

ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DO SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEORREFERENCIADAS DE SOLOS DO BRASIL (SIGSOLOS – VERSÃO 1.0)⁽¹⁾

**C. S. CHAGAS⁽²⁾, W. CARVALHO JUNIOR⁽²⁾, S. B. BHERING⁽²⁾,
A. K. TANAKA⁽³⁾ & J. F. M. BACA⁽²⁾**

RESUMO

Os sistemas de informação armazenam informações detalhadas sobre o recurso terra, de modo que estas possam ser acessadas, combinadas e analisadas, sob vários pontos de vista, para os mais variados usos. No Brasil, a disponibilização das informações geradas nos levantamentos de solos tem sido pouco eficiente, em razão do grande volume, complexidade e pouca normatização. Assim, com o objetivo de possibilitar o armazenamento, manipulação e disponibilização das informações sobre os solos brasileiros, foi desenvolvido o SigSolos. O SigSolos foi estruturado para permitir o armazenamento de informações oriundas de diferentes fontes, níveis e escalas de levantamentos de solos, tendo, como base, normas e conceitos utilizados na ciência do solo. A entidade "Trabalho" foi estabelecida como entidade central do sistema para reduzir a necessidade de compatibilizações e normatizações na aquisição dos dados, considerando as diferentes fontes e níveis de levantamento de solos existentes no Brasil. A 1ª etapa do SigSolos foi concluída com a disponibilização da versão 1.0, para o armazenamento de dados, e, atualmente, já é possível acessar algumas informações sobre os solos brasileiros, a partir da Iniciativa Solos.br, diretamente na página da Embrapa Solos na internet.

Termos de indexação: sistema de informação, SIG, solos, banco de dados

⁽¹⁾ Recebido para publicação em julho de 2003 e aprovado em agosto de 2004.

⁽²⁾ Pesquisador Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico 1024. CEP 22460-000 Rio de Janeiro (RJ). E-mail: cesar; waldir; silvio; jesus}@cnps.embrapa.br

⁽³⁾ Professor do Instituto Militar de Engenharia – IME. Pça Gal. Tibúrcio 80. CEP 22290-270 Rio de Janeiro (RJ). E-mail: tanaka@ime.eb.br

SUMMARY: *ORGANIZATION AND STRUCTURE OF THE BRAZILIAN SOIL INFORMATION SYSTEM (SIGSOLOS – VERSION 1.0)*

Information Systems store detailed information on land resources, so that these can be accessed, combined, and analyzed for several purposes from different points of view. In Brazil, the information produced in soil surveys has not been efficiently made available, due to the great volume, complexity, and little standardization. Thus, with the objective of enabling the storage, manipulation, and disposal of information on Brazilian soils, the SigSolos System was developed. SigSolos was structured to allow the storage of information originated from different sources, levels, and scales of soil surveys, on well-known underlying soil concepts. The entity "Work" was established as the central entity of the system, reducing the need for compatibilization and standardizations in the data acquisition, due to the different sources and levels of Brazilian soil surveys. The first stage of SigSolos was concluded, and version 1.0 is now available for data storage. By now, some information on Brazilian soils can already be accessed at Iniciativa Solos.br, directly on the internet website Embrapa Solos.

Index terms: information systems, GIS, soils, database.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a rápida evolução dos métodos e instrumentos para aquisição, armazenamento, recuperação, manipulação, análises, acessibilidade e distribuição de dados tem facilitado enormemente o tratamento, pelos cientistas de solos, de grandes quantidades de dados, indispensáveis ao monitoramento e avaliação do sistema terra, de seus componentes e processos (Baumgardner, 1999).

O Brasil ocupa uma posição de destaque na realização de estudos de solos tropicais, tendo gerado grande quantidade de dados por meio de levantamentos de solos e outros estudos. No entanto, a disponibilização destas informações tem-se mostrado pouco eficiente, em razão do grande volume, complexidade e pouca normatização dos dados, o que tem dificultado e limitado sua utilização pelos usuários (Embrapa, 1998).

Segundo van Engelen (1999), os mapas tradicionais e suas versões digitalizadas, independentemente de suas escalas, não fornecem toda a informação requerida pelos usuários, já que a maioria dos dados coletados durante os levantamentos de solos não pode ser mostrada nos mapas ou não consta nas legendas. Assim, para facilitar a disponibilização da informação, são utilizados sistemas automatizados que possibilitam a entrada, armazenamento, processamento e saída destas informações, permitindo aos usuários explorarem, de maneira mais rápida e segura, as informações requeridas para os diversos fins.

