	0, 926627	6, 61177	0, 001724	0, 781795	0, 218205
<i>k<sub>v</sub></i>	0, 462252	0, 981469	1, 57659	0, 209739	0, 903314	0, 096686

Observando a distância entre os centróides dos grupos no espaço discriminante, distância de Mahalanobis (Tabela 4.27), verificou-se que os grupos mais distantes entre si foram Mata de Interflúvio e Mata Galeria (5,176726) e as mais próximas foram Brejo e Mata Galeria (0,286713). Essa proximidade é também evidente analisando gráfico da função discriminante (Figura 4.18). A distância entre o Brejo e Mata Galeria não foram significativas. Isto implica na grande sobreposição entre estes grupos. Enquanto a Mata de Interflúvio se encontra com uma distribuição mais restrita e isolada dos outros dois.

Tabela 4.27 – Distância de Mahalanobis entre grupos no espaço discriminante do grupo Mata do Parque Nacional de Brasília (PNB)

	M. Galeria	Brejo	M. Interflúvio
M. Galeria	0,000000	0,286713*	5,176726
Brejo		0,000000	4,862178
M, Interflúvio			0,000000

\* Distância não significativa

Esses resultados reafirmam que a posição do relevo é um dos determinantes da composição florística e de estrutura das comunidades de interflúvio (FONSECA; JÚNIOR, 2004), uma vez que estas se localizam em locais mais altos. Enquanto que a sobreposição entre Mata Galeria e Brejo se deve ao fato deste último tipo de vegetação ocupar planícies permanentemente encharcadas que freqüentemente surge nas bordas nas Matas de Galeria ou mesmo matas ciliares dos vales rasos da região de Cerrado (RIBEIRO; WALTER, 1998). A característica marcante desse tipo de ambiente é o nível da água sempre acima do solo, embora haja variações durante o ano.

Analisando a Figura 4.18 e a Tabela 4.28 observa-se que o eixo da Função 1 discrimina melhor os grupos vegetacionais. A altitude foi a variável topográfica que apresentou maior correlação positiva com o eixo discriminante 1, assim a distribuição dos escores da Mata de Interflúvio possui os maiores valores de altitude.

Tabela 4.28 – Matriz de correlação das variáveis geomorfométricas do grupo Mata do Parque Nacional de Brasília (PNB)

	Função 1	Função 2
<i>h</i>	0,849666	0,286224
<i>A</i>	0,504311	0,010065
<i>G</i>	0,088693	0,799165
<i>k<sub>v</sub></i>	-0,044105	-0,365752

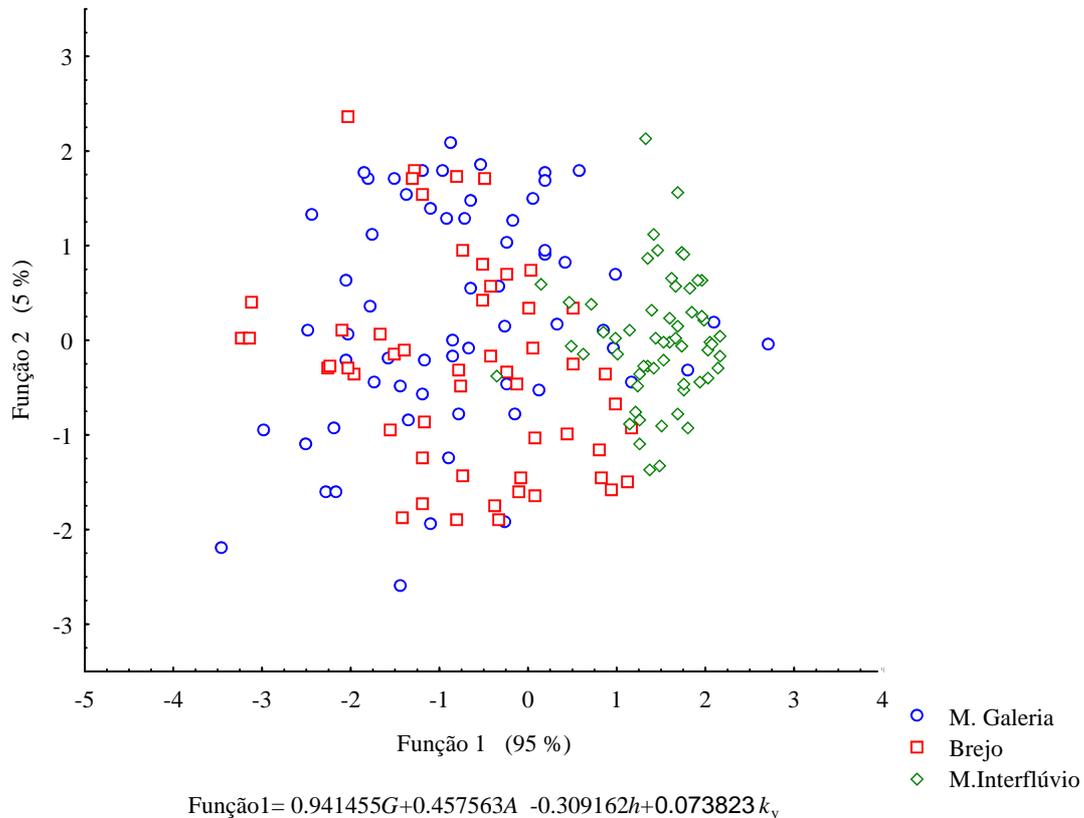


Figura 4.18 – Dispersão das Funções discriminantes das variáveis topográficas entre os grupos vegetacionais do grupo Mata do Parque Nacional de Brasília (PNB)

Diante do exposto podemos concluir que as variáveis geomorfométricas podem prever os tipos vegetacionais de alguns grupos, sendo a maioria destes confundidos entre si, uma vez que as diferenças vegetacionais se devem mais às características pedológicas e clima, por exemplo.

### 4.3 Processamentos experimentais

Diante da apreciação dos dados e das análises discriminantes foram feitos processamentos para verificação da aplicabilidade de tais resultados ao mapeamento da vegetação. As Figuras 4.18, 4.19, 4.20 e 4.21 ilustram os produtos das classificações das variáveis geomorfométricas selecionadas, realizadas através de métodos diversos (*Cluster*, Máxima Verossimilhança e Fatiamento), bem como o mapa de vegetação de cada área em estudo. Apesar da representação de tais resultados na forma de mapas (Figuras 4.19 a 4.34), é importante lembrar que estes são exercícios experimentais, uma

vez que são reconhecidas as fontes tradicionais de informação para o mapeamento da vegetação.

As classificações por *Cluster*, *MaxVer* e Fatiamento, bem como a classificação por Fatiamento das primeiras funções discriminantes, mostraram diferentes respostas comparativamente aos mapas de vegetação. A avaliação dos histogramas propiciou a seleção do melhor conjunto de variáveis topográficas para alimentar algoritmos de classificação. Esta seleção se baseou nas classes que se separavam mais claramente entre si.

As análises de histogramas para RPPNSA (Figura 4.5) mostraram notável separação entre as classes S\_A e S\_I, através da variável elevação, sendo a classe S\_A coincidente com a S\_C, S\_D e parte predominante da S\_H. Esta última classe se distinguiu das demais por sua curvatura horizontal mostrando um caráter convergente e curvatura vertical côncava, principalmente.

Na MIA as análises (Figura 4.6), indicaram melhor distinção entre as classes I\_A e I\_B através das variáveis elevação e curvatura vertical, principalmente. A classe I\_C se apresenta em situação intermediária, embora se mostre especialmente diferente da classe I\_B quando se observa a distribuição da elevação, seguida da curvatura vertical. Nesta área em especial, os métodos de elaboração do mapa de referência (segundo Moreira, M. 2006, comunicação pessoal) causam uma circularidade da informação topográfica neste estudo. O traçado da Floresta de Platô Alto foi definido pelo Fatiamento da altitude acima de 61 m. Por sua vez, a Floresta de Baixio foi delimitada pelas áreas a menos de 50 m dos cursos d'água, estes dispostos de acordo com o mapeamento da hidrologia local, a partir de mapas do IBGE.

Para o PNCA, a análise dos histogramas (Figura 4.7) mostrou a separação entre as classes A\_B, A\_C, A\_D e A\_F e entre A\_G, A\_H e A\_I através das variáveis elevação. Esta última combinação, entretanto não gerou resultado satisfatório comparativamente com a referência (Figura 4.20), uma vez que não abrange todo o intervalo de valores possíveis. As demais variáveis geomorfométricas apresentaram-se mais ou menos homogêneas para todas as classes. A análise dos histogramas do PNB (Figura 4.8)

mostrou melhor separação entre as classes B\_F e B\_I através da variável elevação, entretanto estas são muito pequenas diante das demais, sendo então excluídas da análise para alimentar a classificação por Fatiamento. As demais classes de modo geral, quanto a elevação, a declividade e curvatura horizontal se diferenciaram mais visualmente, embora houvesse bastante confusão entre estas feições.

Diante do exposto, foram selecionadas as variáveis elevação, curvatura vertical e curvatura horizontal para alimentar os algoritmos de classificação das primeiras três áreas, enquanto a elevação, a declividade e curvatura horizontal foram selecionadas para o PNB.

