

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Informática Agropecuária  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

# Processamento de Imagens Digitais: Prática Usando Java™

José Iguelmar Miranda

Campinas, SP

2006

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Informática Agropecuária**

Av. André Tosello, 209

Cidade Universitária "Zeferino Vaz" - Barão Geraldo

Caixa Postal 6041

13083-970 – Campinas, SP

Telefone (19) 3789-5700 - Fax (19) 3289-9594

URL: <http://www.cnptia.embrapa.br>

e-mail: [sac@cnptia.embrapa.br](mailto:sac@cnptia.embrapa.br)

**1<sup>a</sup>. edição**

1<sup>a</sup>. impressão (2006): 1.000 exemplares

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº. 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Embrapa Informática Agropecuária

Miranda, José Iguelmar.

---

Processamento de imagens digitais : prática usando Java™ / José Iguelmar Miranda. Campinas : Embrapa Informática Agropecuária, 2006.

319 p. : il.

ISBN 85-60424-01-6

1. Imagem digital. 2. Processamento de imagem. I. Título.

CDD — 006.42

621.367 (21<sup>st.</sup> ed.)

---

©Embrapa 2006

## Apresentação

A extensão territorial brasileira, exige que métodos modernos de análise espacial sejam desenvolvidos e divulgados cada vez mais com rapidez e eficiência. A evolução da ciência e da tecnologia na área espacial, notadamente no Brasil, tem sido exponencial, e seu principal objetivo é de poder dotar o País de sistemas de monitoramento e acompanhamento das alterações no uso do solo precisos, diretos e eficazes. Nos últimos anos o Brasil em conjunto com a China lançou o satélite CBERS de observação da terra, com grande sucesso, tanto em termos de engenharia espacial, como em termos de utilização das imagens fornecidas pelo satélite.

A vulgarização da tecnologia espacial baseada no uso e interpretação das imagens de satélite, depende do conhecimento das bases físicas do sensoriamento remoto, e de ferramentas que agilizam a sua interpretação.

Ciente dessa necessidade, o pesquisador José Iguelmar de Miranda, dedicou nas últimas três décadas, um grande esforço no sentido de internalizar na Embrapa e junto aos seus parceiros os conhecimentos sobre análise e tratamento de imagens, para uso direto na agricultura e ambiente. O resultado dessa experiência acumulada, está traduzido na forma do livro intitulado “Processamento de Imagens Digitais: prática usando Java”, que a Embrapa Informática Agropecuária tem a oportunidade de editar. Trata-se de uma obra de grande interesse para pesquisadores, engenheiros, geógrafos, estudantes, que fazem do tratamento e análise de imagens sua principal ferramenta de trabalho.

Tenho certeza de que essa obra, fruto da experiência, dedicação, competência e perseverança do autor, será de grande interesse para todos aqueles que diretamente ou indiretamente contribuem para alçar o Brasil no seletivo grupo de países que dominam a tecnologia espacial.

Eduardo Delgado Assad  
Chefe-Geral  
Embrapa Informática Agropecuária

# Sumário

Capítulo 1 - O modelo de desenho do Java 2D .....	17
<b>1.1 Introdução</b> .....	18
<b>1.2 A evolução de bibliotecas Java para imagens</b> .....	19
<b>1.3 Tipos de programa Java</b> .....	21
<b>1.3.1 Aplicação Java</b> .....	21
<b>1.3.2 Applet</b> .....	22
<b>1.3.3 JavaBeans</b> .....	22
<b>1.3.4 Servlets e Java Server Pages (JSP)</b> .....	23
<b>1.4 O modelo de desenho da API do Java 2D</b> .....	23
Capítulo 2 - Visão geral do Java 2D .....	29
<b>2.1 Introdução</b> .....	30
<b>2.2 Adquirindo o objeto Graphics2D</b> .....	30
<b>2.3 Objetos gráficos e métodos de desenho</b> .....	31
<b>2.3.1 Desenhando Shapes</b> .....	32
<b>2.3.2 Desenhando Text</b> .....	33
<b>2.3.3 Desenhando Image</b> .....	34
<b>2.4 Atributos do contexto gráfico</b> .....	40
<b>2.4.1 Font</b> .....	41
<b>2.4.2 Composite</b> .....	42
<b>2.4.3 AffineTransform</b> .....	43
<b>2.4.4 Stroke</b> .....	43
<b>2.4.5 Paint</b> .....	44
<b>2.4.6 RenderingHints</b> .....	45
<b>2.4.7 Clip</b> .....	46
Capítulo 3 - Manipulando imagens: BufferedImage .....	47
<b>3.1 Introdução</b> .....	48
<b>3.2 Detalhes da BufferedImage</b> .....	48
<b>3.2.1 Variações apresentadas pela BufferedImage</b> .....	48
<b>3.2.2 Raster</b> .....	50
<b>3.2.3 ColorModel</b> .....	56
<b>3.2.4 ColorSpace</b> .....	58
<b>3.3 As classes Raster e WritableRaster</b> .....	59
Capítulo 4 - Operações com BufferedImage .....	61
<b>4.1 Criando uma BufferedImage</b> .....	62
<b>4.2 As classes Raster e WritableRaster</b> .....	65
<b>4.3 BufferedImageOp</b> .....	67

