

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados  
Ministério da Agricultura e do Abastecimento*

# **Sistema de Informações Geográficas**

**Aplicações na Agricultura**

**2ª edição revista e ampliada**

***Eduardo Delgado Assad  
Edson Eyji Sano***

***Serviço de Produção de Informação — SPI  
Brasília  
1998***

*Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:*

**Embrapa Produção de Informação**

SAIN Parque Rural — Av. W3 Norte (final)  
Caixa Postal 04315  
CEP 70770-901 Brasília, DF  
Fone: (061) 348-4236  
Fax: (061) 272-4168

**Embrapa Cerrados**

BR 020, Km 18 — Rodovia Brasília/Fortaleza  
CEP 73301-970 — Planaltina, DF  
Tel.: (061) 389-1171  
Fax: (061) 389-2953

**Coordenação editorial**

*Embrapa Produção de Informação*

**Revisor técnico**

*Prof. Laerte Guimarães Ferreira Júnior*

**Revisão gramatical**

*Maria Helena G. Teixeira  
Nilda Maria da Cunha Sette  
Raquel Siqueira de Lemos*

**Normalização bibliográfica**

*Dauí Antunes Corrêa  
Maria Alice Bianchi  
Maria Tereza Machado Teles Walter  
Rosa Maria E. Barros Ferreira*

**Programação visual e arte-final**

*Di Oliveira DCM*

**Capa**

*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

**1ª Edição**

1ª impressão (1993): 1.500 exemplares

**2ª Edição**

1ª impressão (1998): 2.000 exemplares  
2ª impressão (2003): 1.000 exemplares

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação do Copyright © (Lei nº 9.610).

CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.

Embrapa. Serviço de Produção de Informação-SPI.

---

Assad. Eduardo Delgado.

Sistema de informações geográficas. Aplicações na agricultura / editado por Eduardo Delgado Assad ; Edson Eyji Sano — 2.ed., rev. e ampl. — Brasília : Embrapa-SPI / Embrapa-CPAC, 1998.

xxviii, 434p. : il.

Inclui bibliografia.

ISBN 85-7383-045-X

1. Cartografia — Agricultura — Uso. 2. Sistema de Informação Geográfica — Agricultura — Uso. 3. Modelo numérico do terreno. 4. Agroclimatologia. 5. Solo — Uso. 6. Aptidão agrícola. I. Sano, Edson Eyji, ed. II. Título.

**CDD 526**

---

©Embrapa 1998

## NOTA DOS EDITORES (1a. Edição)

A partir de 1988, o Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados – CPAC, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, por meio do seu Laboratório de Biofísica Ambiental, começou a utilizar a versão 1.0 do sistema de informações geográficas desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), denominado de SGI. Embora essa primeira versão apresentasse diversas falhas operacionais, a nossa equipe sempre acreditou na tecnologia nacional, na capacidade criativa e inventiva dos nossos cientistas e, principalmente, na eficiência dos trabalhos desenvolvidos de uma maneira interinstitucional e multidisciplinar.

Vieram as versões melhoradas, e agora, passados quase cinco anos, estamos diante de um sistema realmente complexo, mas de fácil utilização, com uma interação homem-máquina bastante simplificada. O resultado desse esforço criativo e tecnológico, na parte que cabe diretamente ao Laboratório de Biofísica Ambiental, está materializado neste livro. Nele constam onze capítulos, dos quais oito são referentes a aplicações na agricultura, resultados de intensas pesquisas baseadas no sistema SIG. O capítulo inicial apresenta um panorama e uma tendência mundial dos sistemas de informações geográficas enquanto o capítulo seguinte descreve, com detalhe, as principais características do SGI. O último mostra algumas possibilidades de aplicações futuras.

Não poderíamos deixar de agradecer ao Gilberto Câmara e ao Carlos Felgueiras, pesquisadores da Divisão de Processamento de Imagens – DPI do Inpe, assim como à professora Maria Leonor Lopes Assad, do Departamento de Engenharia Agrônômica da Universidade de Brasília (UnB), que contribuíram com três capítulos, enriquecendo sobremaneira este trabalho. Igualmente importantes foram as revisões técnicas feitas pelo professor Paulo Roberto Meneses, da UnB, e pelo Dr. José Carlos Neves Epiphânio, do Inpe. Agradecemos também as ilustrações feitas pelo Jorge Guidacci.

Julho de 1993

Eduardo Delgado Assad e Edson Eyji Sano

## NOTA DOS EDITORES

### (2a. Edição)

Pode-se dizer que a segunda edição deste livro começou no lançamento da primeira. Tínhamos certeza de que, devido ao rápido avanço do conhecimento em Geoprocessamento, as atualizações deveriam ser feitas senão com a mesma rapidez, pelo menos com a velocidade próxima do aprimoramento desta tecnologia. Nesse ínterim, houve um crescimento esperado de laboratórios de geoprocessamento no Brasil, contando hoje com mais de 300, e com um público ativo de pelo menos mil pessoas. Vários cursos universitários foram criados, sejam eles de graduação, pós-graduação ou de especialização. Alguns textos também foram lançados, o que nos leva a afirmar que estamos atingindo rapidamente a maturidade em sistemas de informações geográficas que, no Brasil, foi introduzido por volta de 1978.

