

**ANÁLISE ESPACIAL NA
IDENTIFICAÇÃO DA PRESSÃO DE
OCUPAÇÃO NO ENTORNO DE
UNIDADES DE CONSERVAÇÃO**
UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A GESTÃO DO PARQUE
NACIONAL DA SERRA DOS ÓRGÃOS

PATRICK CALVANO KUCHLER



AMPLLA
EDITORA

**ANÁLISE ESPACIAL NA
IDENTIFICAÇÃO DA PRESSÃO DE
OCUPAÇÃO NO ENTORNO DE
UNIDADES DE CONSERVAÇÃO**
UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A GESTÃO DO PARQUE
NACIONAL DA SERRA DOS ÓRGÃOS

PATRICK CALVANO KUCHLER



AMPLLA
EDITORA



2022 - Editora Amplla

Copyright da Edição © Editora Amplla

Copyright do Texto © Patrick Calvano Kuchler

Editor Chefe: Leonardo Pereira Tavares

Design da Capa: Editora Amplla

Diagramação: Felipe José Barros Meneses

Revisão: Patrick Calvano Kuchler

Análise espacial na identificação da pressão de ocupação no entorno de unidades de conservação: uma contribuição para a gestão do parque nacional da serra dos órgãos está licenciado sob CC BY 4.0.



Esta licença exige que as reutilizações deem crédito aos criadores. Ele permite que os reutilizadores distribuam, remixem, adaptem e construam o material em qualquer meio ou formato, mesmo para fins comerciais.

O conteúdo da obra e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, não representando a posição oficial da Editora Amplla. É permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores. Todos os direitos para esta edição foram cedidos à Editora Amplla.

ISBN: 978-65-5381-032-7

DOI: 10.51859/amplla.aei327.1122-0

Editora Amplla

Campina Grande – PB – Brasil

contato@ampllaeditora.com.br

www.ampllaeditora.com.br



2022

CONSELHO EDITORIAL

Andréa Cátia Leal Badaró – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Andréia Monique Lermen – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Antoniele Silvana de Melo Souza – Universidade Estadual do Ceará

Aryane de Azevedo Pinheiro – Universidade Federal do Ceará

Bergson Rodrigo Siqueira de Melo – Universidade Estadual do Ceará

Bruna Beatriz da Rocha – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Bruno Ferreira – Universidade Federal da Bahia

Caio César Costa Santos – Universidade Federal de Sergipe

Carina Alexandra Rondini – Universidade Estadual Paulista

Carla Caroline Alves Carvalho – Universidade Federal de Campina Grande

Carlos Augusto Trojaner – Prefeitura de Venâncio Aires

Carolina Carbonell Demori – Universidade Federal de Pelotas

Cícero Batista do Nascimento Filho – Universidade Federal do Ceará

Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Dandara Scarlet Sousa Gomes Bacelar – Universidade Federal do Piauí

Daniela de Freitas Lima – Universidade Federal de Campina Grande

Darlei Gutierrez Dantas Bernardo Oliveira – Universidade Estadual da Paraíba

Denise Barguil Nepomuceno – Universidade Federal de Minas Gerais

Dylan Ávila Alves – Instituto Federal Goiano

Edson Lourenço da Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí

Elane da Silva Barbosa – Universidade Estadual do Ceará

Érica Rios de Carvalho – Universidade Católica do Salvador

Fernanda Beatriz Pereira Cavalcanti – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Gabriel Gomes de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas

Gilberto de Melo Junior – Instituto Federal do Pará

Givanildo de Oliveira Santos – Instituto Brasileiro de Educação e Cultura

Higor Costa de Brito – Universidade Federal de Campina Grande

Isabel Fontgalland – Universidade Federal de Campina Grande

Isane Vera Karsburg – Universidade do Estado de Mato Grosso

Israel Gondres Torné – Universidade do Estado do Amazonas

Ivo Batista Conde – Universidade Estadual do Ceará

Jaqueline Rocha Borges dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Jessica Wanderley Souza do Nascimento – Instituto de Especialização do Amazonas

João Henriques de Sousa Júnior – Universidade Federal de Santa Catarina

João Manoel Da Silva – Universidade Federal de Alagoas

João Vitor Andrade – Universidade de São Paulo

Joilson Silva de Sousa – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

José Cândido Rodrigues Neto – Universidade Estadual da Paraíba

Jose Henrique de Lacerda Furtado – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Josenita Luiz da Silva – Faculdade Frassinetti do Recife

Josiney Farias de Araújo – Universidade Federal do Pará

Karina de Araújo Dias – SME/Prefeitura Municipal de Florianópolis

Katia Fernanda Alves Moreira – Universidade Federal de Rondônia

Laís Portugal Rios da Costa Pereira – Universidade Federal de São Carlos

Laíze Lantyer Luz – Universidade Católica do Salvador

Lindon Johnson Pontes Portela – Universidade Federal do Oeste do Pará

Lucas Araújo Ferreira – Universidade Federal do Pará

Lucas Capita Quarto – Universidade Federal do Oeste do Pará

Lúcia Magnólia Albuquerque Soares de Camargo – Unifacisa Centro Universitário

Luciana de Jesus Botelho Sodré dos Santos – Universidade Estadual do Maranhão

Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Luiza Catarina Sobreira de Souza – Faculdade de Ciências Humanas do Sertão Central

Manoel Mariano Neto da Silva – Universidade Federal de Campina Grande

Marcelo Alves Pereira Eufrazio – Centro Universitário Unifacisa

Marcelo Williams Oliveira de Souza – Universidade Federal do Pará

Marcos Pereira dos Santos – Faculdade Rachel de Queiroz

Marcus Vinicius Peralva Santos – Universidade Federal da Bahia

Marina Magalhães de Moraes – Universidade Federal do Amazonas

Mário César de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Michele Antunes – Universidade Feevale

Milena Roberta Freire da Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Nadja Maria Mourão – Universidade do Estado de Minas Gerais

Natan Galves Santana – Universidade Paranaense

Nathalia Bezerra da Silva Ferreira – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

Neide Kazue Sakugawa Shinohara – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Neudson Johnson Martinho – Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Mato Grosso

Patrícia Appelt – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Paula Milena Melo Casais – Universidade Federal da Bahia

Paulo Henrique Matos de Jesus – Universidade Federal do Maranhão

Rafael Rodrigues Gomides – Faculdade de Quatro Marcos

Reângela Cíntia Rodrigues de Oliveira Lima – Universidade Federal do Ceará

Rebeca Freitas Ivanicska – Universidade Federal de Lavras

Renan Gustavo Pacheco Soares – Autarquia do Ensino Superior de Garanhuns

Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília

Ricardo Leoni Gonçalves Bastos – Universidade Federal do Ceará

Rodrigo da Rosa Pereira – Universidade Federal do Rio Grande

Sabrynna Brito Oliveira – Universidade Federal de Minas Gerais

Samuel Miranda Mattos – Universidade Estadual do Ceará

Shirley Santos Nascimento – Universidade Estadual Do Sudoeste Da Bahia

Silvana Carloto Andres – Universidade Federal de Santa Maria

Silvio de Almeida Junior – Universidade de Franca

Tatiana Paschoalette R. Bachur – Universidade Estadual do Ceará | Centro Universitário Christus

Telma Regina Stroparo – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Thayla Amorim Santino – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Virgínia Maia de Araújo Oliveira – Instituto Federal da Paraíba

Virginia Tomaz Machado – Faculdade Santa Maria de Cajazeiras

Walmir Fernandes Pereira – Miami University of Science and Technology

Wanessa Dunga de Assis – Universidade Federal de Campina Grande

Wellington Alves Silva – Universidade Estadual de Roraima

Yáscara Maia Araújo de Brito – Universidade Federal de Campina Grande

Yasmin da Silva Santos – Fundação Oswaldo Cruz

Yuciara Barbosa Costa Ferreira – Universidade Federal de Campina Grande

2022 - Editora Amplla

Copyright da Edição © Editora Amplla

Copyright do Texto © Patrick Calvano Kuchler

Editor Chefe: Leonardo Pereira Tavares

Design da Capa: Editora Amplla

Diagramação: Felipe José Barros Meneses

Revisão: Patrick Calvano Kuchler

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Kuchler, Patrick Calvano

Análise espacial na identificação da pressão de ocupação no entorno de unidades de conservação [livro eletrônico]: uma contribuição para a gestão do parque nacional da serra dos órgãos / Patrick Calvano Kuchler. -- Campina Grande : Editora Amplla, 2022.

87 p.

Formato: PDF

ISBN: 978-65-5381-032-7

1. Antropização. 2. Mapeamento - Ocupação de terras - Parque Nacional da Serra dos Órgãos. 3. Entorno de unidades de conservação - Parque Nacional da Serra dos Órgãos.

I. Título.

CDD-577

Sueli Costa - Bibliotecária - CRB-8/5213
(SC Assessoria Editorial, SP, Brasil)

Índices para catálogo sistemático:

1. Meio ambiente : Parque Nacional : Rio de Janeiro 577

Editora Amplla

Campina Grande - PB - Brasil

contato@ampllaeditora.com.br

www.ampllaeditora.com.br

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	12
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	12
1.2. OBJETIVO	15
1.3. ÁREA DE ESTUDO	15
1.4. MATERIAIS	16
1.5. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	17
CAPÍTULO II - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	18
2.2. O PARNASO E SUA ZONA DE AMORTECIMENTO	18
2.3. TEORIA DA DECISÃO	20
2.4. SENSORIAMENTO REMOTO	32
2.5. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) E AHP	39
CAPÍTULO III - DESENVOLVIMENTO DA MODELAGEM E RESULTADOS	45
3.1. IDENTIFICAÇÃO E PONDERAÇÃO DOS CRITÉRIOS	46
3.2. EXTRAÇÃO DE CRITÉRIOS	50
3.3. NORMALIZAÇÃO DAS ESCALAS DE VALORES DOS CRITÉRIOS EXTRAÍDOS	63
3.4. COMBINAÇÃO LINEAR PONDERADA E RESULTADO	68
CAPÍTULO IV - VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA	71
CAPÍTULO V - CONCLUSÃO	76
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
5.2. SENSORIAMENTO REMOTO	76
5.3. ANÁLISE ESPACIAL E AHP	77
5.4. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	78

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1.1 - MOSAICO DE UCS- SERRA DO MAR- ADAPTADO FUNDAÇÃO CIDE-2004.....	13
FIGURA 1.2 - ÁREA DE ESTUDO	16
FIGURA 2.1 - MODELO DE ESTRUTURA HIERÁRQUICA DO AHP (ADAPTADO DE PASSOS, 2002).....	23
FIGURA 2.2 - ESTRUTURA HIERÁRQUICA	26
FIGURA 2.3 - PESOS DOS CRITÉRIOS	29
FIGURA 2.4 - ALTERNATIVAS DO CRITÉRIO ATRATIVOS	29
FIGURA 2.5 - ALTERNATIVAS DO CRITÉRIO ACESSO.....	29
FIGURA 2.6 - ALTERNATIVAS DO CRITÉRIO VALOR	29
FIGURA 2.7 - ÁRVORE DE DECISÃO AHP RATINGS.....	32
FIGURA 2.8 - REPRESENTAÇÃO MATRICIAL DE MAPA DE DISTÂNCIAS	42
FIGURA 2.9 - REPRESENTAÇÃO MATRICIAL DO USO DO SOLO.	43
FIGURA 2.10 - COMBINAÇÃO LINEAR PONDERADA (ADAPTADO DE MALCZEWSKY, 2000)	44
FIGURA 3.1 - FLUXO DOS PRINCIPAIS PROCESSOS REALIZADOS NO CAPÍTULO	46
FIGURA 3.2 - ÁRVORE DOS CRITÉRIOS.....	48
FIGURA 3.3 - PERFIL ALTIMÉTRICO DA ÁREA DE ESTUDOS GERADO COM MDE DO SRTM	50
FIGURA 3.4 - A) IMAGEM NÃO ORTORRETIFICADA; B) IMAGEM ORTORRETIFICADA.....	52
FIGURA 3.5 - NÍVEL 1 DE SEGMENTAÇÃO DA IMAGEM SPOT-5.	55
FIGURA 3.6 - NÍVEL 2 DE SEGMENTAÇÃO DA IMAGEM SPOT-5.....	56
FIGURA 3.7 - CENA SPOT-5 CLASSIFICADA (CRITÉRIO USO DO SOLO)	57
FIGURA 3.8 - DECLIVIDADE DA ÁREA DE ESTUDO (CRITÉRIO DECLIVIDADE)	60
FIGURA 3.9 - CUSTO/DISTÂNCIA PARA MALHA VIÁRIA (CRITÉRIO PROX. VIAS).....	62
FIGURA 3.10 - CUSTO/DISTÂNCIA PARA LOCALIDADES (CRITÉRIO PROX. LOCAL)	62
FIGURA 3.11 - CUSTO/DISTÂNCIA DA HIDROGRAFIA (CRITÉRIO PROX. RIOS)	63
FIGURA 3.12 - MAPA DE INTENSIDADE DO CRITÉRIO PROXIMIDADE DE VIAS	66
FIGURA 3.13 - MAPA DE INTENSIDADE DO CRITÉRIO PROXIMIDADE DE RIOS	66
FIGURA 3.15 - MAPA DE INTENSIDADE DO CRITÉRIO DECLIVIDADE.....	67
FIGURA 3.16 - MAPA DE INTENSIDADE DO CRITÉRIO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	68
FIGURA 3.17 - MAPA DE ÁREAS POTENCIAIS À OCUPAÇÃO (ALTERNATIVAS FINAIS)	70
FIGURA 4.1 - SETORES VISITADOS NA VERIFICAÇÃO DE CAMPO	72

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 - ESCALA FUNDAMENTAL DE SAATY	25
TABELA 2.2 - MATRIZ DE COMPARAÇÕES PARITÁRIAS	25
TABELA 2.3 - MATRIZ DE COMPARAÇÃO PARITÁRIA ENTRE CRITÉRIOS.....	27
TABELA 2.4 - COMPARAÇÃO DAS ALTERNATIVAS PARA O CRITÉRIO ATRATIVOS	27
TABELA 2.5 - COMPARAÇÃO DAS ALTERNATIVAS PARA O CRITÉRIO ACESSO.....	27
TABELA 2.6 - NOTAS FINAIS DAS ALTERNATIVAS	30
TABELA 2.7 - COMPARAÇÃO PARITÁRIA ENTRE INTENSIDADES.....	31
TABELA 3.1 - COMPARAÇÃO PAR A PAR ENTRE CRITÉRIOS	49
TABELA 3.2 - VETOR DE PESOS	49
TABELA 3.3 - MATRIZ DE ERROS	59
TABELA 3.4 - INTERVALOS LINGÜÍSTICOS DA ESCALA DE CONCORDÂNCIA DO ÍNDICE KAPPA	59
TABELA 3.5 - MATRIZ DE NORMALIZAÇÃO DE CRITÉRIOS DO USO DO SOLO	64
TABELA 3.6 - MATRIZ DE NORMALIZAÇÃO DE CRITÉRIOS DA DECLIVIDADE	64
TABELA 3.7 - MATRIZ DE NORMALIZAÇÃO DE CRITÉRIOS DE DISTÂNCIA DE VIAS.....	65
TABELA 3.8 - MATRIZ DE NORMALIZAÇÃO DE CRITÉRIOS DE DISTÂNCIA DE RIOS	65
TABELA 3.9 - MATRIZ DE NORMALIZAÇÃO DE CRITÉRIOS DE DISTÂNCIA DE LOCALIDADES	65
TABELA 3.10 - DISTÂNCIA DE VIAS, DE RIOS E DE LOCALIDADES.....	66
TABELA 3.11 - NORMALIZAÇÃO USO DO SOLO	68

LISTA DE SIGLAS

AHP	ANALYTIC HIERARCHY PROCESS
ASI	ITALIAN SPACE AGENCY
CGIS	CANADA GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS
CNES	CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES
DLR	GERMAN AEROSPACE CENTER
HRG	HAUTE RÉSOLUTION GÉOMÉTRIQUE
INPE	INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
MARSP	MONITORAMENTO AMBIENTAL RIO - SÃO PAULO
AMCD	APOIO À DECISÃO MULTICRITÉRIO
MDE	MODELO DIGITAL DE ELEVÇÃO
MDT	MODELO DIGITAL DE TERRENO
NASA	NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION
NC	NÍVEIS DE CINZA
ND	NÚMERO DIGITAL
NGA	NATIONAL GEOSPATIAL-INTELLIGENCE AGENCY
PARNASO	PARQUE NACIONAL DA SERRA DOS ÓRGÃO
PDI	PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS
SIG	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA
SNUC	SISTEMA NACIONAL DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO
SPOT	SATELLITE POUR L' OBSERVATION DE LA TERRE
SR	SENSORIAMENTO REMOTO
SRTM	SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHIC MISSION
UC	UNIDADE DE CONSERVAÇÃO
UTM	UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
ZAM	ZONA DE AMORTECIMENTO

RESUMO

A utilização de tecnologias que possibilitam a manipulação e o processamento de dados espaciais vem crescendo em diversas aplicações, assim como evoluindo suas técnicas metodológicas, utilizando-se dos mais diversos ramos da ciência. Análises ambientais se utilizam de Geotecnologias há bastante tempo. O Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informação Geográfica expressam grande potencial para estes tipos de análise, gerando informações de grande importância para os gestores ambientais tecerem seus planos de ação sobre o espaço geográfico, porém estes métodos apresentam diversos limitantes. Por se tratar de informações sobre ações já executadas, o grande desafio dos métodos de análise é justamente a possibilidade de realizar prognósticos através da identificação de tendências. Técnicas de aprendizado de máquina vem sendo integradas às análises espaciais, por possibilitarem realizar correlações entre grande volume de dados, possibilitando a identificações de padrões a partir de parâmetros conhecidos. Estes modelos são fortemente baseados em conjunto de dados de aprendizagem do modelo. Uma outra opção, a análise de decisão multicritério, apresenta uma abordagem quali-quantitativa e vem há mais tempo preenchendo uma lacuna existente na análise espacial, formalizando o tratamento de valores subjetivos de especialistas. Neste cenário, o presente trabalho desenvolveu e testou uma metodologia para identificação de áreas propensas à ocupação no entorno do Parque Nacional da Serra dos Órgãos, com a proposta de auxiliar o monitoramento destas pressões sobre as reservas florestais. A modelagem da problemática foi realizada utilizando o Processo de Análise Hierárquica, possibilitando a coleta e tratamento de informações subjetivas de personagens com relação ao problema, auxiliando na identificação e ponderação das variáveis inerentes a este processo. A extração dos níveis de informação espacial (critérios) se realizou utilizando-se técnicas de Processamento Digital de Imagem e Geoprocessamento, com dados de uma base cartográfica na escala de 1:10.000 de e uma cena SPOT-5 de 2002, tratando desta forma os critérios em um cenário pretérito. Realizada a combinação linear ponderada entre os critérios, gerou-se o resultado final com áreas propensas ao desenvolvimento de assentamentos em 2002. A validação se tornou necessária para testar a possibilidade de utilização da metodologia. Para isto, seria adequada a utilização de uma cena SPOT-5 atual, a fim de confrontá-la com resultado final. Devido a limitações que inviabilizaram a obtenção de uma imagem recente da área de estudo, realizou-se um levantamento de campo para identificar se as áreas apontadas se encontravam de fato com construções. Com as informações coletadas em campo, foi possível uma avaliação parcial e qualitativa da área, não havendo a possibilidade de gerar índices de concordância. Mesmo com as limitações do processo de validação da metodologia, pôde-se concluir que, neste estudo de caso, a utilização em conjunto de geotecnologias e Análise de Decisão Multicritério, permitiu modelar os principais fatores que intervêm no processo de ocupação, possibilitando uma melhor compreensão e análise do espaço geográfico.

ABSTRACT

The use of technologies that allow the handle and processing of spatial data has been growing in multiple applications, and their methodological techniques have been growing as well, based on various branches of science itself. Environmental analyses have been using geotechnologies for a long time. The Remote Sensing and the Geographic Information System have a huge potential for these analyses, generating important allowing environmental managers to execute their action plans over geographic space, however these data have several limitations. As it regards actions that have already been taken, the big challenge for these analysis methods was, as a matter of fact, the possibility to make forecasts through tendencies identifications. The Multicriteria Decision analysis has been fulfilling a lack left by spatial analysis, consolidating the moderation method between information levels and the subjective data treatment. On this scenario, this work developed and tested a methodology to identify propense areas to be occupied around the Serra dos Orgãos National Park, in order to help on monitoring anthropogenic pressures over forest reserves. The problem model has been done using an Analytic Hierarchy Process, which allowed the collection and treatment of subjective information related to the problem, helping in identifying and modeling the inherent variables. The extraction of space information levels (criteria) used PDI and SIG techniques, based on a cartographic base scale of 1:10.000 from 1999 and a SPOT-5 2002 scene, treating the data, this way, in a past scenario. Once the moderated linear combination was settled among the criterias, the final result was generated with the propense areas where the development of settlements was possible in 2002. The validation showed itself necessary in order to test the possibility of the methodology use. In the beginning it was figured that the use of an actual SPOT-5 scene would be adequate, aiming to confront with the final result. But, with time and material restrictions, 2009 field research was made, in order to identify if the target areas were really already with constructions. The field information allowed a partial and qualitative evaluation of the area, excluding the possibility of generating agreement indexes. Even with the methodology validation process limitations, it was possible to conclude that the use of a set of geotechnologies and the AMCD demonstrated efficiency in modeling the main factors for the settlements process, allowing a better comprehension and analysis of the geographic space.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As florestas tropicais são ecossistemas ricos em espécies e são alvos de intensa exploração de seus recursos naturais. Como estratégia para proteger tais ecossistemas, são criadas as Unidades de Conservação (UC), que objetivam preservar os remanescentes florestais. O processo de criação e gestão de uma UC, no Brasil, é previsto pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), pela lei federal nº 9985/2000 no artigo 225, § 1º, incisos I, II, III e VII (BRASIL, 2000).

No Estado do Rio de Janeiro, a maior concentração de remanescentes florestais se encontra nas serras e escarpas cristalinas que formam a base geológica do estado. Na Serra do Mar encontram-se as seguintes UC: Parque Nacional da Serra dos Órgãos, Reserva Biológica do Tinguá e Estação Ecológica da Guanabara (UC federais); Estação Ecológica do Paraíso, Parque Estadual dos Três Picos e Reserva Biológica de Araras (UC estaduais).

Na área central das UC da Serra do Mar, encontra-se o Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO), construindo um corredor ecológico entre UC nesta região (Figura 1.1), apontando assim seu papel prioritário na conservação ambiental (MMA, 2002).

No plano de zoneamento do PARNASO, publicado em 2007, foram citadas cinco atividades conflitantes no entorno da reserva. Dentre elas, destaca-se a ocupação irregular em seu entorno. O grande aumento dessas ocupações urbanas vem promovendo pressões aos remanescentes florestais.

O Brasil, assim como toda a América Latina, é um país predominantemente urbano e se urbaniza numa grande velocidade. O grau de urbanização do planeta também tem crescido em ritmo bastante acelerado. Em cinquenta anos, a população urbana aumentou de 28% para 50% da população total do planeta (SOUZA, 2003).

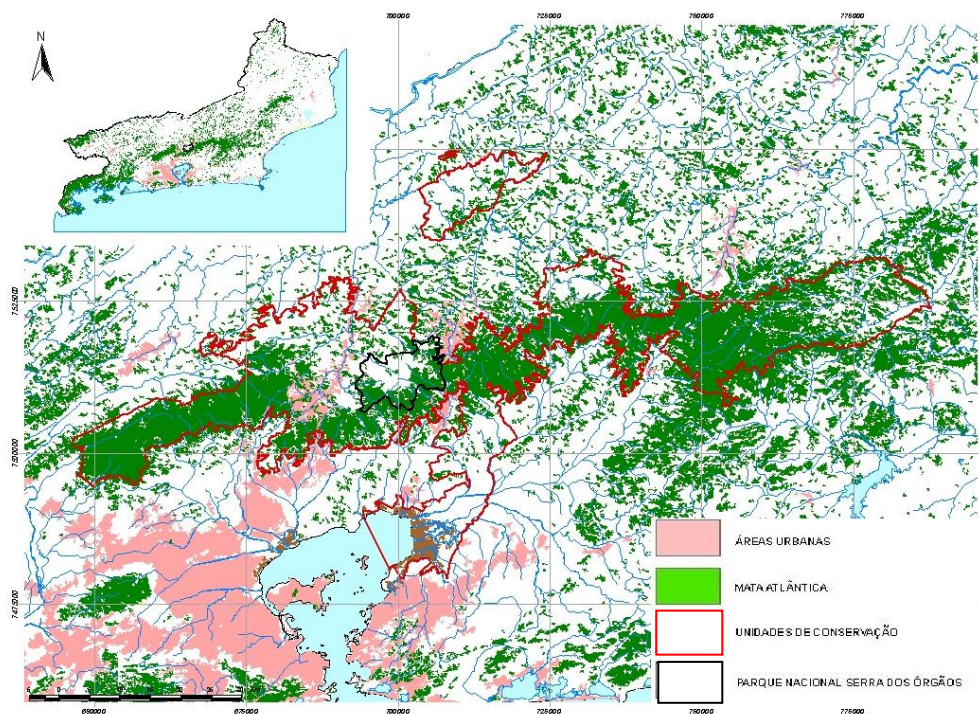


Figura 1.1 - Mosaico de UCs- Serra do Mar- Adaptado Fundação CIDE-2004

Políticas públicas que envolvam o monitoramento deste crescimento urbano são de bastante valia para uma sociedade mais organizada e para a proteção ambiental. Este monitoramento se torna mais relevante quando é possível identificar as áreas ainda não densamente ocupadas e que apresentam condições favoráveis para uma ocupação no futuro próximo, podendo promover o crescimento urbano desordenado. A modelagem destes fatores se caracteriza por uma tarefa não muito simples, devido à complexidade e a gama de fatores e agentes produtores deste espaço urbano.

