

# Sensoriamento Remoto para desastres



Tania Maria Sausen  
María Silvia Pardi Lacruz

organizadoras

# Sensoriamento Remoto para **desastres**

Tania Maria Sausen  
María Silvia Pardi Lacruz

organizadoras

oficina de textos

Copyright © 2015 Oficina de Textos

Grafia atualizada conforme o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990, em vigor no Brasil desde 2009.

**Conselho editorial** Cylon Gonçalves da Silva; Doris C. C. K. Kowaltowski; José Galizia Tundisi; Luis Enrique Sánchez; Paulo Helene; Rozely Ferreira dos Santos; Teresa Gallotti Florenzano

**Capa e projeto gráfico** Malu Vallim

**Imagem capa** Região de Nova Friburgo, estado do Rio de Janeiro, obtida no dia 20 de janeiro de 2011. Image 2011 DigitalGlobe, Inc.

**Diagramação e preparação de figuras** Maria Lúcia Rigon

**Preparação de textos** Hélio Hideki Iraha

**Revisão de textos** Pâmela de Moura Falarara

**Impressão e acabamento** Vida & Consciência

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

---

Sensoriamento remoto para desastres / Tania Maria Sausen, María Silvia Pardi Lacruz, organizadoras. -- São Paulo : Oficina de Textos, 2015.

Vários autores.

Bibliografia.

ISBN 978-85-7975-175-2

1. Desastres naturais - Prevenção

2. Sensoriamento remoto I. Sausen, Tania Maria. II. Lacruz, María Silvia Pardi.

---

15-02184

CDD-621.3678

---

Índices para catálogo sistemático:

1. Sensoriamento remoto : Tecnologia  
621.3678

Todos os direitos reservados à **Editora Oficina de Textos**

Rua Cubatão, 959

CEP 04013-043 São Paulo SP

tel. (11) 3085-7933 fax (11) 3083-0849

www.ofitexto.com.br

atend@ofitexto.com.br

# apresentação

*David Stevens*

Assessor de Programas Sênior | Centro de Excelência de Redução do Risco de Desastres (CERRD)  
Escritório das Nações Unidas para a Redução do Risco de Desastres (UNISDR)

O USO DE INFORMAÇÕES OBTIDAS DE SATÉLITES de observação da Terra para o gerenciamento de desastres está intimamente ligado aos avanços tecnológicos da indústria mundial de satélites, que se iniciou nos primórdios dos anos 1960, com o lançamento do primeiro satélite meteorológico, denominado Tiros 1, que enviava fotos das nuvens, contribuindo, pela primeira vez, para aprimorar as previsões meteorológicas e monitorar ameaças relacionadas ao tempo, como furacões.

Tem se verificado desde então um aumento das resoluções espaciais, temporais e espectrais disponíveis, com o lançamento de satélites de radar como o Terrasar-X e o Alos e de constelações dedicadas à área de desastres, como o Disaster Monitoring Constellation (DMC), o Constellation of Small Satellites for the Mediterranean Basin Observation (Cosmo-SkyMed) e o RapidEye. Isso somado a iniciativas como UN-Spider, International Charter Space and Major Disasters, Sentinel Asia e Servir, que trabalham para assegurar que esses dados sejam transformados em informação vital para a tomada de decisões para salvar vidas e resguardar patrimônio.

Considerando que o número de desastres tem aumentado progressivamente nos últimos anos, é imprescindível entender melhor como incorporar essas ferramentas de ponta na resolução dos problemas causados pelas ameaças naturais. No Brasil, a ocorrência de desastres naturais aumentou 268% na década de 2000 em comparação aos 10 anos anteriores, sendo que o país apresentou crescimento em todos os tipos de desastres naturais característicos do continente americano – inundações, deslizamentos, estiagem, enxurradas e incêndios florestais.

Nos últimos anos, percebe-se uma mudança de paradigma no trato da questão de gerenciamento dos desastres, com foco cada vez maior na redução do risco e menor na resposta emergencial, buscando-se a construção de comunidades resilientes a desastres. No Brasil, isso se verifica por meio da promoção de uma maior sensibilização sobre a importância de incluir a redução do risco de desastres como um componente central do desenvolvimento sustentável, com o objetivo de reduzir as perdas humanas, sociais, econômicas e ambientais resultantes de desastres tanto naturais

---

como tecnológicos. Esse é o objetivo da principal campanha no Brasil do Escritório das Nações Unidas para a Redução do Risco de Desastres (UNISDR), “Construindo cidades resilientes: minha cidade está se preparando!”.

Os desastres pontuais recentes ocorridos em Santa Catarina e no Rio de Janeiro alavancaram ainda mais a importância e a necessidade de apoiar medidas e ações concretas na área de redução do risco de desastres. Como consequência do maior apoio político decorrente desses incidentes, houve a revisão e a reestruturação do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil no Brasil, com a aprovação da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) por meio da Lei nº 12.608, de 11 de abril de 2012.

Desde 1990 o Brasil tem avançado progressivamente na área de prevenção de desastres. O Marco de Ação de Hyogo (MAH), adotado em 2005, reforçou as ações no País por meio do alinhamento das prioridades brasileiras com as suas. Como um dos 168 países que o adotaram naquele ano, o Brasil tem avançado na implantação das cinco áreas prioritárias desse marco:

1. garantir que a área de redução do risco de desastres seja tanto uma prioridade nacional como um local com forte base institucional para a sua implantação;
2. identificar, avaliar e monitorar os riscos de desastres e reforçar a área de alerta de desastres;
3. usar conhecimentos, inovação e educação para construir uma cultura de segurança e resiliência em todos os níveis;
4. reduzir os riscos existentes;
5. fortalecer a área de preparação para desastres visando uma resposta mais efetiva em todos os níveis.

Todas essas áreas se beneficiariam do maior acesso e uso de ferramentas de sensoriamento remoto. Este livro vai contribuir para que isso realmente aconteça.

# prefácio

Tania Maria Sausen | María Silvia Pardi Lacruz

DESDE O LANÇAMENTO DO PRIMEIRO SATÉLITE de observação da Terra, em 23 de julho de 1972, inicialmente denominado Earth Resources Technology Satellite (ERTS 1) e, posteriormente, Landsat-1, como ficou conhecido, os estudos sobre a superfície da Terra, seus recursos naturais e os fenômenos associados a ela passaram por uma verdadeira revolução.

Quando a primeira imagem gerada por um sensor remoto a bordo desse satélite foi apresentada à humanidade, nunca mais o homem viu a Terra com os mesmos olhos. A partir dali podíamos vê-la como os pássaros há milhões de anos já faziam, de forma sinóptica, repetitiva e, adicionalmente, com o auxílio da tecnologia, obter dados em várias faixas do espectro eletromagnético, ampliando assim nossa capacidade de visão e entendimento dos recursos naturais.

Ao longo dos anos foram surgindo novos satélites e novos sensores, cada vez mais sofisticados e que ampliavam muito nossa capacidade de mapear o local em que vivemos, nosso país, nosso continente. Com os dados de sensoriamento remoto, foi possível estudar e mapear os recursos naturais para saber como explorá-los de maneira adequada, sem impactar o meio ambiente, e passou-se a planejar melhor o uso e a ocupação do solo, a expansão e o surgimento de áreas urbanas e o traçado de novas estradas. Além disso, com eles conseguimos também uma excelente ferramenta para ampliar a produção agrícola, cuidando, assim, para que o alimento chegasse a todas as mesas com maior qualidade e fartura.

Desastres acontecem ao redor do mundo com muita frequência e afetam tanto os países desenvolvidos como os em desenvolvimento, causando danos a todas as camadas da sociedade, dos mais ricos aos mais pobres, sem distinção. Porém, as camadas em que a população apresenta menor nível de escolaridade e de poder aquisitivo são as que mais sofrem para recuperar-se dos danos causados por eles.

A Ásia é o continente que mais registra ocorrência de desastres, principalmente os provocados por causas naturais, como chuvas intensas ou ausência delas, ciclones, furacões e atividades sísmicas. Por ser uma região muito populosa, os desastres naturais nesse continente em geral causam grande número de vítimas. O

---

continente americano ocupa o segundo lugar no número de registros de ocorrência de desastres.

O relatório *A situação dos refugiados do mundo: na busca por solidariedade*, do Alto Comissariado das Nações Unidas para Refugiados (ACNUR), apresentado em 31 de maio de 2012, afirma que os desastres naturais e as mudanças climáticas decorrentes do aquecimento global estão deslocando cada vez mais pessoas, e que já há mais deslocados por desastres naturais do que por conflitos armados. Porém, a Convenção de Refugiados de 1951 da ONU não previu mecanismos de proteção para esse tipo de deslocamento forçado, e as pessoas vítimas de desastres naturais encontram-se em situação de extrema vulnerabilidade, com necessidade de abrigo, apoio material e garantia de direitos civis.

Os dados de sensoriamento remoto, por suas características, podem ser um grande aliado no estudo, monitoramento e prevenção de desastres naturais. No entanto, apesar de hoje já ser possível adquiri-los de forma gratuita, principalmente em situação de emergência, pode-se dizer que nem 10% do seu potencial é utilizado pelos profissionais e pesquisadores, nas mais diferentes fases do desastre. Inicialmente, esses dados foram quase exclusivamente usados na fase de resposta, mas, com o aumento da preocupação da gestão do desastre, eles estão sendo empregados em todas as fases, apesar de ainda poderem ser muito mais explorados.

Levando isso em consideração, há muito tempo a Tania vinha acalentando a ideia de escrever um livro sobre sensoriamento remoto para desastres, que foi amadurecendo aos poucos até que, em setembro de 2013, em uma conferência sobre geotecnologias no Rio de Janeiro, depois de algumas cobranças, decidiu finalmente transformar essa ideia em realidade. Para isso, buscou a parceria de uma pesquisadora que ela sabia que seguramente concordaria em auxiliá-la a levar a bom termo essa grande tarefa. Uma mensagem para a María Silvia foi enviada, convidando-a para organizar este livro com a Tania, convite que foi aceito imediatamente.