A idéia central desta segunda edição foi a de aprofundar os conhecimentos básicos de geoprocessamento, banco de dados, modelagem numérica, criação de modelos conceituais, e, principalmente, introduzir novas experiências de outros grupos do que aqueles do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Inpe, do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - CPAC, da Embrapa e da Universidade de Brasília - UnB. Assim, foi possível contar também com as colaborações do Centro Nacional de Pesquisa em Monitoramento Ambiental - CNPMA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos - CNPS, Centro Nacional de Pesquisa do Trópico Úmido - CPATU, todos da Embrapa, além da Universidade de Campinas - Unicamp e do Instituto Agrônomo de Campinas - IAC. Não poderíamos deixar de agradecer aos colegas Gilberto Câmara e José Simeão de Medeiros, que muito contribuíram para os capítulos iniciais desta segunda edição. Esperamos que este livro contribua ainda mais para o entendimento e utilização das tecnologias em geoprocessamento hoje disponíveis no Brasil.

Novembro de 1998

Eduardo Delgado Assad e Edson Eyji Sano



## APRESENTAÇÃO

O índice de crescimento populacional, especialmente nos países menos desenvolvidos, tem aumentado consideravelmente desde a II Guerra Mundial. O alto custo de energia, a degradação das terras e a inacessibilidade à tecnologia têm sido apontados como as principais causas do declínio da produção “per capita” de alimentos nas últimas décadas. Criar condições para atender os mínimos requerimentos de alimentação para os seres humanos tem sido o grande desafio deste final de século.

A pesquisa agropecuária desempenha um papel de suma importância nesta empreitada, especialmente nas áreas de expansão da fronteira agrícola como os Cerrados brasileiros, seguramente a maior e a mais importante opção para o desenvolvimento de uma agricultura sustentada, capaz de suprir toda a necessidade de alimentos para o Brasil e gerar excedentes para exportação.

O perfeito conhecimento dos recursos naturais (solos, clima, vegetação, minerais de interesse agrícola e relevo) e das características sócio-econômicas (população, produção, evolução da fronteira agrícola e uso atual) constituem o embasamento indispensável para a avaliação do potencial de uso das terras necessário para identificação das áreas passíveis de utilização com atividades agrícolas sustentáveis e das áreas que devem ser preservadas.

Reconhecendo nas pesquisas sobre os recursos naturais um dos elementos primordiais para o desenvolvimento ordenado dos Cerrados, o Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) criou o Laboratório de Biofísica Ambiental tendo como missão o desenvolvimento e/ou adaptação de metodologias para aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e de sistemas de informações geográficas para uso na agricultura.

Neste livro são apresentados os mais importantes ganhos obtidos nos últimos anos pela equipe multidisciplinar do Laboratório de Biofísica Ambiental que se

apresenta como uma importante fonte de informação sobre o assunto que, pela forma simples e prática de abordagem dos temas, pode ser usado como fonte de consulta para profissionais da área, ou como livro-texto.

Cabe reconhecer a importância da interação entre os integrantes do Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária que, juntamente com o CPAC, participaram da condução de projetos de pesquisa que embasaram esta obra, em especial o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), a Universidade de Brasília (UnB), o Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAF) da Embrapa e a Companhia de Promoção Agrícola (CAMPO), a quem expressamos o nosso reconhecimento.

Julho de 1993

Jamil Macedo - Chefe do CPAC

## PREFÁCIO

A existência do homem e suas ações estão fortemente condicionadas aos elementos naturais que compõem o mundo fisiográfico, e dependentes das relações de um convívio com a natureza, que cada vez mais lhe exige uma conduta harmoniosa com o meio ambiente. Nesse processo, o homem encara o mundo como um modelo real, do qual aprendeu a descrever com precisão uma grande categoria de observações e estabelecer as relações existentes entre elas, com proveito ao seu bem-estar econômico e social. Para atuar sobre este mundo real e dele extrair o seu sustento e explorar as suas riquezas, o homem precisou se aperfeiçoar em tecnologias e conhecimentos que pudessem tratar as entidades ambientais, não somente do ponto de vista de suas origens e funções, mas também de suas localizações, formas, distribuições, escalas, limites, etc. Ou seja, às entidades ambientais implicitamente se agregam as análises de atributos de expressão espacial.

O tratamento destas informações espaciais é hoje um requisito necessário para controlar e ordenar a ocupação das unidades físicas do meio ambiente, tão pressionadas por decisões que invariavelmente se contrapõem a uma lógica racional de seu uso. Para acompanhar o ritmo veloz e a complexidade dessa ocupação e utilização do solo, é preciso dispor de técnicas que provêm referências espaciais da ordenação dessa ocupação, passíveis de tratamentos automatizados. Das técnicas mais eficientes disponíveis, têm-se os sistemas de informações geográficas (SIGs), que podem ser definidos como sistemas destinados ao tratamento automatizado de dados georreferenciados. Esses sistemas manipulam dados de diversas fontes e formatos, dentro de um ambiente computacional ágil e capaz de integrar as informações espaciais temáticas e gerar novos dados derivados dos originais.