Os sistemas de informação de solos são relativamente recentes e buscam descrever os solos em seu ambiente natural. Estes podem ser descritivos e apresentar dados quantitativos com dimensões espaciais (unidades de mapas), ou dados

pontuais, que descrevem e quantificam propriedades específicas de um perfil de solo em determinado local e tempo na superfície da terra (Baumgardner, 1999).

Diante da necessidade de informações para o desenvolvimento de estudos que envolvem a localização, qualidade e quantificação de propriedades de solos, seus processos e suas interações com outros recursos naturais (Ernstrom & Lytle, 1993), organismos internacionais e países têm desenvolvido sistemas de informações de solos. Dentre estes, destacam-se: o Mapa Digital de Solos do Mundo (FAO, 1996), o SOTER - The World Soils and Terrain Database (van Engelen & Wen, 1995), O CANSIS - Canadian Soil Information System (MacDonald & Kloosterman, 1984) e o NASIS - National Soil Information System (Soil Survey Staff, 1991).

O mapa de solos do mundo da FAO, na escala de 1:5.000.000, é o único banco global de dados de solos existente. Ao longo dos anos 80s e 90s, muitas tentativas foram feitas para digitalizar este mapa, existindo, atualmente, disponíveis para consulta várias versões em diferentes formatos (vetor e raster). Este mapa contém informações sobre a composição das unidades de mapeamento, em termos de tipo de solo, textura da camada superficial e classe de declividade do solo dominante, além da eventual presença de fases, tais como: caráter salino, sódico, petrocálcico, dentre outros (Nachtergaele, 1999).

O projeto SOTER nasceu da necessidade de atualização e expansão do banco de dados de solos usado pelo Mapa de Solos do mundo da FAO e representa o primeiro esforço para compilar um conjunto de dados globais na escala de 1:1.000.000. O conceito geral do SOTER se baseia no mapeamento de áreas de terra (unidades SOTER), as quais se apresentam distintas quanto aos padrões da paisagem, litologia, forma da superfície, declividade,

material de origem e solos. Embora tenha sido inicialmente desenhado para o uso na escala de 1:1.000.000, o método é aplicável a escalas maiores junto com o desenvolvimento de bancos de dados nacionais. Um primeiro teste já foi realizado com os dados do mapa de solos do estado de São Paulo na escala de 1:500.000. Dentre as aplicações do SOTER está a possibilidade de avaliação do risco de erosão, potencial agrícola das terras, condição de salinidade e degradação das terras (van Engelen, 1999).

O Sistema de Informação de Solos do Canadá (CANSIS), desde 1972, tem dado suporte às atividades da agência de pesquisa canadense (Agriculture and Agri-Food Canada - AAFC). O CANSIS foi desenvolvido para manipular dados de solo, clima, uso da terra, rendimento das culturas e dados geográficos, sendo os dados de solos parte integrante do National Soil Database (NSDB), cujo sistema e procedimentos de SIG foram implementados no aplicativo Arc/Info (ESRI, 1994).

O NSDB é um conjunto de arquivos que contém dados de solo, paisagem e clima para todas as regiões do Canadá. As informações sobre as características e distribuição dos solos são apresentadas em três níveis de detalhe: o mapa de solos na escala de 1:5.000.000; as paisagens de solos (SLC) na escala de 1:1.000.000; e levantamentos de solos detalhados, em escalas que variam de 1:20.000 a 1:250.000 (Coote & MacDonald, 1999).

O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, pelos levantamentos de solos, tem fornecido, desde 1886, informações de solos para um número variado de usuários. No fim dos anos 60s e início dos anos 70s, os cientistas da National Cooperative Soil Survey (NCSS) reconheceram a necessidade e o potencial de automação da grande quantidade de informações geradas nos levantamentos de solos que estavam sendo executados. Desta maneira, foi desenvolvido o National Soil Information System (NASIS), para facilitar e melhorar a aquisição, manejo e distribuição destas informações. Semelhantemente ao sistema canadense, o NCSS desenvolve e mantém seis conjuntos de dados, que são o registro de caracterização de solos (SCR), registro de unidades de mapeamento (MUR), registro das unidades taxonômicas (TUR), banco de dados geográficos de levantamento de solos (SSURGO), banco de dados geográficos estadual (STASTGO) e banco de dados geográficos nacional (NATSGO). Cada um destes conjuntos foi desenvolvido para uma proposta ou necessidade específica (Lytle, 1993; 1999).

