

**CENÁRIOS DE GEOINDICADORES POR MEIO DE  
AVALIAÇÃO AMBIENTAL EM SIG E BASE DE DADOS  
GEOAMBIENTAIS**

*Dra. Noris Costa Diniz*

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, SGAN 602 Brasília  
DF, tel (061)426-5868  
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.-  
IPT - [aneel@gov.br](mailto:aneel@gov.br); [diniznor@ipt.br](mailto:diniznor@ipt.br)

---

**RESUMO**

Este trabalho apresenta um sistema gerenciador geoambiental que utiliza tecnologias de bases de dados e Sistema de Informações Geográficas com a finalidade de compor cenários dinâmicos de geoindicadores ambientais utilizando critérios de geologia de engenharia. As bases de dados em SIG regionais e de áreas urbanas podem ser consideradas como ferramentas para extrair indicadores de problemas e mudanças ambientais. O SIG de geologia de engenharia poderia ser atualizado a medida em que ocorram modificações causadas por interferências da ocupação humana sobre o meio físico. A Base de dados Geoambientais pode ser acessada pelo SIG para avaliações ambientais da atual dinâmica de uso e ocupação do solo complexa e acelerada.

O desafio do planejamento e da gestão ambiental é que enquanto não se conseguiu o potencial para atingir o entendimento das questões mais freqüentes sobre as necessidades regulatórias, a degradação ambiental que gera efeitos cumulativos continua em crescimento. Os geoindicadores podem ser entendidos como medidas de alta resolução de modificações de curto prazo ambiente geológico, que sejam significativas para avaliação e o monitoramento ambiental (BERGER, 1996).

*Roberto Villas Bôas y Christian Beinhoff, Editores*

O desenvolvimento de uma Base de dados Geoambientais, por meio da automação de um SIG de geologia de engenharia foi o objetivo de um doutorado apresentado na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo EPUSP, contando com diversos projetos do IPT, da SMA/SP, da SABESP, da SCTDE e da CESP, integrados pelo projeto GAIA – Sistema de Gerenciamento da Base de Dados Geoambientais do Estado de São Paulo. Os objetivos do Projeto eram modelar e implementar: uma base cartográfica espacial digital; um SIG de ameaças geoambientais; um SIG de interferências de processos tecnológicos; dados espaciais de unidades de conservação; banco de dados alfa-numéricos, banco de dados de imagens; multimídia; e aplicações em SIG para gestão ambiental, gerenciamento de recursos hídricos e monitoramento de riscos.

**Palavras chave:** Geoindicadores, Sistema de Informações Geográficas, Ameaças e Riscos Geológicos, Sustentabilidade, Meio Físico.

## 1. INTRODUÇÃO

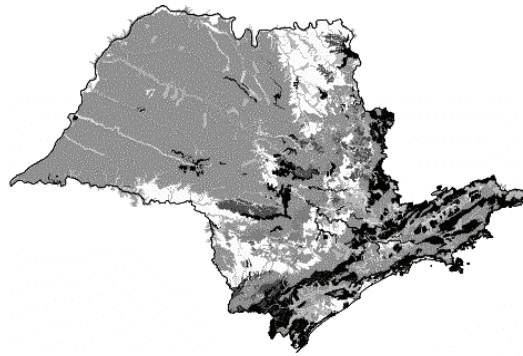
Este trabalho apresenta uma aplicação SIG que possibilita construir Cenários de Geoindicadores, Figura 1, baseado em critérios de geologia de engenharia por meio do Sistema Gerenciador da Base de Dados Geoambientais – GAIA (Geo-Avaliação de Impactos Ambientais), como na Figura 2. O Sistema GAIA se constitui na Base de Dados Geoambientais do Estado de São Paulo e na interface desenvolvida em três projetos: a tese de doutorado de DINIZ (1998), defendida na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP; o projeto de pesquisa interno no IPT, desenvolvido para os temas de avaliação ambiental, ameaças geológicas e aptidão dos terrenos a empreendimentos civis; e ainda um projeto, desenvolvido para Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo – SMA/SP, aplicado a zoneamento ambiental, monitoramento de unidades de conservação e gerenciamento de recursos hídricos.