Apesar da introdução dessa técnica no mercado ser recente, a sua difusão, no Brasil, ocorreu aceleradamente, graças aos esforços de um grupo de pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), que conceberam um SIG para operação em ambiente de microcomputador, portanto facilmente acessível aos usuários com cultura de informática. Atualmente, cerca de 90 laboratórios de geoprocessamento em operação no Brasil utilizam-se desse SIG. Embora o número de usuários aparente ser grande, são poucos os que atingiram um alto nível de competência para explorar a total capacidade dessa ferramenta. Várias são as razões, mas sabemos que o aprendizado para explorar com eficiência uma determinada técnica depende essencialmente do acesso às informações que descrevam o seu potencial e os procedimentos metodológicos de suas aplicações, raramente encontradas nos manuais técnicos.

O caminho mais curto para isso são os livros de caráter didático, que reúnem as bases conceituais, experiências e exemplos vivenciados por seus autores. Os usuários de SIG encontrarão no livro que os editores e autores Eduardo D. Assad e Edson E. Sano aqui publicam uma série de exemplos que ilustram, de forma didática e real, diversas situações que demonstram as mais freqüentes aplicações dos SIGs à agricultura. É intenção dos editores fornecer, pelos exemplos, os fundamentos pelos quais os leitores poderão extrair e construir os seus conhecimentos básicos e aplicá-los na execução dos seus próprios projetos. Os exemplos que compõem cada capítulo do livro foram formulados numa concepção nitidamente voltada à aplicação dos SIGs, abstraindo-se da sofisticação matemática e computacional envolvida na técnica, e por isso é uma obra de fácil entendimento e compreensão dos objetivos a que qualquer SIG deveria se propor.

No momento em que muitas universidades começam a introduzir, nos seus cursos de graduação, disciplinas de geoprocessamento, com o objetivo de incluir, no currículo escolar, disciplinas de cunho profissionalizantes, este livro coloca, na mão dos docentes, um material rico, cheio de experiências de alto conteúdo técnico-científico, de grande valor didático.

Prof. Paulo Roberto Meneses

UnB/Departamento de Geologia Geral e Aplicada



## LISTA DOS AUTORES

### **Adriana Cavalieri**

Engenheira Agrônoma

M.Sc. em Engenharia Agrícola

Áreas de Manejo e Conservação do Solo e Água e Sistema de Informações Geográficas

Endereço: Fundação Pinhalense de Ensino  
Faculdade de Agronomia  
Av. Hélio Vergueiro Leite, 1, Caixa Postal 05  
CEP 13990-000 Espírito Santo do Pinhal, SP  
E-mail: adriana@agr.unicamp.br

### **Adriano Venturieri**

Engenheiro Agrônomo

M.Sc. em Sensoriamento Remoto

Área de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicado ao Levantamento de Cobertura Vegetal e Uso da Terra

Endereço: Embrapa/Amazônia Oriental  
Tr. Dr. Enéas Pinheiro, s/n, Caixa Postal 48  
CEP 66095-100 Belém, PA  
E-mail: adriano@cpatu.embrapa.br

### **Alfredo José Barreto Luiz**

Engenheiro Agrônomo

M.Sc. em Estatística e Métodos Quantitativos

Área de Estatística Aplicada a Pesquisa Agropecuária

Endereço: Embrapa/Meio Ambiente  
SP-340 Km 127, 5, Caixa Postal 69  
CEP 13820-000 Jaguariúna, SP  
E-mail: alfredo@cnpma.embrapa.br

### **Álvaro Luiz Orioli**

Engenheiro Agrônomo

Área de Pedologia

Endereço: CAMPO  
SEPN 516 Bloco A, 4º Andar  
CEP 70770-515 Brasília, DF  
E-mail: campo@tba.com.br

**Cláudia Bauzer Medeiros**

Professora Universitária

Ph.D. em Computação – Banco de Dados

Área de Banco de Dados Científicos e Sistema de Informações Geográficas

Endereço: IC/Unicamp  
Caixa Postal 6176  
CEP 13081-970 Campinas, SP  
E-mail: cmbm@dcc.unicamp.br

**Cláudio Aparecido Spadotto**

Engenheiro Agrônomo

M.Sc. em Ciência do Solo e Água

Área de Ecofisiologia

Endereço: University of Florida  
Soil and Water Science Department  
2169 McCarty Hall  
Gainesville, FL 32611  
E-mail: spa2727@nersp.nerdc.ufl.edu