Começamos então a definir os temas a serem abordados, os tipos de desastres que seriam apresentados no livro, considerando quais deles mais ocorriam na maioria dos países, e, por fim, a parte mais importante: o convite aos autores que nos auxiliariam a transformar o livro em realidade. Eles foram escolhidos pela sua experiência nas áreas de sensoriamento remoto e desastres naturais. A todos, dissemos que queríamos um livro de excelente qualidade, mas que fosse acessível aos profissionais tanto da área de sensoriamento remoto como de desastres naturais.

O livro, com nove capítulos, certamente não esgotou o assunto. Ao contrário, esperamos que ele seja apenas o primeiro de uma série de outros livros e publica-

---

ções que abordem sensoriamento remoto e desastres, e que principalmente encoraje o maior uso dessa tecnologia para a resposta, recuperação, reconstrução e preparação ao desastre.

Nós, as organizadoras, agradecemos à DigitalGlobe, ao USGS e ao International Charter Space Major Disasters por autorizar o uso da imagem do satélite GeoEye-1, da região de Nova Friburgo, estado do Rio de Janeiro, obtida no dia 20 de janeiro de 2011, para ilustrar a capa do livro. Agradecemos aos autores por aceitarem nosso convite e seguirem junto conosco nessa deliciosa aventura de tornar o livro uma realidade. A vocês, leitores, esperamos ter encorajado a ver no sensoriamento remoto uma ferramenta valiosa para prevenir e mitigar os danos causados pelos desastres.

# sumário

- 1 DESASTRES NATURAIS – 23
  - Silvia Midori Saito, Érico Soriano e Luciana de Resende Londe*
  - 1.1 Conceitos – 23
  - 1.2 Classificação de desastres naturais – 28
  - 1.3 Desastres naturais no mundo – 30
  - 1.4 Desastres naturais no Brasil – 34
  - 1.5 Considerações finais – 40
  
- 2 SENSORIAMENTO REMOTO PARA A GESTÃO (DE RISCO) DE DESASTRES NATURAIS – 43
  - Leandro Torres Di Gregorio, Silvia Midori Saito e Tania Maria Sausen*
  - 2.1 Conceitos – 43
  - 2.2 Prevenção e mitigação – 46
  - 2.3 Estudo de ameaças e vulnerabilidades – 47
  - 2.4 Construção de cenários de risco prováveis – 47
  - 2.5 Aplicações do sensoriamento remoto em prevenção e mitigação – 48
  - 2.6 Preparação – 50
  - 2.7 Monitoramento e alerta – 51
  - 2.8 Aplicações do sensoriamento remoto em preparação, com destaque para o monitoramento e o alerta – 52
  - 2.9 Resposta a desastres – 55
  - 2.10 Aplicações do sensoriamento remoto em resposta – 55
  - 2.11 Recuperação – 59
  - 2.12 Aplicações de sensoriamento remoto em recuperação – 61
  - 2.13 Prós e contras do uso de dados de sensoriamento remoto para a gestão de riscos de desastres naturais – 64
  
- 3 SISTEMAS SENSORES E DESASTRES – 69
  - Tania Maria Sausen e María Silvia Pardi Lacruz*
  - 3.1 Informações gerais e contextualização – 69
  - 3.2 Informações úteis que podem ser obtidas para o gerenciamento de desastres com o uso de dados de sensoriamento remoto – 76
  - 3.3 Gestão de desastres – 80
  - 3.4 Satélites e sensores para desastres naturais – 81

- 
- 4 ACESSIBILIDADE AOS DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO – 93  
*Juliano Lazaro, Ivan Márcio Barbosa e Igor da Silva Narvaes*
- 4.1 Acessibilidade a dados comerciais – 93
  - 4.2 Acesso a dados comerciais de sensores ópticos – 96
  - 4.3 Acesso a dados comerciais de sensores de micro-ondas – 97
  - 4.4 Quando comprar imagens em catálogo, programação ou programação emergencial? – 101
  - 4.5 História da recepção e gravação de dados de satélite no Inpe – 102
  - 4.6 Centro de Dados de Sensoriamento Remoto (CDSR) – 104
  - 4.7 International Charter Space and Major Disasters – 109
  - 4.8 Unidades funcionais do International Charter – 110
- 5 SENSORIAMENTO REMOTO PARA INUNDAÇÃO E ENXURRADA – 119  
*Tania Maria Sausen e Igor da Silva Narvaes*
- 5.1 O que é inundação e o que é enxurrada? – 119
  - 5.2 Os dados de sensoriamento remoto para a inundação e a enxurrada – 112
  - 5.3 Seleção dos dados de sensoriamento remoto para os estudos de inundação e enxurrada – 123
  - 5.4 Dados de micro-ondas para os mapeamentos de inundação – 132
  - 5.5 Mapas emergenciais de inundação – 137
  - 5.6 Mapas de perigo, risco e vulnerabilidade a inundação – 140
  - 5.7 Dados de sensoriamento remoto para sistemas de alerta e alarme para inundações e enxurrada – 142
- 6 SENSORIAMENTO REMOTO PARA SECA/ESTIAGEM – 149  
*Manoel de Araújo Sousa Júnior e María Silvia Pardi Lacruz*
- 6.1 Seca e estiagem – 150
  - 6.2 Uso de dados de sensoriamento remoto para o estudo de eventos de seca – 154
  - 6.3 Índices de seca – 156
  - 6.4 Índices de seca com o uso de sensoriamento remoto – 159
  - 6.5 Uso do sensoriamento remoto para a gestão da seca – 168
- 7 SENSORIAMENTO REMOTO PARA INCÊNDIOS FLORESTAIS – 175  
*Marcos Leandro Kazmierczak*
- 7.1 Contextualização – 175
  - 7.2 Fatores que afetam um incêndio florestal – 179
  - 7.3 Caracterização de incêndios florestais com dados de sensoriamento remoto – 181

- 
- 7.4 Monitoramento de incêndios florestais  
com dados de sensoriamento remoto – 184
  - 7.5 Mapas de áreas de risco de incêndios florestais – 189
  - 7.6 Mapas de avaliação do impacto de incêndios florestais – 191
  - 7.7 Quantificação de áreas afetadas por incêndios florestais – 192
  - 7.8 Melhores práticas para o uso de dados de  
sensoriamento remoto para incêndios florestais – 206
  - 7.9 Prós e contras do uso de dados de sensoriamento  
remoto para a avaliação de incêndios florestais – 207
- 8 SENSORIAMENTO REMOTO PARA DESLIZAMENTOS – 213  
*Eymar Silva Sampaio Lopes e Elias Ribeiro de Arruda Junior*
- 8.1 Introdução – 213
  - 8.2 Caracterização de eventos de deslizamento  
com dados de sensoriamento remoto – 222
  - 8.3 Dimensionamento de eventos de deslizamento  
com dados de sensoriamento remoto – 224
  - 8.4 Uso de dados históricos para eventos de deslizamento – 226
  - 8.5 Mapas de áreas de risco de deslizamento – 228
  - 8.6 Monitoramento de eventos de deslizamento – 237
  - 8.7 Avaliação de danos causados por eventos de deslizamento – 240
  - 8.8 Mapas emergenciais para resposta a eventos de deslizamento – 242
  - 8.9 Prós e contras do uso de dados de  
sensoriamento remoto para deslizamentos – 242
- 9 SENSORIAMENTO REMOTO PARA DERRAMAMENTO DE ÓLEO – 249  
*Cristina Maria Bentz e Patrícia Carneiro Genovez*
- 9.1 Derramamentos de óleo – 250
  - 9.2 Sensores remotos para derramamento de óleo: passivos e ativos – 253
  - 9.3 Aplicações na prevenção, planejamento  
e prontidão a derramamentos de óleo – 262
  - 9.4 Aplicações na resposta a derramamentos de óleo – 268
  - 9.5 Aplicações na avaliação de impactos e  
de ações de recuperação a derramamentos de óleo – 273



## DESASTRES NATURAIS

Silvia Midori Saito

Érico Soriano

Luciana de Resende Londe

### 1.1 CONCEITOS

AO LONGO DO TEMPO, ocorrem no planeta processos físicos de diferentes intensidades que fazem parte de sua dinâmica natural, como deslizamentos, terremotos, erupções vulcânicas e inundações. Esses processos sempre aconteceram, independentemente da ação do homem. No entanto, quando existe a interação desses processos com grupos sociais localizados em áreas específicas, causando prejuízo às atividades econômicas, ambientais ou humanas, acontecem os desastres naturais. A qualificação “natural” indica que a força motriz dos processos provém de um ou mais dos seguintes componentes: geológico, hidrológico, climatológico e meteorológico. Os impactos ocasionados podem ser acentuados por fatores socioeconômicos, como a falta de planejamento urbano e de uma implantação efetiva de políticas públicas para a prevenção de desastres.