O uso da altitude para expansão de observações pontuais também é uma prática inerente aos mapas RADAM e seus derivados. Além de sua contaminação nos mapas, a altitude está também correlata às variáveis morfométricas, de acordo com a ordenação altitudinal ditada pelo padrão do terreno (VALERIANO et al., 2006). Num exemplo simples, terrenos convexos nos topos e côncavos nos baixios de uma mesma vertente. Pode-se esperar devido a isso uma superestimativa da importância dessa variável, quando aferida por estes mapas. Nos mapas referentes a área da MIA (Figura 4.20 e 4.25), por exemplo, percebe-se em função de algumas diferenças que, (1) a base altimétrica usada no mapeamento da vegetação na MIA difere dos dados SRTM (os Fatiamentos não coincidem integralmente); (2) a visualização dos dados SRTM permite a percepção de drenagens que não estavam representadas no mapa usado para mapeamento da vegetação (há mais afluentes nos dados topográficos de Floresta de Baixo). Tal situação pode ser considerada uma regra, embora menos explícita do que no caso acima, em todo o mapeamento da vegetação na Amazônia, uma vez que descendem dos dados RADAM, cuja metodologia tem intenso aporte da informação topográfica.

Por meio da interpretação visual das classificações, percebe-se na RPPNSA (Figura 4.20), que o método de classificação que gerou produto mais semelhante ao mapa referência foi o *MaxVer* ( $\kappa=0,3439$ ), principalmente pela extensão e posicionamento das classes Caatinga Florestada (S\_F), Carrasco (S\_G) e Mata Seca (S\_I). O *Cluster* apresenta o produto mais distante comparativamente ao mapa

referência ( $\kappa = 0,0443$ ), especialmente no que se refere a abrangência e o posicionamento das classes (S\_A) Caatinga Arbóreo-arbustiva e (S\_B) Complexo Arbóreo. Por outro lado, embora o produto da classificação por Fatiamento ( $\kappa=0,2662$ ) mostre apenas três zonas vegetacionais, estas esboçam um resultado mais coerente ao mapa referência do que por *Cluster*. A classificação por *MaxVer* também foi o melhor resultado encontrado no PNB ( $\kappa=0,1231$ ), principalmente pela extensão e posicionamento das classes (B\_B) Cerrado *sensu strictu* e (B\_C) Campo Cerrado.

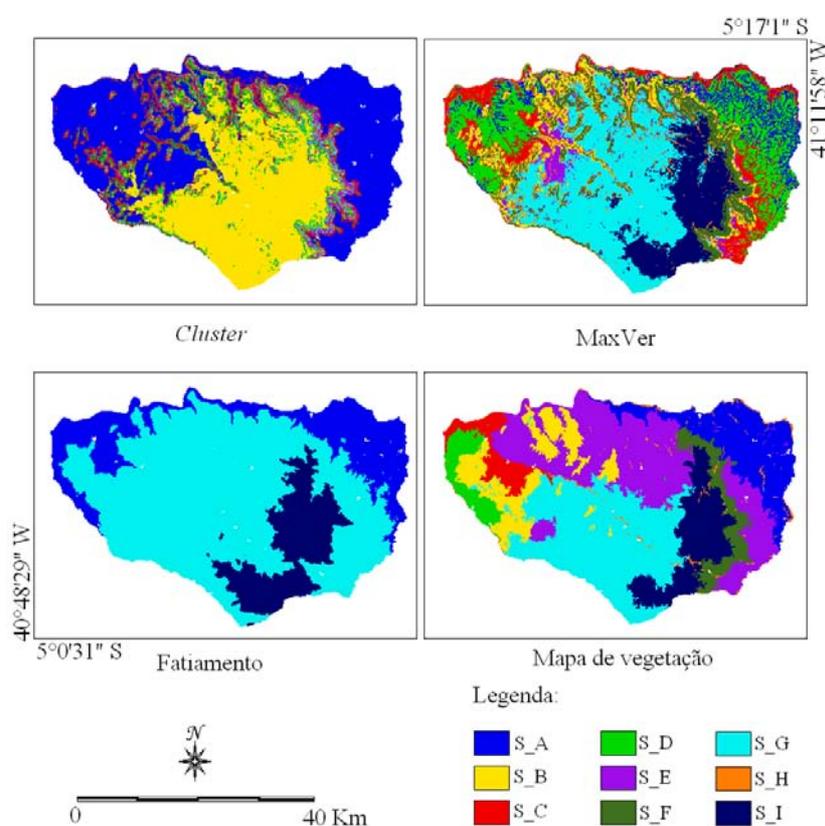


Figura 4.19 – Classificações sobre variáveis geomorfométricas para a Reserva Particular do Patrimônio natural de Serra das Almas (RPPNSA) utilizando métodos de *Cluster*, Máxima Verossimilhança (*MaxVer*), Fatiamento e Mapa de vegetação usado como referência. Classes de Vegetação: S\_A (Caatinga Arbórea-arbustiva), S\_B (Complexo Arbóreo), S\_C (Caatinga Herbáceo-Lenhosa), S\_D (Complexo Arbóreo-arbustivo), S\_E (Caatinga Arbórea), S\_F (Caatinga Florestada), S\_G (Carrasco), S\_H (Complexo Galeria) e S\_I (Mata Seca).

Para o PNB, o *Cluster* apresentou um produto muito diferente do mapa referência ( $\kappa=-0,0079$ ), não apresentando nenhuma correspondência com o mapa referência. Em contrapartida, a classificação por Fatiamento mostra um produto mais coerente ( $\kappa=0,1067$ ), mesmo apresentando apenas três feições vegetacionais (Figura 4.21). Em contrapartida o mapa gerado por Fatiamento foi o melhor produto encontrado para MIA (Figura 4.20) e PNCA (Figura 4.21) em detrimento das demais classificações. Para a MIA por meio do Fatiamento ( $\kappa=0,5556$ ) a classe que apresentou maior semelhança com o mapa de vegetação da área foi a classe I\_A (Floresta de Baixo). Entretanto, as classificações por *Cluster* ( $\kappa=0,4297$ ) e *MaxVer* ( $\kappa=0,4986$ ) também produziram resultados visualmente bastante semelhantes ao mapa referência.

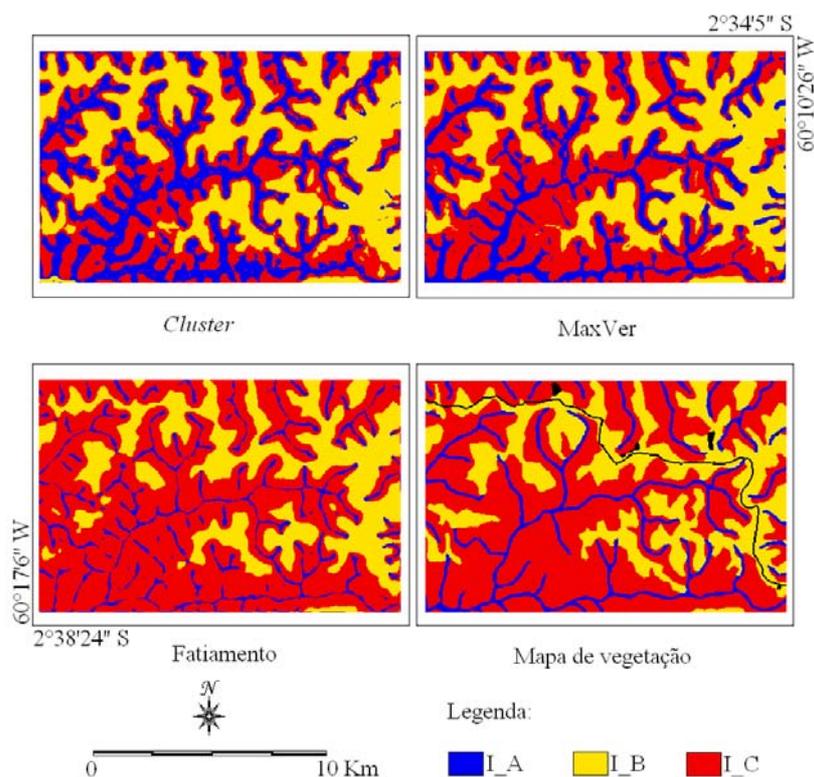


Figura 4.20 – Classificações sobre variáveis geomorfométricas para a Microbacia do Igarapé Asu (MIA) utilizando métodos de *Cluster*, Máxima Verossimilhança (*MaxVer*), Fatiamento e Mapa de vegetação usado como referência. Classes de Vegetação: I\_A (Floresta de Baixo), I\_B (Floresta de Platô Alto) e I\_C (Floresta de Platô Baixo com campinarana).

Finalmente, para o PNCA o Fatiamento gerou produto comparável ao mapa referência ( $\kappa=0,4104$ ), principalmente pela extensão e posicionamento das classes (A\_B)

Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - arbustiva sem palmeiras, (A\_C) Floresta Ombrófila Densa Aluvial Dossel emergente e (A\_D) Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel emergente. O *Cluster* ( $\kappa=-0,0913$ ) apresenta o resultado mais discrepante comparativamente com a referência não havendo correspondência entre nenhuma das classes. A classificação por *MaxVer* também mostra pouca correspondência com o mapa referência ( $\kappa=0,0958$ ).