**Edson Eyji Sano**

Geólogo

Ph.D. em Ciência do Solo

Áreas de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas

Endereço: Embrapa/CPAC  
BR-020 Km 18, Caixa Postal 08.223  
CEP 73301-970 Planaltina, DF  
E-mail: sano@cpac.embrapa.br

**Eduardo Delgado Assad**

Engenheiro Agrícola

Dr. em Agroclimatologia

Áreas de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas

Endereço: Embrapa/CPAC  
BR-020 Km 18, Caixa Postal 08.223  
CEP 73301-970 Planaltina, DF  
E-mail: assad@cpac.embrapa.br

**Emília Hamada**

Engenheira Agrícola

M.Sc. em Engenharia Agrícola

Áreas de Planejamento Agrícola, Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas

Endereço: Feagri/Unicamp  
Caixa Postal 6011 – Barão Geraldo  
CEP 13083-970 Campinas, SP  
E-mail: emilia@agr.unicamp.br

**Engler José Vidigal Lobato**

Engenheiro Agrônomo

M.Sc. em Agrometeorologia

Área de Agrometeorologia

Endereço: Escola de Agronomia  
Universidade Federal de Goiás  
Campus II Samambaia  
Avenida Nerópolis s/n  
CEP 74001-970 Goiânia, GO

**Fátima Pires**

Analista de Sistemas

Ph.D. em Banco de Dados para Aplicações Geográficas

Áreas de Banco de Dados e Engenharia de Software

Endereço: Unicamp/Centro de Computação  
Cidade Universitária Zeferino Vaz – Barão Geraldo, Caixa Postal 6132  
CEP 13081-970 Campinas, SP  
E-mail: fpires@dcc.unicamp.br

**Fernando Antônio Macena da Silva**

Engenheiro Agrônomo

M.Sc. em Engenharia Ambiental

Área de Agroclimatologia

Endereço: Embrapa/CPAC  
BR-020 Km 18, Caixa Postal 08.223  
CEP 73301-970 Planaltina, DF  
E-mail: macena@cpac.embrapa.br

**Giampaolo Queirós Pellegrino**

Engenheiro Florestal

M.Sc. em Agrometeorologia

Áreas de Meteorologia Agrícola e Sistema de Informações Geográficas

Endereço: Cepagri/Unicamp  
Cidade Universitária “Zeferino Vaz”  
Distrito de Barão Geraldo  
CEP 13081-970 Campinas, SP  
E-mail: [giam@cpa.unicamp.br](mailto:giam@cpa.unicamp.br)

**Gilberto Câmara**

Engenheiro Eletrônico

Dr. em Computação

Áreas de Processamento de Imagens, Geoprocessamento, Engenharia de Software e Banco de Dados Não-Convencionais

Endereço: Inpe  
Divisão de Processamento de Imagens  
Av. dos Astronautas, 1758, Caixa Postal 515  
CEP 12201-970 São José dos Campos, SP  
E-mail: [gilberto@dpi.inpe.br](mailto:gilberto@dpi.inpe.br)

**Helena da Silva Bezerra**

Geógrafo

Área de Sistema de Informações Geográficas

Endereço: Embrapa/CPAC  
BR-020 Km 18, Caixa Postal 08.223  
CEP 73301-970 Planaltina, DF  
E-mail: [helena@cpac.embrapa.br](mailto:helena@cpac.embrapa.br)

**Hilton Silveira Pinto**

Engenheiro Agrônomo

Dr. em Agrometeorologia

Área de Agrometeorologia

Endereço: Cepagri/Unicamp  
Caixa Postal 1170  
CEP 13083-970 Campinas, SP  
E-mail: [hilton@turing.unicamp.br](mailto:hilton@turing.unicamp.br)



**Jamil Macedo**

Engenheiro Agrônomo

Ph.D. em Ciência do Solo

Área de Pedologia

Endereço: Embrapa/Sede

SAIN Parque Rural – final Av. W/3 Norte, Caixa Postal 04-0315

CEP 70770-901 Brasília, DF

E-mail: jmacedo@sede.embrapa.br

**João Roberto dos Santos**

Engenheiro Florestal

Dr. em Ciências Florestais

Áreas de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas em Estudos de Inventário e Monitoramento de Recursos Florestais

Endereço: Inpe

Av. dos Astronautas, 1758, Caixa Postal 515

CEP 12227-010 São José dos Campos, SP

E-mail: jroberto@ltid.inpe.br

**José Simeão de Medeiros**

Engenheiro Florestal

M.Sc. em Sensoriamento Remoto

Áreas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas

Endereço: Inpe

Av. dos Astronautas, 1758, Caixa Postal 515

CEP 12227-010 São José dos Campos, SP

E-mail: simeao@ltid.inpe.br

**Jurandir Zullo Júnior**

Engenheiro Agrícola/Matemático

Doutor em Engenharia Elétrica

Áreas de Sensoriamento Remoto e Agrometeorologia

Endereço: Cepagri/Unicamp

Cidade Universitária “Zeferino Vaz”