Alguns estudos recentes questionam a categorização usada nos estudos de desastres (Narváez; Lavell; Pérez, 2009; Freitas et al., 2012). Esses autores argumentam que os desastres comumente chamados de naturais não são apenas fenômenos da natureza, mas também resultado de processos sociais não sustentáveis, que geram uma relação inadequada com o ambiente tanto natural quanto construído. Os desastres naturais, portanto, são resultado de modelos de desenvolvimento, e esse processo influencia direta e indire-

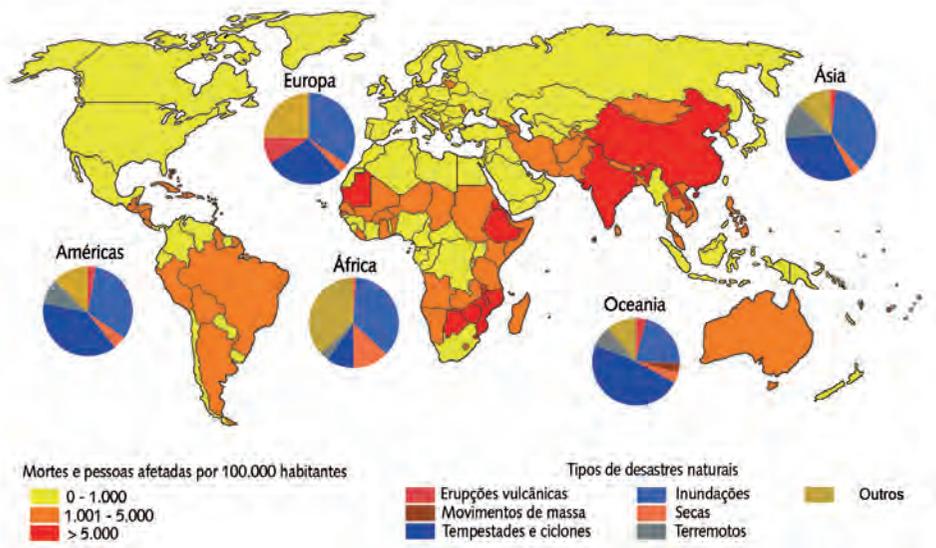


FIG. 1.2 Danos humanos e principais ocorrências de desastres naturais por continente, de 1974 a 2003

Fonte: adaptado de EM-DAT (s.d.-b).

Zelândia e a Tailândia sofreram grandes perdas econômicas, com prejuízos no valor de 12,8% e 12,7% de seu PIB, respectivamente.

A Fig. 1.3 mostra os prejuízos econômicos nos cinco continentes ocasionados por vários tipos de desastre. É interessante notar que inundações, tempestades, ciclones, terremotos e tsunamis têm impactos econômicos tão grandes que chegam a “mascarar” os prejuízos causados por outros tipos de desastre. Os movimentos de massa, por exemplo, ocasionam impacto econômico, mas o valor desse impacto é inferior ao de outros eventos. Geralmente os movimentos de massa ocorrem em conjunto com eventos hidrológicos, e às vezes é feito apenas um registro, englobando-se os movimentos de massa em outros registros.

## 1.4 DESASTRES NATURAIS NO BRASIL

No Brasil, a temática de desastres naturais esteve associada, historicamente, às ações de resposta a emergências. Por essa razão, a Defesa Civil desempenhou no País papel relevante no desenvolvimento de material técnico e termos legais, ainda que sua atuação não se restringisse a resposta e reconstrução. Em termos de classificação de desastres naturais, até o ano de 2012 a Sedec adotava a Codificação de

# dois

## SENSORIAMENTO REMOTO PARA A GESTÃO (DE RISCO) DE DESASTRES NATURAIS

Leandro Torres Di Gregorio

Silvia Midori Saito

Tania Maria Sausen

### 2.1 CONCEITOS

A OCORRÊNCIA/RECORRÊNCIA de desastres naturais de grande porte em diversos países fez com que a Organização das Nações Unidas (ONU) instituísse, em 2000, a Estratégia Internacional para Redução de Desastres (Eird), para promover a sinergia e coordenar as atividades socioeconômicas, humanitárias e de desenvolvimento relacionadas à redução dos desastres no mundo.

No Brasil, a preocupação com o tema é recente. Historicamente, nota-se que as primeiras iniciativas de minimização das consequências geradas pelos desastres naturais foram realizadas na década de 1990, por alguns órgãos públicos municipais e estaduais, como o Plano Preventivo de Defesa Civil do Estado de São Paulo e outras ações pontuais em municípios como Recife, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e Santos (Nogueira, 2008). Ao longo dos últimos anos, um esforço significativo vem sendo empregado no intuito de construir, no Brasil, uma prática em gestão de risco de desastres, e não somente a gestão de desastres, ou seja, aquela ligada apenas às ações de resposta.

De acordo com Houaiss (2003), a palavra “gestão” significa “ato de gerir”; “gerir”, por sua vez, vem de *gerere*, palavra de origem latina que quer dizer “ter gerência sobre, administrar”. A etimologia remete, portanto, ao conhecimento amplo

Por exemplo, a magnitude de um desastre de movimentos de massa em uma região sob risco geodinâmico dependerá do acumulado de chuvas e da intensidade horária. Nesse sentido, Tatizana, Ogura e Rocha (1987) apresentam diferentes envol- tórias de relação entre intensidade e chuva acumulada para o setor de Refinaria do município de Cubatão (SP), numa escala de gradação crescente de magnitude, para os seguintes processos: escorregamentos induzidos, escorregamentos esparsos, escorregamentos generalizados e corridas de lama. Nesse exemplo, a construção de cenários de risco deve ser feita para cada tipo de processo e procurar estabelecer a distribuição espacial dos eventos, a evolução dos processos conforme a dinâmica do agente deflagrador e os danos potenciais associados.

De forma simplificada, o processo de construção de cenários de risco para uma região pode ser representado conforme a Fig. 2.3.

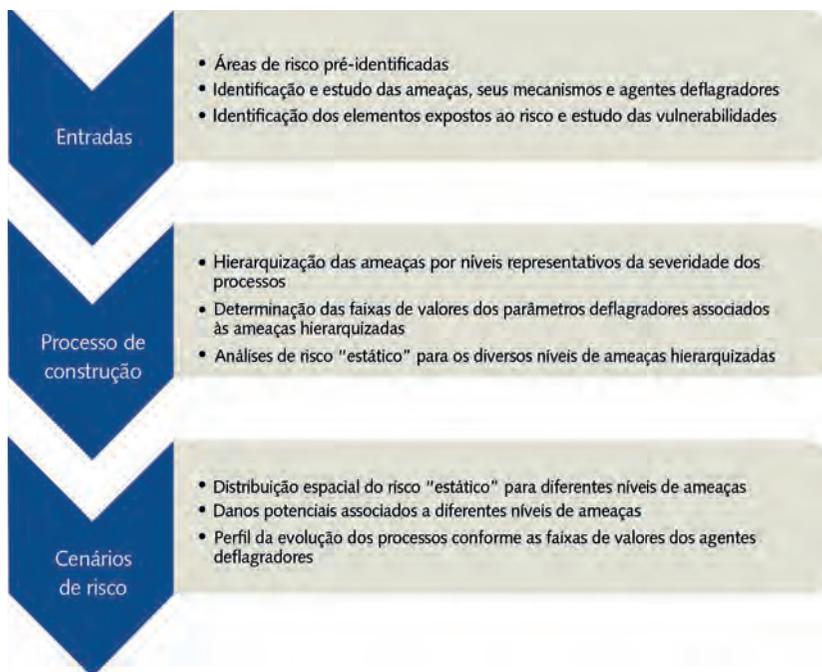


FIG. 2.3 Representação do processo de construção de cenários de risco

## 2.5 APLICAÇÕES DO SENSORIAMENTO REMOTO EM PREVENÇÃO E MITIGAÇÃO

Em termos conceituais, o conhecimento das ameaças está intimamente relacionado com a avaliação da suscetibilidade, ou seja, as condições presentes em um território

# três

## SISTEMAS SENSORES E DESASTRES

*Tania Maria Sausen*

*María Silvia Pardi Lacruz*

### **3.1 INFORMAÇÕES GERAIS E CONTEXTUALIZAÇÃO**

OS DESASTRES NATURAIS cada vez mais chamam a atenção pela sua magnitude, frequência, danos causados em bilhões de dólares e elevado número de vidas ceifadas. Cientistas, planejadores e tomadores de decisão do mundo inteiro buscam formas, soluções e ferramentas para desenvolver sistemas que lhes permitam prever, prevenir, monitorar e gerar alertas e alarmes que possam auxiliar na redução de danos e evitar, de forma decisiva, a perda de vidas humanas. O sensoriamento remoto é uma ferramenta ideal para o gerenciamento de desastres, uma vez que oferece informações sobre grandes áreas em curtos intervalos de tempo. Ele possibilita também a coleta de informações em áreas inacessíveis, com dificuldade de acesso por causa do colapso da infraestrutura, ou restritas por problemas sociopolíticos, onde não existem ou são esparsas as estações de coleta de dados no campo. Não raro, em alguns casos os dados de satélites de sensoriamento remoto são a única alternativa para a obtenção de informação rápida, consistente e confiável.

Embora o sensoriamento remoto seja útil para todas as fases do gerenciamento do desastre (prevenção, preparação, alerta, resposta, mitigação e reconstrução), na prática tem sido utilizado para o monitoramento e o alerta e principalmente na fase de resposta. Nas últimas décadas, ele se

- 
- pontes que foram afetadas e das que permanecem em boas condições de uso;
  - \* apoio para a escolha dos locais de instalação dos hospitais de campanha e do centro de distribuição de donativos por meio da caracterização das áreas afetadas e das áreas preservadas;
  - \* planejamento das ações de evacuação;
  - \* planejamento de rotas de busca e resgate de vítimas na área afetada;
  - \* estabelecimento de rotas alternativas de trânsito na área afetada.

### 3.2.3 FASE DE RECUPERAÇÃO

- \* cálculo dos danos;
- \* identificação de locais para reabilitação;
- \* monitoramento dos trabalhos de recuperação;
- \* recuperação das áreas afetadas (residenciais, comerciais e instalações críticas, como hidroelétricas, termoeletricas, usinas nucleares, pontes, estradas, barragens, gasodutos e oleodutos);
- \* geração de mapas do processo de recuperação.