Base de Datos Geoambientais em SIG, baseada em critérios de geologia de engenharia pode ser considerada uma ferramenta no esforço multi-disciplinar para desenvolver soluções para o monitoramento de ameaças geológicas. O comportamento dos terrenos, expostos ao uso e ocupação intenso e acelerado, e modificado por seus processos tecnológicos, tem acarretado consideráveis perdas econômicas e até de vidas humanas.

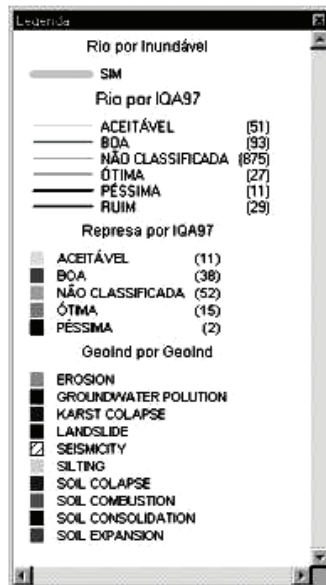
A previsibilidade do comportamento dos terrenos obtida por meio do SIG de geologia de engenharia, será tão mais precisa quanto mais a investigação geológico-geotécnica e a caracterização dos terrenos seja guiada pela observação e a análise dos processos do meio físico, deflagrados pelos processos tecnológicos decorrentes de interferências civis.

O sistema GAIA possui uma base de dados espaciais, um banco de imagens, um banco de dados alpha-numérico que podem ser utilizados numa aplicação de Cenários de Geoindicadores aplicando atributos e critérios geológico-geotécnicos para avaliação ambiental.

A importância do efetivo gerenciamento de dados e de informações sobre questões ambientais foi especialmente considerada no projeto de pesquisa do sistema GAIA. Atividades de pesquisa de geoindicadores requerem e geram uma enorme quantidade de dados e informações das mais diversas. Estes dados e informações são necessários para documentar as mudanças ou alterações no meio físico, para possibilitar o entendimento dos processos do meio físico, e ainda, promover avaliações integradas dos impactos causados por atividades humanas.



**Figura 1 – Cenário de geoindicadores do Estado de São Paulo, a partir da Base de Dados Geoambientais (DINIZ, 1998).**



LEGENDA do cenário de geoindicadores.

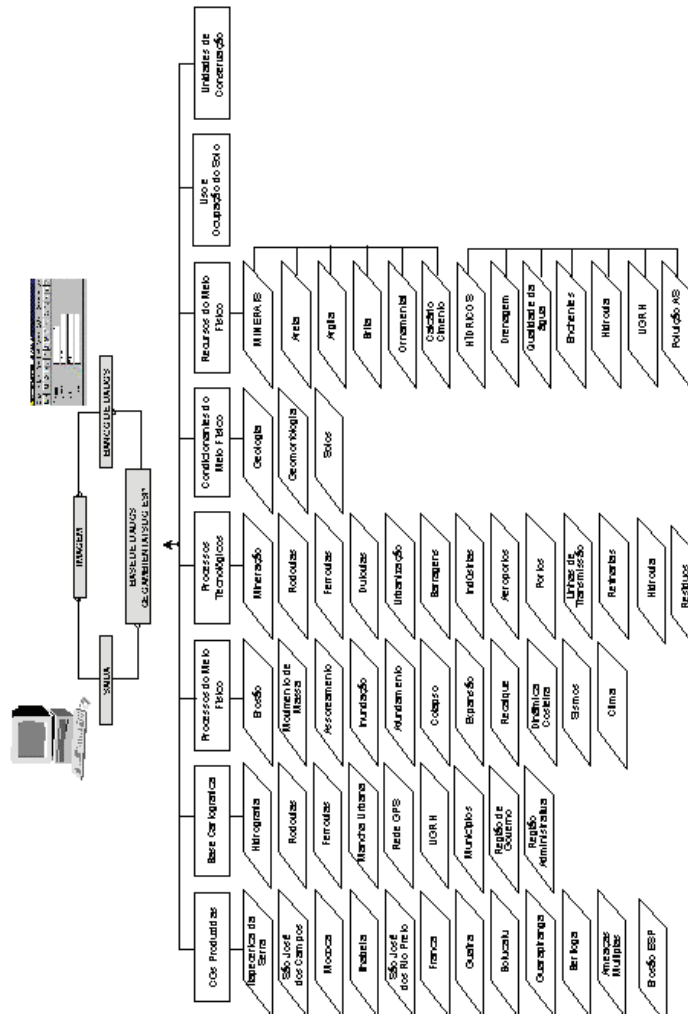


Figure 2 – GAIA – Estrutura de dados do Sistema Gerenciador da Base de Dados do Estado de São Paulo.