Para CORRÊA (1995), existem quatro características fundamentais do espaço urbano contemporâneo. A primeira constitui um conjunto de usos diferenciados, como o industrial, comercial, residencial, de serviços e de gestão. A segunda relaciona os diversos tipos de uso e aponta que estes são relacionados por meio de fluxos de mercadorias e pessoas, caracterizando desta forma o dinamismo do espaço. A terceira se caracteriza pelo reflexo do espaço à luz da sociedade que o constrói, revelando desta forma sua estrutura social em classes, promovendo a constituição de residências segregadas, apontando também o grande potencial de mutabilidade destes espaços, caracterizando-os como dinâmicos. Na última característica, o autor indica que o espaço urbano condiciona a sociedade que nele vive por meio das obras fixadas pelo homem.

O mesmo autor identifica como agentes sociais envolvidos na produção do espaço urbano: os proprietários fundiários, os promotores imobiliários, o Estado e os grupos sociais. O primeiro agente promove a produção do espaço à medida que as propriedades são parceladas ou loteadas. Este processo é interligado com a procura dos grupos sociais por aquelas localidades, acarretando em uma especulação, que por sua vez entram em cena os promotores imobiliários, que fazem parte da construção e comercialização. O Estado pode exercer um papel de facilitador deste processo através da concessão de licenças e aprovação de empreendimentos que irão atrair os grupos sociais. O Estado pode também agir, por outro lado, impondo limites e regulamentando o desenvolvimento urbano, elegendo áreas restritas através de zoneamentos, como é o caso do entorno do PARNASO.

Identificar os processos cognitivos, através de critérios que atuam na escolha de uma determinada localidade para se morar ou construir uma casa de veraneio se mostra como uma possível alternativa para a identificação de áreas possíveis à ocupação. Esta modelagem de variáveis é por sua vez, um processo bastante minucioso, podendo existir diversos fatores ligados ao acesso, infra-estrutura e características ambientais.

A necessidade de monitoramento eficaz destas tendências de ocupação no entorno dos remanescentes florestais se torna de extrema importância para a preservação ambiental. Técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento assumem um papel importante para tal. Segundo COSTA et al. (2002), um inventário físico espacial contempla um diagnóstico das potencialidades, possibilidades, condições favoráveis, restrições, conflitos e problemas ambientais, onde imagens de satélite e o processamento adequado destas são ferramentas bastante úteis para inventários. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) executa trabalhos de monitoramento ambiental pelo Sensoriamento Remoto na Floresta Amazônica. Na Região Sudeste o INPE atua com o projeto MARSP (Monitoramento ambiental Rio-São Paulo), que foi criado em setembro de 1995 (INPE, 2008).

Como uma alternativa para modelar os fatores que promovem e condicionam a ocupação, adotou-se neste trabalho uma metodologia que vem crescendo desde o final da década de 80 e início da década de 90: O Apoio à Decisão Multicritério (AMCD), que integrada a ambientes SIG (Sistemas de Informação Geográfica) é utilizada para análises espaciais, permitindo envolver um grande número de

variáveis e a possibilidade de dar procedimento adequado na extração e ponderação de critérios. Pode-se definir como critérios o conjunto de variáveis pertinentes ao processo de tomada de decisão, que em SIG se traduz como o nível de informação, ou camada que irá compor a análise final. Na modelagem multicriterial é prevista a consulta a especialistas, que são indivíduos com uma proximidade com o problema em questão, possibilitando assim, neste caso em particular, a identificação das variáveis, expressas em critérios, que irão facilitar a ocupação no entorno do PARNASO.

1.2. OBJETIVO

Desenvolver e testar uma metodologia utilizando análise espacial com apoio multicritério à decisão e técnicas de Sensoriamento Remoto para identificação de áreas com risco potencial de ocupação para fins de veraneio e moradia no Parque Nacional da Serra dos Órgãos e em sua Zona de Amortecimento.

1.3. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudos se caracteriza desde os limites da Zona de Amortecimento (ZAM) até o interior do PARNASO. Segundo a definição do SNUC (decreto federal 1822/39), uma ZAM é o “(...)entorno das UC, onde as atividades humanas estão sujeitas a normas e restrições de uso (...) o limite da ZAM será definido no ato da criação da UC ou posteriormente”. Lei Federal nº 9985/2000 (BRASIL, 2000) no artigo 225, § 1º, inciso XVIII.

No presente caso, os limites da ZAM foram definidos pelo conselho gestor do PARNASO no ano de 2007 e abrange os municípios de Magé, Guapimirim, Petrópolis e Teresópolis (Figura 1.2), envolvidas pelas coordenadas Geográficas:

Canto Superior Esquerdo: 43°10'36" W / 22°22'30" S

Canto Inferior Direito: 42°55'48" W / 22°34'37" S

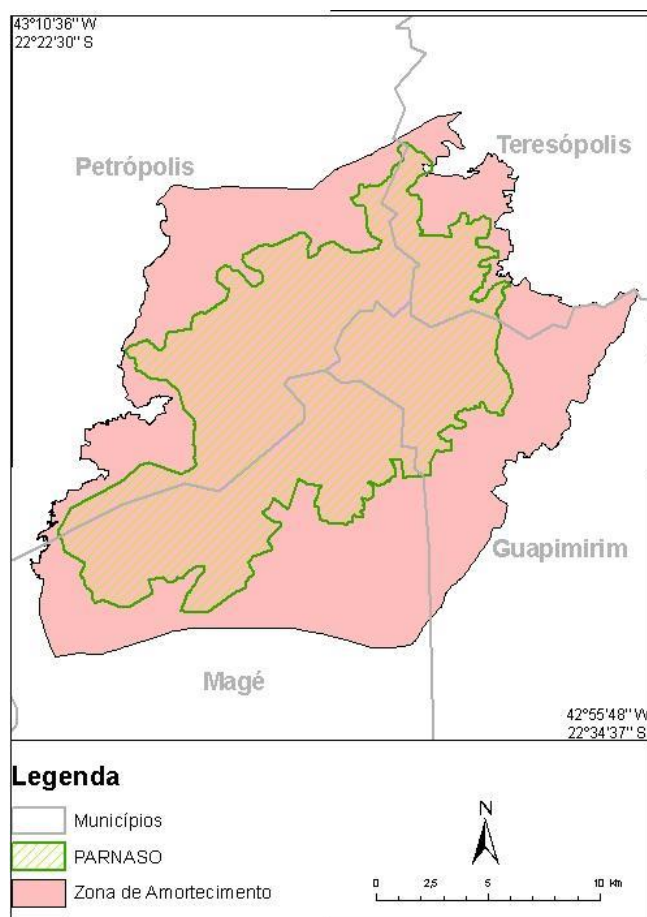


Figura 1.2 - Área de Estudo

1.4. MATERIAIS

Para o desenvolvimento da metodologia foi utilizado um conjunto de dados espaciais que foram tratados e manipulados em ambientes específicos para o Processamento Digital de Imagens (PDI) de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica (SIG).

A cena SPOT-5, imageada às 12:52:39, na data de 15/10/2002, foi disponibilizada pela empresa Hiparc Geotecnologia. Para PDI foram utilizados os programas: Envi 4.3 e eCognition 4.0. O SIG utilizado para o tratamento dos dados cartográficos e para análises foi o ArcGIS 8.3. Todas as licenças utilizadas foram disponibilizadas pela seção de Engenharia Cartográfica do Instituto Militar de Engenharia.

A base cartográfica na escala de 1:10.000 utilizada, foi disponibilizada pela Cooperativa ESTRUTURAR, que consiste em arquivos vetoriais no formato SHAPE de levantamento realizado pela empresa AMPLA em 1999. A base foi disponibilizada

no sistema de coordenadas UTM (*Universal Transversa de Mercator*) no Datum SAD-69. A Cooperativa também disponibilizou um mapa de uso do solo da região realizado por fotografias aéreas na escala 1:2.500 do ano de 1999. Este mapa de uso foi utilizado para avaliar a classificação da cena SPOT-5, realizada neste trabalho.

Foi utilizado para ortorretificação da cena SPOT-5 o modelo digital de elevação da missão SRTM, com resolução espacial de 90 metros, baixado previamente com correções da EMBRAPA Monitoramento por satélite.

1.5. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em seis capítulos, sendo o primeiro referente à contextualização do problema. A caracterização da área de estudos e a revisão bibliográfica dos conceitos utilizados para o desenvolvimento da metodologia estão presentes no segundo capítulo. Os capítulos 3 e 4 se referem ao desenvolvimento e aplicação da metodologia proposta, assim como sua validação e avaliação dos seus resultados. O capítulo que antecede as referências bibliográficas se preocupa com a conclusão.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é feita a caracterização da área de estudo, assim como a abordagem dos principais conceitos utilizados no decorrer deste trabalho. Realiza-se, dessa forma, uma revisão bibliográfica dos fundamentos teóricos necessários para o desenvolvimento da metodologia proposta.

2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A seqüência dos temas apresentados neste capítulo segue a linha de desenvolvimento da metodologia, partindo do entendimento e caracterização ambiental da área de estudo. Os primeiros conceitos tratados estão ligados à teoria da decisão, como o Apoio à Decisão Multicritério (AMCD), pois a metodologia se desenvolveu com base nesse ramo da ciência, considerando-se sua contribuição do início ao fim da pesquisa. Por conseguinte, são abordados os conceitos de Sensoriamento Remoto (SR) e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) utilizados para extração e tratamento das informações inerentes ao modelo. A seguir, é apresentada a junção das técnicas de SIG e de AMCD, que se caracteriza pela geração do resultado final.

2.2. O PARNASO E SUA ZONA DE AMORTECIMENTO

Para o planejamento e gestão de uma Unidade de Conservação, faz-se necessário de instrumentos institucionais como o Plano de Manejo. O artigo 27 do SNUC (BRASIL, 2001) estabelece que as unidades de conservação devam dispor de um plano de manejo que abranja a área da unidade de conservação e sua zona de amortecimento.

Segundo o plano de manejo (PARNASO 2007), a área de abrangência do PARNASO e sua ZAM é compreendida pela totalidade de quatro municípios: Magé, Guapimirim, Teresópolis e Petrópolis. O Município com maior área na UC é Petrópolis (4.556 ha), seguido de Guapimirim (2.745 ha) e Magé (1.875 ha). Teresópolis, apesar de ser o município mais fortemente associado ao parque e de abrigar a sede da unidade, é aquele com a menor área no PARNASO (1.424 ha). Magé

e Guapimirim pertencem à região metropolitana do Rio de Janeiro, em área de baixada. Teresópolis e Petrópolis se encontram na região serrana, que abrange a Serra do Mar na porção central do estado do Rio de Janeiro.

O Parque Nacional da Serra dos Órgãos foi criado no ano de 1939 e é o terceiro mais antigo do Brasil. Está inserido na Serra do Mar, a qual se caracteriza pelo seu relevo peculiar fortemente montanhoso, apresentando suas maiores elevações na faixa que acompanha a linha divisória dos municípios. O termo Serra dos Órgãos é o nome local que designa o trecho mais elevado da Serra do Mar. O ponto culminante de toda a Serra do Mar é o Pico Maior de Friburgo (2.285 m de altitude), mas a região da Pedra do Sino (2.263 m de altitude) é, em média, mais elevada, destacando-se acima de uma superfície subhorizontal que nivela cumeadas e topos arredondados a 2.000 m de altitude. Os mananciais encontrados nessa região drenam para as duas principais bacias hidrográficas fluminenses. A vertente da Serra dos Órgãos voltada para o litoral drena para a Baía de Guanabara, atingindo uma vasta área da baixada fluminense e das encostas da Serra do Mar. Já a vertente voltada para o continente drena para o rio Paraíba do Sul, por meio das sub-bacias dos rios Paquequer, Preto e Piabanha. Os rios que nascem no PARNASO abastecem parcela significativa da população dos Municípios do entorno (PARNASO, 2007).

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é o tropical de altitude, com uma curta estação seca. Sua temperatura média anual varia entre 13 e 23 °C. Já a pluviosidade apresenta uma distribuição sazonal, com concentração de chuvas no verão e período de seca no inverno. Existe uma variação climática entre as diferentes vertentes da serra, sendo a vertente voltada para o oceano mais úmida que aquelas voltadas para norte e oeste (PARNASO, 2007).

Os tipos de solo desta porção da Serra do Mar são diversificados e a distribuição destes está relacionada às áreas de relevo montanhoso e escarpado. Três classes principais de solos são identificadas: cambissolos, neossolos litólicos e argissolos, em unidades simples ou associações (CCPD, 2001).

Nesse contexto, as características topográficas, climáticas e geológicas do PARNASO e do seu entorno influenciaram as atividades econômicas e a ocupação humana dessa região. Historicamente, a região da baixada nos fundos da Baía de Guanabara e na base das vertentes da Serra dos Órgãos era ocupada, até meados do séc. XVI, por índios tamoios e timbiras. Quanto à parte alta da serra, registrou-se a

presença de índios guaranis e do quilombo da Serra, que abrigava escravos que fugiam das fazendas de cana-de-açúcar da baixada de Magé. A colonização da região serrana esteve relacionada ao traçado da Estrada Real entre Magé e Petrópolis (trilhas de acesso a Minas Gerais) e ao traçado entre Guapimirim e Teresópolis. A abertura do Caminho Novo da Estrada Real, em 1724, subindo a Serra de Petrópolis pode ser considerada o marco inicial de ocupação da parte alta da serra. A estrada de subida da serra entre Guapimirim e Teresópolis foi aberta em 1818, com traçado semelhante ao da rodovia atual (SANTOS, 1957).

Dentre as características socioeconômicas da região de influência da ZAM do PARNASO destacam-se: o turismo, a agricultura, a indústria e o comércio. A estrutura fundiária da região é caracterizada pela predominância de pequenas e médias propriedades, evidenciando a forte presença da agricultura familiar na região.

Sua população é predominantemente urbana e apresenta uma significativa parcela flutuante. Tal setor da população passa as férias de verão e inverno em Petrópolis e Teresópolis. No entanto, a porção mais elevada de Guapimirim, próxima ao PARNASO, também é bastante procurada e vem sofrendo com a pressão sobre os recursos naturais decorrentes da densidade da ocupação humana. Nesse contexto, destaca-se o crescimento populacional dessa região, o qual é superior à média dos demais municípios do estado (PARNASO, 2007). O entorno do PARNASO engloba os limites da ZAM, que diretamente sofre com os processos de ocupação. A ZAM tem restrições para ocupação e o limite da UC é ilegal qualquer tipo de construção, encontrando-se, porém, o desenvolvimento de novas edificações.

2.3. TEORIA DA DECISÃO

A busca pelo entendimento do comportamento humano é o objetivo de pesquisas em diversas áreas científicas. A expressão “ciências humanas” refere-se às ciências que têm o próprio humano como objeto, surgindo apenas no século XIX (CHAUÍ, 2004). Dentre as ciências humanas, a psicologia e as ciências sociais têm como principal objetivo o entendimento das relações humanas, porém com escalas de análise bem distintas. As ciências sociais se baseiam nos estudos das estruturas sociais, nas relações entre diversas organizações sociais, políticas e econômicas. A psicologia também objetiva o estudo do comportamento humano, porém seu

enfoque está nas relações intersubjetivas em grupos. A operação da mente humana, assim como as estruturas e o desenvolvimento do comportamento humano são o enfoque principal desta ciência.

Teoria da Decisão é o ramo da ciência que aborda, em particular, o comportamento humano no que se refere ao processo decisório, ou seja, à busca pelo entendimento dos processos mentais durante a tomada de decisão. Esta pode se caracterizar por determinada ação com a qual o ser humano tem de lidar todos os dias: a escolha de uma entre diversas alternativas. Assim, a Teoria da Decisão pode ser entendida como o estudo dos paradigmas e fundamentos analíticos dos processos decisórios. GOMES (2007) aponta que o surgimento de tal teoria nasce diante da necessidade de um apoio à atividade humana, no instante em que o homem precisa tomar boas decisões no que se refere à organização dos processos psicológicos na resolução de um problema.

Os métodos científicos inerentes à Teoria da Decisão são chamados de Apoio à Decisão Multicritério, como apontado por GOMES (2007): “(...) apoio à Decisão Multicritério constitui-se da Teoria da Decisão colocada em prática.”. A análise multicritério, como método, surgiu basicamente no final da década de 60, em Paris com ROY em 1968, e durante a década seguinte nos EUA com KEENEY e RAIFFA em 1976 e SAATY no ano seguinte. Desde então, essa área de conhecimento vem se desenvolvendo, com a criação de outras metodologias e um crescente número de novas aplicações (BANA e COSTA, et al 1997).

A escolha de uma melhor alternativa é um processo individual, ou seja, cada indivíduo terá uma percepção sobre a resolução de um mesmo problema. A percepção está ligada aos sentidos, que podem ser definidos como a qualidade intrínseca ao objeto externo e ao sentimento interno das qualidades sentidas (CHAUÍ, 2004). Dessa forma, a base do apoio à decisão multicritério é a subjetividade, não se pretendendo de maneira alguma padronizar ou apresentar ao decisor uma solução. A principal contribuição é a possibilidade de abordar e estruturar o processo decisório, apoiando a resolução de um problema. Os atores ou agentes desse processo deverão definir o objetivo, o conjunto de critérios, suas importâncias relativas e a listagem das alternativas. Segundo GOMES (2007), existem sete fases da análise de decisão:

1. **Identificação dos agentes e do tomador de decisão:** esta fase corresponde ao primeiro passo na concepção do problema, identificando quem é o tomador de decisão e quais agentes fazem parte do processo decisório, o que pode variar de acordo com cada problema;
2. **Listagem das alternativas:** com o problema e os agentes de tomada de decisão definidos, torna-se necessário eleger e listar possíveis alternativas para resolução do problema em questão;
3. **Definição dos critérios efetivamente relevantes:** os critérios são as inúmeras variáveis que condicionam ou proporcionam a escolha de uma melhor alternativa;
4. **Avaliação das alternativas com relação aos critérios:** as alternativas estão estreitamente ligadas aos critérios. Necessita-se, portanto, de uma avaliação de quais alternativas têm maior relação com cada critério;
5. **Determinação da importância relativa dos critérios:** através da análise dos critérios e do tratamento dos julgamentos subjetivos, será escolhida melhor alternativa candidata. Necessita-se de uma ponderação entre os critérios;
6. **Determinação das soluções satisfatórias:** com todo o processo anteriormente realizado, as alternativas recebem notas que serão analisadas como satisfatórias ou não à resolução do problema;
7. **Análise de sensibilidade:** este passo se caracteriza pela análise final dos resultados obtidos.

Diferentes métodos de apoio multicritério à decisão foram desenvolvidos em duas principais escolas: a americana e a francesa (GOMES, 2007). Dentre os principais métodos da escola americana destacam-se: a teoria da utilidade multiatributo e os métodos de análise hierárquica, que são muito utilizados em ambiente SIG e amplamente divulgados em material bibliográfico disponível, tendo sido este o método utilizado no presente trabalho. Por sua vez, a escola francesa desenvolveu métodos que, segundo GOMES et al (2004), admitem um modelo mais flexível do problema, pois não pressupõe a comparação entre alternativas e não impedem a estruturação hierárquica dos critérios existentes. Os primeiros métodos desta escola são os da família do Electre (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité), o Electre I, e em seguida do Electre II.

2.3.1.0 MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP)

O Método de Análise Hierárquica é mais conhecido como AHP (Analytic Hierarchy Process), criado pelo norte-americano Thomas L. Saaty. Foram escritos diversos livros sobre essa metodologia em diversos idiomas (SAATY, 2006). Um grande potencial desse método, é justamente a possibilidade de o problema de decisão ser dividido em níveis hierárquicos descendentes, estruturados em critérios, subcritérios e alternativas (SAATY, 1990). É possível representar esta idéia pelo diagrama a seguir (Figura 2.1).

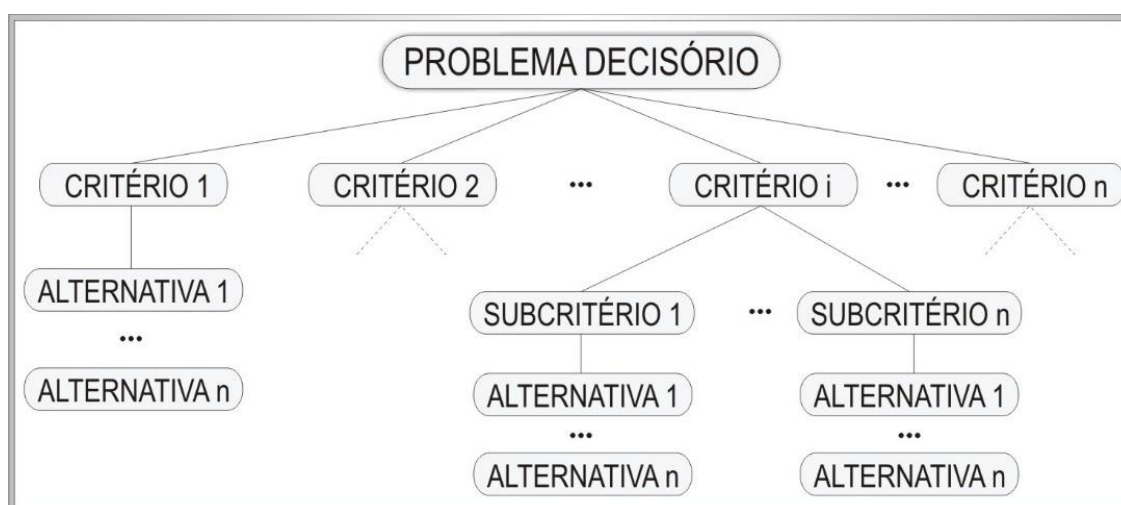


Figura 2.1 - Modelo de estrutura hierárquica do AHP (adaptado de PASSOS, 2002)

O método AHP tem seus fundamentos teóricos na psicologia cognitiva. O estudo da mente humana pela cognição surgiu como um paradigma bastante atrativo para a psicologia após a crise do behaviorismo no final dos anos 50. Nesta época, a característica principal dessa corrente é a analogia dos processos mentais com os processos computacionais do processamento da informação (GARRIDO E ÁLVARO, 2006). Este processo de mudanças foi chamado de revolução cognitiva da psicologia, que teve um dos seus pontos máximos em 1956, quando se celebrou o Segundo Simpósio sobre Teoria da Informação do Instituto Tecnológico de Massachusetts. Nesse simpósio foram apresentados alguns trabalhos considerados como marcos da ciência cognitiva. Entre eles se encontra: El mágico número siete, más o menos dos, de George A. Miller. Em tal obra, o autor aponta que, em geral, as pessoas conseguem lidar com informações que envolvam simultaneamente apenas sete fatos, podendo ser acrescentados deste número o equivalente a dois. No

entanto, SAATY (1990) alerta sobre o problema de que pode ocorrer dificuldade na manipulação da informação, quando o número de fatos é ultrapassado.

A construção do modelo proposto por SAATY pode ser iniciada tanto pela determinação da árvore de critérios quanto pelas alternativas escolhidas. No primeiro caso, o objetivo será a meta desejada, já no segundo, o modelo se inicia com as alternativas (COVA, 2000, apud PASSOS, 2002). Em qualquer uma das possibilidades de construção do modelo, a estrutura irá se apresentar da mesma forma, em que o nível mais elevado da árvore hierárquica se caracteriza pelo objetivo, o qual é seguido pelos critérios que, se necessário, podem ser divididos em subcritérios. Já a extremidade corresponde às alternativas (FIG. 2.1). No que diz respeito a cada critério e subcritério, um especialista opina sobre cada alternativa, atribuindo pesos e valores a estes, indicando a devida importância para a determinação do resultado final. O(s) especialista(s), nesse caso, pode(m) se caracterizar como o(s) indivíduo(s) que apresenta(m) um conhecimento singular da problemática, mediante uma vivência ou um estudo específico. Já o analista tem o papel de estruturar o problema e extrair as informações pertinentes dos especialistas. Isto geralmente ocorre por meio de entrevistas e organização de possibilidades, o que gera insumos para a realização de uma análise. Além disso, cabe também a esse personagem opinar diretamente sobre as informações pertinentes. Fora o analista e os especialistas, existe o tomador de decisão, que será o agente o qual, de fato, irá escolher entre as alternativas candidatas.

Para o julgamento dos especialistas são realizadas análises par-a-par dos critérios e das alternativas com a finalidade de medir as importâncias relativas destes últimos através da base matemática do método. Baseado na comparação, o método AHP possibilita o tratamento numérico das informações subjetivas, ponderando pesos entre todos os critérios, subcritérios e alternativas. O tratamento da opinião do especialista é feito mediante uma escala verbal que é associada a uma escala numérica variando de 1 a 9. A Tabela 2.1 ilustra a associação da escala verbal à escala numérica.