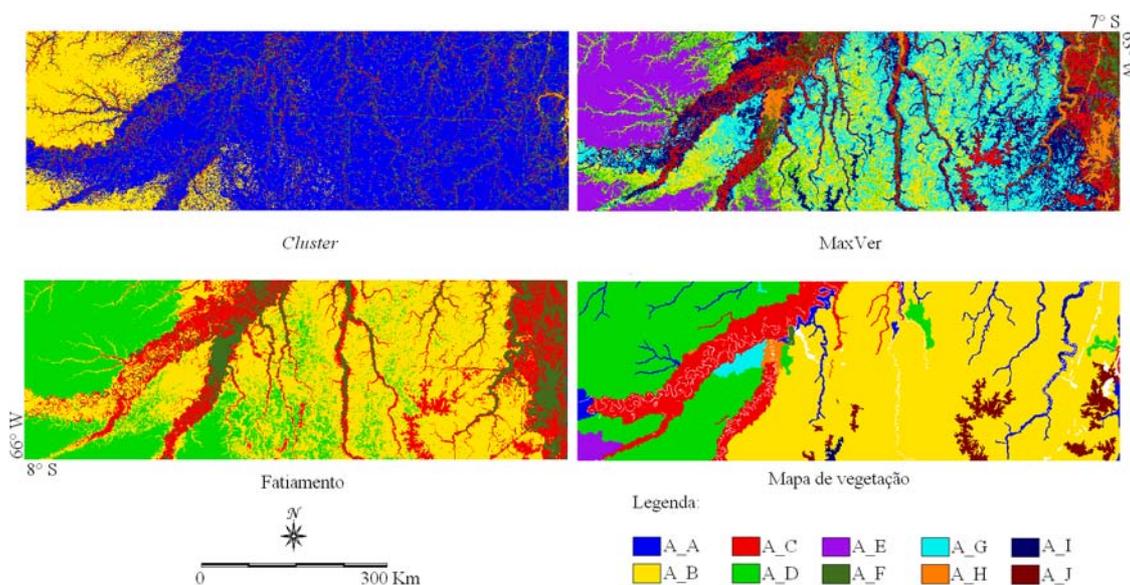


Figura 4.21 – Classificações sobre variáveis geomorfométricas para o Parque Nacional dos Campos Amazônicos (PNCA) utilizando métodos de *Cluster*, Máxima Verossimilhança (*MaxVer*), Fatiamento e Mapa de vegetação usado como referência. Classes de Vegetação: A\_A (Floresta Ombrófila Aberta Terras Baixas com palmeiras), A\_B (Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - arbustiva sem palmeiras), A\_C (Floresta Ombrófila Densa Aluvial Dossel emergente), A\_D (Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel emergente), A\_E (Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel uniforme), A\_F (Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - arbustiva), A\_G (Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - arbustiva com palmeiras), A\_H (Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - herbácea), A\_I ( Savana Gramíneo-Lenhosa sem floresta-de-galeria) e A\_J (Savana Parque sem floresta-de-galeria).

Considerando todas as áreas em conjunto, observa-se que, entre os métodos de classificação, o *Cluster* apresentou os piores produtos, enquanto as classificações por *MaxVer* e Fatiamento apresentaram os melhores resultados. Pode-se, no entanto,

distinguir o Fatiamento como o método de melhor resultado para áreas PCNA e MIA, da Amazônia, e *MaxVer* para RPPNSA (Caatinga) e PNB (Cerrado).

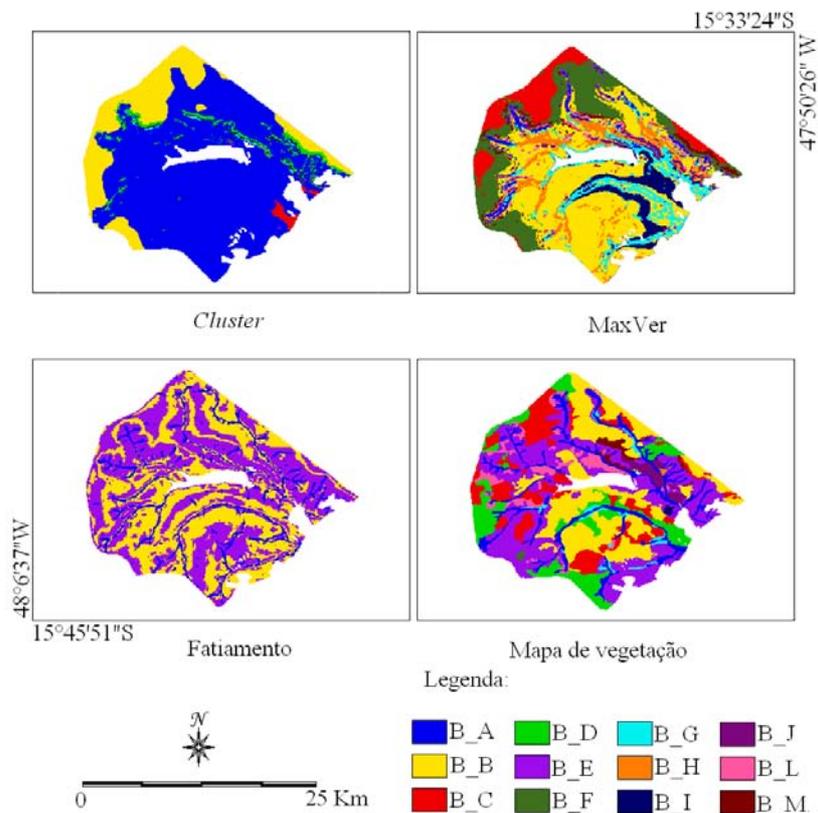


Figura 4.22 – Classificações sobre variáveis geomorfométricas para o Parque Nacional de Brasília (PNB) utilizando métodos de *Cluster*, Máxima Verossimelhança (*MaxVer*), Fatiamento e Mapa de vegetação usado como referência. Classes de Vegetação: B\_A (Mata Galeria), B\_B (Cerrado *sensu strictu*), B\_C (Campo Cerrado), B\_D (Campo Sujo), B\_E (Campo Limpo), B\_F (Campo Limpo Úmido), B\_G (Brejo), B\_H (Mata de Interflúvio), B\_I (Reflorestamento), B\_J (Campo Cerrado com Trembléias), B\_L ( Campo Limpo com Murundum) e B\_M (Campo Sujo com presença de *Lychnophora ericoides* (amica) e “canela de ema”).

Quanto aos processamentos baseados nas análises discriminantes, a geração da imagem da primeira função discriminante de cada área permitiu a obtenção de uma classificação mais elaborada que as anteriores, com melhores resultados gerais. Os mapas de vegetação referência, apresentados neste ensaio, são produtos de reagrupamento de classes de vegetação feitos em função da semelhança entre suas estruturas vegetacionais.

A Figura 4.23 ilustra os mapas das funções 1 e 2 e o Fatiamento da função 1 na área da RPPNSA. É possível observar na função 1 e 2 padrões comparáveis às classes de vegetação. Na função 2 há um indicativo pronunciado do Complexo Galeria, principalmente devido à variável declividade que possui maior peso dentro de tal função, sendo o Complexo Galeria característico de ambientes fluviais, que nesta área se apresentam encaixados, portanto com declividades mais pronunciadas.