Devido à complexidade das informações ambientais, nas quais se incluem os geoindicadores, fenômenos naturais, interações humanas e necessidade de avaliações abrangentes, existe um desafio constante, no sentido de arquivar, preservar e tornar o sistema de monitoramento disponível, em formato acessível para usuários especialistas e outros.

A Base de Dados Geoambientais pode ser acessível além do universo dos especialistas. Para uma compreensão adequada por estes usuários, a linguagem e as recomendações preventivas incluídas no banco de dados deve ser clara para cada um, em termos de predeterminar o comportamento da interação uso do solo interações no meio físico. Assim como indicar as interferências entre as diversas formas de ocupação, indicando medidas preventivas e corretivas no sentido de minimizar custos e riscos nos empreendimentos e no meio ambiente e em seu entorno.

As medidas preventivas aplicadas na gestão ambiental poderiam contribuir para a qualidade de vida e o desenvolvimento sustentável. O uso efetivo dos SIG de geologia de engenharia pode ser assegurado a medida em que as orientações de medidas preventivas e corretivas possibilitem orientar intervenções como: manejo de unidades de conservação, planos de bacias, planos diretores municipais, planos de defesa civil, medidas de controle de erosão e deslizamentos, fornecendo, por meio da integração das informações da base de dados, geoindicadores para o monitoramento de riscos geológicos.

Medidas preventivas na gestão ambiental, baseadas nas observações de campo dos problemas ambientais, podem melhorar a qualidade de vida para o desenvolvimento sustentável.

## **2. GEOINDICADORES**

Os geoindicadores foram desenvolvidos como uma ferramenta para auxiliar na avaliação integrada de ambientes naturais e ecossistemas, assim como para relatar a situação do meio ambiente, como afirmados por BERGER & IAMS (1996). Como descritores dos processos do meio físico que operam em um cenário terrestre ou outro, os geoindicadores representam corretamente um novo tipo de medida da paisagem, os quais concentram em si mesmo os componentes inanimados da litosfera, pedosfera, hidrosfera, e suas interações com a atmosfera e a biosfera (incluindo o ser humano).

As condições ambientais em determinado momento refletem, não só as interferências humanas, mas também os processos e os fenômenos naturais (Berger & Iams, 1996), as quais podem estar causando alterações, seja com a presença de pessoas ou não. A longa história evolutiva da Terra e da biosfera tem sido pontuadamente marcada pelas mudanças que reduzem ou aumentam enhanced a capacidade das paisagens terrestres para proporcionar um lugar para vida saudável. Além do que, longe dos efeitos óbvios da perturbação humana (cidades, áreas de disposição de resíduos, minas, desmatamentos), tem sido muito difícil separar os efeitos de ações humanas daqueles provocados por processos naturais preexistentes.

Utilizando as informações de bases de dados geoambientais pode-se tentar prever flutuações climáticas sazonais a interanuais e eventos extremos associados, e se poderia simular o potencial de impactos econômicos sobre a agricultura, recursos hídricos, e outros sistemas econômicos.

Contudo, para definir as tendências e os padrões geográficos e temporais de mudanças sobre os terrenos da cobertura terrestre, é necessário conhecer quais são os processos, naturais e quais são os induzidos por ações humanas, que levam à mudanças na cobertura terrestre e no uso da terra. Incluindo processos como desmatamento, desertificação e perda de recursos globais. A vulnerabilidade dos

sistemas terrestres, incluindo economia, saúde humana, e sistemas ecológicos para flutuações climáticas e mudanças dependem das escalas de tempo abordadas.