Intensidade de importância	Definição e Explicação
1	Importância igual - os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada - um fator é ligeiramente mais importante que o outro
5	Importância essencial - um fator é claramente mais importante que o outro
7	Importância demonstrada um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática
9	Importância extrema - a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários entre julgamentos - possibilidade de compromissos adicionais

Tabela 2.1 - Escala fundamental de SAATY

Em um modelo iniciado pelo problema, os critérios são comparados dois a dois pela matriz de comparações paritárias (TAB. 2.2). Se um critério c1 tem importância moderada na escala verbal em relação ao critério c2, o valor a ser preenchido na célula c1/c2 será 3 (escala numérica associada). Se para os especialistas, c1 tiver uma importância extrema se comparada com c3, a célula c1/c3 será preenchida com o valor 9, e assim por diante.

	C1	C2	C 3....	C N
C1	1	3	9	1/3
C2	1/3	1		
C 3	1/9		1	
C N...				1

Tabela 2.2 - Matriz de Comparações Paritárias

Nessa matriz todos os elementos da diagonal principal são iguais a 1, visto que nesta, está sendo comparada uma alternativa com ela mesma. Os elementos da matriz vão respeitar a seguinte relação (SAATY, 1990):

$$c1_{ij} = 1 / c_{ji}$$

Onde: i = linha; j = coluna

Para os subcritérios e alternativas, é montada a mesma matriz como representada na Tabela 2.2, sendo que as alternativas são comparadas para cada

subcritério, ou seja, a quantidade de matrizes, neste caso, está diretamente relacionada ao número de subcritérios existentes no modelo. Como exemplo uma problemática: a escolha de um dentre três terrenos para a construção de uma pousada. Três variáveis podem ser utilizadas nesse processo decisório, a saber: 1 - estar perto de atrativos naturais (como cachoeiras, trilhas, mirantes etc.); 2- tenha fácil acesso e 3 - o valor de cada terreno. Estas se caracterizam pelos critérios. Supondo que não haja subcritérios, é possível ir direto às alternativas, que se caracterizam pelos três terrenos à venda, mencionados no início do exemplo. Neste caso, existem três critérios, sendo dois subjetivos, não mensurados, e um quantitativo, com valores conhecidos. O primeiro passo é montar a árvore de decisão, depois efetuar a ponderação entre os critérios e, posteriormente, utilizar o mesmo processo para as alternativas à luz dos critérios, para então escolher a melhor alternativa. Para os critérios subjetivos, torna-se necessária a construção da matriz de comparação, utilizando a tabela de relação entre a escala verbal e a numérica. A ponderação relativa entre cada elemento obedece a uma escala que, se somados todos os pesos, deverá sempre resultar em 1. O critério valor do terreno não precisa ser calculado pela matriz, sendo somente necessário o cálculo da função de peso. As alternativas apresentam os seguintes valores para o critério valor do terreno:

- Terreno A: R\$ 65.000;
- Terreno B: R\$ 50.000;
- Terreno C: R\$ 120.000.

A árvore de decisão, montada para o exemplo, é ilustrada na Figura 2.2:

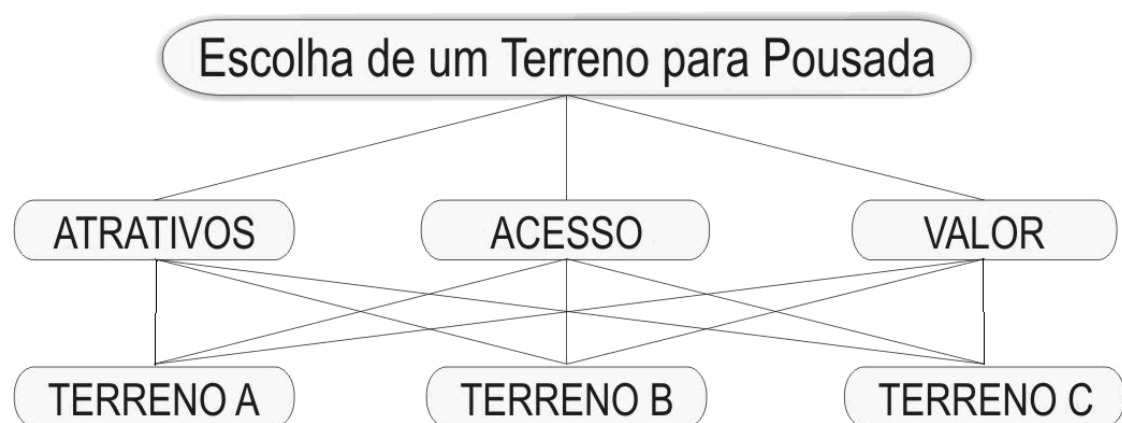


Figura 2.2 - Estrutura hierárquica

Utilizando a escala fundamental de Saaty, os sócios no novo empreendimento puderam montar a matriz para os critérios apresentada na Tabela 2.3, concluindo assim que o critério “atrativos” é três vezes mais importante que o critério “acessos”, e cinco vezes mais importante que o valor dos imóveis.

	Atrativos	Acessos	Valor
Atrativos	1	3	5
Acessos	1/3	1	3
Valor	1/5	1/3	1

Tabela 2.3 - Matriz de comparação paritária entre critérios

O mesmo procedimento foi realizado para as alternativas de cada um dos dois critérios subjetivos (Tabelas. 2.4 e 2.5):

	Terreno A	Terreno B	Terreno C
Terreno A	1	3	1/5
Terreno B	1/3	1	1/7
Terreno C	5	7	1

Tabela 2.4 - Comparação das alternativas para o critério atrativos

	Terreno A	Terreno B	Terreno C
Terreno A	1	3	5
Terreno B	1/3	1	3
Terreno C	1/5	1/3	1

Tabela 2.5 - Comparação das alternativas para o critério acesso

O método AHP prevê a análise de possíveis inconsistências da matriz de comparações paritárias. Durante a interação com os especialistas, pode ser que haja algum tipo de erro no julgamento de valor, não respeitando desta forma a relação de preferência entre os critérios. Como exemplo, uma matriz construída com os elementos A, B e C. Para que não haja inconsistência, deve ocorrer que se A é preferível a B e B é preferível a C, então C não poderá ser preferível a A.

Saaty ao descrever o Método de Análise Hierárquica, admite a existência de inconsistência, pois esta é inerente ao comportamento humano. Dada constatação, foi estabelecido que a razão de consistência (RC) considerada adequada varia de acordo com a ordem (n) da matriz de comparações paritárias. Para n = 2, RC deve ser nulo; para n = 3, RC deve ser no máximo 0,05; quando n = 4, RC deve ser no máximo igual a 0,09. Quando n > 4 $RC \leq 0,1$. Para medir este índice da matriz existem procedimentos específicos que são encontrados em SAATY (1990).

Após o preenchimento da matriz para a comparação paritária, é calculado o vetor de pesos de cada critério (ou alternativa). Este peso é relativo a todos os critérios e a soma de todos resultará sempre em 1. O cálculo dos pesos é realizado pela Equação 2.1:

$$W_i = \frac{média_i}{\sum_{i=1}^n média_i}$$

Equação 2.1

onde:

$média_i$ = média aritmética dos elementos na linha i da matriz para comparações paritárias

W_i = Peso do critério c_i (ou alternativa A_i à luz de determinado critério).

Na Equação 2.1 é possível identificar que para cada linha da matriz é calculada a média aritmética, que será dividida pela soma de todas as médias de todas as linhas da matriz, resultando no peso relativo de cada critério.

As alternativas relacionadas ao critério valor são divididas pelo somatório de todos os valores das três alternativas, possibilitando, dessa forma, gerar o peso linear das três alternativas em relação a esse critério. Mesmo se tratando de uma variável quantitativa, o critério valor poderia ser tratado pela matriz de comparação paritária, pois a diferença entre os valores pode expressar intensidades relativas para cada decisor.

Após o cálculo do vetor de pesos (Equação 2.1), obteve-se a importância relativa entre os critérios e alternativas, como representados nas Figuras 2.3, 2.4, 2.5 e 2.6:

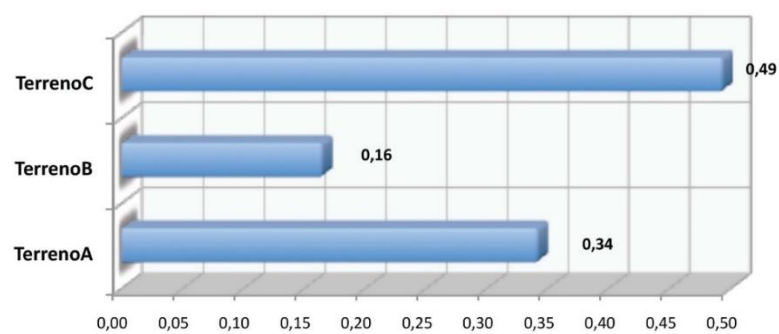


Figura 2.3 - Pesos dos critérios

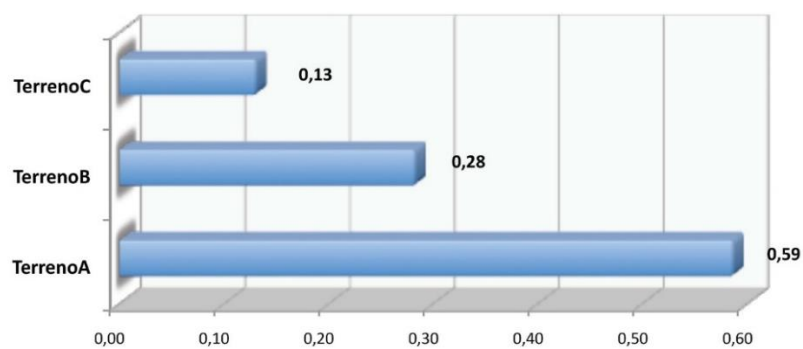


Figura 2.4 - Alternativas do critério atrativos

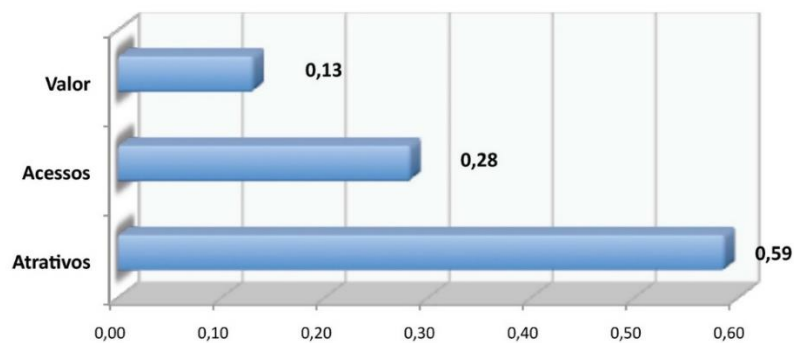


Figura 2.5 - Alternativas do critério acesso

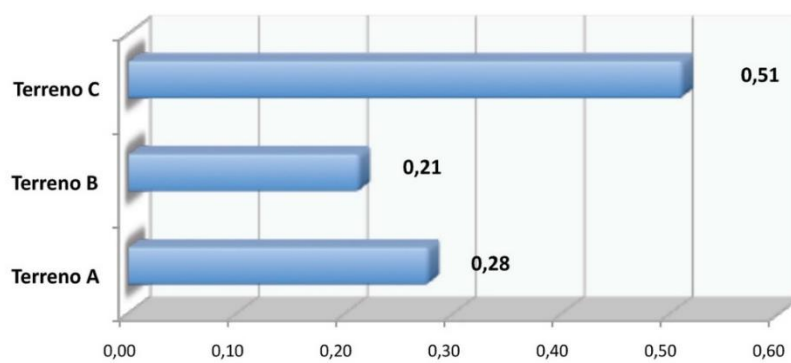


Figura 2.6 - Alternativas do critério valor

Nesse momento, todos os critérios e alternativas apresentam seus respectivos pesos, faltando, nesse caso, proceder ao cálculo final para a identificação da melhor decisão a ser tomada. O ranking final das alternativas é calculado pela função linear aditiva apresentada na Equação 2.2:

$$A_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j$$

Equação 2.2

onde:

A_i = valor final da alternativa

a_{ij} = valor da alternativa i à luz do critério j

w_j = peso do critério j

Após o cálculo da função linear aditiva, concluiu-se que o terreno A obteve a maior pontuação, indicando, dessa forma, que essa seria a melhor opção de compra segundo as prioridades indicadas. A Tabela 2.6 apresenta as notas finais (A_i) para cada alternativa:

	Terreno A	Terreno B	Terreno C	Peso dos Critérios (W)
Atrativos	0,34	0,16	0,49	0,59
Acesso	0,59	0,28	0,13	0,28
Valor	0,28	0,21	0,51	0,13
A_i	0,41	0,20	0,39	

Tabela 2.6 - Notas finais das alternativas

O processo apresentado até o momento é chamado de AHP clássico, que consiste em ponderar as melhores alternativas, propondo a final. Tradicionalmente, o AHP clássico prevê a utilização do cálculo do autovetor da matriz de comparações paritárias como o procedimento para a extração do vetor de pesos. Devido às duras críticas de BANA e COSTA et al. (1997), neste trabalho, optou-se por fazê-lo usando a média ponderada das linhas.

Em alguns casos, o número de alternativas pode compor uma enorme lista, dificultando, dessa maneira, a realização da matriz de comparações paritárias entre essas alternativas. O método AHP Ratings, explicado a seguir, vem propor uma forma diferencial de valorar estas últimas:

2.3.2. AHP RATINGS

Nas situações em que diversas alternativas precisam ser avaliadas, torna-se inviável a construção de uma matriz de comparação paritária. Nesses casos, o AHP Ratings é amplamente utilizado (FORMAN e SELLY, 2002). O processo do AHP Ratings substitui a comparação final entre as alternativas pela construção de uma matriz de comparação entre intensidades desenvolvidas para cada critério (exemplo: excelente, bom, satisfatório e pobre).

É possível aplicar como exemplo o caso anteriormente aplicado para a escolha de um terreno destinado à construção de uma pousada. Porém, nesse caso, deve-se considerar que está sendo avaliada toda uma região, sem um número exato de terrenos (alternativas). Sob a luz do critério eleito declividade, será construída uma escala de intensidades com grupos de inclinação de encosta que satisfaçam o tomador de decisão. Sabendo que a escala de valores da inclinação de uma encosta é entre 0º e 90º, supomos que tenham sido divididas as seguintes classes, com suas respectivas intensidades:

- Grupo 1: 0º até 15º (excelente para a construção);
- Grupo 2: 15,1º até 45º (inclinação regular para a construção);
- Grupo 3: 45,1º até 90º (não satisfatório).

As intensidades são comparadas par a par na matriz de comparação (Tabela 2.7), da mesma forma como é feito no método AHP clássico para as alternativas:

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Grupo 1	1	3	5
Grupo 2	1/3	1	3
Grupo 3	1/5	1/3	1

Tabela 2.7 - Comparação paritária entre intensidades

Após a construção da matriz, é possível o cálculo do vetor de pesos. Tal cálculo se assemelha ao indicado na EQ.2.1, no entanto, a média linear das intensidades não é dividida pelo somatório total das médias, mas sim pela maior média entre as intensidades (Equação 2.3):

$$W_i = \frac{média_i}{Maior\ média_i}$$

Equação 2.3

onde:

W_i = Peso da intensidade i ;

$média_i$ = média aritmética dos elementos na linha i da matriz para comparações paritárias;

$Maior\ média_i$ = maior valor de média aritmética das linhas.

A Figura 2.7 apresenta a árvore hierárquica de decisão, na qual é possível identificar a base da estrutura com as intensidades, calculadas na Equação 2.3, no lugar das alternativas.

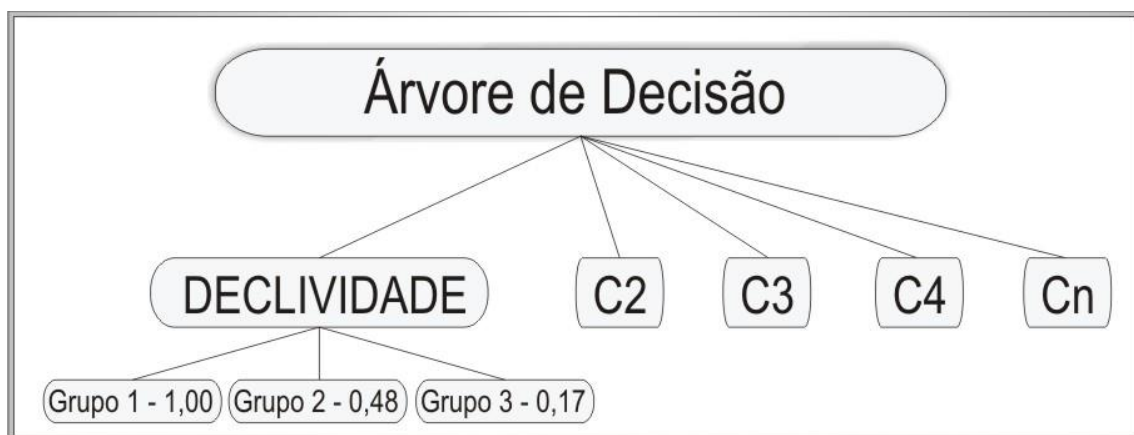


Figura 2.7 - Árvore de decisão AHP Ratings

Com os valores relativos de cada intensidade, torna-se possível classificar as alternativas perante os grupos de intensidade, considerando-as satisfatórias ou não.

2.4. SENSORIAMENTO REMOTO

Na década de 60 foi lançado o primeiro satélite para observação da Terra, da série TIROS, o qual deu início ao sensoriamento remoto orbital que, neste caso, objetivava estudos meteorológicos. Já em 1972, foi lançado o primeiro satélite de recursos terrestres, o ERTS-1, mais tarde denominado LANDSAT-1. A série LANDSAT e, posteriormente, a série francesa SPOT tinham como principal proposta o estudo dos recursos naturais. Eram equipados com sensores que registravam a energia eletromagnética na faixa do visível e do infravermelho.

A partir do final da década de 90, mais especificamente em 1999, através do lançamento do satélite IKONOS I, o SR experimenta um significativo avanço em relação à resolução espacial de imagens, acarretando, diretamente, novas

possibilidades de aplicações. Com resolução na faixa de 1 metro, este sensor orbital possibilitou o desenvolvimento de levantamentos anteriormente executados exclusivamente por aerofotogrametria. Hoje, muito se ouve falar dos novos lançamentos de satélites submétricos, tais como: Quick Bird e World View da empresa Digital Globe e o GeoEye da empresa Geo Eye. Para os estudos que necessitam de produtos em grande escala, os sensores a bordo desses satélites expressam grande potencial, porém apresentam geralmente uma limitação na resolução espectral, que chega somente até a faixa do infravermelho próximo.

No mesmo ano do lançamento do IKONOS I, também foi lançado o LANDSAT-7, com banda pancromática de 15 m e sete bandas multiespectrais. Ou seja, dois satélites com sistemas imageadores de objetivos diferentes caminhando lado a lado em evoluções distintas.

A escolha do melhor tipo de imagem a ser utilizada em um determinado estudo é uma tarefa não tanto trivial, pois, além dos custos, é preciso saber quais propriedades são necessárias para o estudo em questão. No caso do presente trabalho, objetivou-se classificar áreas com potencial para o desenvolvimento de aglomerados de ocupação, necessitando, dessa forma, de resolução espacial que possibilitasse a identificação de construções existentes, assim como de resolução espectral para a identificação de estágios de sucessão da vegetação.

Existiam, disponíveis para a pesquisa, três tipos de imagem: SPOT-4, SPOT-5 e IKONOS II. As cenas SPOT apresentavam toda a área de estudos em uma única cena, diferente do IKONOS, que apresentava a mesma área em três cenas distintas e em datas diferentes. Optou-se por utilizar, uma imagem do satélite SPOT-5, principalmente pelo fato de conter resoluções espaciais e espectrais que atendessem ao trabalho. A análise foi desenvolvida em escala regional, e a cena utilizada possibilitou a cobertura de todas as áreas, descartando a necessidade de reamostragem das informações espectrais através de processamento de mosaico.

2.4.1. IMAGENS SPOT

A série SPOT (Satellite pour l'Observation de la Terre) foi iniciada com o satélite francês SPOT 1, em 1986, sob a responsabilidade do Centre National d'Etudes Spatiales – CNES, da França. Hoje em dia, o projeto SPOT conta com três satélites em órbita: 2, 4 e 5, possibilitando o imageamento de qualquer ponto da Terra em menos de 24 horas (EMBRAPA, 2008).

O projeto SPOT, quando do seu lançamento, apresentou basicamente uma proposta semelhante ao programa LANDSAT, ou seja, sistemas sensores concebidos para objetivos públicos com sistemas terrestres de aquisição, processamento e disseminação de dados (NOVO, 1992). Os satélites da missão SPOT operam com sensores ópticos, com as bandas nas faixas espectrais do Visível, Infravermelho Próximo, e os últimos da série trabalham também na faixa do Infravermelho Médio. Em maio de 2002, a missão levou ao espaço o satélite SPOT-5, que tem a melhor resolução espacial da série: 5 m na banda pancromática chamada de HRG (Haute Résolution Géométrique) e 10 m nas bandas multiespectrais, utilizadas neste trabalho.

As imagens geradas pelos sensores a bordo do SPOT-5 têm grande potencialidade para estudos ambientais, devido a sua resolução espectral. Para estudos urbanos ele também é bastante utilizado, principalmente pela alta resolução espacial com uma faixa de imageamento de 60 X 60 km na visada Nadir. No Brasil, como exemplo de grande aplicação, a Embrapa Monitoramento por Satélite tem utilizado com frequência imagens geradas nesse sistema orbital em estudos de áreas densamente ocupadas, em pesquisas que exijam alta precisão espacial dos resultados e em estudos de vegetação, como, por exemplo, o projeto “Mapa da Cobertura Vegetal do Brasil” (EMBRAPA, 2008), por meio do qual foi elaborado o mapeamento do uso e de cobertura das terras do Brasil.

2.4.2. SEGMENTAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

- **Segmentação**

Segundo Schiawe e Tufte (2007), algoritmos de segmentação de imagens já existem em diversos procedimentos e foram desenvolvidos para aplicações em diversas áreas, tais como:

- Medicina;
- Neuroinformática para análises de cenas dinâmicas;
- Telecomunicações.

Segmentação é um método automatizado de agrupamento de pixels que, através de processamento computacional, possibilita uma redução de tempo na interpretação de imagens. Neste trabalho, objetiva-se a segmentação da imagem SPOT-5 para fins de classificação de uso do solo.

Em SR, pode-se definir a segmentação de imagens como o processo que irá formar regiões homogêneas, baseando-se principalmente no reconhecimento dos padrões dos Níveis de Cinza (NC) dos pixels. Existem três principais métodos de segmentação: por descontinuidade, por similaridade e multirresolução (INPE, 2007; MEINEL e NEUBERT, 2002).

A segmentação, geralmente, é feita pelo processo de similaridade ou de descontinuidade dos NC dos pixels. O processo por similaridade parte de um determinado pixel e adota o método de crescimento de regiões, agregando assim pixels vizinhos com similaridade espectral até que seja gerado um segmento espectralmente homogêneo. Já o processo de descontinuidade identifica mudanças bruscas nos valores do NC, criando dessa maneira as bordas dos segmentos (SCHOWENGERDT, 1997).

Outro processo de segmentação é o de segmentação multirresolução, que difere dos demais pelo fato de considerar não somente parâmetros espectrais, mas também os atributos de forma dos segmentos durante o agrupamento. O processo de agrupamento dos pixels se assemelha ao crescimento de regiões (DEFINIENS IMAGING, 2001).

Os tamanhos dos segmentos são definidos pelo usuário através do parâmetro de escala. Escala aqui se entende como os fatores de tamanho de regiões, não tendo nenhuma relação com o conceito de escala cartográfica. Os fatores de escala na segmentação multirresolução são aplicáveis diferentemente para cada caso específico, ou seja, não existe padrão para cada tipo de aplicação, já que o processo de escolha da escala se dá de forma empírica pelo usuário.

Na segmentação multirresolução há a possibilidade de se trabalhar com diversos níveis de escala, formando assim uma rede hierárquica. Dessa forma, as regiões tem relações diretas com sub-regiões e super-regiões (DEFINIENS IMAGING, 2003; SCHIEWE et al., 2007; BAATZ e SCHÄPE, 1999). HOFMANN (2001) trata esse tipo de hierarquia de duas formas distintas: top-down ou bottom-up. No primeiro caso, partem-se os segmentos proporcionalmente maiores, para, posteriormente, subdividi-los, gerando assim sub-regiões do primeiro nível de segmentação. Já no processo bottom-up, ocorre justamente o inverso, ou seja, um conjunto de segmentos pequenos irá formar um segmento maior.

A segmentação multirresolução, assim como a classificação orientada a objetos, difere das demais, justamente, por trabalhar com diversas variáveis, e não somente com a informação espectral das imagens. A classificação orientada a objetos surgiu mediante a tentativa de acompanhar a evolução dos novos sensores, cada vez mais disponíveis com resoluções espaciais submétricas. Nesse caso, a segmentação se caracteriza como o processamento necessário que antecede a classificação.