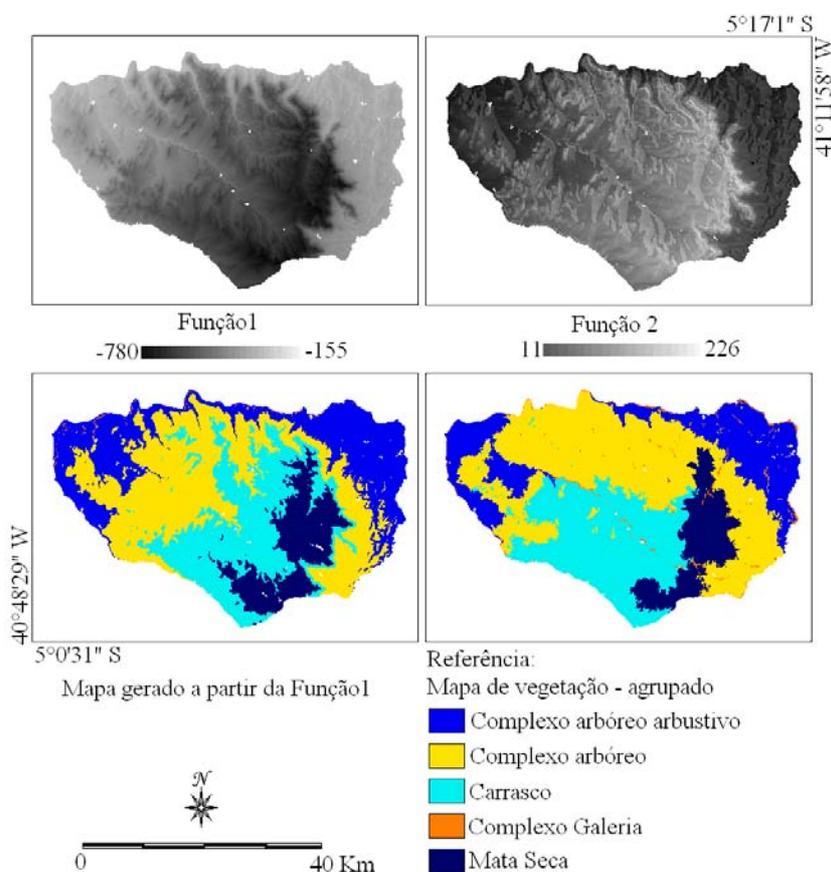


Figura 4.23 – Imagens das Funções discriminantes 1 e 2, Classificação por Fatiamento da Função discriminante 1 sobre variáveis geomorfológicas para a Reserva Particular do Patrimônio Natural de Serra das Almas (RPPNS) e Mapa de vegetação agrupada como referência. Classes de Vegetação: Complexo arbóreo arbustivo (Classes agrupadas: Caatinga Arbóreo-arbustiva (S\_A); Caatinga Herbáceo-Lenhosa (S\_C); Complexo Arbóreo-arbustivo(S\_D)), Complexo Arbóreo (Classes agrupadas: Complexo Arbóreo (S\_B); Caatinga Arbórea (S\_E); Caatinga Florestada (S\_F)), Carrasco, Complexo Galeria e Mata Seca

O Fatiamento feito a partir da função 1 mostrou-se muito semelhante ao mapa de vegetação, especialmente quanto às classes Complexo Arbóreo-arbustivo e Mata Seca. Comparando o presente resultado com o resultado dos demais processamentos experimentais realizados, este mostrou-se o mais aplicável ao mapeamento da vegetação já realizado. A Figura 4.24 ilustra o resultado do Fatiamento das subfisionomias do Complexo Arbóreo na área da RPPNSA. Para este caso, o Fatiamento mostrou uma certa confusão entre as classes, entretanto, este resultado evidenciou algumas tendências das classes subfisionômicas, superestimando a ocorrência de Caatinga Florestada e subestimando as demais classes.

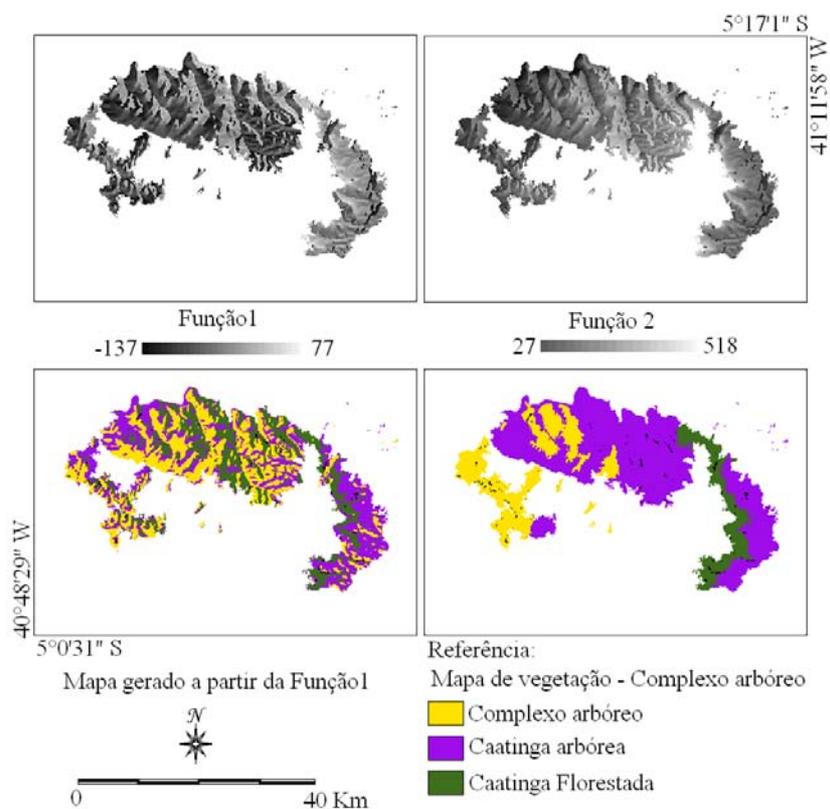


Figura 4.24 – Imagens das Funções discriminantes 1 e 2, Classificação por Fatiamento da Função discriminante 1 sobre variáveis geomorfométricas para o Complexo Arbóreo da Reserva Particular do Patrimônio Natural de Serra das Almas (RPPNSA) e Mapa de vegetação como referência. Classes de Vegetação do Complexo Arbóreo: Complexo Arbóreo, Caatinga Arbórea e Caatinga Florestada.

A MIA também apresenta padrões vegetacionais indicados pelas funções discriminantes, porém o produto gerado foi de qualidade inferior aos outros processamentos experimentais realizados para esta área (Figura 4.25). Percebe-se que a Floresta de Platô Baixo com campinarana foi subestimada, assim como a Floresta de Platô Alto, enquanto a Floresta de Baixio foi subestimada. Pode-se considerar que, para esta área de estudo, o método de processamento mais aplicável ao mapeamento da vegetação foi o Fatiamento baseado na análise dos histogramas, cujo produto foi o mais semelhante ao mapa referência (Figura 4.20). Ressalta-se que, apesar do exposto, considerando que no mapa referência utilizado a classe floresta de baixio tenha sido definida como uma faixa de 50m em cada lado da rede hidrográfica, os resultados da classificação a partir do fatiamento ou da função discriminante mostraram-se mais condizentes com a realidade, principalmente no que se refere à classe floresta de baixio.

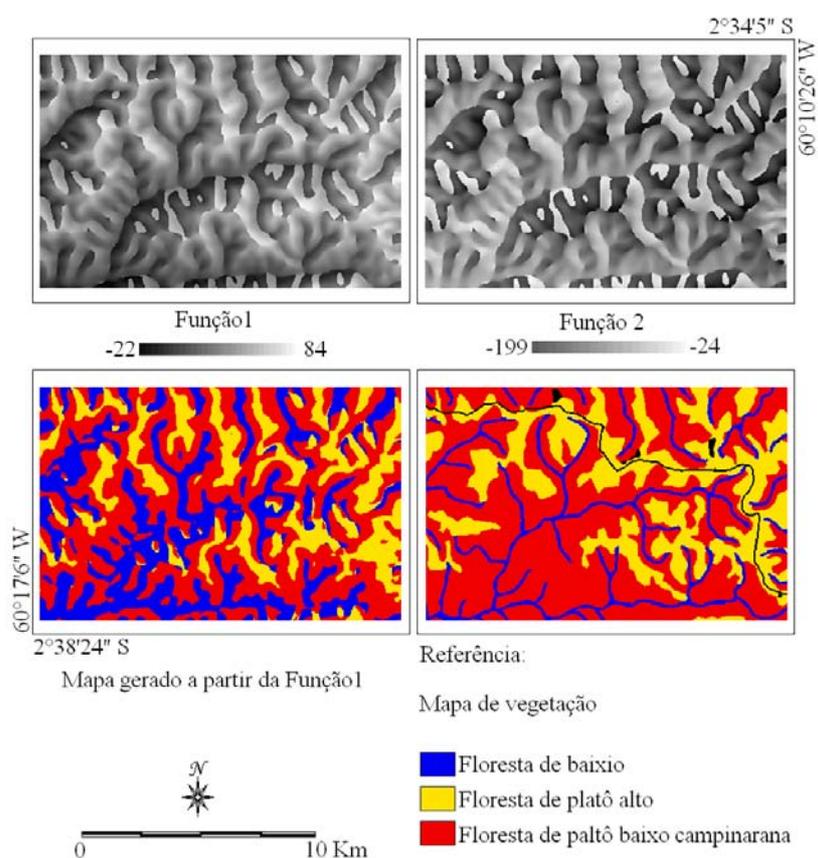


Figura 4.25 – Imagens das Funções discriminantes 1 e 2, Classificação por Fatiamento da Função discriminante 1 sobre variáveis geomorfológicas para a Microbacia do Igarapé Asu (MIA) e Mapa de vegetação como referência: I\_A (Floresta de Baixio), I\_B (Floresta de Platô Alto) e I\_C (Floresta de Platô Baixo com campinarana).

No PNCA mostra que as feições vegetacionais são observadas claramente (Figura 4.26) nas funções 1 e 2. Na função 1 todas as classes são distinguidas facilmente, exceto a classe Formações Pioneiras. Assim, o mapa obtido por Fatiamento da função 1 mostrou resultado satisfatório, distinguindo a Floresta ombrófila densa e a Floresta Ombrófila Aberta e Savana, que embora se mostrem as duas primeiras se mostrem sutilmente subestimadas e a última superestimada evidenciam claramente as tendências dos diferentes tipos de vegetação no terreno. Comparativamente aos outros processamentos experimentais, este processamento mostrou-se o mais aplicável ao mapeamento da vegetação.