Essas aplicações são gerais para a maioria dos desastres, porém há casos que são específicos de acordo com o fenômeno. O Quadro 3.1 mostra alguns usos específicos do sensoriamento remoto para o gerenciamento de determinados desastres.

**QUADRO 3.1** USOS ESPECÍFICOS DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA O GERENCIAMENTO DE DETERMINADOS DESASTRES

<b>Inundação</b>	Preparação, prevenção e mitigação	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Zoneamento da planície de inundação</li> <li>* Monitoramento e avaliação do risco e/ou de ocorrências de transbordamento de cursos de água</li> <li>* Caracterização e mapeamento de áreas com potencial de inundação, como planícies fluviais</li> </ul>
	Resposta	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Monitoramento da evolução do evento (data da ocorrência do evento, período estimado do pico de inundação, extensão e localização do evento)</li> </ul>
	Recuperação	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Mapeamento da extensão da inundação para ter uma rápida avaliação dos danos causados (áreas agrícolas e cidades afetadas, rodovias e estruturas viárias afetadas) e iniciar as ações de recuperação</li> <li>* Recuperação das áreas afetadas (residenciais, comerciais e instalações críticas, como hidroelétricas, termoeletricas, usinas nucleares, pontes, estradas, barragens, gasodutos e oleodutos)</li> </ul>

# quatro

## ACESSIBILIDADE AOS DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

*Juliano Lazaro*

*Ivan Márcio Barbosa*

*Igor da Silva Narvaes*

### **4.1 ACESSIBILIDADE A DADOS COMERCIAIS**

EM SE TRATANDO DO ACESSO aos dados comerciais de sensoriamento remoto, a primeira pergunta que vem à cabeça da maioria dos gestores públicos é por que gastar dinheiro comprando dados de sensoriamento remoto se existe a opção de acessá-los gratuitamente. Para outros, a questão do dinheiro é menos importante se comparada com a burocracia de um processo de compra, mesmo na hipótese de uma contratação por inexigibilidade de licitação por se tratar de uma emergência. Entretanto, os dados comerciais têm características especiais que devem ser consideradas.

Os operadores comerciais de sistemas de sensoriamento remoto cobram por seus dados porque oferecem um atendimento dedicado e exclusivo, com capacidade de programação dos satélites para atenderem a requisitos de datas das coletas, ângulo de visada, resolução, processamento das imagens, serviços de valores agregados etc.

Os operadores de satélites comerciais costumam fornecer seus dados ao mercado por meio de dois modelos de negócio distintos: por uma rede de distribuidores locais ou por uma estação de recepção de dados diretamente do sistema.

Para contratos individuais, o atendimento é feito por meio da rede de distribuidores locais, que normalmente são empresas especializadas em comercialização de dados de

---

a deslocamentos do terreno e também áreas logo após os eventos, para verificar quais delas sofreram alguma variação em sua estrutura geológica, já que a cobertura sinóptica de dados interferométricos gerados pela constelação SAR presente permite que essa técnica cubra grandes áreas, difíceis de serem detectadas por outros meios.

#### **4.4 QUANDO COMPRAR IMAGENS EM CATÁLOGO, PROGRAMAÇÃO OU PROGRAMAÇÃO EMERGENCIAL?**

Todas as opções existem para serem usadas, mas a atividade do gestor de risco deve começar em tempos de calma, priorizando ações preventivas para evitar ações corretivas. A máxima “melhor prevenir do que remediar” deveria ser seguida à risca por todos os gestores. Historicamente, o Brasil gasta 8,5 vezes mais em remediação do que em prevenção a desastres naturais, mas esse quadro, felizmente, tende a ser revertido. Recentemente, a Lei nº 12.608 (Brasil, 2012) instituiu a nova Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, cuja maior novidade foi a ênfase dada à prevenção dos desastres naturais, sendo dado destaque também aos planejamentos territorial, ambiental e urbano.

A lei altera o Estatuto das Cidades e inclui, pela primeira vez no País, a obrigatoriedade da carta geotécnica (mapeamento) como ferramenta de planejamento, inclusive para o acesso a recursos que viabilizem obras emergenciais ou preventivas nos municípios suscetíveis a processos que podem gerar desastres com muitas vítimas e grandes danos materiais.

O primeiro reflexo dessa lei é um recente, importante e inovador projeto no Brasil de produção de mapas de suscetibilidade a desastres, ou seja, mapas que indicam quais são as áreas dentro do território municipal suscetíveis a deslizamentos de terra ou inundações. De posse desse tipo de mapa, os gestores públicos conseguem planejar a expansão das áreas urbanas, evitando essas áreas que, se ocupadas e ocorrendo o deslizamento ou a inundação, seriam palco de desastres. Quanto mais controle houver na análise prévia, menos casos de desastre serão registrados.

Para a geração desses mapas de suscetibilidade, podem ser usados dados de sensoriamento remoto em catálogo e pode ser feita a programação de novos dados de satélite e também de sensores aerotransportados, capazes de gerar modelos digitais de terreno (MDTs) precisos, essenciais para extrair as linhas de drenagem e a declividade da topografia.

As *imagens em catálogo* são o modo mais econômico e rápido para gerar mapas preventivos. A *programação de novos dados* é aconselhada quando não houver catálogo disponível ou os existentes estiverem muito desatualizados, e a *programação*



# cinco

## SENSORIAMENTO REMOTO PARA INUNDAÇÃO E ENXURRADA

Tania Maria Sausen  
Igor da Silva Narvaes

### 5.1 O QUE É INUNDAÇÃO E O QUE É ENXURRADA?

A INUNDAÇÃO é o tipo de desastre que mais prevalece no mundo e o que tem o maior número de eventos e causa as maiores perdas econômicas, afetando um número elevado de pessoas. Entre todos os tipos de desastre natural, ela é provavelmente o mais devastador e o que abrange maior área e ocorre com maior frequência. Trata-se de um evento natural e recorrente para um rio, e estatisticamente a inundação média anual é igualada ou excedida a cada 2,33 anos.

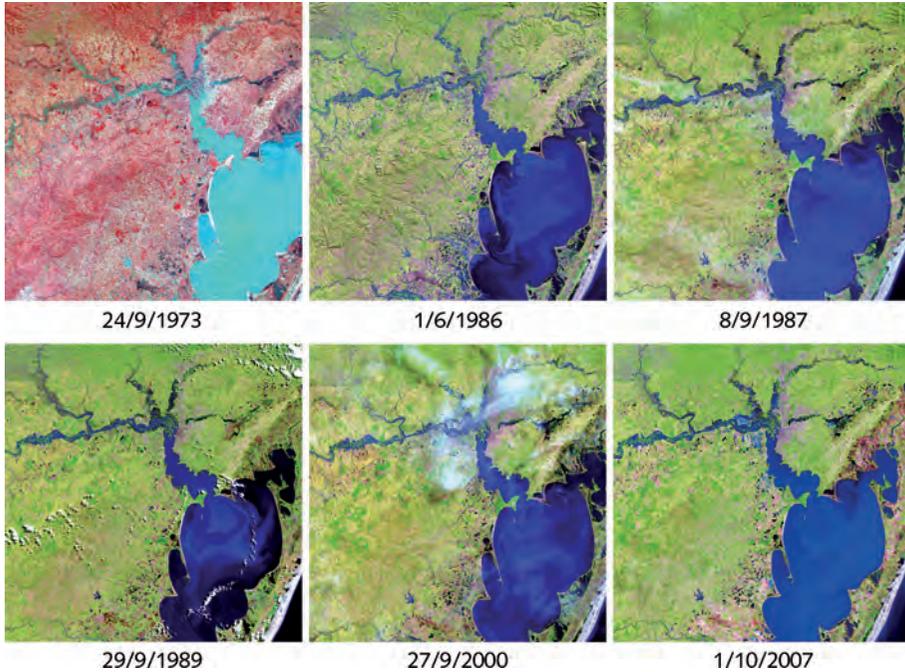
Os eventos de inundação são responsáveis por quase 55% de todos os desastres registrados e por aproximadamente 72,5% do total de perdas econômicas ao redor do mundo. Anualmente, as inundações causam danos a cidades, rodovias, infraestrutura e agricultura, com altíssimos custos em vidas e para a economia como um todo.

Vários fatores contribuem para a ocorrência desse tipo de desastre, entre os quais a intensidade e a duração das precipitações, o derretimento de neve, o desmatamento, práticas inadequadas de uso do solo, e a sedimentação de leitos e a obstrução de canais de rios, as quais ocorrem de forma natural ou são feitas pelo homem.

De acordo com Castro (2005, p. 102), a inundação é o “transbordamento de água da calha normal de rios, mares, lagos e açudes, ou acumulação de água por drenagem defi-



mento remoto do mundo, estão disponíveis em acervos do Inpe e do USGS desde junho de 1973 (Fig. 5.7).



**FIG. 5.7** Série histórica de inundações na bacia do Guaíba (RS) com composições coloridas de imagens Landsat/MSS e Landsat/TM  
Fonte: modificado de Inpe/DGI.

As séries temporais de dados de sensoriamento remoto são muito úteis para a gestão de desastres como inundações, uma vez que possibilitam a identificação, entre outros:

- \* do local preferencial de ocorrência das inundações ao longo dos anos;
- \* das áreas potenciais de inundações;
- \* da magnitude das inundações em diferentes anos e se está se modificando em função do uso e da cobertura do solo;
- \* da época do ano em que preferencialmente ocorrem as inundações em uma dada área;
- \* de mudanças temporais.



# seis

## SENSORIAMENTO REMOTO PARA SECA/ESTIAGEM

Manoel de Araújo Sousa Júnior

María Silvia Pardi Lacruz

A SECA É O MAIS COMPLEXO e o menos entendido de todos os desastres naturais e o que afeta mais pessoas (Hagman, 1984). Esse fenômeno pode ocorrer em mais da metade da superfície terrestre a cada ano e difere de outros desastres naturais em três aspectos: duração e evolução do evento, falta de uma definição precisa e universalmente aceita de seca e abrangência dos impactos.