- **Classificação**

Pode-se dizer que as imagens obtidas por SR são dados que necessitam ser interpretados e analisados para se transformarem em informação. Segundo Florenzano (2002), interpretação de imagens é o processo de identificação de objetos nelas representados, possibilitando assim um significado. Historicamente, esse processo era feito visualmente.

A partir do lançamento dos primeiros satélites de observação da Terra, foram desenvolvidos processos computadorizados para extração de alvos nas imagens, pois era preciso analisar e integrar de forma rápida um grande volume de dados. Nessa época, as imagens ainda eram de baixa resolução espacial, cobrindo extensas porções terrestres. Esses algoritmos, desenvolvidos para a extração de informação de imagens digitais, foram chamados de classificadores pixel a pixel, pois baseiam-se em informações espectrais contidas no pixel. Com a evolução dos sistemas de sensores a bordo dos satélites, tornou-se necessário reformular os antigos métodos de classificação digital. A quantidade de informação contida nas novas imagens com alta e altíssima resolução espacial dificulta a utilização de procedimentos clássicos de classificação em imagens modernas. Dois novos tipos de classificação surgem perante esse cenário: a classificação orientada a segmentos e a classificação orientada a objetos. Assim como na classificação pixel a pixel, o processo orientado a segmentos se baseia somente na informação espectral, porém com uma grande diferença: A classificação é feita não somente com o menor elemento da imagem, mas sim em grupos de pixels, que são os segmentos (SCHIEWE et al., 2007).

A classificação orientada a objetos se distingue das demais pelo fato de considerar não somente a informação espectral da imagem, considerando também informações como textura, forma e contexto (SCHIEWE et al., 2007; BAATZ e SHÄPE,

1999). Neste método de classificação, faz-se necessário primeiramente a segmentação multirresolução da imagem, construindo uma rede hierárquica de segmentos.

A classificação orientada a objetos trabalha com lógica Fuzzy em seus classificadores. O classificador vizinho mais próximo, utilizado neste trabalho, se serve de amostras coletadas pelo analista. As amostras coletadas são os segmentos que, como abordado no item anterior, são grupos de pixels que apresentam similaridade. Depois de selecionados, o programa executa análises dos padrões segundo a sua resposta espectral, seu atributo de forma, contexto e sua textura, sendo que cada segmento recebe um grau de pertinência para cada classe, sendo incluído na classe que obtiver o maior grau de pertinência. Em lógica Fuzzy, o grau de pertinência pode ser caracterizado como o grau de incerteza que determinado elemento tem em relação a uma classe. Este grau de incerteza sempre irá variar entre 0 e 1, sendo 0 quando não há concordância do elemento em se relacionar com determinada classe, e 1 quando há absoluta concordância.

- **Avaliação da classificação**

Em estudos de classificação de imagens, torna-se necessário avaliar a confiabilidade dos resultados obtidos. Para isto, é comum a utilização de parâmetros determinados a partir de uma matriz de erros (ANTUNES e LINGNAUL, 2005). Esta é uma das formas mais eficientes de se mensurar a exatidão de um processo de classificação de imagens orbitais. Para a comparação da qualidade de diferentes processos de classificação deve-se usar diferentes técnicas, dentre elas a análise do coeficiente Kappa (k), acurácia do produtor, acurácia do usuário, acurácia global, todos estes calculados a partir da matriz de erros. No presente trabalho foram utilizados todos os índices citados acima, obtidos a partir da construção da matriz de erros, de modo a se avaliar a acurácia. Para a confecção da matriz de erros, é necessário calcular a quantidade necessária de amostras, que é obtida pela Equação 2.4. Após conhecida a quantidade de amostras, as mesmas são selecionadas aleatoriamente, onde cada elemento terá igual chance de ser selecionado (CONGALTON e GREEN, 1999).

$$n = \frac{B \prod_i (1 - \prod_i)}{b^2}$$

Equação 2.4

onde,

n = número de amostras;

B = valor determinado na tabela do qui quadrado, em função do grau de liberdade (GL), nível de confiança (C) e da quantidade de classes diferenciadas;

GL = utiliza-se o valor 1;

$\prod_i$ = proporção da classe de maior área;

b = nível de precisão do usuário, sendo que habitualmente é utilizado o valor $b=0,05$.

C = Para o nível de confiança são utilizados valores determinados pelo analista, que variam entre 0,85 e 0,95.

Para o cálculo de B utiliza-se a função do GL e o valor $1-C$ dividido pelo número de classes (K). Em classificações envolvendo dados de SR, os valores de C são tomados no intervalo entre 0,85 – 0,95.

A acurácia global é gerada pela razão entre o somatório dos valores situados na diagonal principal da matriz de erros, dividido pelo valor de todas amostras. A acurácia do produtor indica para cada classe, o grau em que a classificação concorda com a referência. O cálculo é feito pela divisão do número total de amostras corretas de uma classe, pelo número total de amostras desta classe na referência. A acurácia do usuário representa a probabilidade de um pixel ou segmento associado a uma classe, pertencer realmente a esta classe. A probabilidade é calculada pela divisão entre número total de amostras corretas de uma classe, e o número total de amostras associadas à classe em questão.

Já o cálculo do índice Kappa, assume que tanto o documento de referência quanto o produto da classificação possuem o mesmo grau de verdade (BRITES et. al., 1996; LOBÃO et. al., 2005). CONGALTON e GREEN publicaram pela primeira vez, em 1983, a aplicação do índice Kappa em SR, e, a partir de então, diversos artigos recomendam o uso dessa técnica (MEDINA, 2007). Uma vez confeccionada a matriz de erros, é possível aplicar a Equação 2.5.

$$\hat{K} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k n_{i+} \cdot n_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^k n_{i+} \cdot n_{+i}}$$

Equação 2.5

onde:

k = número de linhas da matriz de erros;

n = número total de observações (amostras);

n_{ii} = número de observações na linha i e coluna i;

n_{i+} = total da linha i;

n_{+i} = total da coluna i.

A confecção da matriz de erros para a avaliação da classificação da imagem SPOT-5, assim como o resultado da aplicação das funções inerentes ao processo, encontra-se na seção 3.2.1 deste trabalho.

2.5. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) E AHP

Os SIG tiveram sua origem no Canadá, no ano de 1962, e foram denominados CGIS (Canada Geographic Information Systems). O principal objetivo era realizar inventários nacionais de terras. As décadas de 70 e 80 foram marcadas pelo grande desenvolvimento de SIGs, principalmente nos EUA, em geral atendendo aos setores públicos. Foi na década de 90 que se ampliou em grande escala a aplicação no setor privado (NAZÁRIO, 1998).

Hoje, SIG pode ser caracterizado como um sistema de gerenciamento de banco de dados computacional para armazenar, recuperar, analisar e visualizar dados espaciais. LEWIS (1990, apud HEIKKILA, 1998) e LEVINE e LANDIS (1989, apud HEIKKILA, 1998), afirmam que todo SIG facilita procuras baseadas em localizações no mapa, e não apenas em valores de dados.

Um SIG deve obter as funções de gerência de atributos, manipulação espacial, análise dos dados (modelagem e sobreposições) e saída de dados (VIVIANI, 1998). A possibilidade de criação de mapas temáticos também se pode caracterizar como uma grande potencialidade de um SIG, pois corresponderia à relação entre os dados gráficos e os atributos.

Dentre as potencialidades apontadas anteriormente, a função mais nobre da utilização de SIG em projetos consiste em gerar informações pela combinação de

dados espaciais, objetivando descrever e analisar interações para fazer previsões através de modelos, além de fornecer apoio nas decisões tomadas por especialistas (BONHAM-CARTER, 1994).

A combinação entre os níveis de informação espacial em ambiente SIG é chamado de análise espacial. Os modelos de análise espacial consistem basicamente na combinação entre dados de entrada expressos em níveis de informação (ou critérios), o que irá fornecer um novo nível de informação de saída, podendo ser representado em dois principais formatos: matricial e vetorial. O nível de informação de saída expressa espacialmente a potencialidade de em uma determinada área ocorrer o fenômeno em questão. O formato dos dados de saída vai variar de acordo com o método de análise espacial. Por exemplo, se o método utilizado consiste em uma inferência booleana, na qual o resultado final irá representar um mapa binário com áreas potenciais ou não potenciais, a representação final poderá ser estruturada em um formato matricial com dois valores de células: 1 - potencial e 2 - não potencial. Ou, então, em formato vetorial com conjuntos booleanos de potencialidades. O resultado proveniente de uma análise Fuzzy ou de uma combinação linear ponderada será representado por um formato matricial indicando em cada célula um valor potencial, ou um grau de pertinência para o fenômeno ocorrer. Tais conceitos serão apresentados a seguir.

Os modelos utilizados em análise espacial geralmente estão relacionados a uma principal aplicação: identificações de áreas (por exemplo, para alocação de indústrias, reservas ambientais, traçados de dutos, desenvolvimentos residenciais, entre outros) envolvendo zonas que satisfaçam a determinadas variáveis ou critérios. Se estes critérios forem definidos por regras determinísticas, o modelo irá consistir em operadores booleanos para os mapas de entrada, resultando em mapa de saída binário, representando áreas satisfatórias ou não para um determinado problema (BONHAM-CARTER, 1994). Estudos indicam modelagens alternativas, adotando critérios ponderados, resultando um ranking em uma escala de potencialidade, demonstrando benefícios perante a simples presença/ausência. Estas modelagens apresentam a potencialidade de se calcular mapas ponderados por evidências relativas através do julgamento subjetivo de especialistas sobre o problema em questão.

BONHAM-CARTER (1994) propõe uma divisão em três classes de modelos espaciais:

1. Teorético: geralmente utilizado para calcular fluxos de fluidos;
2. Híbrido: geralmente utilizado para transporte de sedimentos;
3. Empíricos: com base heurística, sua principal aplicação é a predição de áreas.

Os modelos empíricos, utilizados no trabalho, podem ser divididos em dois: um com base em dados e outro com base em conhecimento. No modelo baseado em dados, vários mapas de entrada são combinados por evidências ou análises, utilizando-se por exemplo, técnicas de redes neurais. Os modelos baseados em conhecimento são calcados em inferências de especialistas, podendo ser utilizada lógica Fuzzy e combinação linear ponderada

Segundo MALCZEWSKI (2000), a utilização do método de combinação linear ponderada é feita freqüentemente sem o entendimento dos pressupostos indicados nesta abordagem, desconsiderando elementos críticos como, por exemplo, na combinação entre os mapas de entrada, geralmente se considera igual importância entre ambos, ou quando há uma ponderação, o método para atribuição destes pesos relativos é desconsiderado ou desconhecido. Ainda de acordo com MALCZEWSKI (2000), este tipo de procedimento comumente está presente entre os tomadores de decisão. O mesmo autor indica outros pesquisadores que promovem uma discussão sobre os aspectos do uso incorreto deste método (HOBBS, 1980, LAI e HAPKINGS, 1989, HEYWOOD et al., 1995, e CHRISMAN, 1996, apud MALCZEWSKI, 2000).

Esta utilização incorreta da combinação linear ponderada em ambientes SIG pode ser resultante de limitações do próprio método, acarretando uma busca crescente por parte dos pesquisadores de métodos formalizados de modo a auxiliar a análise espacial, principalmente no que se refere à ponderação entre as camadas a serem sobrepostas, dando então a oportunidade da integração de linhas de pesquisa bem específicas. Segundo MALCZEWSKI (2006), a integração do SIG com a análise de decisão multicritério vem atraindo significativo interesse desde o início da década de 90. Estas duas áreas distintas se beneficiam uma da outra (LAARIBI et al., 1996; MALCZEWSKI, 1999; THILL, 1999; CHAKAR e MARTEL, 2003, apud MALCZEWSKI, 2006), ou seja, por um lado as técnicas de SIG têm um importante papel no intuito de se investigar problemas de decisão espacial e, de outro, a análise de decisão multicritério apresenta uma coleção rica de procedimentos para a estruturação,

concepção, avaliação e priorização dos problemas de decisão (Chen et al., 2018; Parvin et al., 2021).

Os critérios e subcritérios indicados na modelagem AHP, com seus referidos pesos, caracterizam-se, em ambiente SIG, pelas camadas temáticas que serão sobrepostas pelo método de combinação linear ponderada. No caso, os dados de entrada e o resultado serão representados no formato matricial, no qual os valores de número digital (ND) irão representar espacialmente as áreas com os devidos graus de susceptibilidade de ocorrer o fenômeno em questão. Os valores dos NDs e suas respectivas escalas vão variar de acordo com o tipo de informação que cada camada conterà. Por exemplo, uma fotografia, que também se apresenta em formato matricial, com uma resolução radiométrica de 8 bits, terá seus NDs referidos a uma escala de nível de cinza, a qual irá variar de 0 a 255. No caso deste trabalho, que opera com matrizes que representam informações temáticas, os valores de NDs serão referentes aos seus temas. Tomando como exemplo a camada declividade, seus valores estarão em graus, contidos em cada pixel. Dessa forma, os ND estarão em uma escala numérica que irá variar entre o mínimo e o máximo grau de inclinação das encostas naquela determinada área de estudo. No caso de um mapa de distâncias da hidrografia, os valores contidos na célula serão referentes à distância em metros daquele pixel em relação ao rio mais próximo, ou seja, um pixel de valor 110 estará a 110 m do rio mais próximo e assim por diante (Figura 2.8).

110	112	117
127	123	139
	141	145

Figura 2.8 - Representação matricial de mapa de distâncias

Uma camada dos tipos de uso do solo é representada de forma parecida, porém os pixels são agrupados em classes distintas, sendo atribuído pelo programa um ND para cada tipo de uso, criando desta forma um identificador único para cada classe. Todas as células que refletirem, por exemplo, o uso gramíneas, terão o mesmo valor. No caso de uma camada com três classes de uso, a escala de valores

irá variar entre 0-3, em que o valor 0 geralmente se refere aos pixels não classificados e cada valor entre 1 e 3 irá refletir cada uma das três classes. Em um mapa de uso do solo, no qual a classe gramíneas contém o ND igual a 1, a área urbana é igual a 3 e o solo exposto igual a 2, isto significa que todos os pixels que tiverem valor igual a 2 serão solo exposto, igual a 1, gramínea, e igual a 3, a representação de uma área urbana (Figura 2.9).

Na combinação linear ponderada, os valores que são processados são os ND de cada nível de informação, e, neste caso, cada camada terá sua escala de valores particular, sendo necessário que haja uma padronização dos ND entre as camadas. Este processo de padronização é chamado de normalização. Tal tipo de padronização é previsto pela técnica do AHP Ratings.

1	2	0
2	3	3
1	1	1

Figura 2.9 - Representação matricial do uso do solo.

Este método, como já foi dito, é adequado para situações em que a quantidade de alternativas é muito grande, inviabilizando a realização das comparações paritárias entre estas como no AHP clássico. Em análise espacial é bem provável que ocorra esse tipo de situação, pois as alternativas serão os pixels da imagem de saída do modelo. Cada pixel da região de estudo está sendo analisado utilizando os critérios selecionados, sendo, portanto, considerado uma possível alternativa. Usando este método, são atribuídos diversos conceitos e intensidades para cada critério. Para o critério uso do solo, no caso do presente trabalho, as intensidades (ratings) usadas são: gramíneas, solo exposto, mata, mata densa e afloramento rochoso. As intensidades são avaliadas duas a duas e, com isso, o decisor poderá determinar o nível de importância relativa de cada uma delas. Como exemplo, o solo exposto é 5 vezes preferível à mata, o solo exposto é 9 vezes preferível em relação a mata densa e afloramento rochoso, e o solo exposto é igualmente preferível em relação a gramíneas. A partir desses julgamentos, deve-se montar a matriz de comparações paritárias que fornecerá um vetor indicando o nível de importância de

cada escolha realizada para o objetivo, o qual corresponde à ocupação dos terrenos no entorno do parque.

Após a normalização dos ND através do método AHP Ratings, cada camada será multiplicada pelo peso gerado pelo método AHP, para finalmente serem somadas entre si, resultando no mapa final. Se necessário, pode haver uma camada com informações binárias que servirá como máscara, ou seja, existem áreas que são praticamente nulas ou nulas no que diz respeito ao resultado final. A Figura 2.10 ilustra todo o processo em três etapas distintas. A primeira se caracteriza pela normalização anteriormente mencionada, ou seja, aquela das escalas de valores dos critérios de entrada que foram extraídos da base cartográfica e da imagem SOPT-5, e processados em ambientes SIG e PDI. Uma vez que todos os critérios estejam com os NDs em uma mesma escala de valores, é possível realizar a segunda etapa, a qual consiste na multiplicação dos valores de cada critério normalizado pelos seus respectivos pesos calculados pelo método AHP. Finalmente, a terceira etapa corresponde ao processo de adição entre os critérios já ponderados, resultando no mapa matricial em que cada pixel representa a nota final das alternativas. Nesta última etapa, é utilizada uma máscara que deve ser multiplicada pela matriz final, a fim de excluir os pixels que se encontram em áreas nas quais não é possível ocorrer o fenômeno modelado. No caso da identificação das áreas propensas à ocupação, foi definido como máscara o arruamento, e as áreas já ocupadas, visto que estas não são passíveis de ocupação, e desta forma, não participam da análise final.

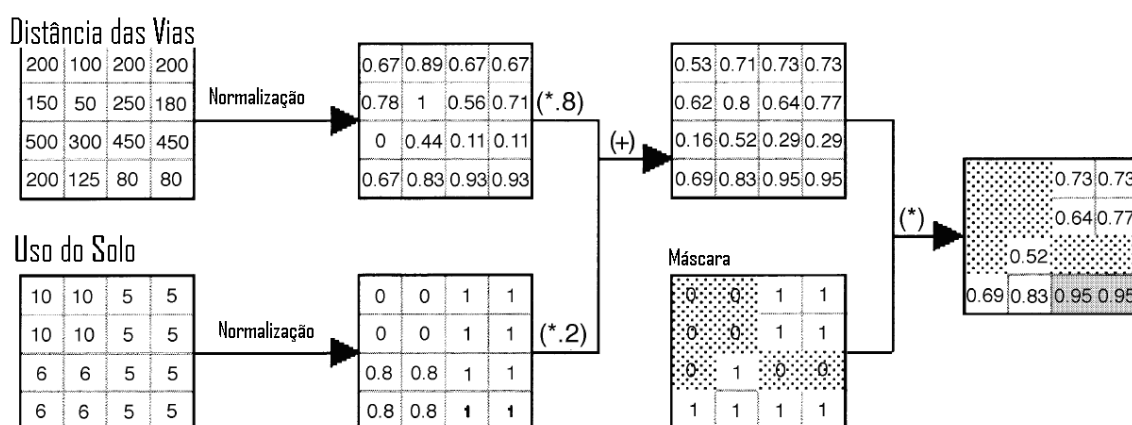


Figura 2.10 - Combinação Linear Ponderada (adaptado de MALCZEWSKY, 2000)

CAPÍTULO III

DESENVOLVIMENTO DA MODELAGEM E RESULTADOS

A modelagem lógica do problema foi realizada à luz do método AHP, a fim de identificar, selecionar, ordenar e hierarquizar os processos e os agentes envolvidos na ocupação do entorno do PARNASO. Com a utilização de técnicas de sensoriamento remoto através de PDI e da utilização de sistemas de informação geográfica, foi possível extrair e dar o tratamento necessário aos dados disponíveis, de forma a encontrar as alternativas finais representadas em um mapa com as áreas propensas à ocupação.

O primeiro item do capítulo se caracteriza pela modelagem AHP, partindo da identificação dos agentes inseridos nesse processo decisório e também dos critérios pertinentes ao problema. O processo de comparação paritária entre os critérios identificados foi realizado como indica o método AHP, a fim de identificar suas importâncias relativas, necessárias para a análise final. As alternativas finais não foram identificadas nessa primeira etapa da pesquisa e sim após o processamento dos dados espaciais, que são realizados nas seções 3.2 e 3.3.

A seção 3.2 é dividida em duas subseções, com o principal objetivo de diferenciar e detalhar a extração e o tratamento dos dados provenientes, quais sejam: de sensoriamento remoto em ambiente PDI e o da base cartográfica em ambiente SIG. A seção 3.3 apresenta o processo de normalização das escalas de valores de ambos os critérios, a fim de possibilitar a adição linear final. Como dito no capítulo anterior, a normalização dos critérios foi realizada utilizando o processo do AHP Ratings, que é apresentado nesse mesmo item.

Na última seção do capítulo 3 é realizada a álgebra de mapas final, em que cada critério normalizado é multiplicado pelo seu peso relativo calculado na seção 3.1, gerando, dessa forma, os mapas de intensidade que, posteriormente combinados, resultaram no mapa matricial final. A Figura 3.1 apresenta um fluxo dos principais processos realizados neste capítulo.

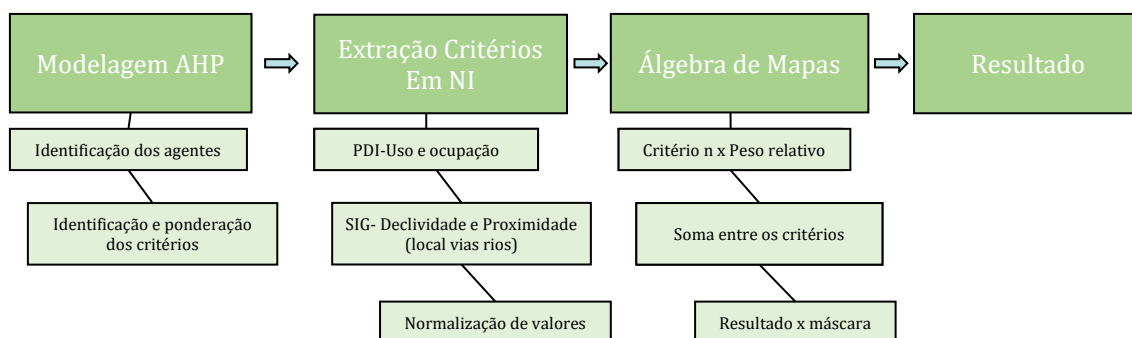


Figura 3.1 - Fluxo dos principais processos realizados no capítulo

3.1. IDENTIFICAÇÃO E PONDERAÇÃO DOS CRITÉRIOS

Durante a modelagem AHP foram identificados os fatores que influenciam no processo de ocupação, possibilitando, desse modo, a organização do problema, a identificação dos agentes inerentes ao processo, a determinação dos indicadores necessários (critérios) e sua relativa ponderação. Todas essas etapas foram imprescindíveis para gerar as alternativas finais que a serem hierarquizadas, indicaram as áreas com maior potencialidade de a ocupação ocorrer.

A função problema, ou objetivo, se caracteriza pela identificação das áreas com potencialidades de ocupação que vai dos limites da ZAM ao interior do PARNASO. O analista é quem está modelando o problema e, sob a ótica de CORRÊA (1995), sobre a produção do espaço urbano, entendeu-se como tomadores de decisão os diferentes grupos sociais que procuram a região de entorno do parque. Estes, de fato, escolherão uma entre as diversas alternativas, ou seja, um local para a construção de seu imóvel. Esta escolha por parte dos tomadores de decisão se dá de forma subjetiva no indivíduo inserido nos grupos sociais. A identificação dos processos mentais cognitivos na escolha desses locais, traduzidos em critérios ponderados e alternativas, é o principal objetivo do modelo AHP deste trabalho.

A entrevista do tomador de decisão seria o processo para a identificação desses critérios. No entanto, tornou-se inviável realizá-la com cada indivíduo inserido nos grupos sociais que atuam nessa região, devido ao fato da grande quantidade de entrevistados. Para utilizar um grupo amostral dos tomadores de decisão seria necessária a entrevista com amostras de cada grupo inerente ao processo nos diferentes setores. Dessa maneira, foi preciso o auxílio de especialistas (também previsto no processo decisório, como mencionado anteriormente). Neste caso, especialistas foram considerados profissionais com relacionamento direto

com a problemática, com conhecimentos práticos considerados relevantes, de forma a representar os tomadores de decisão, identificando e ponderando os critérios em pauta. Foram realizadas entrevistas com profissionais relacionados ao mercado imobiliário da região, como topógrafos que trabalham com parcelamento de terrenos e corretores, e também com funcionários do PARNASO que atuam na fiscalização do entorno da UC há cerca de 19 anos. Os formulários das entrevistas se encontram nos anexos, nas páginas 102 e 103.

Todos os entrevistados elucidaram a complexidade da ocupação no entorno da UC, identificando diversos grupos sociais agindo na produção de diferentes tipos de ocupação: existem desde assentamento de população de baixa renda para moradias até áreas extremamente valorizadas para construção de imóveis de veraneio com alto padrão. Assim, seria possível propor diversos setores com padrões particulares, compondo uma enorme quantidade de critérios, dificultando, dessa forma, a comparação paritária. Perante esse cenário havia duas possibilidades para a modelagem do problema: uma seria identificar e propor modelos particularizados para cada setor, outra seria a generalização dos fatores, de modo que toda a área fosse trabalhada em um único modelo. Optou-se por esta última alternativa, visto que, para desenvolver diversos modelos particularizados, seria preciso um tempo não disponível. Trabalhou-se com os principais critérios comuns para toda a área e para todos os grupos sociais. Esta tarefa por parte do analista se torna bastante difícil na concepção, simplificação e modelagem dos processos que atuam na produção do espaço urbano.