CEP 13081-970 Campinas, SP

E-mail: jurandir@cpa.unicamp.br

**Lucimar Moreira**

Geógrafa

M. c. em Sensoriamento Remoto

Áreas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento

Endereço: Embrapa/CPAC  
BR-020 Km 18, Caixa Postal 08.223  
CEP 73301-970 Planaltina, DF  
E-mail: lucimar@cpac.embrapa.br

**Marco Antônio Gomes**

Geólogo

Doutor em Ciência do Solo

Área de Física e Mineralogia do Solo

Endereço: Embrapa/Meio Ambiente  
SP-340 Km 127, 5, Caixa Postal 69  
CEP 13820-000 Jaguariúna, SP  
E-mail: gomes@cnpma.embrapa.br

**Marcos Corrêa Neves**

Engenheiro Eletricista

M.Sc. em Engenharia Elétrica e Automação

Áreas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas

Endereço: Embrapa/Meio Ambiente  
SP-340 Km 127, 5, Caixa Postal 69  
CEP 13820-000 Jaguariúna, SP  
E-mail: marcos@cnpma.embrapa.br

**Maria Leonor Lopes Assad**

Engenheira Agrônoma

Dr. em Ciência do Solo

Áreas de Pedologia e Análise Ambiental

Endereço: Universidade de Brasília  
Instituto de Geociências  
Campus Universitário Darcy Ribeiro Caixa Postal 04408  
CEP 70919-970 Brasília, DF  
E-mail: assad@guarany.cpd.unb.br

**Maria Lúcia Meirelles**

Bióloga

Dra. em Ecologia

Área de Ecologia Vegetal

Endereço: Embrapa/CPAC  
BR-020 Km 18, Caixa Postal 08.223  
CEP 73301-970 Planaltina, DF  
E-mail: lucia@cpac.embrapa.br

**Orivaldo Brunini**

Engenheiro Agrônomo

Ph.D. em Agrometeorologia

Áreas de Agrometeorologia, Micrometeorologia e

Relações Solo-Água-Planta-Atmosfera

Endereço: Instituto Agronômico  
Av. Barão de Itapura, 1481  
CEP 13020-902 Campinas, SP  
E-mail: brunini@cec.iac.br

**Ryo Masutomo**

Meteorologista

Área de Meteorologia

Endereço: Japan Weather Association  
292 Nishikicho Chiyodaku  
Tokyo, 101 Japão

**Silvando Carlos da Silva**

Engenheiro Agrícola

M.Sc. em Meteorologia Agrícola

Área de Agrometeorologia

Endereço: Embrapa/CNPAP  
Rodovia Goiânia-Nova Veneza Km 12, Caixa Postal 179  
CEP 74001-970 Goiânia, GO  
E-mail: silvando@cnpaf.embrapa.br

**Suzana Druck Fuks**

Estatística

Dra. em Engenharia de Produção

Áreas de Geoestatística e Séries Temporais

Endereço: Embrapa/CNPS  
Rua Jardim Botânico, 1024  
CEP 22460-000 Rio de Janeiro, RJ  
E-mail: [suzana@cnps.embrapa.br](mailto:suzana@cnps.embrapa.br)

**Tarcízio Rego Quirino**

Historiador

Ph.D. em Sociologia

Área de Sociologia Ambiental

Endereço: Embrapa/Meio-Ambiente  
SP-340 Km 127, 5, Caixa Postal 69  
CEP 13820-000 Jaguariúna, SP  
E-mail: [tquirino@cnpma.embrapa.br](mailto:tquirino@cnpma.embrapa.br)



# SUMÁRIO

<b>PARTE I – ASPECTOS TEÓRICOS E CONCEITUAIS .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1 – PRINCÍPIOS BÁSICOS EM GEOPROCESSAMENTO</b>	
1.1 Por que Geoprocessamento? .....	3
1.2 Mapas na História .....	3
1.3 Conceitos de Espaço Geográfico, Informação Espacial e Relação Espacial .....	5
1.3.1 Espaço Geográfico e Informação Espacial .....	5
1.3.2 Relações Espaciais entre Fenômenos Geográficos .....	5
1.4 Descrição Geral de Sistemas de Informações Geográficas .....	6
1.5 Diferenças entre Geoprocessamento e CAD .....	7
1.6 Estrutura Geral de um SIG .....	7
1.7 Análise Espacial .....	8
1.8 Referências .....	11
<b>CAPÍTULO 2 – MAPAS E SUAS REPRESENTAÇÕES COMPUTACIONAIS</b>	
2.1 Tipos de Dados em Geoprocessamento .....	13
2.1.1 Mapas Temáticos. ....	13
2.1.2 Mapas Cadastrais. ....	13
2.1.3 Redes. ....	14
2.1.4 Imagens .....	17
2.1.5 Modelos Numéricos de Terreno .....	17
2.2 Representações Computacionais de Mapas .....	20
2.2.1 Representação Matricial .....	20
2.2.2 Representação Vetorial .....	21
2.2.3 Topologia Arco-Nó .....	22
2.2.4 Topologia Arco-Nó-Polígono .....	22
2.2.5 Comparação entre Representações de Mapas Temáticos .....	23
2.3 Representações de Modelos Numéricos de Terreno .....	24
2.3.1 Grade Regular .....	24
2.3.2 Grade Triangular .....	25
2.3.3 Comparação entre Representações de MNT .....	26
2.4 Representações Computacionais de Atributos Não-Espaciais .....	27
2.5 Organização do Ambiente de Trabalho em SIG .....	28
2.6 Referências .....	29