Os efeitos da seca frequentemente se acumulam lentamente ao longo de um período considerável de tempo, não sendo visíveis ou percebidos no início e podendo prolongar-se durante muitos anos depois do fim do evento (Wilhite, 2000). É difícil determinar o início e o fim de uma seca, assim como os critérios que podem ser utilizados para tal. Por exemplo, a seca termina quando as precipitações voltam ao normal? Ou por quanto tempo devem ocorrer precipitações em níveis normais para que se possa definir o fim do evento? Se a seca é um *deficit* de chuvas, é preciso que as novas precipitações compensem esse *deficit* para que se possa definir o fim dela? (WMO, 2006).

A falta de uma definição precisa e universalmente aceita desse fenômeno gera confusão ao se definir se um evento realmente é de seca ou qual sua severidade. Os impactos da seca são menos óbvios e estão mais dispersos numa grande área geográfica, o que faz com que a quantificação desses impactos seja mais difícil para esse tipo de desastre do que para outros. Essas diferenças têm prejudicado o desenvolvi-



**TAB. 6.1** RANGE DOS VALORES DO ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO PADRONIZADA (SPI)

$SPI \leq -2,00$	Extremamente seco
$-2,00 < SPI \leq -1,50$	Severamente seco
$-1,50 < SPI \leq -1,00$	Moderadamente seco
$-1,00 < SPI \leq 1,00$	Normal
$1,00 < SPI \leq 1,50$	Moderadamente úmido
$1,50 < SPI \leq 2,00$	Severamente úmido
$SPI > 2,00$	Extremamente úmido

Fonte: modificado de WMO (2012).

O SPI é o índice mais utilizado para o monitoramento da seca, pois determina o início e a duração do evento, fixando o valor médio e o desvio padrão, o que é uma pré-condição para a comparação de valores dos índices entre diferentes localidades ou regiões. Assim, a frequência de eventos de seca é comparável entre diferentes locais, e o impacto desses eventos sobre a disponibilidade dos diferentes recursos hídricos está relacionado com as escalas de tempo.

Como principais vantagens, o SPI apresenta a simplicidade, pois são utilizados somente dados de precipitação para o cálculo; a escala de tempo variável, que define se se trata de uma seca meteorológica, agrícola ou hidrológica; e a padronização, que relaciona os eventos para qualquer escala de forma consistente. Como desvantagem, o SPI pode gerar valores errôneos tanto positivos quanto negativos para áreas com pouca precipitação sazonal, porque a precipitação não tem uma distribuição normal e o índice não é capaz de identificar regiões propensas à seca.

## 6.4 ÍNDICES DE SECA COM O USO DE SENSORIAMENTO REMOTO

Uma nova maneira de detecção e monitoramento da seca surgiu com o desenvolvimento de sensores orbitais de observação da Terra, principalmente no domínio óptico e do infravermelho. Com essa informação é possível desenvolver e adaptar técnicas para identificar, monitorar e quantificar a seca e, assim, entender melhor características como severidade, início do evento e sua extensão espacial. Isso devido à abrangência dos dados gerados pelos sensores, sendo possível fornecer uma base mais eficiente para o gerenciamento, o alerta e a avaliação desse fenômeno (Niemeyer, 2008).

A alta taxa de obtenção de dados e a cobertura regional ou global permitem a derivação da informação verdadeiramente espacial, assim os índices de seca têm um grande potencial de melhorar estudos sobre esse fenômeno.



Índice de condição da vegetação (VCI) e índice de condição da temperatura (TCI)

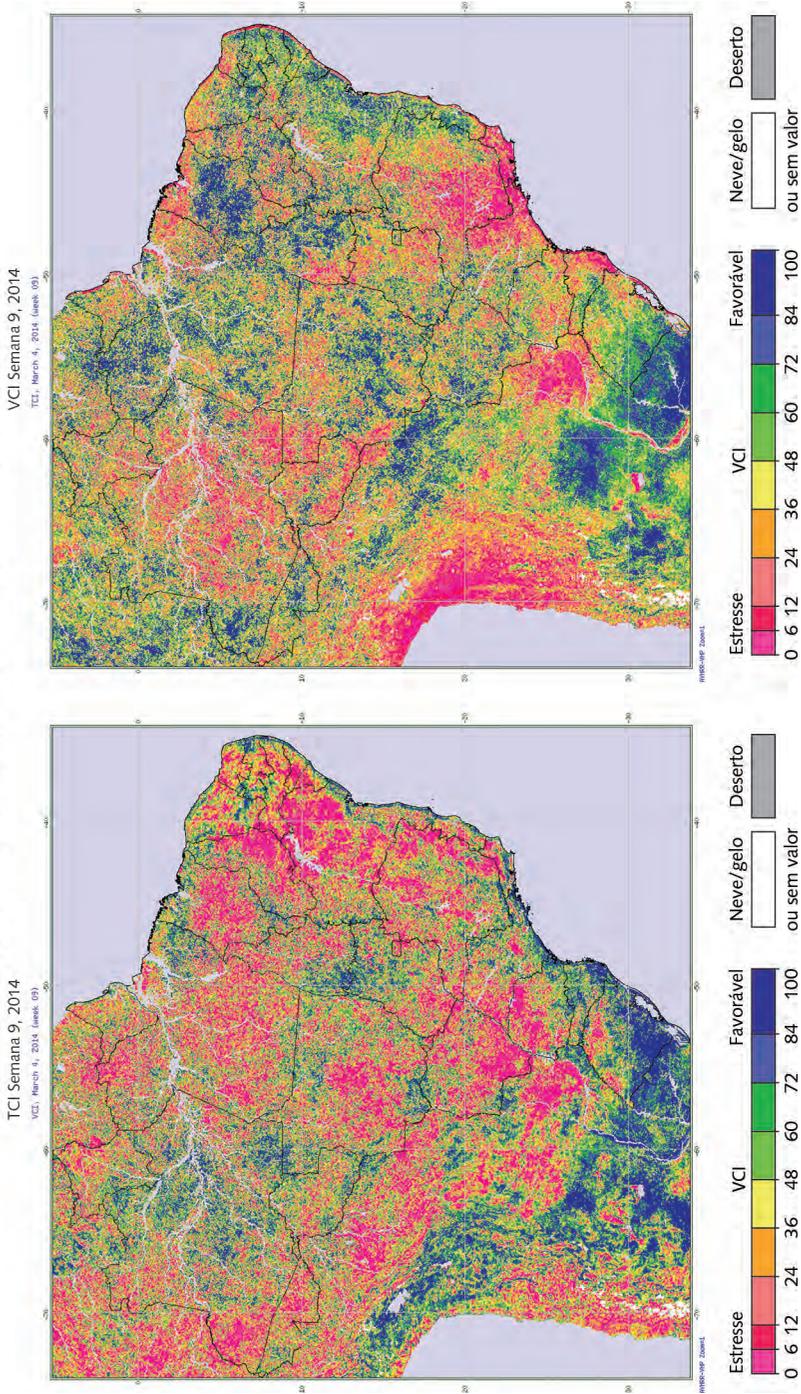


FIG. 6.5 Composição de sete dias do Índice de Condição da Vegetação (VCI) e do Índice de Condição da Temperatura (TCI) para a semana de 4 de março de 2014, gerados com imagens NOAA/AVHRR de resolução espacial de 4 km

Fonte: Star. Disponível em: <[http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/vh/vh\\_browseByCountry.php](http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/vh/vh_browseByCountry.php)>. Acesso em: 25 mar. 2014.



# sete

## SENSORIAMENTO REMOTO PARA INCÊNDIOS FLORESTAIS

Marcos Leandro Kazmierczak

### 7.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O INCÊNDIO FLORESTAL é considerado um desastre natural climatológico na Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (Cobrade), de acordo com a Instrução Normativa n. 1 (Brasil, 2012). Com frequência, há confusão entre os termos *incêndio florestal* e *queimada*, este de uso popular e que se refere a qualquer tipo de queima da vegetação, incluindo renovação dos pastos, queima de resíduos de culturas agrícolas e novos desmatamentos (Setzer; Morelli; Lombardi, 2007). De acordo com Silva (1998 apud Custódio, 2006), as queimadas são a

aplicação controlada de fogo na vegetação natural ou plantada, sob determinadas condições ambientais que permitam ao fogo manter-se confinado em uma determinada área e ao mesmo tempo produzir uma intensidade de calor e velocidade de espalhamento desejáveis aos objetivos de manejo.

As queimadas não são consideradas desastres naturais, diferenciando-se dos incêndios florestais por serem uma prática bastante antiga dos agricultores, destinada principalmente à limpeza do terreno para o cultivo de plantações ou a formação de pastos. Quando fogem do controle, podem causar incêndios em áreas florestais. De acordo com Castro (2007), os incêndios florestais estão relacionados à intensa redução das precipitações hídricas. Eles se caracterizam pela propagação do fogo em áreas florestais e savanas (cerra-



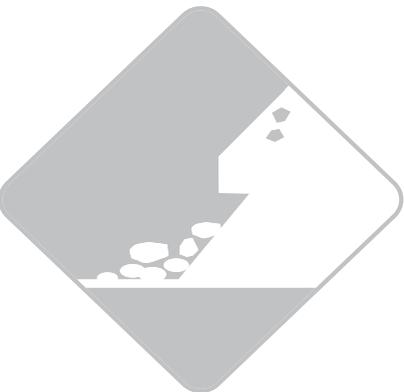
tais. Sua abordagem tenta gerir esses incêndios e avaliar seu impacto em vez de simplesmente tentar suprimi-los. Visa integrar a segurança civil com aspectos de gestão ambiental, com ênfase para a mitigação dos efeitos de incêndios florestais. Esse sistema foi endossado pelo Canadian Interagency Forest Fire Centre (CIFFC) e seus membros. A versão Prometheus 5.0 está disponível desde 11 de janeiro de 2013 em <<http://www.firegrowthmodel.ca>>.