A partir da interpretação das respostas dos especialistas, foram identificados os seguintes critérios que atendem a toda região e a todos os grupos sociais:

1. **Proximidade de ruas:** todos os especialistas identificaram que, para uma área ser ocupada, é necessário que haja acessos, através de traçados de ruas já existentes;
2. **Proximidade de rios:** pelo fato de atrair veranistas tanto à procura de cachoeiras e rios possíveis para se banharem quanto de moradias que utilizam a rede de drenagem para alimentação de água;
3. **Proximidade de centros locais:** caracterizam-se por concentração de comércios e serviços, demonstrando, dessa forma, que sua proximidade é importante para a escolha de um local onde se possa construir;

4. **Declividade:** está diretamente relacionada ao custo de uma construção, podendo até inviabilizá-la;
5. **Uso e cobertura do solo:** o tipo de uso em cada terreno é um fator muito importante, também relacionado ao custo e à dificuldade de desenvolver uma construção. Existem usos como, por exemplo, afloramentos rochosos, que dificultam a ocupação, pois para a construção nesse local seria necessário um projeto específico, muitas vezes inviabilizando a obra.

Na modelagem, os critérios foram processados em ambientes PDI e SIG, resultando em camadas representadas no formato matricial, a fim de possibilitar a combinação linear ponderada que, no método AHP, é chamada de função linear aditiva. Nesse processo, a cada alternativa é atribuída uma nota final de importância (caracterizada por A_i na Equação 2.3). Assim como os critérios, o resultado final foi representado no formato matricial, com cada *pixel* representando uma alternativa cuja nota é o próprio ND, formando, assim, áreas com potencial para serem ocupadas. A Figura 3.1 abaixo ilustra a árvore hierárquica da modelagem realizada, onde, no topo, se encontra o problema. O primeiro nível se caracteriza pelos cinco critérios definidos. O nível inferior corresponde às alternativas referentes a cada critério. Cada alternativa é um *pixel* com uma nota (ND).

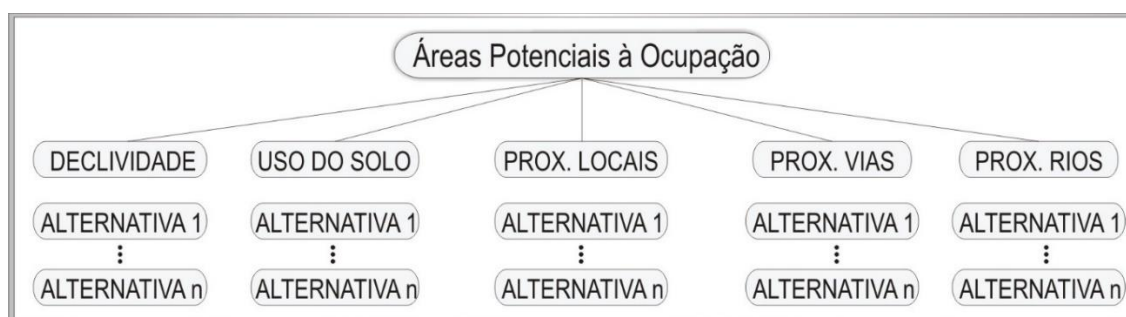


Figura 3.2 - Árvore dos critérios

A ponderação pelo método AHP possibilitou o tratamento numérico do julgamento de relevância dos critérios realizado pelos especialistas. Como mencionado na seção 2.3.2, o método possibilita, através da matriz de comparações paritárias e da escala fundamental de Saaty, o tratamento numérico desses julgamentos subjetivos. Na Tabela 3.1 é mostrada a matriz de comparação paritária já com os valores provenientes da escala verbal de Saaty.

	Uso do Solo	Prox. Rios	Prox. Vias	Prox. Centros locais	Declividade
Uso do Solo	1	1	5	7	5
Prox. Rios	1	1	3	7	3
Prox. Vias	1/5	1/3	1	5	3
Prox. Centros locais	1/7	1/7	1/5	1	1/5
Declividade	1/5	1/3	1/3	5	1

Tabela 3.1 - Comparação par a par entre critérios

Foi realizada a análise de inconsistência da matriz, utilizando uma extensão gratuita para o programa ArcGIS 8.3 desenvolvida pelo instituto de geociências da Universidade alemã de *Darmstad*, baixado em julho de 2008. O valor resultante para a matriz 3.1 foi de 0,07. Desta forma, o julgamento dos especialistas se apresentou em um índice aceitável de inconsistência segundo o valor proposto por Saaty de 0,1 para os padrões da matriz que se encontram neste trabalho.

Em uma primeira análise da matriz, pôde-se observar que os critérios uso do solo e proximidade de rios tiveram maior importância perante os demais e, quando comparados entre si, apontaram mesma importância. A ponderação final é possível de ser analisada somente após o cálculo do vetor de pesos, aplicando a EQ. 2.1 apresentada no capítulo 2.

O cálculo foi realizado em uma planilha no programa Microsoft Excel, utilizando a função “média linear” contida em sua biblioteca. O peso de cada critério, originado por tal procedimento, apresentado na Tabela 3.2.

Uso do Solo	0,347
Prox. Rios	0,258
Prox. Vias	0,197
Prox. Centros Locais	0,028
Declividade	0,170

Tabela 3.2 - Vetor de pesos

Pôde-se comprovar que o critério uso do solo obteve o maior peso relativo. Desse modo, pode-se interpretar que esse critério teve uma importância de 34,7%. O menor peso foi do critério proximidade dos centros locais, representando 2,8% de importância. Os principais fatores que influenciam na ocupação foram identificados e ponderados, sendo necessário transformá-los em níveis de informação espacial. Este processo é chamado aqui de extração de critérios.

3.2. EXTRAÇÃO DE CRITÉRIOS

Uma vez modelados os critérios, é possível extraí-los dos dados espaciais disponíveis. O processamento dos dados foi realizado em duas formas bastante distintas, sendo a principal apontada pela modelagem: uso do solo, trabalhado em programas de PDI utilizando a imagem de satélite. Os demais critérios foram trabalhados em ambiente SIG através do processamento de informações da base cartográfica na escala 1:10.000 cedida pela empresa de energia AMPLA.

3.2.1. CRITÉRIO EXTRAÍDO EM AMBIENTE PDI

O critério uso e cobertura do solo foi extraído da cena SPOT-5 do ano de 2002 através da classificação orientada a objetos, realizada utilizando o programa eCognition 4.0. Esta cena foi cedida já com coordenadas de terreno, no sistema de coordenadas UTM e *datum* WGS-84, porém apresentando deslocamentos de até 940 m em relação à base cartográfica na escala 1:10.000. A área de estudo apresenta uma variação altimétrica de 2000 m. Foi gerado um perfil altimétrico em um corte no sentido NE-SW da região, a fim de representar o desnível do terreno (Figura 3.2).

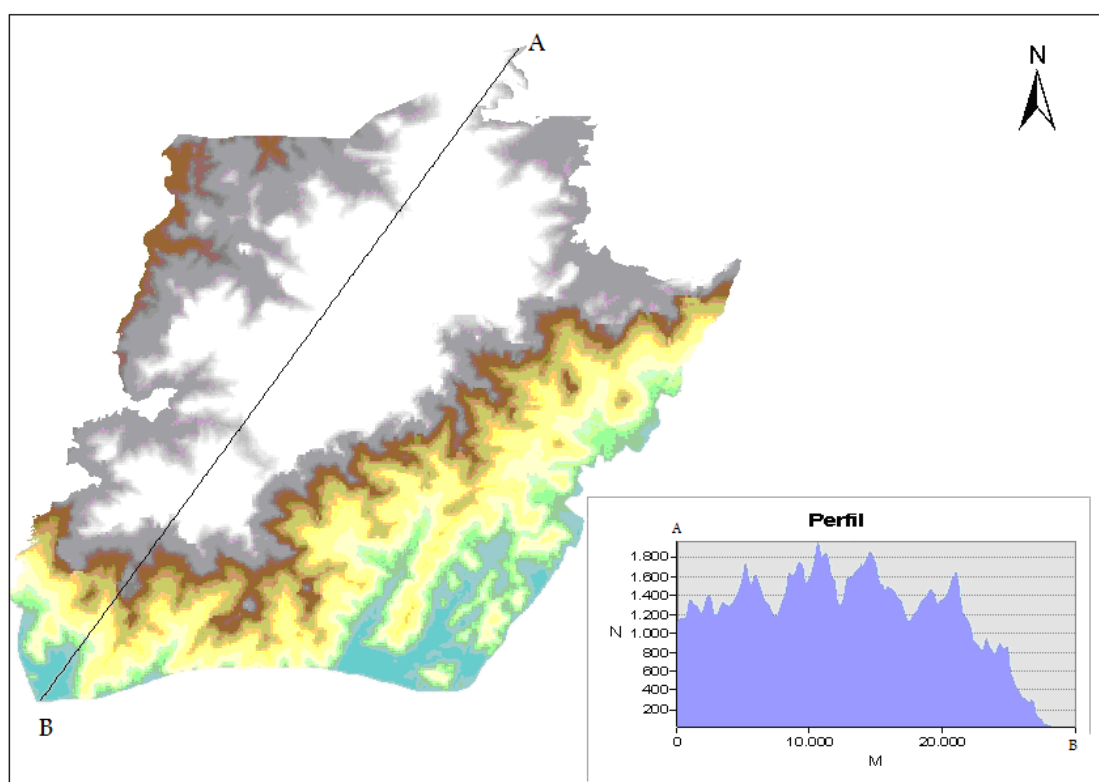


Figura 3.3 - Perfil altimétrico da área de estudos gerado com MDE do SRTM

Com deslocamentos dessa magnitude entre as duas principais fontes de dados, tornou-se necessária a ortorretificação da cena SPOT-5 para que fosse possível a geração de níveis de informação com mínimo deslocamento possível.

- **Ortorretificação da cena SPOT-5**

A ortorretificação foi realizada no programa ENVI 4.3, que disponibiliza técnicas próprias para leitura dos arquivos que contêm os polinômios da atitude do sensor disponibilizados pelas empresas operadoras de alguns satélites. Foi utilizada a técnica própria para a série SPOT, que possibilita a leitura do arquivo METADATA.dim para a correção das distorções ocasionadas pela atitude do sensor. No caso da correção das distorções ocasionadas pelo relevo foi utilizado o MDE do SRTM.

O SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) é um projeto cooperativo entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*), DLR (*German Aerospace Center*) e ASI (*Italian Space Agency*), que lançaram a Missão Topográfica por Radar Interferométrico, com o objetivo de gerar um Modelo Digital de Elevação (MDE) da Terra (RABUS *et al.*, 2003).

A interferometria por radar é uma técnica de imageamento ativa, em que o radar emite o sinal e registra as características do retorno deste último. A missão SRTM foi realizada no período de 11 a 22 de fevereiro de 2000 e coletou cerca de 12,4 terabytes de dados brutos sobre a topografia de 80% das áreas emersas do planeta (INFOGEO, 2004).

Os dados do SRTM são disponibilizados com resolução espacial de 92,72 m no **link 1** (a seguir). No Brasil, a EMBRAPA também disponibiliza os dados do SRTM no **link 2** (a seguir). Segundo o guia técnico da SPOT IMAGE, esse processo de ortorretificação utilizando SRTM pode gerar imagens compatíveis na escala cartográfica 1:10.000 (SPOT IMAGE, 2008). A Figura 3.4 A ilustra a banda pancromática não ortorretificada sob os vetores de estradas da base cartográfica. Já a Figura 3.4 B apresenta os mesmos vetores sobre a banda pancromática ortorretificada.

Link 1: <http://seamless.usgs.gov/>

Link 2: <http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br/download/index.htm>

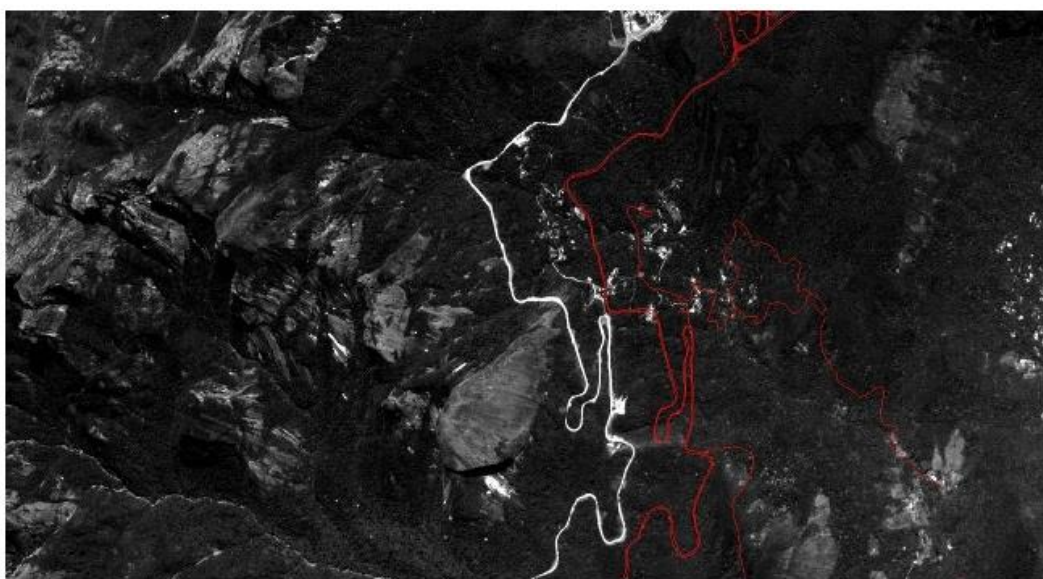


Imagem não ortorretificada

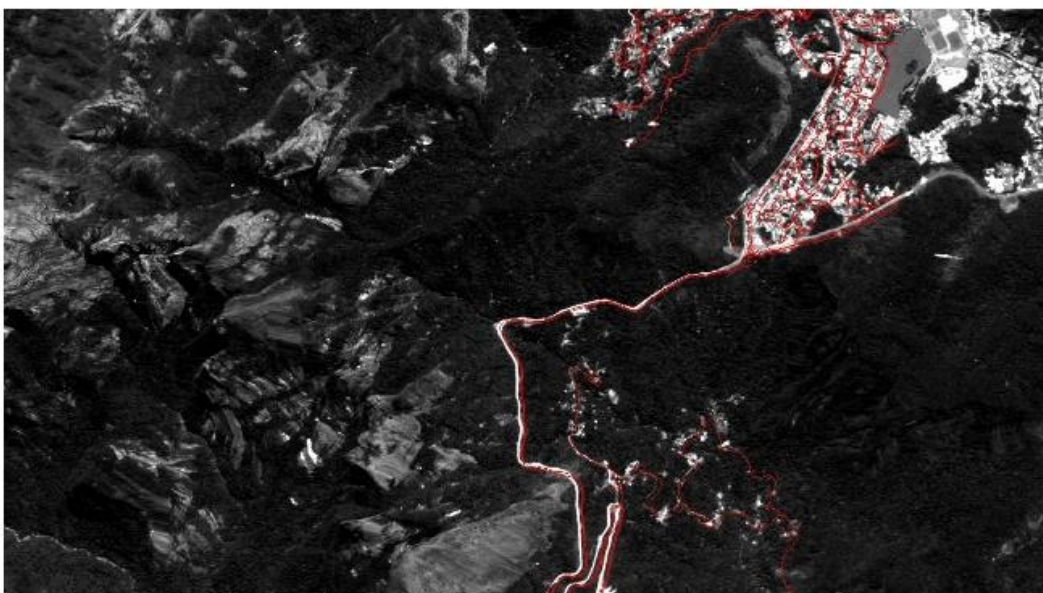


Imagem ortorretificada

Figura 3.4 - A) Imagem não ortorretificada; B) Imagem ortorretificada

A combinação de imagens de diferentes características, espaciais e espectrais, é bastante comum em sensoriamento remoto. Este processo possibilita uma integração que gera outra imagem que reúne as melhores propriedades espaciais e espectrais das bandas de entrada (WALD, 1999). A fusão de dados pode ser feita entre sistemas sensores diferentes, porém, usualmente, é realizada entre imagens de um mesmo sensor. As imagens SPOT-5, como visto na seção 3.3, contêm quatro bandas multiespectrais e uma banda pancromática. Para o desenvolvimento da metodologia proposta, foi necessária a utilização de uma imagem que agregasse as informações de todas as bandas. Foram testados três algoritmos para fusão: HSV,

normalização de cores por Brovey e Grandt-Schmidt. As transformações HSV e Brovey possibilitam a fusão de somente três bandas multiespectrais com a pancromática. Dessa forma, estaria se perdendo informação para o processo de classificação, visto que a classificação orientada a objetos possibilita a utilização de mais de três bandas espectrais. A transformação por Grandt-Schmidt possibilita trabalhar com um número maior que três de bandas multiespectrais de entrada, porém o processo apresentou a perda das características espectrais originais. Optou-se, a partir dessa constatação, por trabalhar com as bandas originais sem fusão. Segundo DEFINIENS IMAGING (2003), a melhor forma de se trabalhar com bandas multiespectrais e pancromáticas é segmentar a banda pancromática, que contém maior resolução espacial e toda a informação do conjunto das bandas multiespectrais. A classificação é feita com base nos segmentos gerados na banda pancromática e para composição dos descritores de classe utilizam-se as bandas multiespectrais.

- **Segmentação e classificação**

A seleção dos tipos de uso classificados na cena SPOT, assim como suas importâncias relativas, foi realizada levando em consideração a percepção dos especialistas, sendo posteriormente simplificada e adaptada. Em princípio, foram identificadas cinco principais classes representativas no processo de ocupação: mata, mata densa, afloramento, agricultura, solo exposto e gramíneas. A importância de cada classe no processo decisório será apresentada na seção 3.3. Além dessas seis principais classes foi adicionada mais uma classe necessária para o trabalho: a área urbana. Esta classe, a princípio, não foi identificada, pois não é passível de ocupação. Dessa forma, ela não participa da árvore de decisão final, embora seja necessária para o processo de classificação.

O tipo de uso agricultura foi abrangido pelo uso gramíneas, visto que ambos apresentaram a mesma importância no julgamento dos especialistas. Dessa forma, caracterizou-se que as áreas agrícolas estariam sofrendo pressão imobiliária, promovendo um processo de urbanização com as mesmas facilidades de construção quando comparadas com as gramíneas. Por esse motivo, acreditou-se na possibilidade de não distinguir os dois tipos de uso na classificação, tratando áreas agrícolas como gramíneas. Para o uso urbano, além de serem consideradas as áreas

com aglomeração de edificações, também foram incluídos grupos de casas isoladas do eixo urbano, assim como estradas asfaltadas e ruas pavimentadas, possibilitando, desse modo, a utilização dessa classe como máscara. O uso de máscara é extremamente necessário, pois, dessa forma, tais áreas ficam fora do resultado final, tendo em vista a impossibilidade de assentamento de novas construções nesses locais já densamente construídos.

Como visto na seção 3.3, para classificação orientada a objetos é previamente necessária a realização da segmentação multirresolução, que necessita de diversos parâmetros, como, por exemplo, a escala, a qual define a heterogeneidade máxima de objetos da imagem resultante, estando diretamente relacionada ao tamanho do segmento. Também é preciso ponderar a cor e a forma para gerar os objetos resultantes. Para a forma existem ainda diferentes pesos para um segmento com mais suavidade ou mais compacidade. O parâmetro cor se refere à similaridade espectral dos *pixels* a serem agrupados; já o parâmetro de forma considera a geometria dos segmentos. Desse modo, é preciso dar pesos relativos a essas duas propriedades de segmentos. A compacidade e a suavidade são propriedades na geometria do segmento, em que uma maior compacidade indica um segmento com limites mais abruptos, mais bem definidos, como é o caso, por exemplo, de uma via que tem sua forma bem identificada. Suavidade é entendida, na segmentação multirresolução, como um segmento com limites mais suaves, mais sinuosos, como, em geral, é o caso das classes de vegetação. De acordo com o apontado na seção 2.4, esse tipo de processo permite a criação e a hierarquização de diversos níveis de segmentação para uma única classificação. Este procedimento se torna necessário quando as classes de interesse apresentam propriedades diferentes.

Para priorizar as seis classes de interesse, foram necessários dois níveis de segmentação: o primeiro, com segmentos maiores, contendo as principais classes, tais como afloramento rochoso, mata densa, solo exposto, gramíneas e áreas urbanas; o segundo nível de segmentação, com segmentos menores, tornou-se necessário para se identificar construções isoladas do eixo urbano, geralmente cercadas por gramíneas ou mata.

Foram testadas diversas combinações entre todos esses parâmetros, até se chegar aos níveis desejáveis. Para o primeiro nível foram utilizados os seguintes parâmetros:

Nível 1: parâmetro de escala: 35; forma: 0.3; cor: 0.7; compacidade: 0.5 e suavidade: 0.5. A imagem segmentada pode ser vista na Figura 3.5.

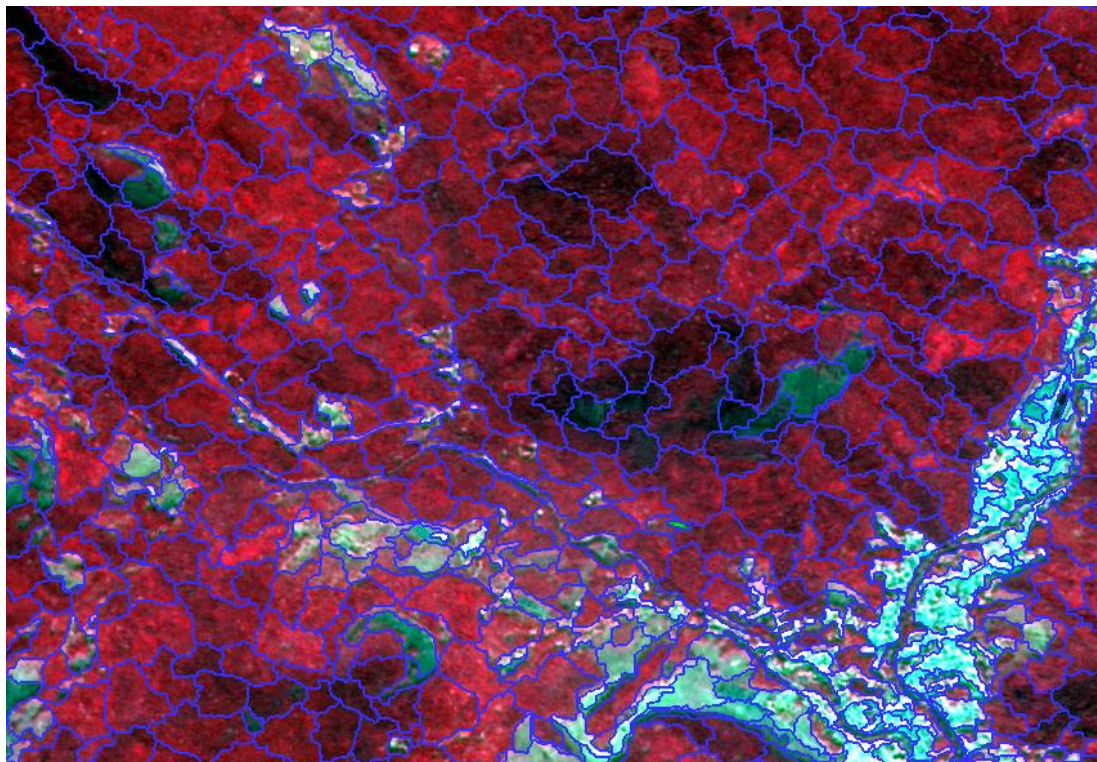


Figura 3.5 - Nível 1 de segmentação da imagem SPOT-5.

Para o segundo nível de segmentação foram utilizados os seguintes parâmetros:

Nível 2: parâmetro de escala: 10; forma: 0.4; cor: 0.6; compacidade: 0.6 e suavidade: 0.4. A imagem segmentada no nível 2 pode ser visualizada na Figura 3.6.

Para a classificação foram utilizados os dois níveis de segmentos gerados anteriormente, formando assim duas classificações. Para ambas foram utilizados como descritores de classe o valor espectral médio para cada objeto nas 4 bandas multiespectrais e o critério de forma relacionado à compacidade de cada objeto nas classes afloramento rochoso, edificações e área urbana. Para o restante das classes, foi utilizada na característica forma a suavidade de cada objeto.

A classificação baseada em regras *Fuzzy* pode associar um mesmo objeto a diversas classes com diferentes graus de pertinência. A existência de graus de pertinência muito próximas indica um grau de incerteza na classificação, acarretando uma classificação ambigua (ANTUNES e LINGNAU, 2005).