# Sumário

Capítulo 5 - Carregando imagens no modelo <i>push</i> (AWT) e modo imediato .....	75
<b>5.1 Introdução</b> .....	76
<b>5.2 Carregando imagens</b> .....	76
5.2.1 Primeiro método de carga de imagem: <i>java.awt.Toolkit</i> .....	76
5.2.2 Segundo método de carga de imagem: <i>MediaTracker</i> .....	77
5.2.3 Terceiro método de carga de imagem: modo imediato .....	80
<b>5.3 Convertendo Image para BufferedImage</b> .....	81
<b>5.4 Formatos de arquivos</b> .....	84
<b>5.5 Extrairindo valores de pixels</b> .....	86
5.5.1 Extrairindo valores de pixels de um objeto <i>Image</i> .....	86
5.5.2 Extrairindo valores de pixels de um objeto <i>BufferedImage</i> .....	88
<b>5.6 Mostrando imagens em Java</b> .....	90
5.6.1 Desenho de imagens usando AWT .....	91
5.6.2 Desenho de imagens usando Swing .....	94
 Capítulo 6 - Processamento de imagens digitais .....	97
<b>6.1 Introdução</b> .....	98
<b>6.2 Aquisição passiva e ativa de imagens</b> .....	99
<b>6.3 Representação da imagem</b> .....	99
6.3.1 Nível de cinza .....	100
6.3.2 Image digital .....	100
<b>6.4 Amostragem e quantificação</b> .....	102
6.4.1 Amostragem .....	103
6.4.2 Quantificação .....	104
 Capítulo 7: Operações algébricas e geométricas .....	107
<b>7.1 Introdução</b> .....	108
<b>7.2 Operações algébricas</b> .....	108
7.2.1 Operações aritméticas .....	109
7.2.2 Operações booleanas .....	112
<b>7.3 Manipulação geométrica</b> .....	112
7.3.1 Ampliação e redução .....	112
7.3.2 Extrairindo regiões de interesse .....	114
7.3.3 Métodos de interpolação .....	116
7.3.4 Transformação afim .....	121
7.3.5 Algoritmos de transformação .....	127
7.3.6 A classe <i>AffineTransform</i> .....	129
 Capítulo 8: Estatísticas de uma imagem .....	137
<b>8.1 Introdução</b> .....	138
<b>8.2 Estatística descritiva univariada de uma imagem</b> .....	138
<b>8.3 Estatística multivariada de uma imagem</b> .....	141

# Sumário

<b>8.4 Histograma de imagens .....</b>	144
8.4.1 Cálculo do histograma .....	145
8.4.2 Realce de imagem por modificação no histograma .....	149
 Capítulo 9: Operações de vizinhança .....	167
<b>9.1 Introdução .....</b>	168
<b>9.2 Aspectos teóricos de convolução .....</b>	169
9.2.1 Convolução .....	169
9.2.2 Convolução em Java .....	173
<b>9.3 Filtros de baixa freqüência em domínio espacial .....</b>	176
<b>9.4 Filtros de alta freqüência em domínio espacial .....</b>	180
9.4.1 Introdução.....	180
9.4.2 Algoritmos de detecção de bordas - Gradiente .....	182
9.4.3 Algoritmos de detecção de bordas - Sobel .....	188
9.4.4 Algoritmos de detecção de bordas - Roberts .....	188
9.4.5 Algoritmos de detecção de bordas - Prewitt .....	189
9.4.6 Algoritmos de detecção de bordas - Frei & Chen .....	189
9.4.7 Algoritmos de detecção de bordas - Laplaciano.....	189
<b>9.5 Filtros direcionais .....</b>	193
<b>9.6 Filtros de ordem estatística .....</b>	193
<b>9.7 Filtros de adaptação .....</b>	195
9.7.1 Introdução .....	195
9.7.2 Filtro DW-MTM .....	197
9.7.3 Filtro EQMM .....	198
<b>9.8 Exemplos .....</b>	199
9.8.1 Filtros de passa-baixa .....	200
9.8.2 Filtro de Gauss .....	200
9.8.3 Filtro Laplaciano de Gauss (LoG) .....	200
9.8.4 Filtro de passa-alta .....	201
9.8.5 Filtros direcionais .....	201
9.8.6 Filtros de ordem estatística .....	202
9.8.7 Filtros de adaptação .....	202
 Capítulo 10: Morfologia .....	205
<b>10.1 Introdução .....</b>	206
<b>10.2 Fundamentos .....</b>	207
<b>10.3 Dilatação .....</b>	209
<b>10.4 Erosão .....</b>	215
<b>10.5 Abertura .....</b>	217
<b>10.6 Fechamento .....</b>	219
<b>10.7 Delineamento e esqueleto .....</b>	220