Cabe ressaltar que nenhum dos sistemas mencionados utiliza gerenciadores de banco de dados estendidos, capazes de tratar dados espaciais. Desta forma, todos utilizam um aplicativo de sistema de informação geográfica, predominantemente segundo o modelo vetorial, para o armazenamento dos dados

geométricos (localização e extensão de objetos representados por pontos, linhas ou superfícies, e topologia) e para o armazenamento dos dados não-espaciais, há um predomínio do emprego de aplicativos de sistemas de gerenciamento de banco relacional de dados comercialmente disponíveis (van Engelen & Wen, 1995; MacDonald & Kloosterman, 1984; Soil Survey Staff, 1991).

Este trabalho objetivou apresentar aos cientistas de solos do Brasil e demais usuários da informação de solos a estrutura e organização do Sistema de Informações Georreferenciadas de Solos do Brasil (SigSolos – versão 1.0), que foi desenvolvido pela Embrapa Solos (Embrapa, 1998), com a finalidade de permitir uma melhor organização, sistematização e gerenciamento da informação de solos do País.

MATERIAL E MÉTODOS

No desenvolvimento do projeto do SigSolos, foi utilizada, como estratégia, a opção por uma arquitetura dual, que consiste na interação de um sistema gerenciador de banco de dados (SGBD) relacional-objeto com um sistema de informação geográfica (SIG) (Figura 1), já que os SGBDs não dispõem dos tipos de dados e operadores apropriados para objetos geográficos e os SIGs não têm a capacidade de gerenciar eficazmente grandes volumes de dados não-espaciais. Assim, os usuários têm acesso ao banco de dados diretamente por meio do SGBD ou da interface geográfica fornecida pelo SIG. A entrada de dados é feita por meio de um subsistema com interface visual baseada em formulários e menus. A abordagem empregada, por ser independente de aplicativo, permite a utilização de diferentes SGBDs e SIGs (Tanaka et al., 1997).

Os bancos de dados relacionais armazenam dados em tabelas (relações matemáticas) interligadas por campos-chave. O modelo de dados é mais bem entendido em um nível de abstração mais elevado do que o das tabelas, por meio de um esquema conceitual representando entidades, que podem ser entendidas como algo da realidade modelada em que se deseja manter informações no banco de dados, podendo representar tanto objetos concretos quanto

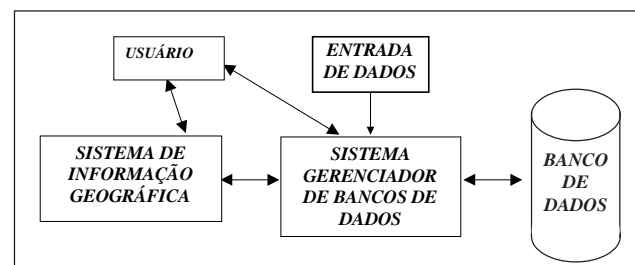


Figura 1. Arquitetura de software do SigSolos.

objetos abstratos; relacionamentos, que são conjuntos de associações entre entidades; e atributos, que são definidos como características relevantes associadas a cada ocorrência de entidade ou relacionamento (Chen, 1976).

O modelo conceitual do SigSolos (Figura 2) foi definido a partir de consultas a especialistas em ciência do solo, com vistas em obter um melhor entendimento das entidades envolvidas e seus relacionamentos. Posteriormente, este foi implementado no aplicativo de desenho de banco de dados ERWin que, por ser independente de SGBD, permite criar diversas versões na maioria dos SGBDs existentes no mercado (Tanaka et al., 1996). O esquema resultante da modelagem do SigSolos é semelhante ao dos modelos encontrados na literatura internacional (Fernández & Rusinkiewicz, 1993), com as devidas adaptações decorrentes das peculiaridades do sistema de classificação de solos adotado no Brasil.

O esquema conceitual foi desenvolvido em um modelo de representação chamado de IDEFIX, no qual aparecem apenas as entidades mais significativas

e seus relacionamentos. O modelo detalhado contém também entidades associativas, além de dezenas de tabelas de valores de domínios para atributos. Apenas os atributos-chave das entidades são mostrados, sendo os demais armazenados em dicionário de dados e não exibidos na figura para facilitar a visualização do esquema (algumas entidades possuem dezenas de atributos). Na figura 2, os componentes do modelo espacial são representados em cinza-claro, enquanto as entidades unidade de mapeamento e ponto de amostragem, delineadas em cinza-escuro, são os elos de ligação entre o banco de dados descritivos e o banco de dados geográfico.