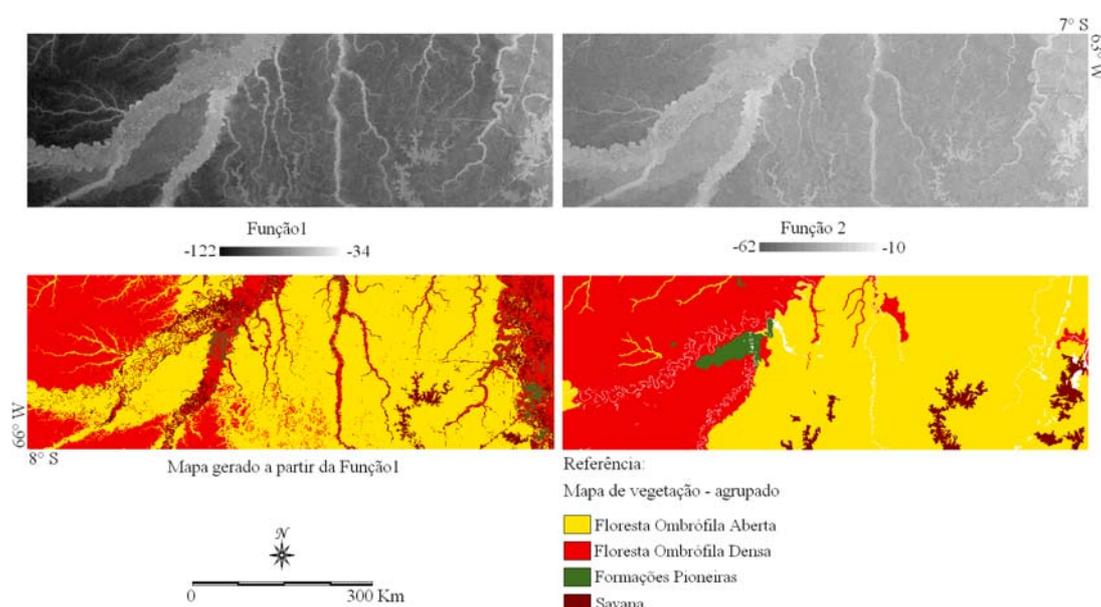


Figura 4.26 – Imagens das Funções discriminantes 1 e 2, Classificação por Fatiamento da Função discriminante 1 sobre variáveis geomorfométricas para o Parque Nacional dos Campos Amazônicos (PNCA) e Mapa de vegetação como referência: Classes agrupadas: Floresta Ombrófila Aberta ( Floresta Ombrófila Aberta aluvial ( A\_A), Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas com palmeiras (A\_B)), Formações Pioneiras (Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre – arbustiva (A\_F), Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - arbustiva com palmeiras (A\_G), Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre – herbácea) (A\_H)), Floresta Ombrófila Densa (Floresta Ombrófila Densa Aluvial Dossel emergente (A\_C), Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel emergente (A\_D), Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel uniforme (A\_E)), Savana (Savana Gramíneo-Lenhosa (A\_I) sem floresta-de-galeria, Savana Parque sem floresta-de-galeria (A\_J)).

Quanto às análises de suas subfisionomias, observa-se que o resultado do Fatiamento das Formações Pioneiras foi quase idêntico ao do mapa de vegetação referênciada, exceto pela ausência das Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre – arbustiva (Figura 4.27). Já na Função 1 foi possível perceber claramente um indicativo da classe Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - arbustiva com palmeiras, aparecendo em tom mais escuro na imagem Função 1. Para Floresta ombrófila densa os resultados encontrados também foram muito promissores.

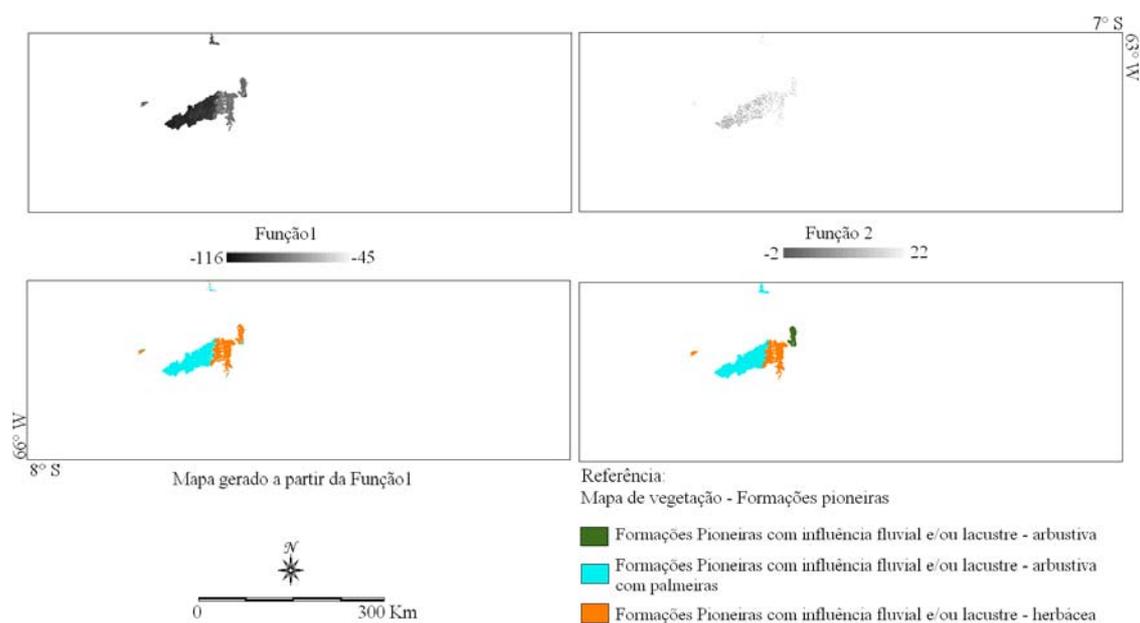


Figura 4.27 – Imagens das Funções discriminantes 1 e 2, Classificação por Fatiamento da Função discriminante 1 sobre variáveis geomorfométricas para as Formações Pioneiras do Parque Nacional dos Campos Amazônicos (PNCA) e Mapa de vegetação como referência: Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - arbustiva, Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre - arbustiva com palmeiras, Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre – herbácea.

A classe Floresta ombrófila densa com dossel emergente foi a que melhor se assemelhou ao mapa de vegetação, enquanto as demais classes mostraram bons resultados (Figura 4.28). Há de se considerar que a Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas com dossel emergente e a Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas com dossel uniforme mostram certa diferenciação entre o mapa gerado a partir da Função discriminante 1 e o mapa de vegetação referênciada.

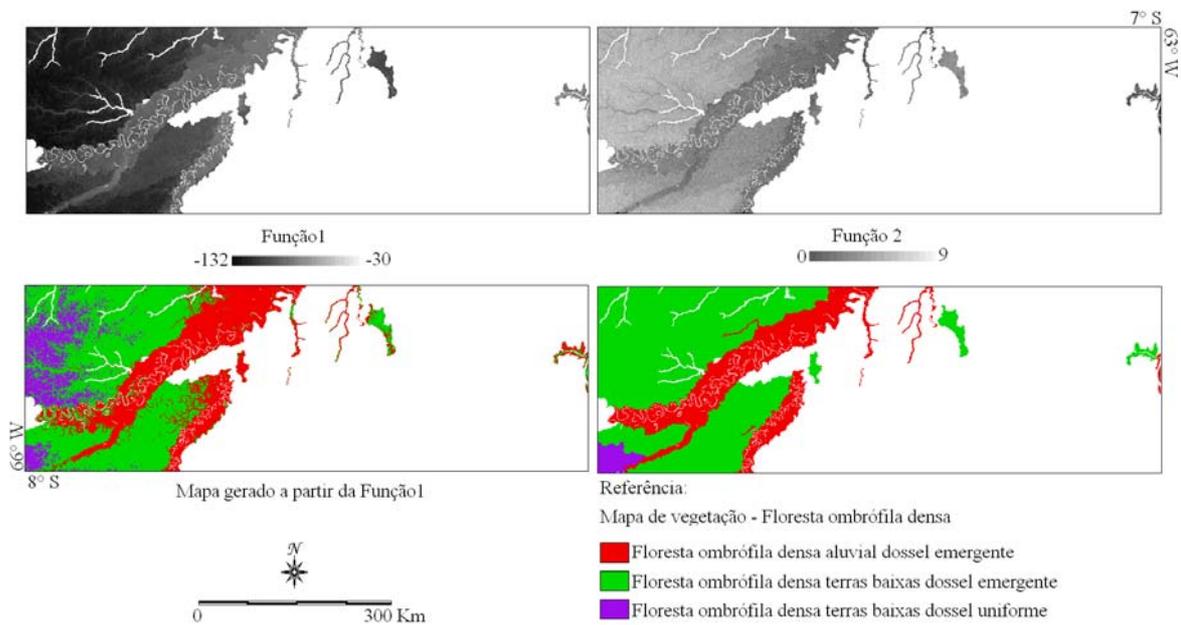


Figura 4.28 – Imagens das Funções discriminantes 1 e 2, Classificação por Fatiamento da Função discriminante 1 sobre variáveis geomorfológicas para a Floresta ombrófila densa do Parque Nacional dos Campos Amazônicos (PNCA) e Mapa de vegetação como referência: Floresta Ombrófila Densa Aluvial Dossel emergente, Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel emergente e Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel uniforme.