## CAPÍTULO 3 – BANCO DE DADOS E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

3.1 Introdução.....	31
3.2 Modelagem de Dados.....	32
3.3 Modelagem de Sistemas de Informações.....	33
3.4 SIG e Banco de Dados.....	35
3.5 Metodologias e Concepção de Aplicações SIG.....	37
3.6 Modelagem de Aplicações Geográficas.....	39
3.7 Considerações Finais.....	42
3.8 Agradecimentos.....	43
3.9 Referências.....	43

## CAPÍTULO 4 – MODELAGEM DE DADOS EM GEOPROCESSAMENTO

4.1 Introdução.....	47
4.2 Orientação-por-Objetos em Geoprocessamento.....	48
4.3 Visão Geral do Processo de Modelagem.....	49
4.4 O Universo do Mundo Real.....	50
4.5 O Universo Conceitual.....	51
4.5.1 Visão Geral.....	51
4.5.2 Classes do Universo Conceitual.....	51
4.5.3 Resumo do Universo Conceitual.....	58
4.6 O Universo de Representação.....	59
4.6.1 Hierarquia de Representações Matriciais.....	59
4.6.2 Hierarquia de Representações Vetoriais.....	59
4.7 O Universo de Implementação.....	61
4.8 Relações entre os Universos de Modelagem.....	62
4.8.1 Do Mundo Real para o Universo Conceitual.....	63
4.8.2 Do Universo Conceitual para a Representação.....	63
4.8.3 Das Representações à Implementação.....	63
4.8.4 Resumo.....	63
4.9 Definição do Esquema de Banco de Dados Geográficos.....	63
4.9.1 SGI/Inpe.....	65
4.9.2 Arc/Info.....	65
4.10 Referências.....	65

## CAPÍTULO 5 – OPERAÇÕES DE ANÁLISE GEOGRÁFICA

5.1 Introdução.....	67
5.2 Operações sobre Geocampos.....	68
5.2.1 Operações Pontuais.....	68
5.2.2 Operações de Vizinhança.....	71
5.2.3 Operações Zonais.....	72
5.2.4 Propriedades de Geocampos.....	73
5.3 Operações sobre Geoobjetos.....	73
5.3.1 Relacionamentos Espaciais entre Geoobjetos.....	73

5.3.2	Análise de Relacionamentos Topológicos .....	74
5.3.3	Operações sobre Geoobjetos Propriamente Ditas .....	77
5.3.4	Propriedades de Geoobjetos .....	78
5.4	Operações entre Geocampos e Geoobjeto .....	79
5.4.1	Geração de Geoobjetos a Partir de Geocampos .....	79
5.4.2	Geração de Geocampos a Partir de Geoobjetos .....	80
5.5	Operações Mistas .....	81
5.6	Resumo das Operações sobre Geocampos e Geoobjetos .....	82
5.7	Exemplo de Linguagem de Manipulação .....	83
5.7.1	Comparação com Linguagem MAP .....	83
5.7.2	Declaração .....	83
5.7.3	Instanciação .....	84
5.7.4	Operações de Transformação .....	84
5.7.5	Operações Booleanas .....	84
5.7.6	Operações Matemáticas .....	85
5.7.7	Classificação Contínua .....	85
5.7.8	Exemplo de Operações .....	86
5.8	Referências .....	90

## **PARTE II – APLICAÇÕES EM GEOPROCESSAMENTO ..... 93**

### **CAPÍTULO 6 – ESTRUTURAÇÃO DE DADOS GEOAMBIENTAIS NO CONTEXTO DE FAZENDA EXPERIMENTAL**

6.1	Introdução .....	95
6.2	Estruturação de Dados de uma Fazenda Experimental: Caso da Embrapa/CPAC ..	97
6.2.1	Dados Armazenados no Sistema .....	97
6.2.2	Etapas de Trabalho no SGI/Inpe .....	100
6.2.3	Criação de um Banco de Dados Alfanumérico .....	100
6.2.4	Dados Obtidos no SGI/Inpe .....	101
6.3	Avaliação da Estruturação de Dados .....	108
6.4	Referências .....	117

### **CAPÍTULO 7 – ESTRUTURAÇÃO DE DADOS GEOAMBIENTAIS NO CONTEXTO DE MICROBACIA HIDROGRÁFICA**

7.1	Importância do Planejamento Agrícola para Microbacia Hidrográfica .....	119
7.2	Manipulação de Dados Geoambientais da Microbacia no SGI/Inpe .....	121
7.2.1	Entrada de Dados Originais .....	112
7.2.2	Geração do Mapa de Meio Físico .....	121
7.2.3	Dados Gerados pelo SGI/Inpe .....	124
7.3	Considerações Finais .....	135
7.4	Referências .....	136