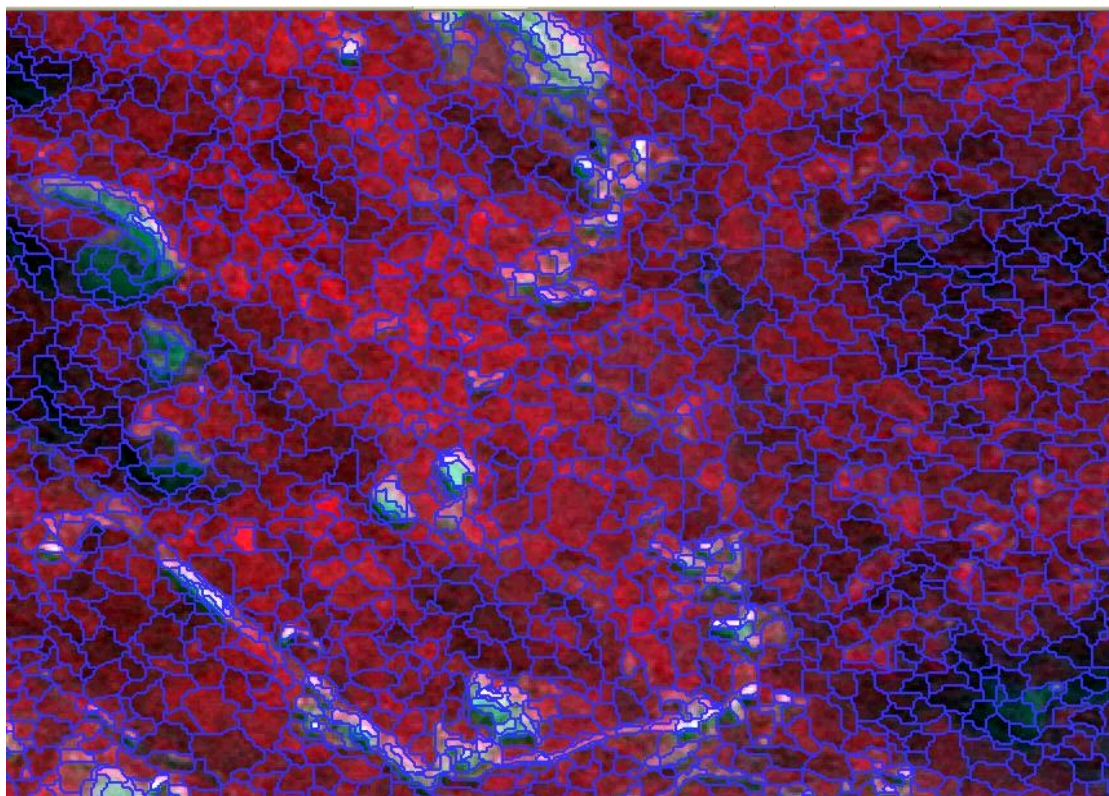


Figura 3.6 - Nível 2 de segmentação da imagem SPOT-5.

Em relação ao grau de ambigüidade de um objeto, este pode ser definido pela diferença entre o maior e o segundo maior grau de pertinência em relação a uma determinada classe, ou seja, quanto maior for o valor resultante desta diferença, menor será a ambigüidade da classificação, indicando, dessa forma, que o índice de ambigüidade é inversamente proporcional ao grau de ambigüidade. A seguir se apresenta a EQ. 3.1 que expressa o cálculo do índice de ambigüidade (DEFINIENS IMAGING, 2003):

$$I_a = \mu_{c1} - \mu_{c2}$$

Equação 3.1

onde:

I_a = índice de ambigüidade;

μ_{c1} = maior grau de pertinência em relação a uma classe c_i qualquer;

μ_{c2} = segundo maior grau de pertinência em relação a uma classe c_j qualquer;

$c_i \neq c_j$.

ANTUNES e LINGNAUL (2005) indicam uma escala lingüística para os níveis de aceitação de uma classificação em relação ao grau de ambigüidade:

- Classificação ináceitável: $I_a = 0$;
- Classificação ambígua: $0,01 \leq I_a \leq 0,30$;
- Classificação aceitável: $0,31 \leq I_a \leq 0,50$;
- Classificação boa: $0,51 \leq I_a \leq 0,80$;
- Classificação muito boa: $0,81 \leq I_a \leq 1$.

O programa eCognition 4.0 possibilita interação na escolha do mínimo índice de ambigüidade desejado para a classificação. Como o objetivo do trabalho foi classificar o uso e ocupação do solo de forma rápida e confiante, levou-se em consideração a escala lingüística apresentada anteriormente e utilizou-se como mínimo de ambigüidade o índice 0,81. Como nem todos os objetos atenderam ao mínimo índice de ambigüidade, a classificação final apresentou alguns objetos não classificados. Dessa forma, foi necessário um processo de pós-classificação, que se realizou com base na interpretação visual dos objetos e na inserção manual destes em uma determinada classe. A FIG. 3.6 apresenta a imagem pós-classificada.

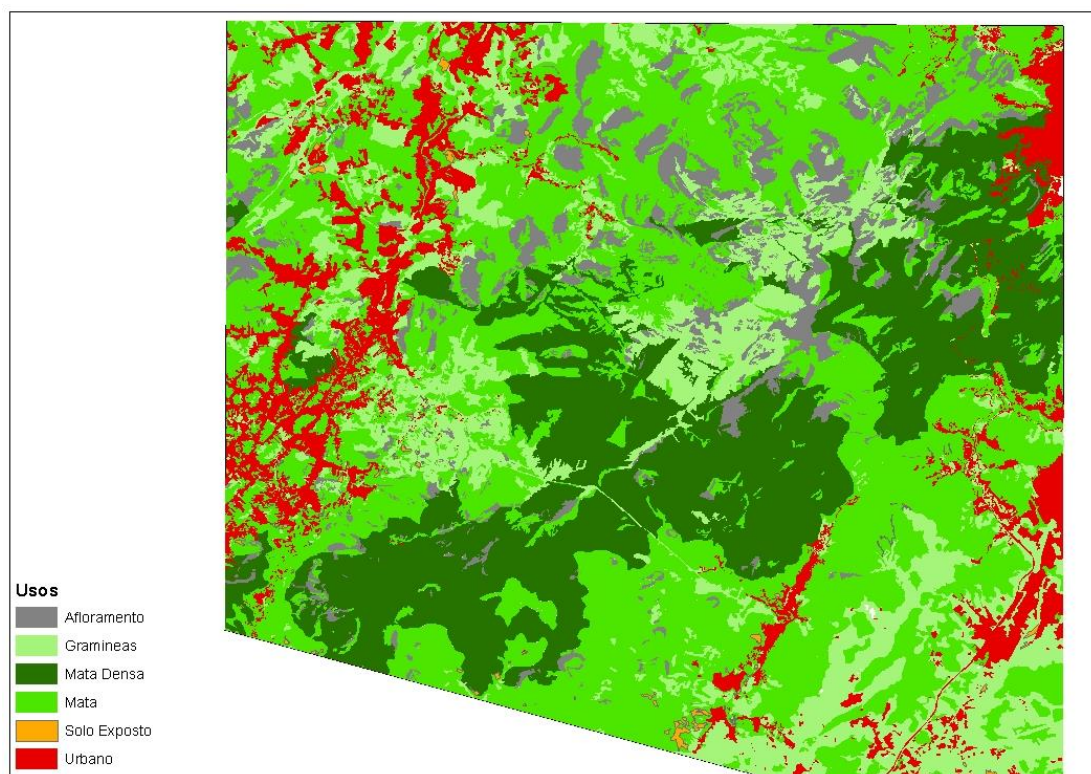


Figura 3.7 - Cena SPOT-5 classificada (critério uso do solo)

- **Avaliação da classificação**

No presente trabalho foi avaliada a classificação da imagem SPOT-5, utilizando métodos que visam determinar a qualidade dessas informações. Como apontado no capítulo 2, o índice *Kappa*, a acurácia global, a acurácia do produtor e a acurácia do usuário, foram utilizados neste trabalho, que são os métodos mais aplicados em Sensoriamento Remoto para tal avaliação. O método utilizado para determinar a quantidade de amostras foi o indicado por ANDERSON *et al.* (1976 *apud* CONGALTON e GREEN 1999), apresentada na EQ 2.5.

B foi calculado a partir de uma função existente na categoria estatística chamada INVI.QUI do Microsoft Excel que utiliza a tabela *qui* quadrado. No programa, é necessário entrar com o valor de probabilidade que se refere a α/k , onde $C = 0,85$, e $k = 6$, resultando no valor de probabilidade = 0,025 e o grau de liberdade = 1.

O nível de precisão usuário utilizado (b) foi de 5%, como proposto por CONGALTON e GREEN (1999). Tendo em vista que a proporção da classe de maior área ($\prod_i$) é de 0,35, efetuou-se o seguinte cálculo:

$$n = \frac{5,024(0,35)(1 - 0,35)}{0,05^2}$$

$$n = \frac{1,7584(1 - 0,35)}{0,0025}$$

$$n = \frac{1,7584(0,65)}{0,0025}$$

$$n = 457,18$$

O método utilizado na seleção das amostras foi o randômico, isto é, qualquer par de coordenadas da imagem (linha e coluna) teve a mesma chance de ser sorteado. O sorteio foi realizado no programa ArcGIS 8.3 pela ferramenta *Random Selection*. Após sorteadas as 457 amostras, estas foram identificadas nas imagens classificadas e, posteriormente, no documento de referência que, nesse caso, consistem em uma classificação realizada pela equipe técnica do PARNASO, utilizando fotografias aéreas na escala 1:2.500, do ano de 1999. Construiu-se, dessa forma, a matriz de erros (Tabela 3.3), em que o eixo X representa a imagem

classificada e o eixo Y o documento de referência. Abaixo da linha do valor total na tabela, encontram-se em na mesma ordem os valores gerados para o índice *Kappa*, acurácia global, acurácia do produtor e acurácia do usuário.

	Urbano	Mata	Mata Densa	Afloramento	Solo Exposto	Gramíneas	TOTAL
Urbano	98	17	0	10	0	22	147
Mata	0	28	10	0	0	15	53
Mata Densa	0	10	24	0	0	0	34
Afloramento	17	0	0	50	0	10	77
Solo Exposto	10	18	0	10	43	28	109
Gramíneas	10	16	0	0	0	26	52
TOTAL	135	89	34	70	43	101	
Índices							Valores
<i>Kappa</i>	0.6329	0.302	0.6842	0.6189	0.5114	0.2127	0,4245
Acurácia Global	-	-	-	-	-	-	59,39%
Acurácia do produtor	0,67	0,53	0,71	0,65	0,39	0,50	-
Acurácia do usuário	0,35	0,20	0,35	0,34	0,28	0,17	-

Tabela 3.3 - Matriz de erros

Segundo a escala de concordância para o índice Kappa proposta por LANDIS & KOCH, (1977) (Tabela 3.4), o índice global da classificação ficou em um nível bom. A Classe Gramínea obteve a menor nota, apresentando confusão com a classe Solo Exposto. O limiar entre estas duas classes é bem tênue, com variações provenientes principalmente dos interpretes, além de se caracterizarem por tipos de usos com grande dinamismo ao longo do tempo e até em diferentes épocas do ano

Escala de concordância para o índice Kappa
LANDIS & KOCH
Péssimo $\leq 0,00$
$0,00 \leq$ Ruim $\leq 0,19$
$0,20 \leq$ Razoável $\leq 0,39$
$0,40 \leq$ Bom $\leq 0,59$
$0,60 \leq$ Muito Bom $\leq 0,79$
$0,80 \leq$ Excelente $\leq 1,00$

Tabela 3.4 - Intervalos linguísticos da escala de concordância do índice Kappa

A acurácia global obteve um valor acima do índice *Kappa*, possivelmente pelo fato deste último considerar que ambos documentos tem o mesmo grau de exatidão, desta forma, aplicando certa rigurosidade maior.

O índice de acurácia do usuário indicou a probabilidade de cada classe ter sido inserida corretamente em seu conjunto de referência. A acurácia do produtor superou todos os valores indicados no índice anterior, representando o valor real das classes corretas.

3.2.2. CRITÉRIOS EXTRAÍDOS EM AMBIENTE SIG

Os níveis de informação processados em ambiente SIG tiveram como fonte de informação a base cartográfica, que foi disponibilizada no formato vetorial SHAPE. Como informação de saída, todos os critérios (declividade, proximidade de rios, proximidade de vias e proximidade de centros locais) foram representados no formato matricial.

Para o critério declividade foi gerado um Modelo Digital de Terreno (MDT), pelo processo de triangulação de rede irregular, utilizando as curvas de nível da base cartográfica de 20 m de equidistância. A Figura 3.8 ilustra o mapa de declividade.

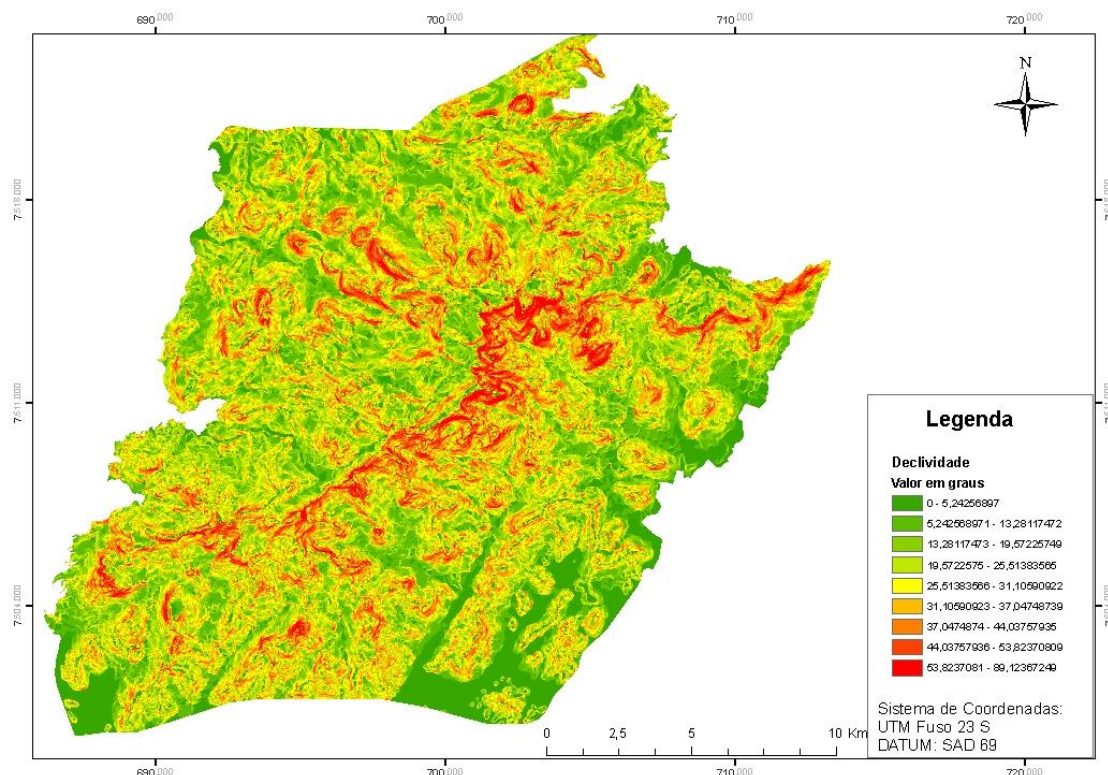


Figura 3.8 - Declividade da área de estudo (critério declividade)

Para os critérios que envolvem distâncias, determinou-se o custo/distância de se chegar aos centros locais, rios e vias a partir de diversos pontos do terreno, ou seja, acreditou-se que a utilização de um algoritmo de custo seria mais adequada para a representação da realidade se comparado com funções de distância euclidiana.

A função de custo é similar à distância euclidiana, porém, em vez de se calcular um ponto a outro de forma linear, a função de custo determina o caminho mais próximo ponderado (ou o custo acumulado de viagem) para a mais próxima célula de origem. A distância ponderada é representada em unidades de custo, diferentemente da euclidiana, que é representada em unidades geográficas.

A função custo/distância pode ser chamada de distância ponderada, a qual requer uma camada matricial de entrada que servirá para ponderar a distância, ou seja, uma superfície que represente resistência de se chegar a um determinado local. Como exemplo, na identificação dos critérios relacionados à proximidade, desenvolvidos no trabalho, foi utilizada a camada de declividade como resistência, a fim de ponderar a distância euclidiana de um ponto a outro. A camada matricial de saída criada pela função determina para cada célula uma assinatura de custo acumulativo na célula de origem mais próxima. Os dados processados utilizando esta função foram: os vetores de hidrografia e malha viária da base cartográfica, assim como os pontos identificados como localidades.

O algoritmo utiliza a teoria de Graphos, a qual é empregada para a solução de diversos problemas científicos. Um grafo significa dois conjuntos: um de vértices e outro de arcos. Cada arco é associado a dois vértices, em que o primeiro é a ponta inicial do arco e o segundo a final. Um grafo é dito valorado quando existe uma ou mais funções relacionando vértices e/ou arcos com um conjunto (MACCOY e JOHSTON, 2001). No caso do algoritmo de custo/distância, o relacionamento entre os vértices e os arcos contém impedâncias associadas. A impedância é associada com a célula a todos os finais das ligações (camada de custo) e à direção do movimento. Cada célula de saída representa o custo por unidade de distância, assim todas as células são multiplicadas pela resolução espacial, compensando o movimento diagonal para obter o total de custo ao passar pela célula. A descrição completa do algoritmo, assim como sua fórmula, pode ser encontrada em MacCoy e Johnston (2001).

Os valores de ND gerados pela função de custo/distância foram fatiados em cinco classes para cada um dos critérios que envolvem distâncias, utilizando-se do método Quantil que elimina os valores extremos e divide para cada classe a mesma quantidade de *pixels*. As Figuras 3.9, 3.10 e 3.11 apresentam os critérios de custo/distância.

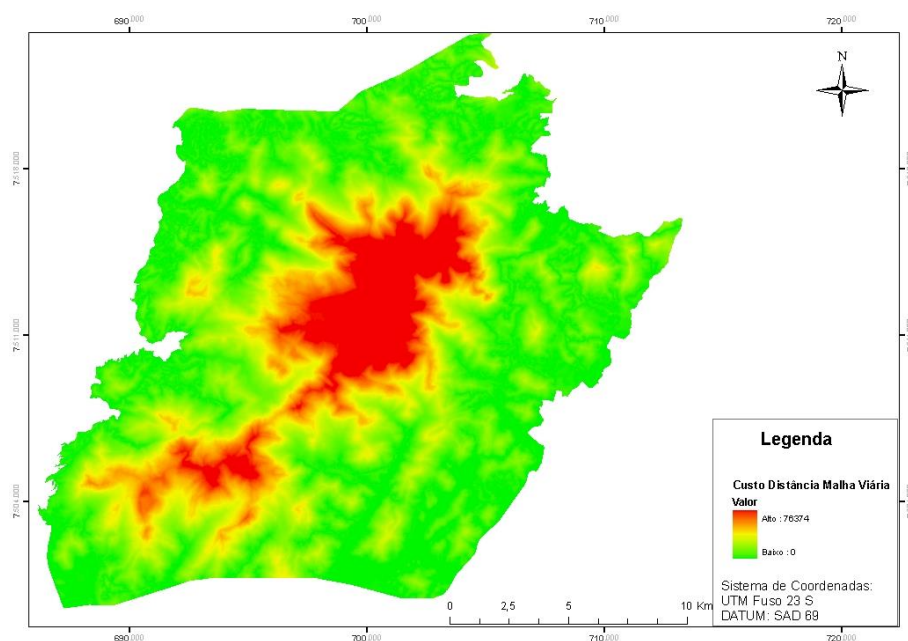


Figura 3.9 - Custo/distância para malha viária (critério prox. vias)

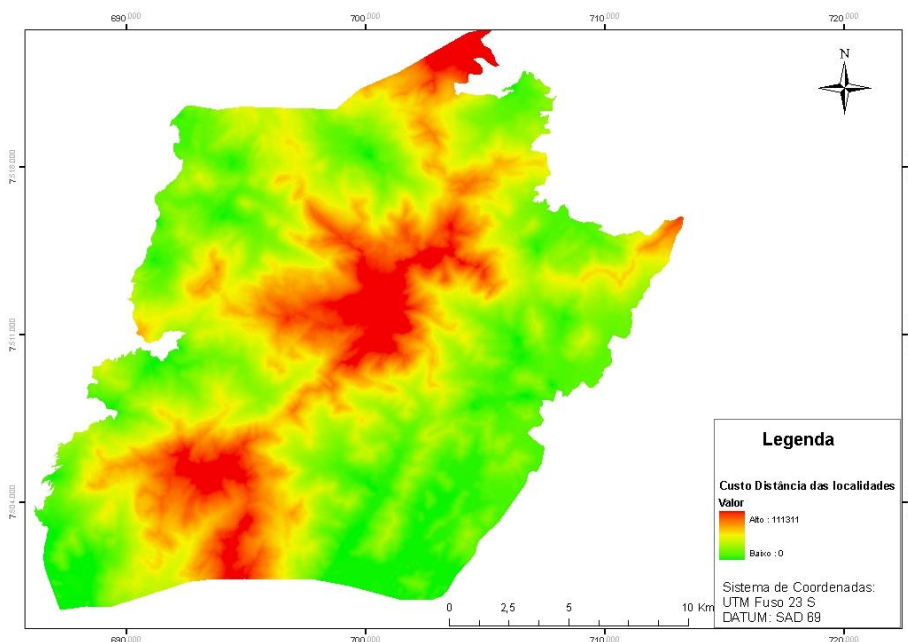


Figura 3.10 - Custo/distância para localidades (critério prox. local)

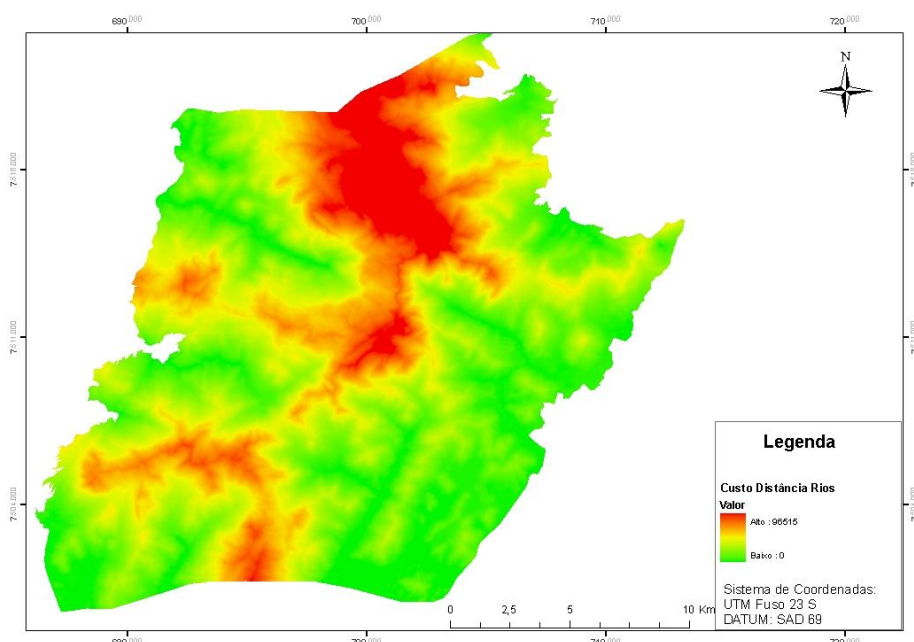


Figura 3.11 - Custo/distância da hidrografia (critério prox. rios)

3.3. NORMALIZAÇÃO DAS ESCALAS DE VALORES DOS CRITÉRIOS EXTRAÍDOS

Os critérios apresentam temas particulares e, por esse motivo, foram atribuídas escalas de valores diferentes. Para a análise final se torna necessário que todos os níveis de informação estejam com ND padronizados. Este processo de padronização requer alguns cuidados. SAATY (1990) promove uma discussão sobre os problemas ocasionados pela utilização de valores arbitrários, produzindo decisões diferentes de um mesmo problema. Ele aponta a preocupação com respeito à utilização do método AHP, de forma a, simplesmente, satisfazer o grupo inserido no processo decisório travestido de métodos matemáticos. O autor propõe que, para a teoria de suporte à decisão ser confiável, é necessário que ela seja a única na representação do julgamento.

A metodologia AHP Ratings propõe a normalização de valores, utilizando a escala verbal de importância do método AHP, possibilitando, dessa forma, a padronização. O processo se baseia na matriz de comparações paritárias entre as intensidades de cada critério. Tal procedimento é utilizado quando há um grande número de alternativas, como é o caso deste trabalho, a fim de possibilitar a comparação paritária de intensidades e não aquela das alternativas, como no AHP clássico. Com a realização da comparação paritária das intensidades, é gerada a escala de valores padronizada referente a todos os critérios, possibilitando, dessa

forma, a análise final com valores normalizados, sem que haja o problema apontado por SAATY (1990) ocasionado pelas escalas arbitrárias. Esse processo se assemelha bastante àquele de cálculo de pesos entre critérios e alternativas, mudando somente a equação para os valores finais, como explicado na seção 2.3.3.

Para o critério uso do solo, as intensidades são os cinco diferentes tipos de uso. Cada um teve sua importância gerada pela matriz de comparação paritária através do julgamento dos especialistas. A Tabela 3.5 apresenta a matriz, comparando cada tipo de uso.