No PNB só foi possível verificar algumas tendências, e o produto obtido não foi satisfatório, como já era esperado, uma vez que se trata de uma área de relevo homogêneo de feições bastante discretas (Figura 4.28). Por outro lado, as suas subfisionomias apresentaram bons resultados, comparáveis aos seus respectivos mapas de vegetação de referência. No Campo Limpo, exceto pela classe Campo Limpo Úmido que foi superestimado no mapa gerado, as demais classes mostraram-se bem semelhantes ao mapa referência, tanto por sua extensão quanto pelo seu posicionamento (Figura 4.29). Na Mata o produto obtido foi quase idêntico ao mapa de referência, isso pode ser verificado especialmente pela classe Mata de Interflúvio. Estes resultados indicam que para este tipo de vegetação, Cerrado, os processamentos não se aplicam ao mapeamento da vegetação ao nível de fitofisionomias, podendo, porém, ser aplicável as suas subfisionomias (Figura 4.30). Diante disso, foi possível se conseguir um

mapeamento satisfatório até o nível das subfisionomias para algumas áreas de estudo, sendo que para áreas com relevo semelhante ao do PNB, o emprego deste método deve ser feito com mais cautela.

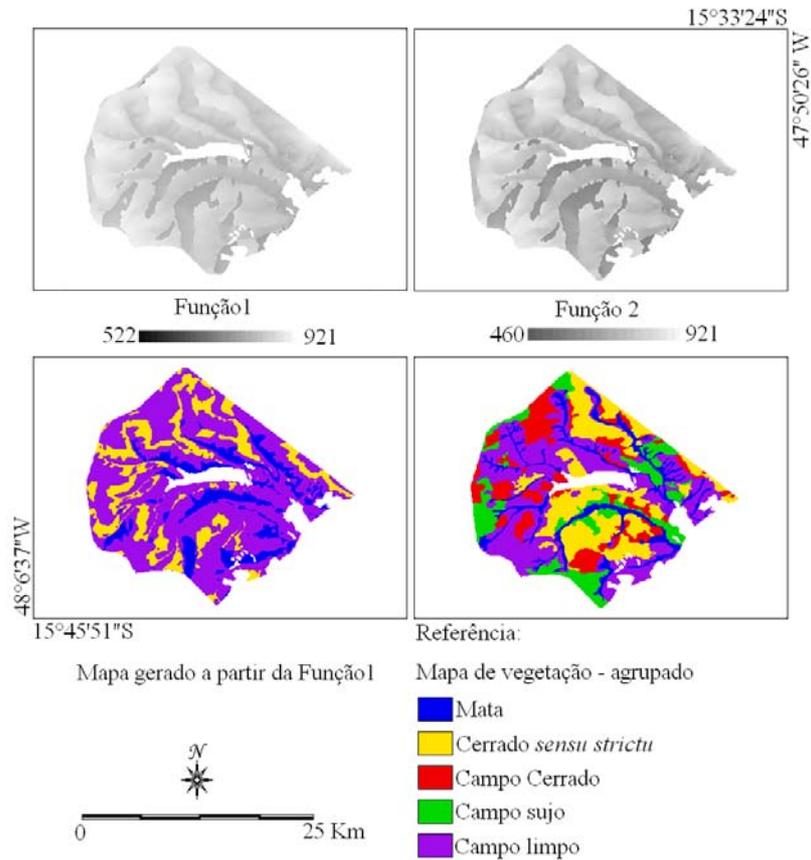


Figura 4.28 – Imagens das Funções discriminantes 1 e 2, Classificação por Fatiamento da Função discriminante 1 sobre variáveis geomorfológicas para o Parque Nacional de Brasília (PNB) e Mapa de vegetação como referência. Classes agrupadas: Mata (Mata Galeria (B\_A), Brejo (B\_G) e Mata de Interflúvio (B\_H)), Campo Cerrado (Campo Cerrado (B\_C) e Campo Cerrado com Trembléias (B\_J)), Campo Sujo (Campo Sujo (B\_D) e Campo Sujo com presença de *Lychnophora ericoides* (amica) e “canela de ema” (B\_M)) e Campo Limpo (Campo Limpo (B\_E), Campo Limpo Úmido (B\_F) e Campo Limpo com Murundum (B\_L)) e Cerrado *sensu strictu*.

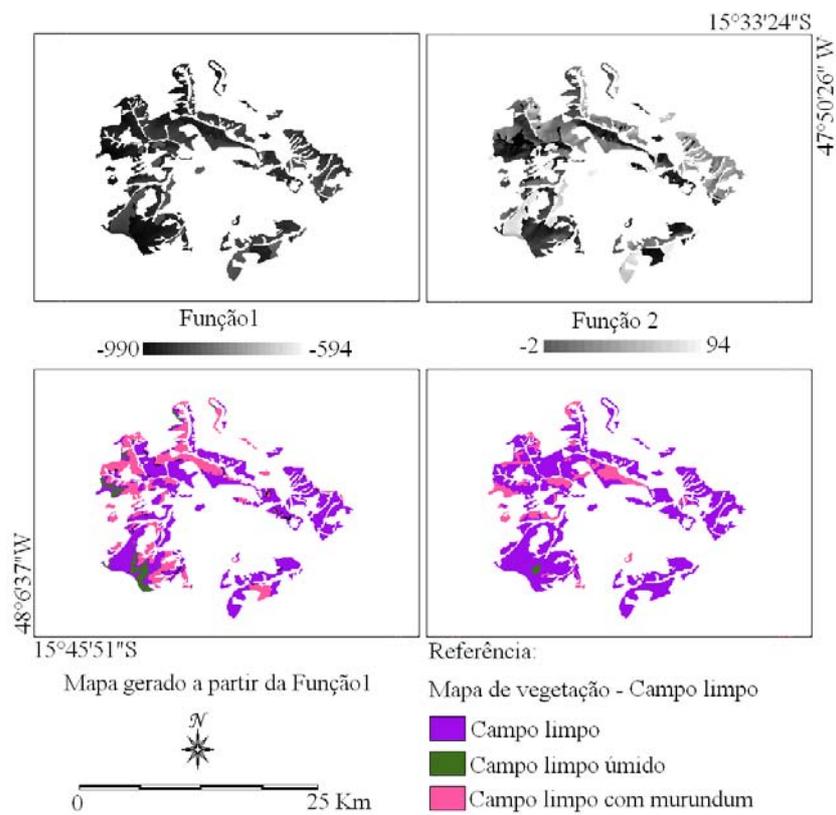


Figura 4.29 – Imagens das Funções discriminantes 1 e 2, Classificação por Fatiamento da Função discriminante 1 sobre variáveis geomorfológicas para o Campo Limpo do Parque Nacional de Brasília (PNB) e Mapa de vegetação como referência: Campo Limpo, Campo Limpo Úmido e Campo Limpo com Murundum.

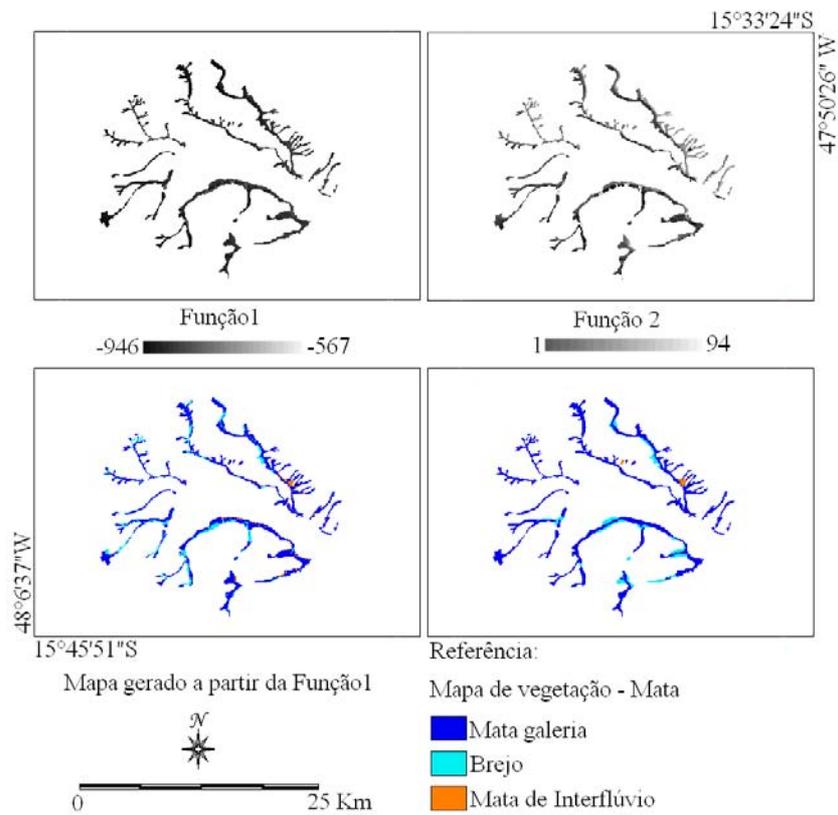


Figura 4.30 – Imagens das Funções discriminantes 1 e 2, Classificação por Fatiamento da Função discriminante 1 sobre variáveis geomorfométricas para a Mata do Parque Nacional de Brasília (PNB) e Mapa de vegetação como referência: Mata Galeria, Brejo e Mata de Interflúvio.