## CAPÍTULO 8 – ESTRUTURAÇÃO DE DADOS GEOAMBIENTAIS NO CONTEXTO MUNICIPAL

8.1 SGI/Inpe e Planejamento Municipal .....	139
8.2 Expansão da Fronteira Agrícola .....	140
8.3 Caracterização Ambiental .....	142
8.4 Considerações Finais .....	147
8.5 Referências .....	155

## CAPÍTULO 9 – RESERVAS BIOLÓGICAS EM PERÍMETRO IRRIGADO: CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA FUNCIONALIDADE

9.1 Reserva Biológica: Conceituação .....	159
9.2 Ensaio Metodológico .....	161
9.3 Dados Gerados via SGI/Inpe .....	163
9.4 Considerações Finais .....	175
9.5 Referências .....	176

## CAPÍTULO 10 – MONITORAMENTO DA OCUPAÇÃO AGRÍCOLA

10.1 Métodos de Avaliação da Produção Agrícola no Brasil .....	179
10.1.1 Métodos Convencionais de Avaliação .....	179
10.1.2 Métodos de Avaliação com Sensoriamento Remoto .....	180
10.2 Proposta de Monitoramento de Ocupação Agrícola com Sensoriamento Remoto e SIG: Caso do Sul do Maranhão .....	182
10.2.1 Construção da Base Cartográfica .....	182
10.2.2 Identificação e Mapeamento das Culturas .....	183
10.2.3 Armazenamento do Mapeamento das Culturas no SGI/Inpe .....	184
10.3 Análise dos Resultados do Sul do Maranhão .....	184
10.3.1 Apresentação e Discussão .....	184
10.3.2 Tipos de Erros nos Resultados Apresentados .....	185
10.4 Relação Custo/Benefício .....	189
10.5 Referências .....	190

## CAPÍTULO 11 – SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA AVALIAÇÃO DE TERRAS PARA AGRICULTURA

11.1 Importância da Avaliação de Terras .....	191
11.2 Metodologias Disponíveis para Avaliação de Terras .....	192
11.3 Avaliar a Terra para Manejá-la .....	194
11.4 Sistemas de Avaliação de Terras para Agricultura .....	195
11.5 Importância do SIG para Avaliação de Terras .....	198
11.6 Aptidão Agrícola das Terras pelo Sistema FAO/Brasileiro por meio do SGI/Inpe .....	199
11.6.1 Padronização dos Dados .....	199
11.6.2 Espacialização de Dados para Determinação da Aptidão Agrícola das Terras .....	200
11.6.3 Cruzamentos .....	207



11.6.4	Quantificação de Áreas e Representação Gráfica .....	212
11.7	Avaliação da Capacidade de Uso das Terras Utilizando Idrisi .....	213
11.7.1	Dados de Base .....	213
11.7.2	Procedimentos em Ambiente do Idrisi .....	213
11.7.3	Etapas de Trabalho no Idrisi .....	214
11.7.4	Comparação entre os Métodos Manual e Automático (SIG) .....	218
11.8	Considerações Finais .....	226
11.9	Referências .....	229

## CAPÍTULO 12 – CARACTERIZAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO USO DE AGROTÓXICOS PARA O ESTADO DE SÃO PAULO

12.1	Apresentação .....	233
12.2	Introdução .....	233
12.3	Esquema de Trabalho .....	234
12.4	Aplicações .....	237
12.5	Conclusões .....	240
12.6	Agradecimento .....	240
12.7	Referências .....	240

## CAPÍTULO 13 – SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL POR AGROQUÍMICOS

13.1	Introdução .....	241
13.2	Desenvolvimento de um Método .....	241
13.3	Aplicação do Método .....	246
13.4	Conclusão .....	248
13.5	Referências .....	249

## CAPÍTULO 14 – USO DE MODELOS NUMÉRICOS DE TERRENO NA ESPACIALIZAÇÃO DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS

14.1	Importância da Espacialização de Dados de Chuva .....	251
14.2	Modelo Numérico de Terreno .....	253
14.3	Frequência de Ocorrência de Veranicos .....	253
14.4	Probabilidade de Ocorrência de Veranicos .....	254
14.5	Espacialização no SGI/Inpe da Ocorrência de Veranicos .....	254
14.6	Espacialização no SGI/Inpe de Ocorrência de Veranicos mais Longos .....	260
14.7	Espacialização no SGI/Inpe das Médias Mensais de Chuva .....	263
14.8	Referências .....	271