A Figura 3 ilustra o fluxograma de critérios de geologia de engenharia baseados no *Check List* de geoindicadores proposto por Berger & Iams (1996) e na modelagem da Base de Dados Geoambientais (Diniz, 1998). Os geoindicadores seriam os processos atuais enquanto que os critérios de geologia de engenharia são medidas dos respectivos atributos condicionantes. Unidades são as representações espaciais da paisagem para cada cenário de geoindicadores, temporal ou dinâmico.

Os processos atuais e seus respectivos atributos condicionantes considerados relevantes na paisagem analisada, foram baseados nos seguintes critérios de geologia de engenharia:

- Erosão (ton/ha/ano);
- Movimento de massa ( $m^3$ /evento x chuva mm acumulada/72 hours);
- assoreamento ( $m^3$ /ton/ano);
- subsidência cárstica ( $m^2$  / numero de ocorrências)
- colapso de solo ( $m^2$  / numero de ocorrências)
- expansão de solo ( $m^2$  / numero de ocorrências)
- recalque de solo ( $m^2$  / numero de ocorrências)
- sismicidade (intensidade MM/ numero de ocorrências)

O Cenário de geoindicadores pode ser elaborado utilizando-se a informação espacial de processos geoambientais atuais e parâmetros de geoindicadores registrados no banco de dados.

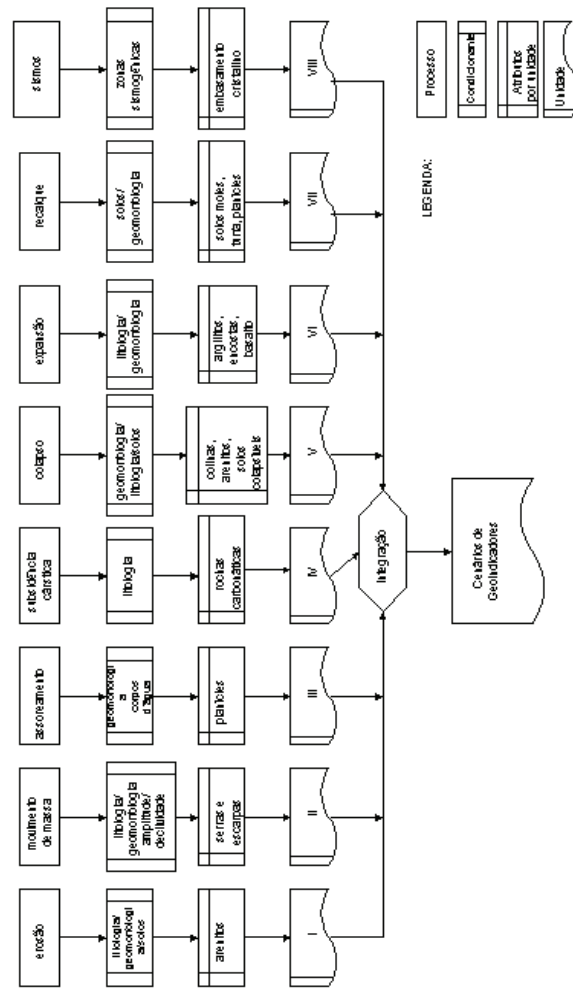


### **3. BASE DE DADOS GEOAMBIENTAIS PARA MONITORAMENTO**

A Base de Dados Geoambientais do Estado de São Paulo permite disponibilizar informação apropriada para seleção dos processos do meio físico relevantes o bastante para serem considerados geoindicadores, como ameaças geológicas e temas ambientais: suscetibilidade dos terrenos a erosão, movimento de massa, assoreamento, colapso do solo, recalque do solo, expansão do solo, combustão do solo, sismicidade e qualidade da água superficial e subterrânea.

As contribuições mais consistentes para desenvolver esta ferramenta, são aquelas proporcionadas por sua aplicação. A Base de Dados Geoambientais pode ser atualizada de segundo as alterações dos processos do meio físico. Somente o SIG pode suportar bases de dados para avaliações ambientais destas dinâmicas ambientais complexas e aceleradas.

O Projeto SIG contempla o objetivo de elaborar cenários e bases de dados para diversos tipos de aplicações, com o monitoramento e gestão.