## 5 CONCLUSÕES

O presente trabalho foi conduzido com o intuito de avaliar as variáveis geomorfométricas extraídas de modelos digitais de elevação do SRTM para identificação de tipos vegetacionais como subsídio ao mapeamento da vegetação. A partir dos resultados obtidos, puderam-se assinalar as seguintes conclusões:

- a) As áreas diferiram em termos do potencial de utilização dos dados topográficos para o mapeamento da vegetação, de acordo com a variação das condições geomorfométricas e diferenciação de escala e detalhamento dos mapas de vegetação referência. Embora a altitude tenha sido usada para a confecção de parte dos mapas usados como referência, esta foi a mais importante para discriminação dos grupos vegetacionais em todas as áreas, seguida da curvatura vertical e da curvatura horizontal.
- b) As fitofisionomias se caracterizaram pelas suas preferências (níveis da frequência máxima, ou moda) a determinadas condições topográficas e não pelas faixas de amplitude, que se mostraram sobrepostas em geral, com evidentes implicações no desenvolvimento futuro de métodos de classificação com dados geomorfométricos. Análises discriminantes, fundamentada na estatística de probabilidades, apresentaram os melhores resultados gerais em relação aos demais métodos testados (Fatiamento, *MaxVer* e *cluster*).
- c) As análises indicaram, em cada área de estudo, os grupos de classes que podem ser separados mais facilmente em contraste a outros grupos que ocorrem sob mesmas condições topográficas. Para a RPPNSA, os grupo que mais se separam são Mata Seca e Complexo arbustivo arbóreo. Dentro da fisionomia Complexo Arbóreo, as que mais se separam são a Caatinga Arbórea e a Caatinga Florestada. Para a MIA são as Floresta de Baixio e a Floresta de Platô Alto. Para o PNCA são Formações Pioneiras e Floresta Ombrófila Densa, no que se refere à fisionomia Formações Pioneiras, merece destaque a separação entre Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre – arbustiva com

palmeiras e Formações Pioneiras lacustre – herbácea. Para fisionomia Floresta Ombrófila Densa, destaca-se das demais a Floresta Ombrófila Densa Aluvial Dossel emergente. O PNB que não teve uma boa distinção entre as suas fisionomias, tendo, entretanto um resultado satisfatório na separação de suas subfisionomias, especialmente dentro da fisionomia Mata, a Mata de Interflúvio e dentro do Campo Limpo, o Campo Limpo Úmido.

- d) Embora os dados geomorfométricos tenham mostrado potencial indicativo das classes de vegetação, estas puderam ser identificadas em um nível aquém do detalhamento temático da maioria dos mapas em função da co-ocorrência de classes com semelhantes estruturas vegetacionais. Assim, com base nas análises discriminantes foi possível se mapear a vegetação experimentalmente até o nível de subfisionomias. Os melhores resultados encontrados foram para a RPPNSA e para o PNCA, sendo bem mapeadas também as subfisionomias deste último. O PNB apresentou resultados fracos no nível de fitofisionomia. Entretanto, as subfisionomias testadas dentro de fitofisionomias apresentaram resultados satisfatórios.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO NETO, M.D.; FURLEY, P.A.; HARIDASAN, M.; JOHNSON, C.E. The murundus of the Cerrado region of Central Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v.2, n.1, p.17-35, 1986.

AYRES, J. M. **As matas de várzea do Mamirauá**: Médio Rio Solimões. 2<sup>o</sup>ed. Rio de Janeiro: Ed. Sindicato Nacional dos Editores de Livros, 1993, p. 123.

BOTREL, R.T.; OLIVEIRA FILHO, A.T.; RODRIGUES, L.A.; CURI, N. Influência do solo e topografia sobre as variações da composição florística e estrutura da comunidade arbórea- arbustiva de uma floresta estacional semidecidual em Ingaí, MG. **Revista Bras. Bot.**, v. 25, n. 2, p. 195-213, June 2002.

Secretaria de Estado de Meio Ambiente e de Recursos Hídricos (SEMARH). **Bioma Cerrado**. Brasília, 2000. Texto extraído parcialmente do Mapa Ambiental do Distrito Federal. Disponível em: <<http://www.semarh.df.gov.br>> Acesso em: out. 2006.

BRIGGS, D.J.; SHISHIRA, E.K. Soil variability in geomorphologically defined survey units in the Albudeite area of Murcia Province, Spain. In: Jungerius, P. D. (ed.) **Soils and geomorphology**, 1985. cap. 2, p. 69-84 (Catena supplement n. 6).

BRUBAKER, S.C.; JONES, A.J.; LEWIS, D.T.; FRANK, K. Soil properties associated with landscape position. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 57, n. 2, p. 235-239, 1993.

CARVALHO, V. C.; PINHEIRO JÚNIOR, O.J. **Mapeamento semidetalhado da cobertura vegetal das áreas de estudo com uso de sensoriamento remoto e sistema geográfico de informações**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Relatório técnico (INPE – 10476-PRP/241). 2004.

CASTILHO, C.V.; MAGNUSSON, W. E.; ARAÚJO, R. N. O.; LUIZÃO, R. C.; LUIZÃO, F. J.; LIMA, A. P.; HIGUCHI, N. Variation in aboveground tree live biomass in a central Amazonian forest: effects of soil and topography. **Forest Ecology and Management**, v. 234, n. 1-3, p. 85-96. Oct. 2006.

CHAUVEL, A.; LUCAS, Y.; BOULET, R. On the genesis of the soil mantle of the region of Manaus, Central Amazonia, Brazil. **Experientia**, v. 43, n. 2, p. 234–241, 1987.

CLARK, D. B.; PALMER, M. V.; CLARK, D.A. Edaphic factors and the landscape-scale distributions of tropical rain forest trees. **Ecology**, v. 80, n. 8, p. 2662-2675, Dec. 1999.

COUTINHO, L.M.1990. Fire in the ecology of Brazilian cerrado. In: Goldammer, J.G (ed.). **Fire in the tropical biota**. New York: Springer-Verlag, p. 82-105.

COUTINHO, L.M.2000. **Cerrado**. Disponível em <<http://eco.ib.usp.br/cerrado>>, Acesso em: Out.2006.

DARGIE, T.C.D. An ordination analysis of vegetation patterns on topoclimate gradients in South-East Spain. **Journal of Biogeography**, v.14, n. 3, p.197-211, May 1987.

DARGIE, T.C.D. On the integrated interpretation of indirect site ordinations: A case study using semi-arid vegetation in Southeastern Spain. **Plant Ecology**, v.55, n.1, p.37-55, Feb. 1984.

EASTMAN, J.R. **Idrisi windows user's guide**. Worcester: Clark University, 1995. 440p.

EDIVANE, C.; SCHIAVINI, I. Relação entre distribuição de espécies arbóreas e topografia em um gradiente florestal na Estação Ecológica do Panga (Uberlândia, MG). **Revista Bras. Bot**, v. 25, n. 3, p. 277-289, Set. 2002.

FERREIRA, M.E. **Análise do modelo linear de mistura espectral na discriminação de fitofisionomias do Parque Nacional de Brasília (Bioma Cerrado)**. 2003. 127p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Brasília DF, 2003.

FLORINSKY, I.V.; KURYAKOVA, G.A. Influence of topography on some vegetation cover properties. **Catena**, v. 27, n.2, p. 123-141, Aug. 1996.

FONSECA, V. I.; DOV POR, F. 2000. Ministério das Relações Exteriores (MRE).

Floresta Amazônica. Disponível em:

<[www.mre.gov.br/CDBRASIL/ITAMARATY/WEB/](http://www.mre.gov.br/CDBRASIL/ITAMARATY/WEB/)>. Portal meio ambiente.

Ecosistemas. Acesso em: Nov. 2006

FONSECA, M.S.; SILVA JÚNIOR, M.C. Fitossociologia e similaridade florística entre trechos de Cerrado sentido restrito em interflúvio e em vale no Jardim Botânico de Brasília, DF. **Acta bot. bras**, v. 18, n.1, p. 19-29, June 2004.

FREITAS, M.W.D.; CARVALHO, V.C.; CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; ESPIG, S.A. Aplicações de geoprocessamento no estudo dos geossistemas e Zoneamento Ecológico - Econômico de Serra das Almas (CE/PI). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2005. p. 2153-2160, 1 CD-ROM.

Fundação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Atlas do Ceará.Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, 1973. Em convênio com o GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ (Superintendência do Desenvolvimento do Ceará \_ SUDEC).

GANDOLFI, S. **História natural de uma floresta semidecidual no município de Campinas (SP. Brasil)**.2000. 520p. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

GUIMARÃES, V.S. **Critérios para delimitação de zonas de transição de unidades de conservação: o caso de transição do Parque Nacional de Brasília- DF**. Brasília: Universidade de Brasília Ed. 2000. 166p.