#### **7.4 MONITORAMENTO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS COM DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

A disponibilidade de dados orbitais desde 1972 permite avaliar a ocorrência de incêndios florestais durante e após um determinado evento ocorrido nesses 42 anos. Com a facilidade de acesso propiciada pela internet, os usuários encontram catálogos disponíveis em instituições comerciais (operadoras de satélites como BlackBridge, Airbus Defence & Space, DigitalGlobe e ImageSat) e em instituições públicas nacionais (Inpe) e internacionais (Nasa, ESA, CSIRO, CNES, Jaxa). No Brasil, o Inpe, entre seus diversos objetivos, desenvolve tecnologias e aplicações com satélites artificiais e também produtos relacionados ao meio ambiente, ao tempo e ao clima, de grande valor para a sociedade. Imagens Landsat (1, 2, 3, 5 e 7), CBERS (2 e 2B), Resourcesat-1, Aqua e Terra podem ser consultadas por meio do endereço <[http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/index\\_pt.php](http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/index_pt.php)>.

Outro banco de dados disponível no site do Inpe é o de focos de incêndios florestais e queimadas, que pode ser acessado em <<http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/>>. A detecção de incêndios florestais e queimadas vem sendo realizada por esse instituto desde 1987 e é constantemente aperfeiçoada desde 1998, com o apoio do Programa Nacional Proarco, do Ibama. Para isso, o Inpe utiliza todos os satélites que possuem sensores ópticos operando na faixa de 4  $\mu\text{m}$  cujas imagens são recebidas em suas instalações (estações de Cachoeira Paulista, Cuiabá e Natal): NOAA-15, NOAA-16, NOAA-18, NOAA-19, Terra, Aqua, Goes-13, MSG-2 e NPP. Em 2014, está previsto o início da recepção das imagens AVHRR do satélite MetOp.

A disponibilidade de dados de acervo e de dados que são coletados diariamente de forma sistemática (sem necessidade de programação por parte do usuário) é um fator extremamente relevante, no sentido de que essa alta resolução temporal permite avaliar a ocorrência e a recorrência de incêndios florestais em qualquer área de interesse. Para ilustrar o monitoramento de incêndios florestais por meio de séries históricas de dados de sensoriamento remoto e apresentar um panorama de sua ocorrência no Brasil, os resultados apresentados neste item referem-se ao estudo elabora-



# oito

## SENSORIAMENTO REMOTO PARA DESLIZAMENTOS

Eymar Silva Sampaio Lopes  
Elias Ribeiro de Arruda Junior

### 8.1 INTRODUÇÃO

O TERMO *deslizamento* é considerado neste livro sinônimo do termo mais técnico *escorregamento*. Entretanto, vê-se que o *escorregamento* é apenas um dos tipos de movimento gravitacional de massa a que as encostas de morros estão submetidas.

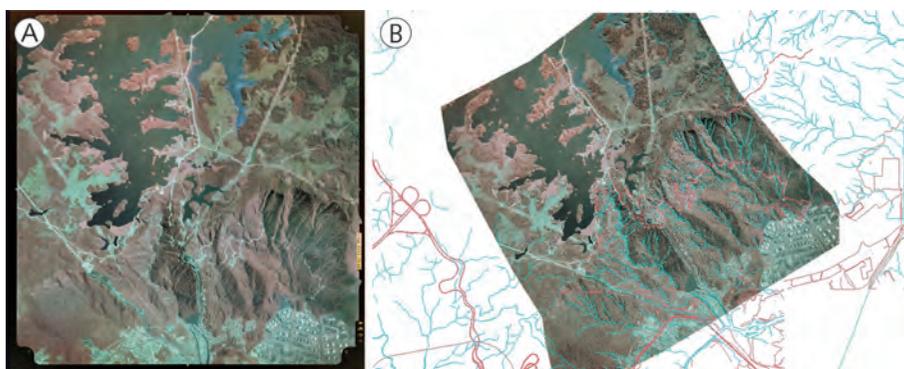
Os *escorregamentos* e processos correlatos, segundo Cerri (1993, 2001), estão entre os riscos ambientais naturais relacionados ao meio físico e geológico e ainda de origem exógena. Os *escorregamentos* são movimentos gravitacionais de massa que têm sido intensamente estudados em diversos países e por diferentes profissionais (Guidicini; Nieble, 1984) tanto pela sua importância como agente atuante na evolução das formas de relevo quanto pelas suas implicações práticas e econômicas, pois normalmente estão relacionados com atividades antrópicas, deixando de ter um caráter estritamente natural.

Os movimentos de massa correspondem a um dos processos erosivos mais importantes na modelagem do relevo na escala de tempo do homem, além de se constituírem como processos atuais da evolução natural das encostas (Wolle, 1988). Em tais condições, a geometria e a localização do relevo são alteradas por sucessivos ciclos de *escorregamentos*, *escoamentos* e *rastejos*. Desse modo, o clima representa nesse processo um papel importante tanto como agente



Antes de extrair as cicatrizes de escorregamentos, independentemente da forma de extração, seja manualmente, por interpretação visual, seja automaticamente, por métodos de classificação, as imagens devem ser processadas adequadamente para cada tipo de sensor, principalmente no que se refere às técnicas de correção geométrica, como a ortorretificação.

A Fig. 8.7 mostra uma fotografia aérea original e sua versão corrigida, em que é possível observar um bom ajuste com a base de referência. Sem a ortorretificação dessa imagem seria impossível mapear as cicatrizes nessa região, principalmente pela variação topográfica (numa região como o litoral paulista, em uma mesma foto, a amplitude topográfica pode atingir até 800 m).



**FIG. 8.7** (A) Fotografia aérea original e (B) imagem ortorretificada (voo de 1985/Inpe)  
Fonte: Lopes (2006).

A elaboração do inventário de cicatrizes de escorregamentos permite conhecer as regiões onde o processo se desenvolveu com maior ou menor intensidade, o que auxilia tanto na compreensão dos fatores condicionantes do processo quanto no mapeamento dos locais com maior ocorrência histórica de movimentos de massa e com maior probabilidade de reincidência.

A Fig. 8.8 apresenta um mapa de inventário de cicatriz de escorregamentos e a tabela de atributos associada, armazenados no banco de dados. Cada linha da tabela corresponde a uma cicatriz no mapa.

## 8.5 MAPAS DE ÁREAS DE RISCO DE DESLIZAMENTO

No caso dos escorregamentos, para vários autores, como Einstein (1988), Cooke e Doornkamp (1990) e Fernandes e Amaral (2003), a suscetibilidade corresponde ao próprio perigo. Partindo desse princípio, a suscetibilidade será tratada como o



**QUADRO 8.4** CLASSES DE ESTABILIDADE DO SHALSTAB

Classe	Classes de estabilidade	Possível influência de fatores não modelados
A	Incondicionalmente estável e saturado	$a/b > (T/Q)\text{sen}\theta$ e $\text{tg}\theta \leq \text{tg}\emptyset(1 - \rho_w/\rho_s)$
B	Incondicionalmente estável e não saturado	$a/b < (T/Q)\text{sen}\theta$ e $\text{tg}\theta \leq \text{tg}\emptyset(1 - \rho_w/\rho_s)$
C	Estável e não saturado	$\frac{a}{b} < \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\text{tg}\theta}{\text{tg}\emptyset}\right) \frac{T}{Q} \text{sen}\theta$ $a/b < (T/Q)\text{sen}\theta$ e $\text{tg}\emptyset(1 - \rho_w/\rho_s) < \text{tg}\theta < \text{tg}\emptyset$
D	Instável e não saturado	$\frac{a}{b} \geq \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\text{tg}\theta}{\text{tg}\emptyset}\right) \frac{T}{Q} \text{sen}\theta$ $a/b < (T/Q)\text{sen}\theta$ e $\text{tg}\emptyset(1 - \rho_w/\rho_s) < \text{tg}\theta < \text{tg}\emptyset$
E	Instável e saturado	$\frac{a}{b} > \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\text{tg}\theta}{\text{tg}\emptyset}\right) \frac{T}{Q} \text{sen}\theta$ $a/b > (T/Q)\text{sen}\theta$ e $\text{tg}\emptyset(1 - \rho_w/\rho_s) < \text{tg}\theta < \text{tg}\emptyset$
F	Incondicionalmente instável e não saturado	$\text{tg}\theta > \text{tg}\emptyset$ e $a/b < (T/Q)\text{sen}\theta$
G	Incondicionalmente instável e saturado	$\text{tg}\theta > \text{tg}\emptyset$ e $a/b > (T/Q)\text{sen}\theta$

Fonte: Dietrich e Montgomery (1998).

Os modelos Sinmap e Shalstab mostrados anteriormente são os mais utilizados na previsão de áreas suscetíveis a escorregamentos translacionais rasos em encostas, apresentando resultados satisfatórios e amplamente discutidos na literatura. No entanto, outros modelos já foram utilizados para a mesma finalidade, a maioria deles utilizando também a combinação do modelo de estabilidade por talude infinito com o modelo hidrológico. Pode ser citado como exemplo o modelo *transient rainfall infiltration and grid-based regional slope-stability* (TRIGRS), direcionado para a previsão de escorregamentos translacionais rasos induzidos por eventos pluviométricos, que foi desenvolvido por Baum, Savage e Godt (2002) para calcular a variação do FS em diferentes profundidades de solo, conforme as mudanças da carga de pressão ao longo de um evento pluviométrico.