**Figura 3 – Fluxograma de critérios de geologia de engenharia baseados no check list de geoindicadores (Berger and Iams, 1996) e Modelagem de dados geoambientais (Diniz, 1998).**

O Objetivo do projeto era construir uma base de dados geoambientais – GAIA, contendo:

- a) uma base de dados espaciais;
- b) processos do meio físico (ameças geológicas);
- c) processos tecnológicos (interferências humanas e de empreendimentos);
- d) dados espaciais básicos temáticos;
- e) dados espaciais de recursos do meio físico;
- f) dados espaciais de unidades de conservação;
- g) banco de dados alfa-numérico de socioeconomia;
- h) banco de imagens e fotografias digitais;
- i) Interface de aplicação SIG.

A interface utilizou produtos existentes implementados em projetos relacionados a monitoramento ambiental. Melhorando capacidades relativas a previsibilidade de problemas geoambientais, e aumentando a capacidade de prevenção além dos trópicos ampliando as possibilidades, contribuindo com a compreensão das interações terra - atmosfera.

Esta base de dados geoambientais pode promover documentação, avaliação e entendimento dos processos do meio físico; investigando as relações entre processos geológicos, uso da terra e clima, estudando the role da dinâmica do meio físico em modelos integrativos e avaliações ambientais.

Além disso, pode-se atualizar documentos, investigar e avaliar mudanças e e fatores condicionantes que influenciam o meio físico, proporcionando possíveis retroanálises no coupled modelos; a documentação se modifica ao longo de monitoramentos de longo prazo e avaliação das características do sistema climático primário; e

para investigar tendências econômicas, tecnológicas, e demográficas que afetem a capacidade dos sistemas naturais e humanos responderem a variabilidade e mudanças climáticas.

O SIG GAIA poderia ser amplamente divulgado a centros de pesquisa e parceiros existentes, o subsequente processamento e geração de produtos utilizáveis em ciência e aplicações poderia ser disponibilizado amplamente como e-atlas de geoindicadores, tomando vantagem da tecnologia e conceitos envolvidos na Internet e *www* (World Wide Web).

#### **4. MONITORAMENTO DE GEOINDICADORES**

Campagnoli (1998) utilizou taxas de evolução de depósitos de assoreamento, tanto quanto seus volumes acumulados para propor um parâmetro de geoindicador ambiental. Estes parâmetros como geoindicadores, podem medir a eficiência de medidas preventivas e corretivas adotadas nas bacias hidrográficas que visam a mitigação dos processos de degradação dos solos. O autor estudou a suscetibilidade de terrenos à erosão urbana e ao processo de assoreamento, assim com as formas de uso da terra, juntamente com conflitos e impactos.

O Cenário de geoindicadores do Estado de São Paulo baseado em critérios de geologia de engenharia pode ser aplicado em estudos específicos, como monitoramento de ameaças geológicas, de recursos hídricos e de interferências de empreendimentos civis. Por exemplo, SIG de monitoramento em cenários de recuperação de áreas degradadas por atividade de mineração, cenários de riscos de movimentos de massa, cenários de vulnerabilidade a poluição de águas subterrâneas e cenários de avaliação para disposição de resíduos. Portanto, os cenários estáticos, como cartas geotécnicas, podem ser suplantados por avaliações dinâmicas possibilitadas pelo SIG de geologia de engenharia.

## 5. CONCLUSÕES

O Cenário de Geoindicadores do Estado de São Paulo integra os seguintes tipos de ameaças geológicas: erosão, assoreamento, movimentos de massa, recalque de solos, enchentes, expansão de solos, colapso de solos, subsidências de solos, dinâmica costeira, sismicidade, qualidade da água superficial, poluição de águas subterrâneas. Apesar destes cenários serem ainda, muito generalizados são, contudo, um recurso útil e aplicável de informações de ameaças geológicas e problemas geoambientais, não disponíveis em mapas convencionais, mesmo em cartas geotécnicas e mapas de geologia de engenharia, e mostram que outras pesquisas deverão ser realizadas para tornar a informação consistente considerando a escala de tempo geológico de processos, que um determinado tipo de cenário geológico-geotécnico pode representar.