HAIR Jr. J. F; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L; BLACK, W.C. **Multivariate data analysis**. 4.ed. Englewoods Cliffs, NJ – USA: Pentice\_Hall, Inc. 1995. 730p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 1992. 92p. (Manuais Técnicos em Geociências, 1).

KAHN, F.; CASTRO, A. The palm community in forest of Central Amazon, Brazil. **Biotropica**, v. 17, n. 3, p. 210-216, 1985.

- KELLNDORFER, J.; WALKER, W.; PIERCE, L.; DOBSON, C.; FITES, J.A.; HUNSAKER, C.; VONA, J.; CLUTTER, M. Vegetation height estimation from Shuttle Radar Topography Mission and National Elevation Datasets. **Remote Sensing of Environment**, v. 93, n. 3, p. 339-358, Nov. 2004.
- KIRKBY, M.; ATKINSON, K.; LOCKWOOD, J. G. Aspect vegetation cover and erosion on semi-arid hillslopes. In: THOMES, J. (ed.). **Vegetation and geomorphology**. Local: John Wiley: p.25-39, 1990.
- KUBOTA, Y.; MURATA, H.; KIKUZAWA, K. Effects of topographic heterogeneity on tree species richness and stand dynamics in a subtropical forest in Okinawa Island, southern Japan. **Journal of Ecology**, v. 92, n.2, p. 230-240, Apr 2004.
- LAMOTTE, S. Fluvial dynamics and succession in the lower Ucayali basin, Peruvian Amazônia. **Forest Ecology and Management**, v.33/34, n. 1-2, p.141–156, June 1990.
- LAURANCE, W.F.; FEARNSIDE, P.M.; LAURANCE, S.G.; DELAMONICA, P.; LOVEJOY, T.E.; RANKIN-DE-MERONA, J.M.; CHAMBERS, J.; GASCON, C. Relationship between soils and Amazon forest biomass: a landscape-scale study. **Forest Ecology and Management**, v. 118, n. 1-3, p. 127-138, June 1999.
- LESCURE, J. P.; BOULET, Relationships between soil and vegetation in a tropical rain forest in French Guiana. **Biotropica**, v.17, n. 2, p. 155-164, 1985.
- LIEBERMAN, M.; LIEBERMAN, D.; HARTSHORN, G.S.; PERALTA, R. Small-scale altitudinal variation in lowland wet tropical forest vegetation. **Journal of Ecology**, v.73, n. 2, p. 505-516, 1985.
- MANLY B. F. J. **Multivariate statistical methods** - a primer. 2. ed. New Zealand: Ed. Chapman and Hall, 1994. 210 p.
- MOORE, I. D.; GESSLER, P. E.; NIELSEN, G. A.; PETERSON, G. A. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 57, n. 2, p. 443-452, 1993.

PASSOS, M. M. **Variação fitossociológica dos cerrados em função da variação topográfica e de espaço**. 1981, 167p. Dissertação ( Mestrado em Geografia)-FFLCH-Usp, São Paulo, SP 1981.

PIVELLO, V.R., BARBIERI, R.F., RUGGIERO, P.G.C.; OLIVEIRA FILHO, F. 1998. Análise da variação fisionômica na Arie Cerrado Pé-de-Gigante (Santa Rita do Passa Quatro-SP) em relação às características pedológicas locais. In: Simpósio de Ecossistemas Brasileiros, 4., 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: editora, 1998, v.3, p.7-29.

PELLISSIER, P.; DRAY, S.; SABATIER, D. Within-plot relationships between tree species occurrences and hydrological soil constraints: na exemple in French Guiana investigated trough canonical correlation analysis. **Plant Ecology**, v. 162, n.2, p. 143-156. Oct. 2002.

PRANCE, G.T.; RODRIGUES, W.A.; SILVA, M.F. Inventário Florestal de um hectare de mata de terra firme Km 30 da estrada Manaus – Itacoatiara. **Acta Amazônica**, v. 6, n.1, p. 9-35, 1976.

QI, F.; ZHU, A.X. Knowledge discovery from soil maps using inductive learning. **International Journal of Geographical Information Science**, v.17, n.8, p. 771-795, Jan. 2003.

RADAMBRASIL. **Folhas SB.24/25 Jaguaribe/Natal: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1981. 744p. (Levantamento de Recursos Naturais, 23).

RADAMBRASIL. **Folhas SB.20 Purus: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1978. 554 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 17).

RAMOS, P.C.M. **Vegetation communities and soils in National Park of Brasília**, 1995, 203p. Tese (Doutorado em Biologia) – University of Edinburgh, Edinburgh, 1995.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, T.M.B. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S.M.; Almeida, S.P. (Ed). **Cerrado: ambiente e flora. Planaltina**. Brasília, DF. Embrapa Cerrados, p.89-166, 1998.

RIBEIRO, J.E.L.F.; HOPKINS, M.J.G.; VICENTINI, A.; SOTHERS, C.A.; COSTA, M.A.S.; BRITO, J. M.; SOUZA, M.A.D.; MARTINS, L.H.P.; LOHMANN, L.G.; ASSUNÇÃO, P.A.C.L.; PEREIRA, E. C.; SILVA, C.F.; MESQUITA, M.R.; PROCÓPIO, R.C. **Flora da Reserva Ducke. guia de indentificacao das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central**. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas, 793p. 1999.

RODRIGUES, L.A.; CARVALHO, D.A.; OLIVEIRA FILHO, AT.; BOTREL, R.T.; SILVA, E.A. Florística e estrutura da comunidade arbórea de um fragmento florestal em Luminárias, MG. **Acta bot. bras**, v. 17, n.1, p. 71-87, May 2003.

SCHMIDT, J.; EVANS, I.S.; BRINKMANN, J. Comparison of polynomial models for land surface curvature calculation. **International Journal of Geographical Information Science**, v.17, n.8, p. 797-814, Dec 2003.

SOLLINS, P. Factors influencing species composition in tropical lowland rain forest: does soil matter? **Ecology**, v. 79, n. 1, p. 23-30, 1998.

TELLO, J.C.R. **Aspectos fitossociologicos das comunidades vegetais de uma topossequencia da Reserva Florestal Ducke do INPA**. 1995. 335p. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas/ Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, 1995.

VALERIANO, M.M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.539-546, 2003.

VALERIANO, M.M ; Carvalho Júnior, O. A. Geoprocessamento de modelos digitais de elevação para mapeamento da curvatura horizontal em microbacias. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.4, n.1, p.17-29, 2003.

VALERIANO, M.M. **Modelos digitais de elevação de microbacias elaborados com krigagem**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Relatório técnico (INPE – 9364-RPQ/7360). 2004.

VALERIANO, M.M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos : INPE, 2005. p. 3595-3602, 1 CD-ROM.

VALERIANO, M.M.; KUPLICH, T.M.; STORINO, M.; AMARAL, B.D.; MENDES, J.N.; LIMA, D.J. Modeling small watersheds in Brazilian Amazônia with *Shuttle Radar Topographic Mission* - 90m data. **Computers e Geosciences**, v. 32, n. 8, p. 1169-1881. Oct. 2006.

VELÁZQUEZ-ROSAS, N.; MEAVE, J.; VÁZQUEZ-SANTANA, S. Elevation variation of leaf traits in montane rain forest tree species at La Chinantla, Southern Mexico. **Biotropica**, v. 34, n. 4. p. 534-546, 2002.

VIANA, V.M. Conservação da biodiversidade de fragmentos de florestas tropicais em paisagens intensivamente cultivadas. In: Fonseca, G.A.B. et al. (Eds). **Abordagens Interdisciplinares para a conservação da biodiversidade e dinâmica do uso da terra no novo mundo**. UFMG, Belo Horizonte, p.135-154, 1995.

VIANA, V.M., TABANEZ A.J.; BATISTA J.L. Dynamics and restoration of forest fragments in the Brazilian Atlantic Moits forest. In: Lawrance W. F; Bierregaard R. O. T. (Eds). **Tropical forest remnants** - ecology, management and conservation of fragmented communities. Chicago: Chicago University Press, p.351-365, 1997.

ZINKO, U.; SEIBERT, J.; DYNESIUS, M.; NILSSON, C. Plant species numbers predicted by a topography-based groundwater flow index. **Ecosystems**, v.8, n.4, p. 430-441, June 2005.

Webventure. WVProduções. **Cerrado amazônico vira Parque Nacional**. 2001. Disponível em : <<http://webventureuol.uol.com.br> > Acesso em: dez. 2006

WITTMAN, F.; JUNK, W.J.; PIEDADE, M.T.F. The varzea forests in Amazônia: flooding and the highly dynamic geomorphology interact with natural forest succession. **Forest Ecology and Management**, v.196, n.2-3, p. 199-212, July 2004.

Wu, X.B.; Archer, S.R. Scale-dependent influence of topography-based hydrologic features on patterns of woody plant encroachment in savanna landscapes. **Landscape Ecology**, v.20, n. 6, p.733-742, Sept. 2005.