### 8.5.3 MÉTODOS EMPÍRICOS

Já nos modelos empíricos, os relacionamentos espaciais entre as variáveis de estudo são estimados por critérios estatísticos, ou seja, com base em amostras de uma região experimental ou em um conjunto de classes, sendo os limiares dessas classes definidos por especialistas (Moreira et al., s.d.).



# nove

## SENSORIAMENTO REMOTO PARA DERRAMAMENTO DE ÓLEO

*Cristina Maria Bentz*

*Patrícia Carneiro Genovez*

OS HIDROCARBONETOS na forma de óleo constituem uma das principais fontes de energia para o mundo industrializado contemporâneo, estando desigualmente distribuídos ao redor da Terra. As bacias sedimentares com as melhores reservas podem estar longe das áreas de maior consumo, o que faz com que tempo e recursos consideráveis sejam gastos no transporte por longas distâncias de grandes quantidades de óleo por embarcações ou dutos. Além dos riscos envolvidos no transporte, há a possibilidade de ocorrência de acidentes nas diferentes etapas de exploração, produção e refino do petróleo, mesmo que os melhores procedimentos preventivos sejam adotados.

Apesar de os registros históricos indicarem a diminuição da frequência de grandes desastres (Ferraro; Baschek; Montpellier, 2010), derramamentos de grandes proporções como os dos navios Exxon Valdez, no Alasca, em 1989, e Prestige, na costa espanhola, em 2002, e o da plataforma Deepwater Horizon (DWH), no Golfo do México, em 2010, alertam para os riscos presentes nas atividades petrolíferas, principalmente em áreas costeiras e oceânicas (Al-Majed; Adebayo; Hossain, 2012; Leifer et al., 2012).

A busca por novas reservas e o histórico crescimento da produção e do consumo mundial de petróleo aumentam o risco potencial de novos derramamentos, especialmente

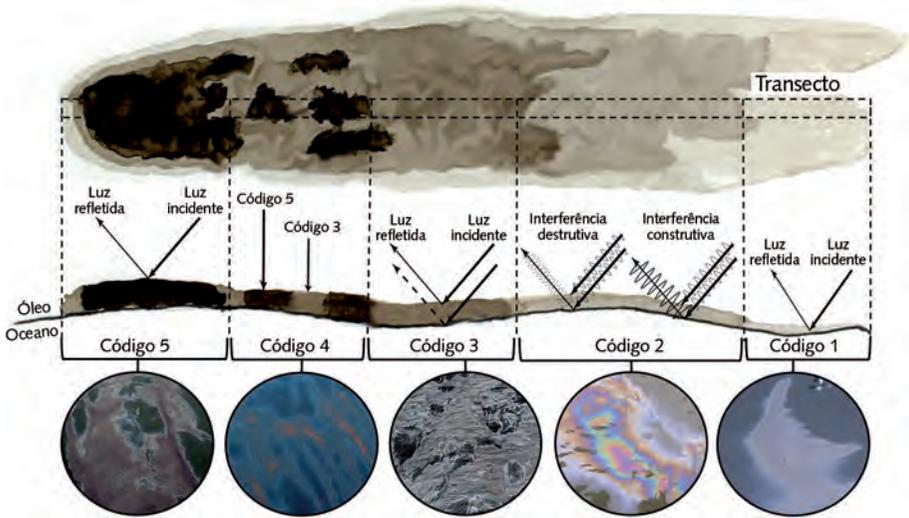


FIG. 9.1 Mancha de óleo hipotética indicando, ao longo do transecto: i) aparência e espessura de diferentes códigos e ii) mecanismos de reflexão da luz incidente  
Ilustração em aquarela: Sarita Carneiro Genovez.

e iluminação também alteram significativamente a percepção da aparência das manchas na superfície do mar (Clark et al., 2010). Adicionalmente, a maioria das manchas evoluem rapidamente para misturas emulsificadas de óleo e água, em diferentes proporções, com aparência coesa e cor marrom-alaranjada, normalmente com espessuras superiores a 1 mm. Dessa forma, a identificação visual das diferentes aparências e as estimativas de espessura e volume são tarefas complexas e subjetivas.

Em áreas terrestres, estimar o volume e a extensão de derramamentos constitui uma tarefa ainda mais difícil e desafiadora, considerando que o óleo não permanece somente na superfície, mas migra através do solo, podendo atingir o lençol freático, lagos e rios e alcançar extensões imprevisíveis, muitas vezes impossíveis de serem identificadas e dimensionadas visualmente. O grau de espalhamento e absorção do óleo vai depender do tipo e da permeabilidade do solo, assim como da inclinação, uso e cobertura do terreno.

## 9.2 SENSORES REMOTOS PARA DERRAMAMENTO DE ÓLEO: PASSIVOS E ATIVOS

As tecnologias de sensoriamento remoto são consideradas estratégicas, com potencial de auxiliar, de forma direta e indireta, em diferentes atividades. Para a



de faixas de dutos, infraestruturas lineares e extensas, que atravessam diferentes contextos geomorfológicos (Bentz; Riedel, 2012).

## 9.4 APLICAÇÕES NA RESPOSTA A DERRAMAMENTOS DE ÓLEO

Ações de resposta a derramamentos de óleo buscam minimizar possíveis impactos por meio de procedimentos de contenção e recolhimento do óleo, proteção de áreas ameaçadas e recuperação de áreas contaminadas (API, 2013). Para todos os cenários possíveis, a integração de dados provenientes de múltiplas fontes (verificações de campo, inspeções aéreas e sensoriamento remoto) é essencial para fornecer as informações necessárias e auxiliar no planejamento, monitoramento e execução das ações de resposta (API, 2013; Leifer et al., 2012; Jha; Levy; Gao, 2008).

Devido à natureza dinâmica dos acidentes, a resolução temporal e os prazos de programação e de entrega, processamento e interpretação dos dados são considerados pontos críticos para a eficácia das operações. Informações georreferenciadas sintetizadas em relatórios operacionais e mapas de campo precisam estar disponíveis em tempo real ou próximo do real.

Durante as ações de resposta, sensores orbitais fornecem visão sinóptica do evento, enquanto sensores em aeronaves e embarcações são utilizados para adquirir informações mais detalhadas sobre o óleo derramado e as áreas atingidas (Jha; Levy; Gao, 2008). Essa tecnologia tem sido mais aplicada na resposta em áreas marinhas (Ipieca, 2014). Apesar da diversidade de sensores operando com diferentes resoluções espaciais, espectrais e temporais, a bordo de satélites, aeronaves e *in situ*, esforços precisam ser dedicados para identificar as melhores configurações para utilização em terra.

### 9.4.1 RESPOSTA EM ÁREAS MARINHAS

Na superfície do mar, após um derramamento, o óleo é rapidamente espalhado, atingindo extensas áreas com significativas variações de espessura (Al-Majed; Adebayo; Hossain, 2012; Jha; Levy; Gao, 2008). A rápida determinação da localização e da extensão de uma mancha é essencial para definir a alocação de recursos e iniciar as operações de resposta. Entretanto, como o recolhimento dos filmes de óleo é efetivo somente nas camadas mais espessas, mapear a variação de espessura é extremamente importante para a escolha dos métodos de limpeza adequados, bem como para o planejamento e o posicionamento dos equipamentos em campo (Svejkovsky et al., 2012; Leifer et al., 2012).

Inspeções aéreas, com registro fotográfico e videográfico, propiciam o detalhamento das ocorrências, com a identificação visual de diferentes tipos de filmes e

# organizadoras

## TANIA MARIA SAUSEN



Pesquisadora aposentada do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), sócia consultora da GS Engenharia Ltda., Consultora-Editora para América Latina da Geospatial Media & Communication e criadora e responsável pelo Núcleo de Pesquisa e Aplicação de Geotecnologias em Desastres Naturais e Eventos Extremos para a Região e Mercosul (Geodesastres-Sul) do Centro Regional Sul (CRS) do Inpe no período de 2007 a 2013. Graduada em Geografia pela Pontifícia Universidade Católica do Rio

Grande do Sul (PUC-RS), mestre em Sensoriamento Remoto pelo Inpe e doutora em Geografia pela Universidade de São Paulo (USP).

E-mail: <sausentaniamaria@gmail.com>.

## MARÍA SILVIA PARDI LACRUZ



Professora adjunta do Departamento Multidisciplinar da Unidade Descentralizada de Educação Superior da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) em Silveira Martins (RS). Graduada em Geografia pela Universidad Central de Venezuela e mestre e doutora em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). Tem experiência em sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas e atua principalmente nos seguintes temas: sensoriamento remoto para monitoramento da cobertura vegetal, dinâmica de uso e

cobertura do solo, conservação de áreas naturais e geotecnologias para desastres naturais.

E-mail: <spardilacruz@gmail.com>.

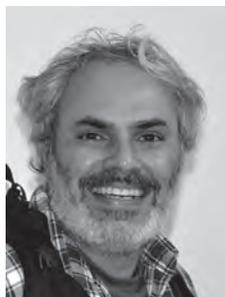
# sobre os autores



## CRISTINA MARIA BENTZ

Geofísica sênior da área de Avaliação e Monitoramento Ambiental, Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (Petrobras). Graduada em Geologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), especialista em Geofísica do Petróleo pela Petrobras/UFRJ, mestre em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) e doutora em Engenharia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe/UFRJ).

*E-mail: <cris@petrobras.com.br>.*



## ELIAS RIBEIRO DE ARRUDA JUNIOR

Professor adjunto do Departamento de Análise Geoambiental da Universidade Federal Fluminense (UFF). Graduado em Engenharia Cartográfica e mestre em Ciências Cartográficas pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp), doutor em Geologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e pós-doutor pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe).