# Sumário

10.7.1 Delineamento morfológico .....	220
10.7.2 Esqueleto ou afinamento morfológico .....	221
<b>10.8 Segmentação .....</b>	<b>226</b>
10.8.1 Introdução .....	226
10.8.2 Uma técnica não contextual: limiarização .....	226
10.8.3 Técnicas contextuais .....	236
 Capítulo 11: Análise em freqüência espacial .....	239
11.1 Introdução .....	240
11.2 Transformada de Fourier - conceitos básicos .....	242
11.3 Transformada de Fourier para casos discretos .....	244
11.4 O espectro de uma imagem .....	248
11.5 Filtros e transformada de Fourier .....	253
11.6 Filtros de passa-baixa .....	255
11.7 Filtros de passa-alta .....	260
11.8 Realce de imagens .....	263
 Capítulo 12: Interface gráfica de usuário e Java Advanced Imaging .....	265
12.1 Introdução .....	266
12.2 Interface gráfica de usuário .....	266
12.3 Java Advanced Imaging (JAI) .....	269
12.3.1 Introdução .....	269
12.3.2 Arquitetura do JAI .....	270
12.3.3 Operadores disponíveis .....	272
12.3.4 A classe PlanarImage .....	273
12.3.5 A classe RenderedOp .....	275
12.3.6 Convolução com JAI .....	278
12.3.7 Operação pontual .....	284
12.3.8 Análise em domínio de freqüência: transformada de Fourier .....	285
12.3.9 Análise em domínio de freqüência: transformada discreta do co-seno .....	300
 13 Referências Bibliográficas .....	306
14 Índice Remissivo .....	309

## PARTE 1 | Java 2D

# Capítulo 1

## O modelo de desenho do Java 2D

“A pior tragédia que pode acontecer à humanidade é a morte de seus livros”

José Mindlin,  
Bibliófilo.

## 1.1 Introdução

$$E = mc^2$$

Talvez esta pequena fórmula seja a mais usada para divulgar e sintetizar o trabalho de Einstein sobre a Teoria da Relatividade. Ela diz que “energia é igual a massa multiplicada pelo quadrado da velocidade da luz”, significando que massa e energia são elementos da natureza intercambiáveis. Embora simples, ela representa muitos e muitos anos de desenvolvimento nos campos da Física e da Matemática. Contudo, cremos que não seja necessário a todos que querem ter uma idéia do que esta equação signifique, fazer um curso em uma ou em ambas as disciplinas. Neste livro, adota-se a mesma abordagem. Vamos usar muitas equações, tanto da Matemática como da Estatística, sem necessariamente provar teoremas. Não seria viável. Não espere o leitor encontrar todos os fundamentos teóricos de processamento de sinais, estatística e matemática, todos muito importantes para entender a aplicação de certas equações às imagens. No entanto, pretendemos apresentar explicações suficientes para que você entenda por que se usam tais equações.

O lema deste livro é aprender fazendo. Ele não cobre tudo o que se conhece sobre processamento de imagens digitais (PID). Esta seria uma tarefa gigantesca e tornaria o livro enfadonho. Pretendemos abordar as técnicas mais comuns do PID. Seu objetivo maior é ser bastante didático na explicação das diferentes técnicas usadas para fazer processamentos, como leitura e escrita de imagens, operações pontuais e de vizinhança, análise de imagens no domínio de freqüência espacial, etc.

Para cumprir esta tarefa, apresentamos a parte teórica relativa à técnica usada, e então mostramos como ela deveria ser implementada em uma linguagem de programação, neste caso, o Java. Existem muitos livros sobre os aspectos teóricos do processamento de imagens. Encontram-se alguns que associam a parte prática, geralmente na linguagem C. Porém, eles nunca mostram todo o código fonte usado para implementar o aplicativo, mas apenas alguns algoritmos.

Neste livro, o leitor encontra os trechos que mostram a programação do algoritmo, bem como todo o código fonte. Muitos algoritmos já se encontram implementados na *Application Programming Interface* (API) da plataforma 2 do Java (Java 2D) e no Java Advanced Imaging (JAI). Estas implementações serão usadas. A aplicação ImageJ (<http://rsb.info.nih.gov/ij/>) contém vários algoritmos de processamento de imagens implementados em Java, com código fonte aberto, sob licença GPL, e será usada para ilustrar algumas funções.

Este não é um livro sobre como programar em Java nem sobre fundamentos de programação orientada a objetos (POO), essencial para quem quer programar em Java. Pressupõe-se que o leitor tenha conhecimento sobre ambos os assuntos. O objetivo é introduzir os conceitos de Java que se aplicam ao processamento de imagens digitais, mas sem ser exaustivo sobre todos os elementos gráficos contidos