A continuidade do desenvolvimento computacional e a disponibilização em Internet da base de dados GAIA, são condicionantes para retroalimentação, a atualização e manutenção constantes, como fator crítico de vida útil e de consistência, intrínsecos a sistemas de monitoramento ambiental e de gerenciamento de recursos hídricos e naturais efetivos, que possibilite o atendimento de usuários especialistas ou outros.

O Cenário de geoindicadores em SIG possibilita a quantificação e o detalhamento modular em escalas e contínuo temporalmente necessários ao acompanhamento de mudanças passíveis de medições por geoindicadores, para aplicações de monitoramentos geo-ambientais.

Agradecimentos: O autor gostaria de agradecer ao *Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo* e à FAPESP pelo suporte logístico, a todos os técnicos do IPT que deram suporte ao trabalho, e a todas as instituições que permitiram acessar os dados, que são IG, IGC, IBGE, DER, DAEE, CESP, ELETROPAULO,

FEPASA, EMBRAER, CETESB, SMA, PETROBRAS, FFLCH/  
Dep.Geog./ USP, EPUSP and IPT.

## **BIBLIOGRAFIA**

- BERGER, A R. and IAMS, W.J. (1996) *Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems*. A A Balkema/ Rotterdam. Brookfield. 466 p.
- CAMPAGNOLI, F (1998) *Silting as an environment geo-indicator on Metropolitan Area of São Paulo – Brazil*. International Engineering Geology - IAEG - Vancouver – Canada.
- CONTRINARI, L. (1996) Natural and anthropogenic interactions in the Brazilian tropics. In: *Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth*. Editors: BERGER, A R. & IAMS W.I. A. A Balkema, Rotterdam, Brookfield. P 295 – 310.
- COORDENADORIA ESTADUAL DE DEFESA CIVIL. (Coord.) (1997) *Mapa de Ameaças Múltiplas do Estado de São Paulo*. São Paulo: IPT/ DAEE/ CETESB/ IG/IAG.
- DINIZ, N.C., CINTRA, J.P. 1997. Automated cartography for engineering geological maps. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 18., 1997, Rio de Janeiro: SBC; INTERNATIONAL SCIENTIFIC ASSEMBLY IAG, 1997, Rio de Janeiro: IAG.
- DINIZ, N.C. et al. 1997. Construção da base de dados geoambientais para multifinalidade: mapas digitais, multimídia e SIG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 4., 1997, São Paulo. Atas...São Paulo: Epusp.
- DINIZ, N.C. 1998. *Automação da cartografia geotécnica: uma ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental*. São Paulo. 2v. (Tese de Doutorado, apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo).

- DINIZ, N.C. et al. 1999. Mapeamento geoambiental em base de dados georreferenciados como suporte de análise de riscos e avaliação ambiental regionais. In: REGEO, 1999. Anais. São José dos Campos: ABMS.
- FORNASARI FILHO, N. et al. 1992. Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia. São Paulo: IPT. 165p. (IPT. Publicação, 1972; Boletim, 61). 165p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. (1994) Carta geotécnica do Estado de São Paulo; escala 1:500.000. São Paulo. 2v. (IPT. Publicação, 2.089).
- \_\_\_\_\_. 1999. Sistema da base de dados geoambientais no Estado de São Paulo. São Paulo. (IPT. Relatório, 42 331).
- MACEDO, E.S. and others (1998) Landslide warning system in Serra do Mar slopes, São Paulo, Brazil. 8 The International IAEG Congress. Balkema, Rotterdam. P 1967 – 1971.
- OGURA, A. T. & GRAMANI, M.F. (2000) The debris flow in Lavrinhas: stratigraphical and sedimentological features for debris flow risk assessment. 31<sup>st</sup> International Geological Congress. IUGS. International Union for Geological Sciences. Rio de Janeiro, RJ, Brazil.
- SALLES, E.R., DINIZ, N.C., TORI, R. 1998. Aplicativo multimídia - SIG para disseminação da base de dados geoambientais do Estado de São Paulo, IPT. In: GIS Brasil 98, CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO DA AMÉRICA LATINA, 4., 1998, Curitiba, PR. Anais... Curitiba: Sagres Editora.