Na fase de estruturação do sistema, foi feita a validação através de protótipo de entrada de dados em linguagem SQL Windows, usando o SGBD Openingres (Computer Association, 1995) e o aplicativo de SIG ArcView (ESRI, 1996). No atual estágio de desenvolvimento, a versão monusuária do banco de dados está implementada no SGBD Microsoft Access, com o subsistema de entrada de dados em Access Basic e a visualização geográfica em ArcView (ESRI, 1996).

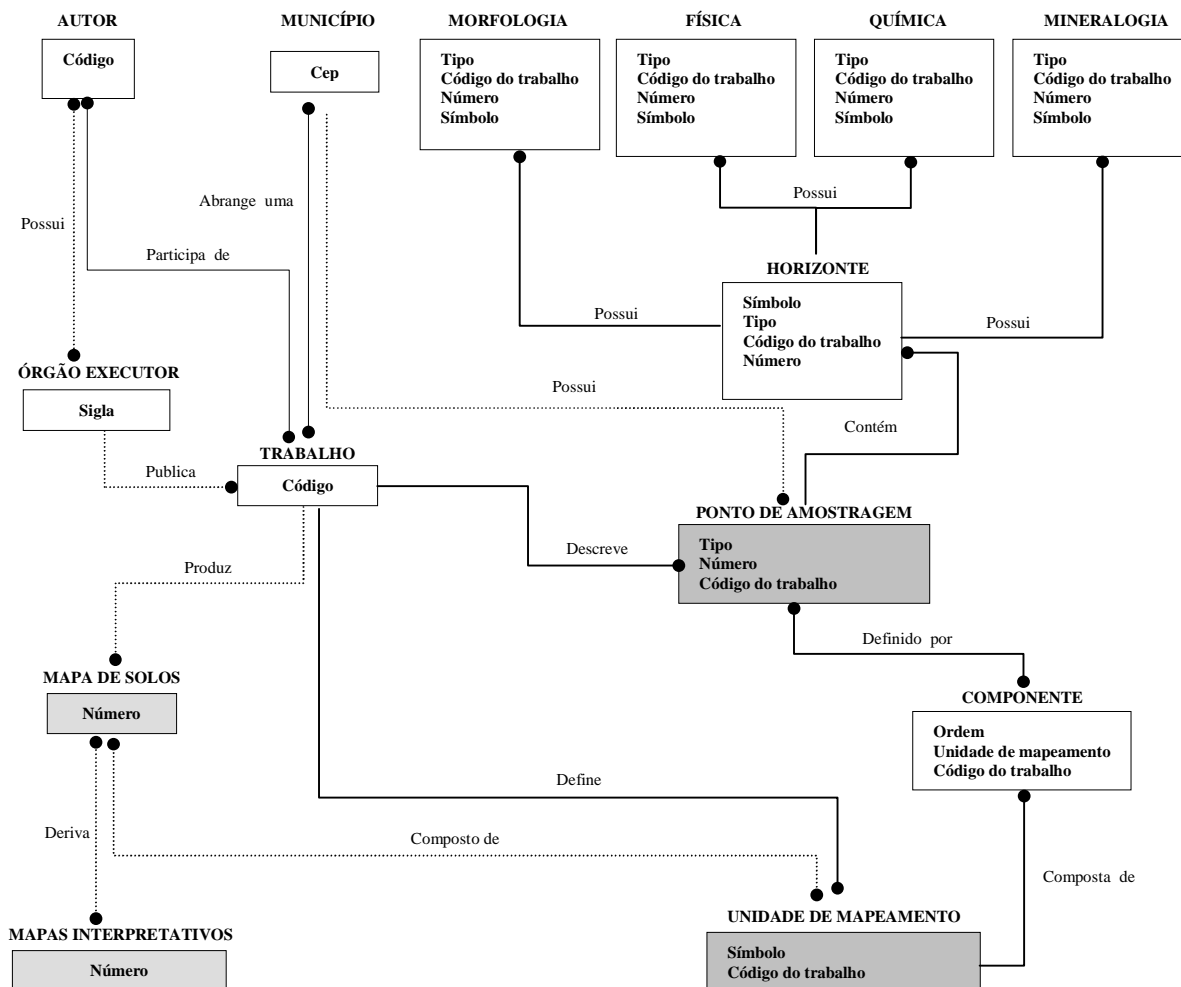


Figura 2. Modelo conceitual simplificado do SigSolos.

A elaboração do SigSolos vem consolidar a necessidade de formalização dos conceitos básicos empregados na ciência do solo. Assim, os procedimentos empregados na organização dos dados apresentam uma visão sistematizada e estão baseados em normas e conceitos contidos em publicações nacionais (Embrapa, 1988a,b; Curi et al., 1993; Embrapa, 1995; Ramalho Filho & Beek, 1995; Lemos & Santos, 1996; Embrapa, 1997, 1999).