*E-mail: <eliasarrudajr@yahoo.com.br>.*



## ÉRICO SORIANO

Graduado em Geografia (licenciatura e bacharelado) (2004) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp), campus de Rio Claro; mestre em Geografia (2007) pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da mesma universidade, na área de concentração Organização do Espaço; doutor em Ciências da Engenharia Ambiental (2012) pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP), com período de mobilidade (sanduíche) na Faculdade de Letras da Universidade do Porto (Portugal). Trabalha com os temas: vulnerabilidade, preven-

---

ção de desastres, percepção e comunicação dos riscos.  
E-mail: <ericogeo@gmail.com>.

### EYMAR SILVA SAMPAIO LOPES

Pesquisador titular da Divisão de Processamento de Imagem do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). Graduado em Engenharia Geológica pela Universidade Federal de Ouro Preto (Ufop), mestre em Sensoriamento Remoto pelo Inpe e doutor em Geociências e Meio Ambiente pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp).

E-mail: <eymar@dpi.inpe.br>.



### IGOR DA SILVA NARVAES

Pesquisador bolsista do Núcleo de Pesquisa e Aplicação de Geotecnologias em Desastres Naturais e Eventos Extremos para a Região Sul e Mercosul (Geodesastres-Sul) do Centro Regional Sul (CRS) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) no período de 2010 a 2013. Atualmente é Pesquisador Adjunto – Padrão I no Centro Regional da Amazônia (CRA) do Inpe. Possui graduação (2000) e mestrado (2004) em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e doutorado em Sensoriamento Remoto (2010) pelo Inpe. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, atuando principalmente nos seguintes temas: floresta tropical, sensoriamento remoto, inventário florestal e polarimetria.

E-mail: <igornarvaes@gmail.com>.



### IVAN MÁRCIO BARBOSA

Graduado em Informática pela Universidade de Taubaté (SP) em 1996, possui MBA em Gestão Estratégica de Ciência e Tecnologia em Institutos Públicos pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) e especialização em Informática Empresarial pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp). É chefe da Divisão de Geração de Imagens (DGI) da Coordenação Geral de Observação da Terra (OBT) do Instituto



---

Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). Tem experiência na área de Ciência da Computação, em sistemas de recepção, armazenamento, processamento e distribuição de dados de satélites, e é secretário executivo do International Charter Space and Major Disasters (<http://www.disasterscharter.org/>).

E-mail: <[ivan@dgi.inpe.br](mailto:ivan@dgi.inpe.br)>.

### JULIANO LAZARO



Bacharel em Direito e técnico em Cartografia pela Universidade do Vale do Paraíba (Univap), iniciou a profissão na produção de dados cartográficos, trabalho de campo e gestão de projetos. Posteriormente direcionou a carreira para a área comercial, atuando em várias empresas do mercado nacional e internacional no desenvolvimento de novos negócios, rede de distribuição de dados e gestão de produtos e serviços baseados em satélites ópticos, radares e aerofotogrametria.

Atualmente é gerente de vendas na Bradar, empresa do grupo Embraer Defesa e Segurança na prestação em serviços baseados nos radares aerotransportados de Sensoriamento Remoto operados nas bandas X e P com foco em gestão territorial.

E-mail: <[juliano.lazaro@bradar.com.br](mailto:juliano.lazaro@bradar.com.br)>.

### LEANDRO TORRES DI GREGORIO



Professor adjunto do Departamento de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). É graduado em Engenharia Civil (2003) pela UFRJ, mestre em Engenharia Civil (2009) pela Universidade Federal Fluminense (UFF), especialista em Gestão de Emergências e Desastres (2012) pela Faculdade Integrada da Grande Fortaleza e doutor (2013) pela UFF. Atuou como pesquisador em Desastres Naturais no Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), ligado ao Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI).

E-mail: <[leandrogregorio@ig.com.br](mailto:leandrogregorio@ig.com.br)>.



### LUCIANA DE RESENDE LONDE

Doutora em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e graduada em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Tem histórico de pesquisa direcionado aos temas de sensoriamento remoto, ambiente e recursos hídricos. É pesquisadora no Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), atuando na interface desastres naturais/desastres ambientais. E-mail: <luciana.londe@cemaden.gov.br>.



### MANOEL DE ARAÚJO SOUSA JÚNIOR

Professor adjunto do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). É graduado em Engenharia de Minas pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e mestre em Sensoriamento Remoto e doutor em Computação Aplicada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). Atua principalmente em sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica, processamento de imagens ópticas e SAR, desastres naturais e reconhecimento de padrões.

E-mail: <manoeljr29@gmail.com>.



### PATRÍCIA CARNEIRO GENOVEZ

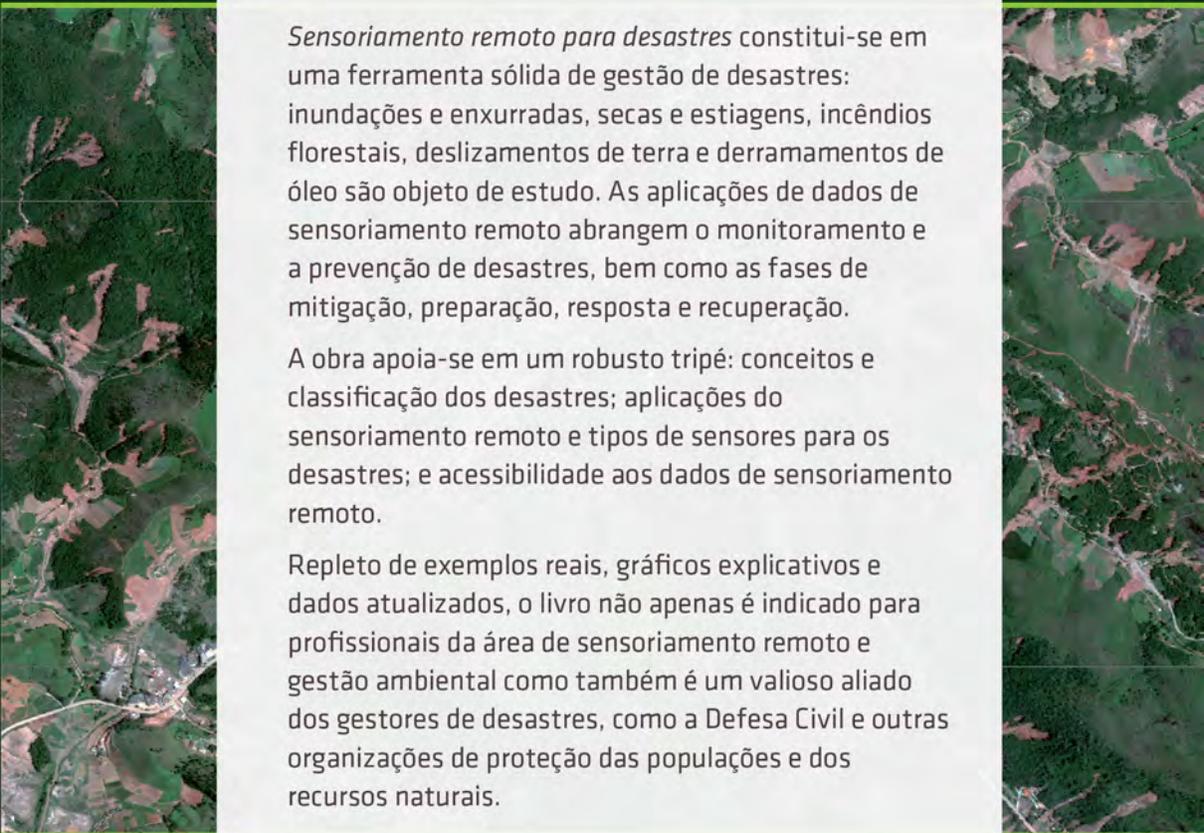
Consultora em tecnologias de sensoriamento remoto para derramamentos de óleo. Graduada em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), mestre em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) e doutora em Engenharia e Meio Ambiente pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe/UFRJ). E-mail: <genovez@hotmail.com>.



### SILVIA MIDORI SAITO

Pesquisadora do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), ligado ao Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). É graduada em Geografia (2001) pela Universidade Estadual de Maringá (UEM) e mestre (2004) e doutora (2011) em Geografia pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Desde 2003 atua na temática de desastres naturais e defesa civil e mapeamento de áreas de risco de deslizamentos. Desenvolveu atividades de pesquisa no Núcleo de Pesquisa e Aplicação de Geotecnologias em Desastres Naturais e Eventos Extremos para a Região Sul e Mercosul (Geodesastres-Sul) do Centro Regional Sul (CRS) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) no período de 2008 a 2011, em temas relacionados a geotecnologias e desastres naturais, vulnerabilidade e avaliação de danos.

*E-mail:* <[silvia.saito@cemaden.gov.br](mailto:silvia.saito@cemaden.gov.br)>.



*Sensoriamento remoto para desastres* constitui-se em uma ferramenta sólida de gestão de desastres: inundações e enxurradas, secas e estiagens, incêndios florestais, deslizamentos de terra e derramamentos de óleo são objeto de estudo. As aplicações de dados de sensoriamento remoto abrangem o monitoramento e a prevenção de desastres, bem como as fases de mitigação, preparação, resposta e recuperação.

A obra apoia-se em um robusto tripé: conceitos e classificação dos desastres; aplicações do sensoriamento remoto e tipos de sensores para os desastres; e acessibilidade aos dados de sensoriamento remoto.

Repleto de exemplos reais, gráficos explicativos e dados atualizados, o livro não apenas é indicado para profissionais da área de sensoriamento remoto e gestão ambiental como também é um valioso aliado dos gestores de desastres, como a Defesa Civil e outras organizações de proteção das populações e dos recursos naturais.

ISBN 978-85-7975-175-2



9 788579 751752