	Solo Exposto	Mata	Mata Densa	Afloramento	Gramíneas
Solo Exposto	1	5	9	9	1
Mata	1/5	1	3	3	1/5
Mata Densa	1/9	1/3	1	1/2	1/9
Afloramento	1/9	1/3	2	1	1/9
Gramíneas	1	5	9	9	1

Tabela 3.5 - Matriz de normalização de critérios do uso do solo

Para o critério declividade, os valores relacionados à inclinação das encostas, medidos em graus, foram divididos em quatro diferentes intensidades comparadas par a par. A Tabela 3.6 ilustra a matriz de comparação paritária com as quatro intensidades.

	Muito inclinado	Inclinado	Pouco Inclinado	Plano
Muito Inclinado	1	1/3	1/5	1/7
Inclinado	3	1	1/3	1/5
Pouco Inclinado	5	3	1	1/3
Plano	7	5	3	1

Tabela 3.6 - Matriz de normalização de critérios da declividade

Onde,

Plano: 0°-10°;

Pouco inclinado: 11°-25°;

Inclinado: 26°-45°;

Muito Inclinado: 46°-90°

Os critérios distância das vias, distância de rios e distância de localidades obtiveram a mesma unidade de medida, que se caracteriza pela unidade custo. Os

ND foram divididos em cinco intensidades. Para tanto, utilizou-se o método estatístico para fatiamento Quantil. As Tabelas 3.7, 3.8 e 3.9 apresentam as matrizes de comparação entre as intensidades dos três critérios referentes às distâncias.

	A	B	C	D	E
A	1	1/3	1/5	1/7	1/9
B	3	1	1/3	1/5	1/7
C	5	3	1	1/3	1/5
D	7	5	3	1	1/3
E	9	7	5	3	1

Tabela 3.7 - Matriz de normalização de critérios de distância de vias

	A	B	C	D	E
A	1	1/3	1/5	1/7	1/9
B	3	1	1/3	1/5	1/7
C	5	3	1	1/3	1/5
D	7	5	3	1	1/3
E	9	7	5	3	1

Tabela 3.8 - Matriz de normalização de critérios de distância de rios

	A	B	C	D	E
A	1	1/3	1/5	1/7	1/9
B	3	1	1/3	1/5	1/7
C	5	3	1	1/3	1/5
D	7	5	3	1	1/3
E	9	7	5	3	1

Tabela 3.9 - Matriz de normalização de critérios de distância de localidades

Após a comparação paritária, é aplicada a equação apresentada na seção 2.3.3, que possibilita, assim como a função de vetor de pesos, gerar os valores de importância relativa. No caso do processo do AHP Ratings, as importâncias são geradas para cada intensidade. Os novos valores normalizados foram utilizados para reclassificar os critérios, originando os aqui chamados mapas de intensidade. Como exemplo desse processo, o critério declividade com os valores normalizados será chamado de mapa de intensidade de declividade.

Os valores normalizados para os critérios referentes à distância são apresentados na Tabela 3.10. Já as Figuras 3.12, 3.13 e 3.14 apresentam os mapas de intensidade de custo/distância de vias, custo/distância de rios e custo/distância de localidades, respectivamente.

Intensidades	Valores Normalizados
A	0,07
B	0,19
C	0,38
D	0,65
E	1

Tabela 3.10 - Distância de vias, de rios e de localidades

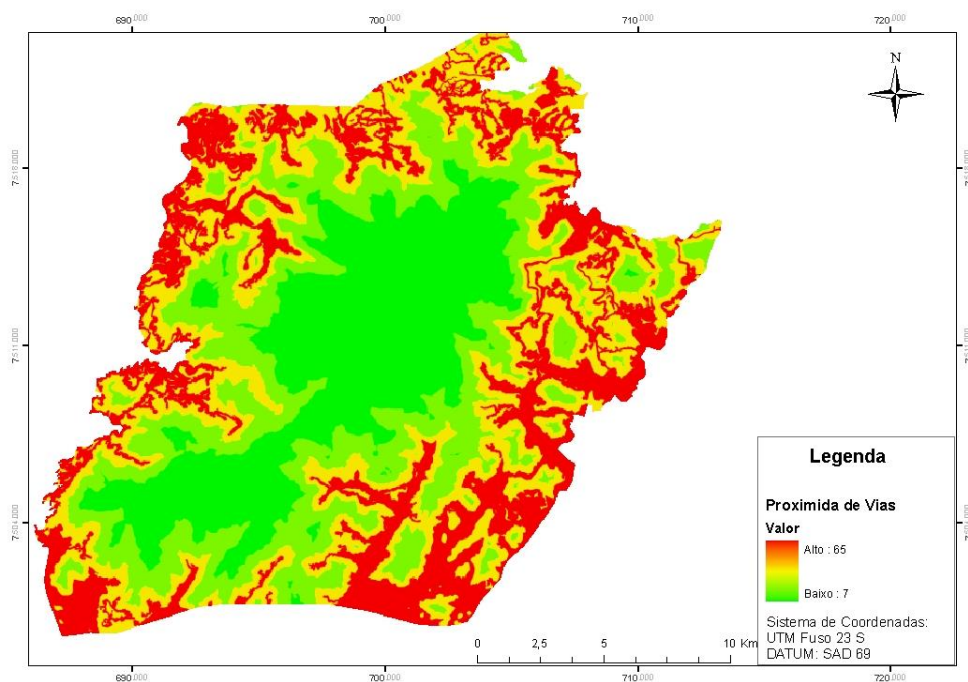


Figura 3.12 - Mapa de intensidade do critério proximidade de vias

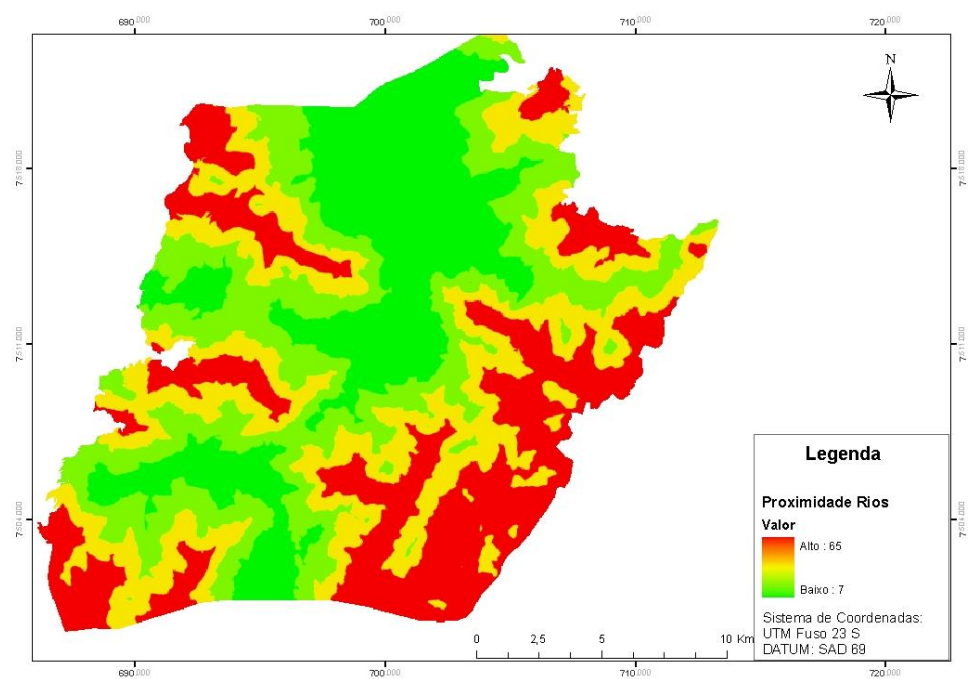


Figura 3.13 - Mapa de intensidade do critério proximidade de rios

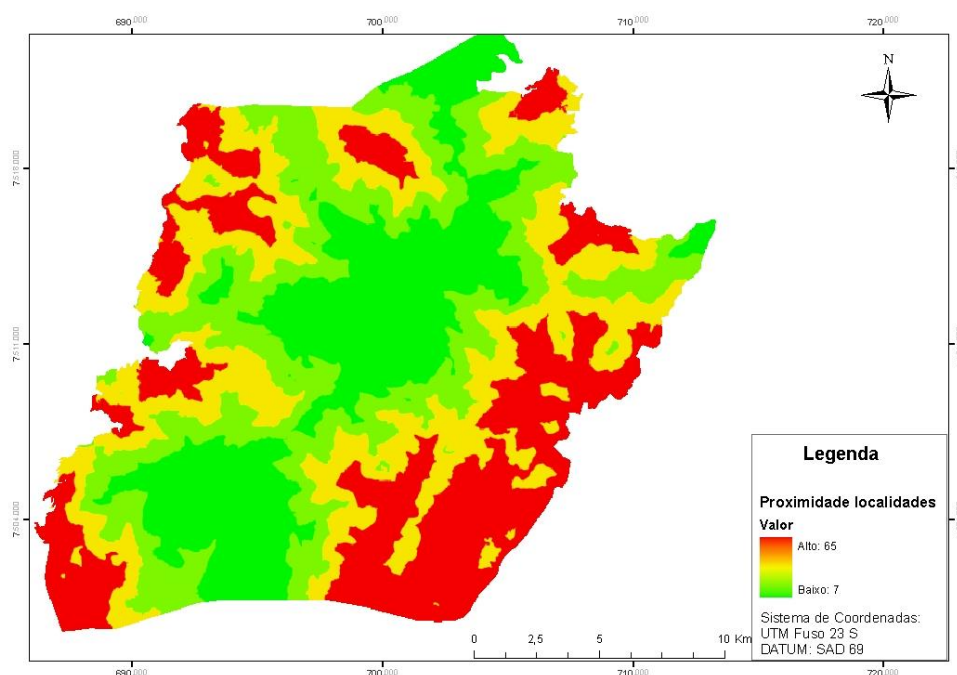


Figura 3.14 - Mapa de intensidade do critério proximidade de centros locais

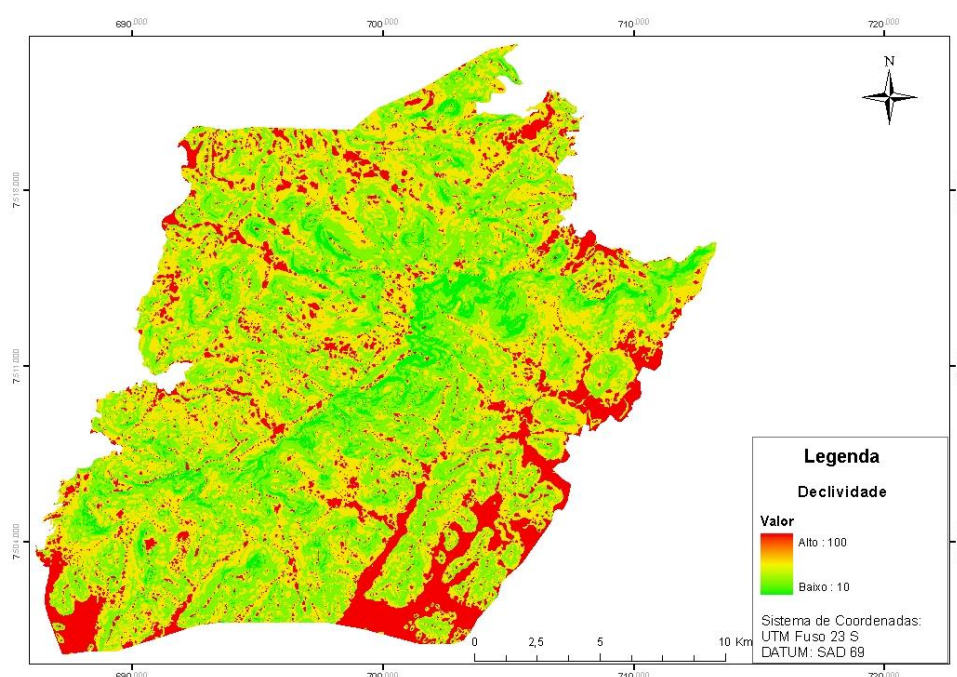


Figura 3.15 - Mapa de intensidade do critério declividade

Para o critério uso e ocupação do solo são apresentados, na Tabela 3.11 os valores provenientes da técnica de AHP Ratings para cada uso particular. Já o mapa de intensidade para uso do solo é apresentado na Figura 3.16.

Usos	Valores Normalizados
Solo Exposto	1
Mata	0,3
Mata Densa	0,08
Afloramento	0,14
Gramíneas	1

Tabela 3.11 - Normalização uso do solo

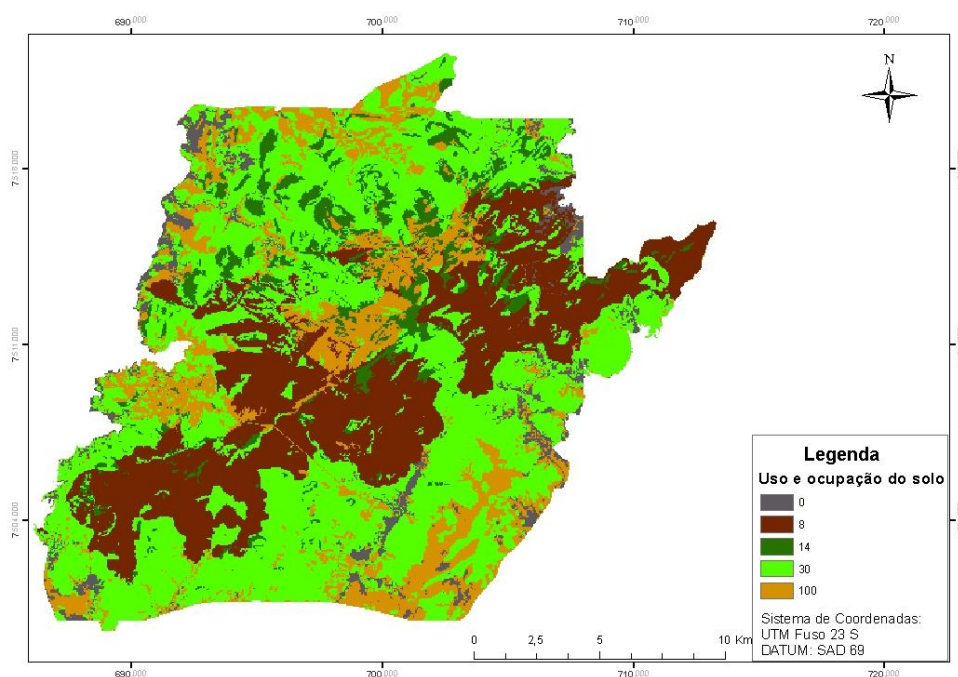


Figura 3.16 - Mapa de intensidade do critério uso e ocupação do solo

Todos os critérios foram normalizados pelo processo do AHP Ratings, possibilitando dessa forma uma padronização na escala de valores entre ambos. Este processo se tornou necessário para que houvesse a possibilidade de cruzamento final entre todos os mapas de intensidade, resultando assim as alternativas finais. Todos os valores de ND dos mapas de intensidade apresentam a escala de valores que varia de 0 a 100, sendo 0 a mínima possibilidade de a ocupação ocorrer naquele critério e 100 a máxima possibilidade de o fenômeno ocorrer.

3.4. COMBINAÇÃO LINEAR PONDERADA E RESULTADO

O cruzamento entre os cinco mapas de intensidade se caracteriza pelo processo final da modelagem de combinação linear ponderada, utilizando o método AHP em ambiente SIG. Os NDs de cada *pixel* são multiplicados pelos seus respectivos

pesos calculados para os critérios na seção 3.1, de forma que, a partir daí, sejam combinados pelo processo de adição, como é expresso pela Equação 3.2:

$$A = \sum x_i.w_i$$

Equação 3.2

onde:

A = alternativa final;

X = valor normalizado do critério i;

W = peso do critério i.

O processo de combinação linear ponderada foi realizado para os mapas de intensidades gerados pelos critérios ponderados. Dessa forma, cada *pixel* do dado matricial contém um ND que se refere ao grau de potencialidade daquela área ser ocupada segundo o modelo. Para a análise AHP, esses valores são as notas das alternativas finais do processo decisório. Este processo foi realizado mediante o uso da extensão Spatial Analyst do programa ArcGIS, que permitiu a entrada de um mapa binário representado como máscara, possibilitando a álgebra de mapas somente nas áreas necessárias. Como mencionado anteriormente, foi utilizado como máscara um mapa com as áreas já ocupadas, não se atribuindo, dessa forma, notas para tais áreas.

O mapa final contendo as áreas de potencialidade de ocupação (3.17) apresentam uma escala de variação de ND entre 9 e 98, onde 98 indica a maior nota potencial para haver a ocupação e 9 a menor. Cabe neste momento identificar se as alternativas ou áreas com alto grau de potencialidade em 2002 e que estão hoje de fato ocupadas.

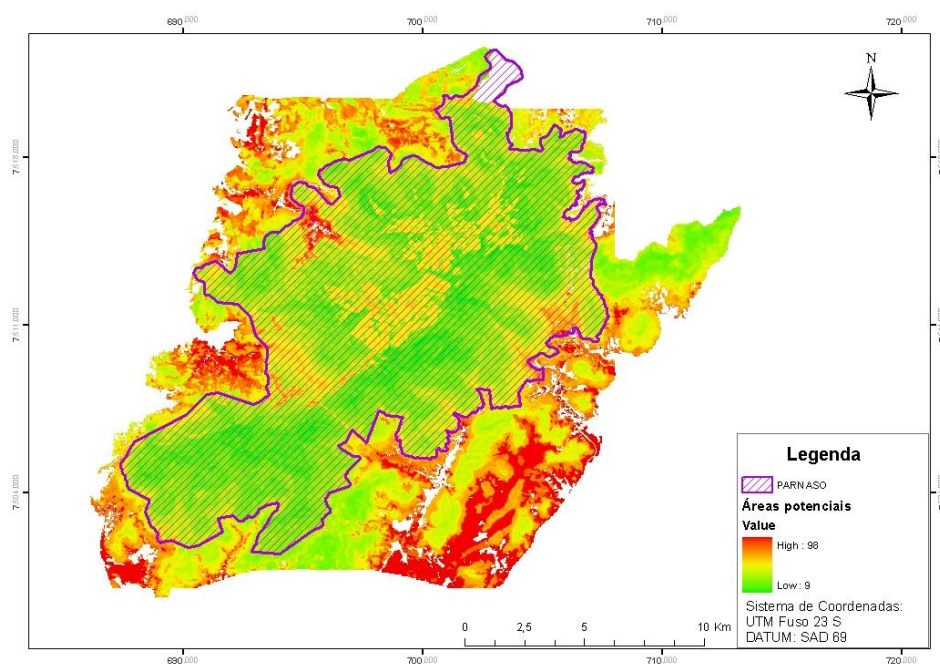


Figura 3.17 - Mapa de áreas potenciais à ocupação (alternativas finais)

CAPÍTULO IV

VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA

Os modelos AMCD, geralmente, não são passíveis de validação, visto que as melhores alternativas e critérios indicados por estes não são únicos, podendo haver diversas soluções para um mesmo problema decisório, pois o resultado irá sempre depender das prioridades de cada decisor. No presente trabalho, foram utilizadas técnicas de AMCD de forma a propor a solução de um problema em que o decisor não foi consultado. No seu lugar, foram ouvidas outras pessoas que, supostamente, conhecem o comportamento do decisor, necessitando desta forma, a verificação do modelo proposto. A verificação se torna necessária, também pelo motivo de avaliar a aplicabilidade da metodologia para o problema em questão.

Para a modelagem desenvolvida neste trabalho, foram utilizados dados de levantamentos realizados em 2002 (imagem SPOT) e 1999 (base cartográfica), expressando dessa forma as alternativas finais em um cenário de 2002 com áreas propensas à ocupação naquela data. Por esse motivo houve a possibilidade de validar a metodologia proposta, através da comparação do modelo com a realidade sete anos depois. Em princípio, imaginou-se ideal utilizar uma cena SPOT-5 de data recente, a fim de comparar se as áreas propensas em 2002 se encontrariam ocupadas em 2009, possibilitando dessa forma a quantificação de concordância dos resultados com a realidade. Tal procedimento não foi possível por limitações de tempo e, especialmente, de recursos.

Como alternativa, realizou-se um levantamento de campo no mês de junho de 2009, possibilitando verificar a existência ou não de assentamentos nas áreas indicadas pelo modelo. Do mapa final apresentado na Fig. 3.17 representando as alternativas para ocupação foram extraídas as coordenadas centrais de cada polígono (conjunto de *pixels*) com maior nota (98) e posteriormente carregadas em um GPS de navegação, a fim de visitar as áreas indicadas. Tal procedimento possibilitou realizar uma verificação visual da concordância entre o modelo de 2002 e a realidade de 2009 sem, entretanto, permitir quantificar os resultados de tal concordância. Na planificação do trabalho de campo, para facilitar o levantamento

foi feita uma divisão da área de estudo em sete setores a serem visitados (Figura 4.1).

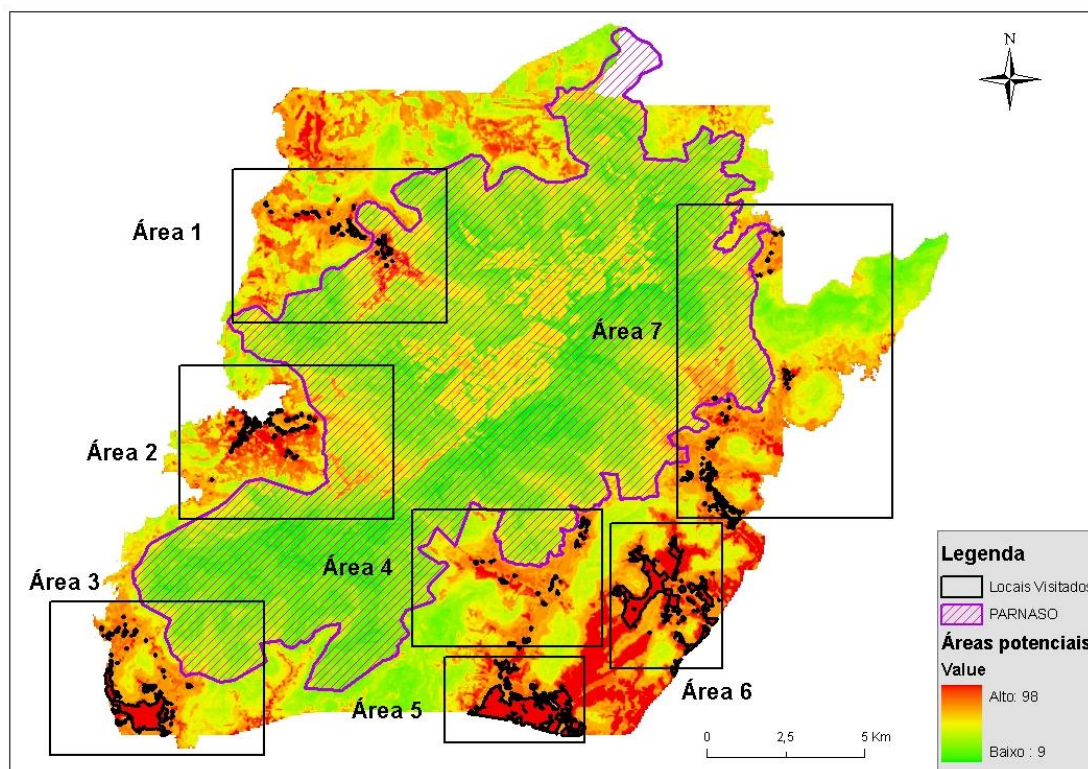


Figura 4.1 - Setores visitados na verificação de campo

A seguir serão apresentadas as informações das sete áreas levantadas em campo.

- **Área 1**

Se encontra no município de Petrópolis em uma região chamada Alcobaça. Esta área se apresenta há bastante tempo como uma ocupação para veranistas, com sítios e moradias muito bem estruturadas.

Nesta área puderam ser identificados imóveis com alto padrão para sitiantes e veranistas. Tais imóveis foram identificados na imagem de 2002 classificada. Os locais indicados pelo modelo como potenciais para a ocupação apresentaram as novas edificações, com padrões de construção destinados às populações de mais baixa renda.

O crescimento dessas novas edificações foram seguindo todas as manchas de maior propensão indicadas pelo modelo até chegar à subseleção Alcobaça do PARNASO, presente nesta região. É possível identificar no mapa final (FIG. 3.17) que

esta área foi a única que apresentou locais com notas de valor 98 já dentro do limite do parque. Talvez o conhecimento empírico dos gestores tenha levado à construção desta subsede, vista como uma possível solução para a ocupação não ultrapassar os limites do parque.

- **Área 2**

O segundo setor visitado se caracteriza basicamente por uma região de cultivo de hortaliças, desde a década de 50, também localizada no município de Petrópolis, chamada Cabuçu. Foi possível identificar locais originalmente de agricultura que apresentam construções adensadas.

Foram encontradas casas, mesmo sem adensamento, porém com padrões de construção diferentes das casas de agricultores.

Chamou a atenção, um local identificado no modelo com grande potencial de ocupação e não ocupado, porém já apresentando cercas para a construção de um condomínio chamado Santa Isabel, mostrando assim o possível início de uma transformação de usos do espaço geográfico nesta região. Algumas áreas apontadas pelo modelo, com potencial de estarem ocupadas, continuam como produtoras agrícolas, não apresentando a princípio um movimento de significativa especulação imobiliária e pressão sobre o PARNASO.