A base de informações foi desenhada para permitir o armazenamento de informações de solos oriundas de diferentes fontes de dados, tais como: levantamentos de solos, teses e artigos científicos. Diferentemente dos sistemas de informação de solos canadense e americano, o SigSolos foi estruturado para armazenar informações de levantamentos de solos de diferentes níveis e escalas. Os dados no sistema foram cuidadosamente separados por campos independentes, para facilitar a recuperação das informações de forma isolada ou mesmo combinada.

A definição do “Trabalho” como entidade central do sistema teve a finalidade de reduzir, ao máximo, a necessidade de compatibilizações e normalizações no processo de aquisição dos dados, mediante as diferentes fontes de dados e níveis de levantamento de solos existentes no Brasil. A inexistência de vínculo entre os diferentes estudos é uma característica do sistema que visa torná-lo ágil na recuperação e tratamento dos dados.

Após a definição do modelo conceitual, foi estabelecido que o sistema de entrada de dados

apresentaria os seguintes requisitos: cadastros de instituições e autores, dos trabalhos realizados pelos diferentes órgãos executores, das metodologias de determinações utilizadas nos trabalhos, dos pontos de amostragem, dos horizontes, dos resultados das determinações físicas, químicas e mineralógicas dos horizontes, das unidades de mapeamento e dos componentes; relatórios dos pontos de amostragem por estados e municípios e dos trabalhos por estado; navegação aleatória nos diferentes registros de uma tela (tabela) e edição nas telas: inserção, atualização, consulta e exclusão de registros da tabela associada à tela.

A seguir, foram projetadas as interfaces de entrada de dados, considerando que deveriam ter um mapeamento direto com a estrutura do banco de dados. Assim, buscou-se um refinamento contínuo e interativo entre o modelo conceitual e o modelo funcional. As telas que formam a interface de entrada de dados do SigSolos têm uma estrutura hierárquica que pode ser resumida na figura 3. Este modelo funcional foi implementado no aplicativo Microsoft Access 2.0 pela facilidade de emprego deste software.

As diferentes telas que formam a interface do sistema foram cuidadosamente elaboradas de tal maneira que a navegação refletisse as atividades realizadas durante o trabalho, de maneira convencional. Tal sistema, aliado às facilidades do Microsoft Access 2.0, permite que seu uso seja intuitivo e simplificado, sem trazer ao usuário mudanças bruscas na maneira de desenvolver suas atividades.

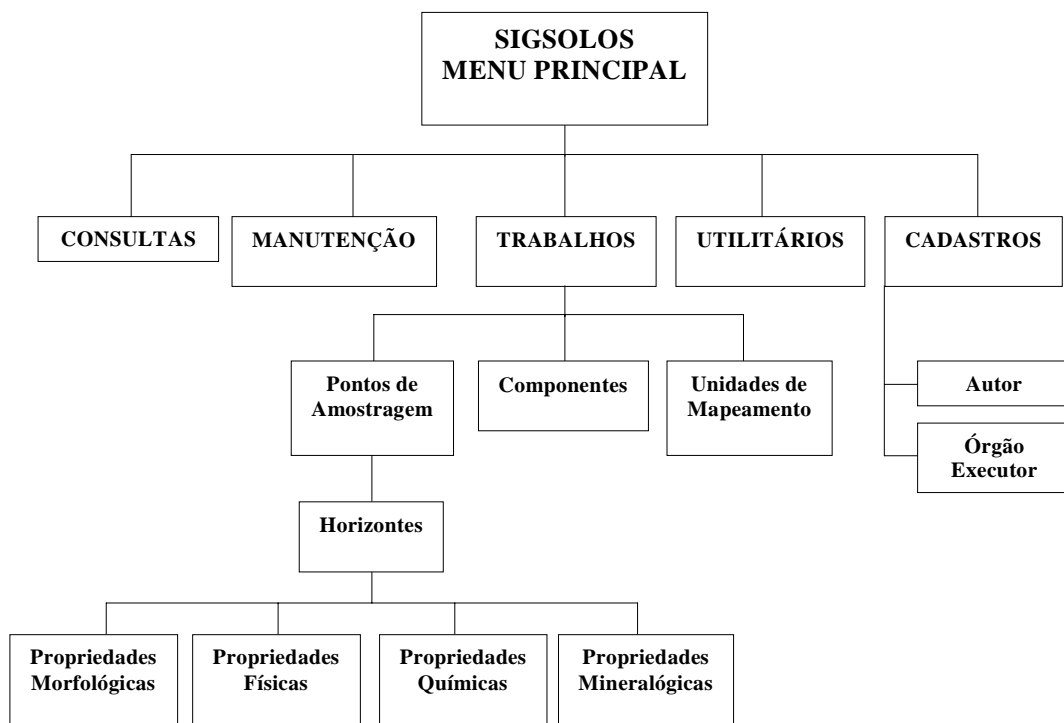


Figura 3. Estrutura hierárquica da funcionalidade da entrada de dados do SigSolos.