## CAPÍTULO 15 – ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO POTENCIAL HÍDRICO CLIMÁTICO DO ESTADO DE GOIÁS

15.1	Introdução .....	273
15.2	Probabilidade de Precipitação .....	274
15.3	Evapotranspiração Potencial (ETP) .....	278

15.3.1 Métodos do Balanço Hídrico .....	279
15.3.2 Métodos Micrometeorológicos .....	279
15.3.3 Métodos Empíricos .....	282
15.4 Cálculo e Espacialização da Precipitação Dependente .....	288
15.5 ETP: Estimativa e Espacialização .....	291
15.6 Disponibilidade Hídrica: Cálculo e Espacialização .....	292
15.7 Conclusões .....	295
15.8 Referências .....	306

## CAPÍTULO 16 – USO DE MODELOS NUMÉRICOS DE TERRENO NA ESPACIALIZAÇÃO DE ÉPOCAS DE PLANTIO

16.1 Introdução .....	311
16.2 Balanço Hídrico .....	312
16.3 Condições de Simulação .....	314
16.4 Espacialização dos Resultados do Balanço Hídrico .....	315
16.5 Interpretação dos Mapas .....	318
16.6 Considerações Finais .....	319
16.7 Referências .....	326

## CAPÍTULO 17 – O USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NO MAPEAMENTO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS

17.1 Introdução .....	329
17.2 Base de Dados Agrometeorológicos .....	330
17.3 Preparando os Dados para Uso no SIG .....	336
17.4 Interpolação dos Dados e Criação dos Mapas .....	340
17.4.1 Método do Inverso do Quadrado da Distância .....	340
17.4.2 Método dos Polígonos de Thiessen .....	342
17.5 Divulgação via Internet .....	344
17.6 Referências .....	348

## PARTE III – NOVAS ABORDAGENS E PERSPECTIVAS EM GEOPROCESSAMENTO ..... 349

### CAPÍTULO 18 – TÉCNICAS DE CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS PARA ANÁLISE DE COBERTURA VEGETAL

18.1 Apresentação .....	351
18.2 Introdução .....	351
18.3 Métodos de Classificação de Imagens de Sensoriamento Remoto .....	353
18.3.1 Classificação Não-Supervisionada .....	353
18.3.2 Classificação Supervisionada .....	356
18.3.3 Classificação Híbrida .....	358
18.4 Análise Conceitual, Estrutural e de Aplicação da Técnica de Segmentação de Imagens .....	360

18.5 Fundamentos e Experiências de Utilização de Redes Neurais Artificiais .....	364
18.6 Conclusões .....	368
18.7 Referências .....	369

## CAPÍTULO 19 – NOVOS MODELOS PARA MAPAS DERIVADOS DE INFORMAÇÕES DE SOLOS

19.1 Introdução .....	373
19.2 Modelos Estatísticos .....	374
19.3 Métodos de Predição Espacial .....	377
19.3.1 Métodos de Predição Estocástica .....	378
19.3.2 Métodos de Predição Determinístico .....	390
19.3.3 Comparação entre a Krigagem e Outros Métodos de Interpolação .....	393
19.4 Conceitos de Lógica Fuzzy .....	395
19.4.1 Conjuntos Fuzzy .....	396
19.4.2 Funções de Pertinência .....	397
19.4.3 Operadores .....	400
19.5 Conclusões .....	405
19.6 Referências .....	404

## CAPÍTULO 20 – TENDÊNCIAS DE EVOLUÇÃO DO GEOPROCESSAMENTO

20.1 Apresentação .....	411
20.2 Evolução da Tecnologia de SIG: Três Gerações de Sistemas .....	411
20.3 Metodologias Emergentes em Geoprocessamento .....	418
20.3.1 Operações de Classificação Contínua .....	418
20.3.2 Inteligência Artificial e Geoprocessamento .....	420
20.4 Referências .....	423

Parte I  
Aspectos Teóricos e  
Conceituais

# CAPÍTULO 1

## PRINCÍPIOS BÁSICOS EM GEOPROCESSAMENTO

Gilberto Câmara  
José Simeão de Medeiros

### 1.1 Por que Geoprocessamento?

O termo Geoprocessamento denota uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas. Esta tecnologia, denotada por Geoprocessamento, tem influenciado de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. Nos países de grande dimensão e com carência de informações adequadas para tomada de decisões sobre problemas urbanos e ambientais, o Geoprocessamento apresenta um enorme potencial, principalmente se baseado em tecnologias de custo relativamente baixo, em que o conhecimento é adquirido localmente.

Os instrumentos computacionais do Geoprocessamento, chamados de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), permitem a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Os SIGs tornam possível ainda a automatização da produção de documentos cartográficos.

### 1.2 Mapas na História

A observação e a representação da superfície da terra têm sido importantes na organização das sociedades. Desde a mais remota antigüidade até os tempos atuais, as informações espaciais têm sido descritas de forma gráfica pelos antigos cartógrafos e utilizadas por guerreiros, navegadores, geógrafos e pesquisadores. Com certeza, o que hoje se conhece como mapa nada mais é do que uma das mais antigas formas de comunicação visual de toda a humanidade (Oliveira, 1993).