- **Área 3**

Esta área visitada está inserida, em sua maior porção, na parte de baixada, no município de Magé. O restante se situa na parte da subida da Serra da Estrela, no município de Petrópolis. A estrada da Serra da Estrela, mais conhecida como Estrada Real, foi a primeira que ligou Petrópolis à baixada e seu traçado existe desde 1724. D. Pedro II passava por ela a caminho da cidade imperial. Também a primeira ferrovia brasileira cruzou por este circuito

Na área 3 foi visitado o distrito de Piabetá, em Magé, que apresenta extensa porção no mapa com nota máxima (98). Foi possível identificar neste local um padrão aglomerado de ocupações e o desenvolvimento de novas construções em direção ao Parque. Algumas áreas obtiveram certa dificuldade de acesso, devido à preocupação dos moradores em relação à fiscalização. Foi possível observar

construções já bem adensadas e imóveis em construção, confeccionando dessa forma um vetor de crescimento em direção ao PARNASO.

Em geral, os locais visitados na área 3 apresentaram ocupação onde se esperava, porém, um local em particular não mostrou concordância com o modelo. A área obteve nota máxima para potencial de ocupação segundo o modelo e, assim que foi visitada, apresentou-se sem edificações para moradia ou veraneio. Antagonicamente, a vegetação mantinha-se preservada. Como explicitado na contextualização do trabalho, no sopé da Serra do Mar se instalaram diversas fábricas têxteis durante os séculos XIX e XX. Próximo à área visitada se encontra uma destas antigas construções, que hoje não é mais têxtil, mas produz refrigerantes.

Segundo funcionários do próprio estabelecimento e da prefeitura, a fábrica de refrigerantes Paquera utiliza uma área da União para fins de abastecimento de água, que já era utilizada pela indústria têxtil.

A subida da Serra da Estrela já tem uma ocupação bem antiga em todo seu traçado e, por este motivo, não foi identificada no mapa final nenhuma área com potencialidade. Somente áreas não ocupadas em 2002 no alto da serra foram apontadas pelo modelo e, assim que foram visitadas, identificaram-se a ocupação e a construção de novas casas.

- **Áreas 4 e 5**

As áreas 4 e 5, assim como a área 2, localizam-se no sopé da serra no município de Magé, fazendo parte do distrito industrial de Santo Aleixo. As características de ocupação destas três áreas são bem próximas. O início da ocupação urbana nesta região foi promovido pelas indústrias têxteis que, no caso de Santo Aleixo, foram responsáveis pela construção de vilas operárias nas décadas de 40 e 50.

No início da década de 80, o distrito de Santo Aleixo começou a perder sua característica de centro urbano dedicado às fábricas (Othon e Andorinhas), pois nessa época se iniciou um sucateamento do processo produtivo e demissões em massa. Atualmente, no espaço urbano de Santo Aleixo se desenvolve um crescimento do número de moradias de uma população que atende à mão-de-obra, principalmente de Magé. Como esta região se constitui em um vale cercado pelo PARNASO, seu crescimento inevitavelmente vai de encontro à UC. Tal distrito

também apresenta um crescimento devido à grande procura de veranistas e turistas pelos atrativos naturais presentes na serra.

O crescimento de assentamentos urbanos nestas áreas identificadas pelo modelo foi comprovado em campo, com imóveis típicos para moradia.

- **Área 6**

Os locais da área 6 indicados pelo modelo começam em um acesso da BR-116 a uma rua que vai até um vale chamado Sertão. Ao longo dessa rua pôde-se identificar ocupação, iniciando um aglomerado urbano. Já no vale do Sertão, onde o modelo indicou a maior área propensa à ocupação em relação a todo o resultado final, verificou-se a não existência de novas edificações. Esta região apresentou grandes propriedades como sítios e fazendas aparentemente não produtivas, porém bem delimitadas com cercas e porteiras.

- **Área 7**

A última área visitada no campo apresentava acessos ao longo da subida da serra até Teresópolis, na BR-116. Esta parte da estrada corta o PARNASO, sendo seu traçado inserido nos limites do próprio parque. Áreas ao longo desse trecho da estrada são procuradas por veranistas de médio e alto padrão há bastante tempo. Alguns locais indicados pelo modelo se encontram dentro de condomínios fechados, o que impediu a verificação devido ao controle do acesso.

Como dito anteriormente, esta área é ocupada em sua maior parte por casas com alto padrão, bem espaçadas uma das outras, com áreas livres em suas proximidades. Estes locais foram apontados pelo modelo, porém alguns continuam livres de ocupação e outros foram identificados com algumas construções diferentes do padrão anteriormente citado.

CAPÍTULO V

CONCLUSÃO

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse capítulo são apresentadas, primeiramente, a conclusão e as considerações finais relacionadas às etapas de Sensoriamento Remoto e AHP com análise espacial e, posteriormente, as sugestões para trabalhos futuros.

5.2. SENSORIAMENTO REMOTO

A imagem SPOT-5 demonstrou grande afinidade com o trabalho, pois seu potencial para estudos de vegetação e de aglomerados urbanos promovidos por sua resolução espectral possibilitou a identificação dos alvos necessários para o desenvolvimento da metodologia. Em uma primeira análise, a cena SPOT pode ter apresentado uma limitação no que se refere à resolução espacial para o estudo. É fato que a proposta do trabalho foi identificar pequenos aglomerados urbanos e áreas com potencial de tal acontecer. Com resolução espacial de cinco metros, algumas pequenas edificações isoladas podem não ter sido identificadas na imagem, tornando difícil, desta forma, mensurar em campo quais áreas encontradas e não identificadas na imagem com edificações pudessem já existir em 2002. É bem possível que estas tenham sido classificadas como solo exposto ou gramíneas, visto a ausência de vegetação densa nestes locais. Desse modo, a resolução espectral da imagem SPOT cobriu a ausência de uma altíssima resolução espacial.

Para a classificação da cena SPOT, optou-se pela utilização do classificador *Fuzzy* vizinho mais próximo, pelo fato de possibilitar uma classificação rápida, pois os parâmetros dos descritores de classe puderam ser definidos automaticamente durante a coleta das amostras. A avaliação da acurácia da classificação a partir dos índices, apresentou diferentes resultados para cada classe. A imagem classificada ficou em um nível considerado bom conforme a escala apresentada por LANDIS & KOCH (1977) para o índice *Kappa*. As classes “mata” e “gramíneas” obtiveram a menor concordância, com valores razoáveis. Isto pode ter ocorrido pelo fato de estar se comparando duas classificações em épocas diferentes, entre 1999 (documento de

referência) e 2002 (SPOT classificada). É possível que tenham ocorrido mudanças, principalmente nesses tipos de uso, pois uma gramínea, por exemplo, pode ter se transformado, através de queimadas, em solo exposto, ou até ter passado por um estágio de evolução e ter se transformado em mata. A classe mata pode também ter passado por um desmatamento, dando origem a uma gramínea ou ter evoluído seu nível para mata densa. Este tipo de classificação agregou valor para o desenvolvimento da metodologia, possibilitando a utilização de ampla gama de informações originais contidas na imagem, como a resolução espacial e todas as bandas multiespectrais originais.

5.3. ANÁLISE ESPACIAL E AHP

A validação da metodologia mostrou que os resultados da modelagem AMCD, coincidiram bastante com a realidade, possibilitando identificar tendências de crescimento urbano que, aliada ao SIG, pretendeu identificar as áreas propensa à ocupação. Em geral, a AMCD não está relacionada à previsão de cenários futuros, porém o presente trabalho demonstrou que a junção destes métodos, a partir da possibilidade de trabalhar com as informações subjetivas que levam determinado grupo social a escolher um local para se instalar, apresenta grande potencial para identificar locais possíveis para o desenvolvimento de assentamentos urbanos.

Diferente dos métodos de simulação convencionais em geotecnologias, o AMCD não possibilitou estimar datas para cenários futuros, principalmente por não trabalhar com a variável tempo. Por este motivo, torna-se difícil afirmar que as áreas indicadas pelo modelo como propensas à ocupação em um cenário em 2002 e que não se encontram edificadas em 2009, não tenham concordância com a realidade. Hoje tais áreas podem não estar ocupadas, porém contém o conjunto de fatores de atratividades identificados pelo modelo, com possibilidade de o processo ocorrer em um momento futuro.

Corroborando essa hipótese, pode-se observar que uma das maiores áreas no mapa final indicada como propensa (localizada na área 6 da FIG. 4.1) não se encontrou ocupada, o que poderia ser explicado pelo fato de existirem grandes propriedades cercadas atualmente. No entanto, este fato não inviabiliza a utilização do modelo, pois este processo pode ocorrer em tempos futuros. Algumas destas propriedades, aparentemente, não se encontraram produtivas, podendo estar à

espera de especulação imobiliária. Assim, torna-se possível realizar um planejamento prévio para estas áreas, dificultando ou inviabilizando, por exemplo, o parcelamento ou loteamento destas. Este tipo de constatação pôde ser realizado através do levantamento de campo que, mesmo com as limitações já mencionadas no capítulo 4, demonstrou-se útil pela possibilidade não somente da identificação da concordância do modelo com a realidade, mas também para o entendimento das particularidades de ocupação no entorno do parque. A maior parte das áreas identificadas, de fato, apresentou construções. Já o restante destas áreas, no qual não se encontraram construções, referia-se a situações específicas para cada localidade.

Mesmo apresentando extrema importância, o levantamento de campo possibilitou uma análise parcial do modelo, pois só foram visitados os locais que obtiveram nota máxima. A princípio, imaginou-se verificar também as áreas com menor nota, a fim de avaliar a metodologia, cobrindo os locais com maior e menor potencial. Tal procedimento não pode ser realizado, pois as áreas com menor nota se apresentam com difícil acesso, inviabilizando a visita. Por este motivo, torna-se importante a realização desta verificação através de imagens de satélite ou fotografias aéreas recentes, possibilitando desta forma a avaliação da área por completo, além de permitir a quantificação e a geração de índices de concordância.

Perante estas constatações, o melhor cenário para avaliação dos resultados do modelo seria a utilização de imagens de satélite recentes a fim de quantificar as áreas indicadas e realmente ocupadas. Posteriormente, efetuar-se-ia o levantamento, de modo a se identificar se as áreas não condizentes com o modelo apresentariam condicionamentos particulares, possibilitando dessa forma uma visão mais fidedigna da realidade.

5.4. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Uma proposta para trabalhos futuros é a modelagem do mesmo problema, porém em um setor específico, possibilitando o tratamento de variáveis particulares. Neste caso, a utilização de imagens de altíssima resolução, possivelmente, seria mais adequada, permitindo a identificação de cada nova edificação.

Outra proposta seria a utilização dos métodos aqui desenvolvidos juntamente com procedimentos de previsão que possibilitassem trabalhar com temporalidades conhecidas, a fim de testar um modelo próprio para a previsão de ocupações urbanas.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M. A. S. e VAN Sluys, M. 2000. A fauna ameaçada de extinção do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Ed. UERJ/FAPERJ.
- ANTUNES, A. F. B.; LINGNAUL, C. 2005. Determinação da acurácia temática de dados oriundos da classificação digital de objetos por meio de lógica Fuzzy. In: ANAIS - XII SIMPÓSIO DE BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Goiânia, p. 3451 - 3459.
- BAATZ, M.; SCHÄPE, A. 1999. Multiresolution Segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. Disponível: <http://www.definiens.com> [capturado em 18 jan., 2008].
- BANA E COSTA, C. A.; STEWART, T. J.; VANSNICK J. C. 1997. Multicriteria decision analysis: Some thoughts based on the tutorial and discussion sessions of the ESIGMA meetings. European Journal of Operational Research, no. 99, p. 28-37.
- BONHAM-CARTER, G.F. 1994. Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS. Ottawa, Pergamon, p. 398.
- BRASIL. Lei Federal nº 9.985, 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível: <http://www.planalto.gov.br/ccivil/leis/L9985.htm> [capturado em 17 fev 2008].
- BRITES, R. S.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. A. 1996. Efeitos da Estratégia de Amostragem na Exatidão Reportada pelo Índice Kappa na Classificação de Imagens Orbitais. Anais - VIII Simpósio de Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Salvador, p. 823 - 829.
- CCPD, Centro Comunitário Peixinho Dourado. 2001. Projeto Rio Paquequer. Diagnóstico Ambiental e Elaboração de Proposta de Gestão Ambiental da Bacia do Rio Paquequer. [online] Disponível: http://www.ibama.gov.br/parnaso/download.php?id_download=107 [capturado em 15 jun., 2007].
- CHAUÍ, M. 2004. Convite à Filosofia. 13ª. ed. São Paulo: Editora Ática.
- CHEN, Cynthia et al. Multidimensional comparison of countries' adaptation to societal aging. Proceedings of the National Academy of Sciences, [S. l.], v. 115, n. 37, p. 9169-9174, 2018. DOI: 10.1073/pnas.1806260115. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1806260115>.
- CONGALTON, R.; GREEN, K. 1999. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. Lewis Publishers, USA.

- CORRÊA, R. L. O Espaço Urbano. 1995 3ª. ed. São Paulo, Ática, 94 p.
- COSTA, T.C. e C. da.; ACCIOLY, L.J.de O.; OLIVEIRA, M.A.J. de.; BURGOS, N.; SILVA, F.H.B.B. 2002. Mapping of the Seridó caatinga by plant area index and NDVI. Scientia Agrícola.
- DEFINIENS IMAGING. 2003. Ecognition User Guide 3. DEFINIENS IMAGING. München, 413p.
- EMBRAPA. 2008. Projeto desmatamento. [online] Disponível: <http://www.desmatamento.cnpm.embrapa.br> [capturado em 18 set., 2008].
- FLORENZANO, T.G. 2002. Imagens de satélite para estudos ambientais. São Paulo: Ed. Oficina de Textos.
- FORMAN, E.H.e SALLY, M.A. 2002. Decision by objectives. How to convince others that you are right. MA, USA: World Scientific Publishing.
- FUNDAÇÃO CIDE. 2004. IQM-Verde II: Índice de Qualidade Ambiental dos municípios do Estado do Rio de Janeiro. Fundação Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro. [online] Disponível: <http://www.cide.gov.br> [capturado em 15 jul., 2008].
- GARRIDO, Alicia e ÁLVARO, José L. 2006. Psicologia Social - Perspectivas Psicológicas e Sociológicas. Tradução: Miguel Cabrera Fernandes, revisão técnica Ana Raquel Rosas Torres. São Paulo: McGraw-Hill.
- GOMES, Luiz F. A. G. 2007. Teoria da Decisão. Coleção Debates em Administração, São Paulo, Thomas Learning, p.116.
- GOMES, L.F.M.; ARAYA, M.C.G.; CARIGNANO, C. 2004. Tomada de decisões em cenários complexos. Editora Thompson, São Paulo.
- HEIKKILA, Eric J. 1998 GIS is dead; long live GIS! Journal of the American Planning Association, vol. 64, no. 3, p. 350-360.
- HOFMANN, Peter. 2001. Detecting Buildings and roads from IKONOS data using additional elevation information. [online]. Disponível: <http://www.definiensimaging.com/documents/> [capturado em 02 jun., 2007].
- INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2007. Disponível: <http://www.inpe.br> [capturado em 12 set., 2007].
- _____. 2008. Projeto MARSP – Monitoramento ambiental Rio – São Paulo. [online] Disponível: <http://marsp.cptec.inpe.br/> [capturado em 02 maio, 2008].

- INFOGEO. 2004. Revista INFOGEO [online] Disponível: <http://www.mundogeo.com.br/revistas-internas.php>. [capturado em 28 set., 2007].
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data, *Biometrics Journal*. V. 33 p.159-74.
- LOBÃO, J. S. B.; FRANÇA-ROCHA, W. J. S.; SILVA, A. B. 2005. Aplicação dos índices KAPPA e PABAK na validação da classificação automática de imagem de satélite em Feira de Santana – BA. *Anais - XII Simpósio de Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Goiânia, p. 1207 - 1214.
- MALCZEWSKI, J. On the use of weighted linear combination method in GIS. 2000. *Transactions in GIS*, vol. 4, no.1, p. 5-22.
- _____. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. 2006. *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 20, no.7, August, p. 703-726-22.
- MCCOY, J.; JOHNSTON, K. 2001. *Using ArcGIS Spatial Analyst*. CA, U.S.A. ESRI, 231p.
- MEDINA, G. L. P. 2007. Identificação de Áreas de Risco de Transmissão de Leishmaniose Tegumentar através de satélite e análise espacial. Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia (IME), 108 p.
- MEINEL, G.; NEUBERT, M. 2002. A comparison of segmentation programs for high resolution remote sensing data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IASRS)*.
- MMA Biodiversidade brasileira: avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira. 2002. Brasília: MMA/SBF, 404 p.
- NAZÁRIO, Paulo. GIS: Definições e aplicações na logística. 1998. *Revista Tecnológica*, São Paulo ano IV, no. 35, p.16-21, outubro.
- NOVO, E. M. L. de Moraes. 1992. *Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações*. 2a edição. São Paulo: Edgard Blucher.
- PASSOS, A. C. 2002. Avaliação Multicritério de Material de Emprego Militar. Dissertação de Mestrado, Faculdades IBEMEC, 73 p.
- PARNASO. Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra dos Órgãos. 2007. Disponível: http://www.icmbio.gov.br/parnaso/index.php?id_menu=135 [capturado em 20 jun., 2008].

- RABUS B, EINEDER M, ROTH A & BAMLER R. 2003. The Shuttle Radar Topography Mission - a New Class of Elevation Models Acquired by Spaceborne Radar, *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 57, p. 241-262.
- SAATY, Thomas L. 1990. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational, research* 48, p. 9-26
- SAATY, T.L. 2006. Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process, vol VI of the AHP series. 2nd edition. PA, USA: RWS Publications.
- SANTOS, R. P. 1957. Magé: a terra do Dedo de Deus. Ed. do Autor, 347 p.
- SCHIEWE, J.; TUFTE, L.; EHLERS, M. 2001. Potential and problems of multi-scale segmentation methods in remote sensing. *Geoinformation* 6, p. 34-39.
- SCHIEWE, J.; e TUFTE, L.; 2007. O potencial de procedimentos baseados em regiões para a avaliação integrada de dados de SIG e Sensoriamento Remoto. In BLASCHKE, T. e KUX, H. Sensoriamento Remoto e SIG avançados. P. 51-59. São Paulo: Oficina de Textos.
- SCHOWENGERDT, Robert A. 1997 Remote Sensing – Models and Methods for Image Processing. Second Edition. Department of Electrical and Computer Engineering University of Arizona. Tucson, Arizona. Academic Press. 522 p. ISBN 0 12 6289816.
- SPOT IMAGE. 2008. Disponível: <http://www.spotimage.com/web/93-images-spot.php> [capturado em 22 março, 2008].
- SOUZA, M. L. 2003. ABC do desenvolvimento urbano. 4ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT, Institute for Applied Geosciences, Georesources and Geohazards, Schnittspahnstraße 9, D-64287 Darmstadt, Germany [online]. Disponível: http://www.tu-darmstadt.de/fb/geo/members/marinoni/marinoni_en.htm. [capturado em 18 jul., 2008].
- VIVIANE, E. 1998. A Utilização de um Sistema de Informação Geográfica como Auxílio à Gerência de Manutenção de Estradas Rurais Não Pavimentadas. São Carlos, 292 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- WALD, L. 1999. Some terms of reference in data fusion. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*. 37(3): p. 1190-1193.
- ZOLFAGHARY, Parvin; ZAKERINIA, Mahdi; KAZEMI, Hossein. A model for the use of urban treated wastewater in agriculture using multiple criteria decision making (MCDM) and geographic information system (GIS). *Agricultural*

Water Management, [S. l.], v. 243, p. 106490, 2021. DOI:
10.1016/j.agwat.2020.106490. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106490>.

ANEXOS

QUESTINÁRIO:

Fatores que influenciam no processo de ocupação no entorno do PARNASO.

PERGUNTAS:

1. Quem ocupa qual finalidade?
2. É possível diferenciar os padrões de ocupação, propondo uma regionalização com unidades distintas de tipos de ocupação? Quais seriam?
3. Quais são os fatores que influenciam (segundo sua percepção) na ocupação dos terrenos próximos ao PARNASO.

RESPOSTAS:

**Gilberto Baião (topógrafo) e
Maria Antunes (corretora)**

1. Pessoas a procura de local para moradia e a procura de um lugar para construir seu móvel de veraneio.
2. Diferentes padrões de ocupação são encontrados em todo entorno do parque. Dois padrões seriam os principais: moradia para uma população menos privilegiada monetária e culturalmente e outro para imóveis principalmente de veraneio para uma população com alto padrão cultural e monetário. Três principais setores poderiam ser discriminados:
 - A parte baixa da serra no município de Magé;
 - Guapimirim;
 - Petrópolis e Teresópolis.

3. A procura pela região é devida a abundância de amenidades naturais para quem procura lugar de veraneio. Para quem procura moradia, existem locais fáceis para “tomar posse”, ou comprar terrenos de posseiros. Toda a região é procurada, devido à sua proximidade da região metropolitana. Os locais mais procurados geralmente se encontram perto de centros locais de serviço; Perto de áreas verdes; a declividade é importante para todos os perfis, sendo que quando mais plano, melhor. A proximidade das vias de acesso é de grande importância e o tipo de uso vai ser de importância extrema, sendo, quanto mais limpo o terreno melhor.

**Flávio Brasil (geógrafo da cooperativa ESTRUTURAR) e
João Oswaldo Cruz (geógrafo da cooperativa ESTRUTURAR).**

1. Diversos tipos de pessoas para diversos objetivos. Principais: Moradia e veraneio.
2. A seguir os diferentes setores e suas respectivas variáveis:
 - **Santo Aleixo:** imóveis maiores e médias (Amenidades) - próximo a zona urbana menores. Áreas com potencialidades turísticas (RPPNs, pousadas, longe de Grandes aglomerados urbanos. Proximidade de rios para captação de água. Grandes propriedades consolidadas. Veraneio – Classe média
 - **Piabetá:** vetores de crescimento vales rios, ocupação geralmente irregular, população de baixa renda (posseiros subindo encosta) – ocupação mista (moradia e especulação). Mesmos fatores de Santo Aleixo.
 - **Subida serra velha:** residências consolidadas, como extensão do distrito de Piabetá em Magé, com uma população de baixa renda. Os fatores que influenciam são: Proximidade de corpos d’água, de vias para acesso, da declividade e do tipo de terreno (uso do solo).
 - **Alcobaça:** bairros urbanos residenciais, condomínios classe média alta residencial/veraneio: fatores importantes: próximo à vegetação e rios e cachoeiras. Proximidade do comércio e tipo de uso que não seja mata densa. A declividade neste caso não é tão importante. Outro processo nesta área, é vetor de crescimento de população baixa renda residencial (irregular)

- **Cabuçu:** sítios e Chácaras em processo de parcelamento de grandes áreas para grandes condomínios de luxo e processo de ocupação classe baixa (antigos agricultores existentes na região).
- **Petrópolis:** núcleo urbano consolidado residencial (Classe média)
- **Teresópolis:** bairros urbanos consolidados, misto classe média, alta e baixa e veraneio.
- **Subida da serra de Teresópolis:** veraneio (chácaras e sítios), classe média alta. Proximidade de amenidades ambientais como (Rios e mata), proximidade de vias e comércio. O tipo de uso também é importante, onde terrenos com mata densa são menos procurados.

Roberto Vancini Lima (Biólogo analista ambiental há 12 anos no PARNASO),
Paulo César (Técnico ambiental fiscal do PARNASO),
Marcus da Silveira (técnico ambiental fiscal do PARNASO)

1. Diversos grupos.
2. A seguir os diferentes setores e suas respectivas variáveis:
 - **Teresópolis:** áreas urbanas consolidadas. Plano Diretor do município apresenta diversas restrições na ocupação, e também é presente constante monitoramento.
 - **Estrada para Petrópolis:** pressão de crescimento principalmente para moradia
 - **Petrópolis:**
 - **Itaipava:** área urbana consolidada grande procura por veranistas. Proximidade ao centro local
 - **Bonfim:** originalmente ocupação por agricultura, porém vem sofrendo invasão por posseiros, para moradia de uma população de baixa renda, principalmente pelos atrativos: proximidade de rios, de vias e infra-estrutura local.
 - **Caxambu:** parecido com Bonfim, pressão sofrida sobre a agricultura e os atrativos são os mesmos.

- **Alcobaça:** casas periféricas ao centro de Petrópolis (classe média baixa). Principal fator se caracteriza pela proximidade de da hidrografia e dos centros locais.
- **Santo Aleixo:** Eixo urbano constituído há bastante tempo. Existem propriedades rurais de médio porte (sítios). Expansão do turismo e de moradias. Principais fatores que influenciam na ocupação: Abundância de rios, possibilidade de acesso, sempre são procurados terrenos sem vegetação densa, declividade suave e a proximidade do centro de comércio.

**ANÁLISE ESPACIAL NA IDENTIFICAÇÃO DA
PRESSÃO DE OCUPAÇÃO NO ENTORNO DE
UNIDADES DE CONSERVAÇÃO
UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A GESTÃO DO PARQUE
NACIONAL DA SERRA DOS ÓRGÃOS**