RESULTADOS

Para atender às exigências e demandas específicas dos usuários das informações de solos, o sistema é formado por subsistemas, vinculados à entidade central "Trabalho". No primeiro subsistema, a entidade de referência é o "Ponto de amostragem" (PA), de existência real e domínio espacial pontual, caracterizada por diversas propriedades. O Ponto de amostragem tem no seu georreferenciamento um atributo importante de integração dos dados tabulares com as respostas espaciais. Em um nível hierárquico inferior, destaca-se a entidade "Horizonte" que está subdividida em morfologia, física, química e mineralogia, conforme já apresentado no modelo conceitual (Figura 2). O segundo subsistema está relacionado com os mapas gerados nos levantamentos de solos, visto que descreve as propriedades alfanuméricas da entidade "Unidade de mapeamento" (UM). Na caracterização desta entidade, é imprescindível a utilização do conceito de componente, outra entidade do sistema, pois nesta residem as propriedades relevantes das unidades de mapeamento.

A ligação entre os dois subsistemas pode ser feita por três caminhos distintos: pela localização, por meio de operadores espaciais; pela entidade Trabalho, ou por um campo definido na entidade Ponto de amostragem, denominado "componente definido", onde se pode ou não vincular um componente a determinada instância do Ponto de amostragem.

O SigSolos pode armazenar dados de vários tipos de estudos existentes. Neste sentido, os levanta-

tamentos de solos podem ser considerados como estudos completos, pois abrangem todo o conjunto de dados do sistema e os relacionamentos entre horizontes e suas propriedades, pontos de amostragem, componentes e unidades de mapeamento, ou aspectos espaciais. Outros tipos de estudos que o SigSolos pode comportar são os trabalhos técnico-científicos (artigos e teses, principalmente) que, usualmente, tratam apenas com a entidade ponto de amostragem, bem como os estudos de interpretação dos mapas de solos, como aptidão e zoneamento agrícolas, que usam dados de pontos descritos em levantamentos de solos.

No SigSolos, os pontos de amostragem e as unidades de mapeamento são os elos de ligação entre o banco de dados e o SIG. Por meio da interface geográfica do SIG, é possível visualizar os pontos e as áreas descritos no banco de dados, pela conexão cliente-servidor entre SIG e SGBD, e de consulta ao banco de dados usando a linguagem de manipulação de dados do SGBD. Uma vez visualizados os dados, podem ser realizadas as operações espaciais disponíveis no SIG, como interseção, união, pertinência, proximidade e reclassificação, que, certamente, serão de grande utilidade na maioria das aplicações previstas no projeto (Tanaka et al., 1997).

O modelo conceitual detalhado do sistema de informações de solos contém também entidades associativas, assim como dezenas de tabelas de valores de domínios para atributos. No quadro 1, encontra-se uma listagem das principais entidades do sistema e seus respectivos dados.

Quadro 1. Listagem dos principais elementos das entidades do SigSolos

Entidade	Entidade associativa	Dado mais relevante	Descrição
Trabalho	Dados Gerais	Título	Título do trabalho publicado
		Ano de publicação	Ano de sua publicação
		Tipo de publicação	Tipo de publicação do trabalho
Trabalho	Metodologia	Nível do levantamento	Nível do levantamento de solos utilizado
		Órgão executor	Órgão responsável pela execução do trabalho
		Laboratório responsável	Laboratório
Trabalho	Métodos físicos, químicos e mineralógicos	Escala de publicação	Escala utilizada na confecção do mapa de solos
		Método de prospecção	Metodologia utilizada no levantamento de solos
		Material básico	Tipo de material básico utilizado no levantamento de solos
Unidade de Mapeamento (UM)	Dados Gerais	Vários	Apresenta a referência bibliográfica dos métodos analíticos empregados no trabalho
		Título do trabalho	Título do trabalho ao qual a UM está vinculada
		Símbolo	Símbolo da unidade de mapeamento
		Tipo	Tipo da unidade de mapeamento
		Área	Área ocupada pela UM no trabalho
Unidade de Mapeamento (UM)	Dados Gerais	Componentes	Componentes relacionados com a UM
		Inclusões e, ou, variações	Inclusões e, ou, variações encontradas na UM

Continua...

Quadro 1. Continuação

Entidade	Entidade associativa	Dado mais relevante	Descrição
	Dados Gerais	Número Tipo Estado e Município Situação de coleta Componentes definidos	Número de laboratório do PA Tipo do PA Estado e município onde se localiza o PA Situação de descrição e coleta das amostras Componentes da UM definidos pelo PA
	Localização	Localização descritiva Coordenadas geográficas Posição	Localização descritiva do PA na área estudada Latitude, longitude e altitude do PA Posição na paisagem, declividade e cobertura
Ponto de Amostragem (PA)	Classificação	Classificação Classe de solo Saturação de bases Natureza intermediária e extraordinária Atividade da argila Horizonte superficial Grupamento textural	Classificação do PA no SBCS, na FAO e na Soil Taxonomy Classe de solo do PA Saturação de bases ou alumínio Ocorrência de natureza intermediária e, ou, extraordinária Atividade da argila do horizonte diagnóstico Tipo de horizonte superficial Classe textural dos horizontes superficiais e subsuperficiais
	Fases/Geologia	Fases Relevo Geologia Classificação climática	Presença de fases de pedregosidade, relevo, vegetação e substrato Forma e tipo do relevo local e regional Cronologia, Grupo, formação e litologia do PA Tipo climático segundo Gaussen e Köppen
	Outras classes	Tipos de classes Erosão	Tipos de classes de pedregosidade, rochiosidade, drenagem e erosão que ocorrem no PA Frequência, forma e profundidade da erosão na área do PA
	Dados Gerais	Título do trabalho Ponto de amostragem Símbolo Limites	Título do trabalho ao qual o H está vinculado Ponto de amostragem ao qual o H está vinculado Símbolo do horizonte Limite superior e inferior do horizonte
	Morfologia	Textura Cor Estrutura Consistência Cerosidade Transição Raízes Poros Mosqueado	Classe de textura do horizonte Cor da amostra úmida, úmida amassada, seca e seca triturada Grau de desenvolvimento, tamanho e forma da estrutura Consistência da amostra seca, úmida e molhada Grau de desenvolvimento e quantidade Transição para o horizonte subjacente Quantidade, espessura e forma das raízes Quantidade e tamanho dos poros Quantidade, contraste, matiz, valor, croma e tamanho do mosqueado
	Horizonte (H)	Física	Frações da amostra total Granulometria Argila dispersa Densidade Retenção de umidade Microporosidade Superfície específica Condutividade hidráulica
Química		pH CTC/CTA Bases trocáveis Acidez Ataque sulfúrico Fósforo disponível Carbono orgânico Nitrogênio total Sais solúveis Microelementos	Valor de pH medido Valores determinados para CTC e, ou, CTA Valores determinados para Ca, Mg, K e Na Acidez trocável e potencial Valores de SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , TiO ₂ , P ₂ O ₅ e MnO Teor de fósforo disponível no horizonte Teor de carbono orgânico do horizonte Teor de nitrogênio total do horizonte Teores de sais solúveis do extrato de saturação Teores de microelementos na amostra
	Mineralogia	Fração grosseira Argila total Argila desferrificada Silte Óxido de ferro	Determinação mineralógica nas frações grosseiras Determinação mineralógica na fração argila total Determinação mineralógica na fração argila desferrificada Determinação mineralógica na fração silte Determinação mineralógica dos óxidos de ferro

Segundo Ernstrom & Lytle (1993), o componente de uma unidade de mapeamento é a entidade mais elementar, relativamente mais homogênea e identificável de uma área, para a qual uma série de valores de propriedades pode ser armazenada. Esta abrange uma extensão espacial e dispõe de um conjunto de propriedades que define suas características. De acordo com o Soil Survey Staff (1999), o pedon é mais elementar do que o componente; entretanto, este é amostrado em um local usando um ou mais perfis e, conseqüentemente, tem apenas um valor para cada propriedade descrita. Desta forma, para formar um componente, são normalmente necessárias combinações de valores de dois ou mais pedons.

No SigSolos, a entidade "Componente" foi introduzida no sistema para possibilitar o mapeamento entre as observações de campo e as legendas dos mapas de solos, em virtude da falta de relacionamento, em alguns levantamentos de solos, de nível generalizado e até mesmo de reconhecimento, entre o(s) componente(s) de uma(s) unidade(s) de mapeamento e ponto(s) de amostragem, ou seja, componentes que são definidos sem que tenham sido feitos um exame e análise de um perfil. Assim, uma característica importante do SigSolos é a redundância controlada, ou seja, repetição proposital de informações entre pontos de amostragem e componente para as propriedades diagnósticas.

Concomitantemente com o desenvolvimento do modelo conceitual, procedeu-se à elaboração das tabelas de domínio de valores. Assim, o sistema conta com aproximadamente 80 tabelas de domínio, que foram estabelecidas com base nos conceitos e normas definidas e, ou, adotadas pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (Embrapa, 1998). A importância desta organização reside no fato de, além de diminuir o tamanho do banco de dados, servir de instrumento sistematizador das informações de solos, evitando a utilização e proliferação de termos não reconhecidos pela sociedade. No entanto, os administradores do sistema deverão estar atentos a todas as modificações e inovações que, porventura, sejam introduzidas oficialmente na Ciência do Solo, em virtude de sua constante evolução. Considerando o grande número de tabelas de domínios de valores, serão apresentados apenas dois exemplos destas (Quadros 2 e 3).

O estabelecimento de tabelas de domínio de valores implica a necessidade de atualização e, ou, normatização da terminologia e conceitos adotados ao longo de várias décadas de levantamentos de solos no Brasil, o que permitirá o tratamento dos dados de maneira mais abrangente e segura.

As telas do aplicativo do SigSolos são as interfaces de entrada de dados no sistema. Os atributos que foram definidos nas diferentes telas correspondem aos atributos definidos nas tabelas de domínio do banco de dados. Na entrada dos dados, foram impostas

Quadro 2. Tabela de domínio de valores referentes ao nível de levantamento de solos

Código	Descrição
0	
1	Levantamento ultradetalhado
2	Levantamento detalhado
3	Levantamento semidetalhado
4	Levantamento de reconhecimento detalhado
5	Levantamento de reconhecimento
6	Levantamento reconhecimento de baixa intensidade
7	Levantamento reconhecimento de média intensidade
8	Levantamento reconhecimento de alta intensidade
9	Levantamento exploratório-reconhecimento
10	Levantamento exploratório
11	Levantamento esquemático
12	Levantamento/mapa compilado

Quadro 3. Tabela de domínio referente ao tipo de horizonte superficial

Código	Descrição
0	
1	Horizonte A fraco
2	Horizonte A moderado
3	Horizonte A chernozêmico
4	Horizonte A proeminente
5	Horizonte A antrópico
6	Horizonte A húmico
7	Horizonte A indiscriminado
8	Horizonte turfoso

restrições que asseguram o ingresso dos dados conforme os domínios de valores preestabelecidos, diminuindo a possibilidade de entrada de dados inconsistentes e, ou, errados.

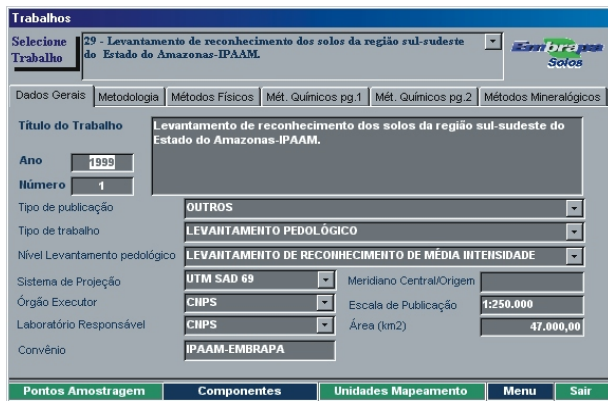
Nas figuras 4 a 6, são apresentados exemplos de telas, nas quais estão evidenciadas as interfaces gráficas do sistema, baseadas em caixas de texto para a entrada de dados numéricos, cadeias de caracteres, datas, textos longos e caixas de combinação para a entrada de dados de domínios definidos. Pode-se observar que a navegação é à base de botões que abrem telas para outras entidades. Estes tipos de telas aproveitam elementos visuais, pelo emprego de diferentes elementos gráficos, nos quais intuitivamente o usuário, a partir do mouse ou do teclado, pode armazenar, atualizar ou excluir dados.

O SigSolos foi desenvolvido para ser capaz de armazenar dados que podem ser manuseados dentro de um enfoque de flexibilidade. Dessa forma, foram elaborados dois grupos de saídas, um de relatórios descritivos e outro de planilhas no formato Microsoft Excel. A opção pela planilha se deve ao fato de que, a partir delas, o usuário tem a possibilidade de tratar os dados em um grande elenco de aplicativos.



Figura 4. Tela de abertura.

(a) Trabalho



(b) Unidade de mapeamento

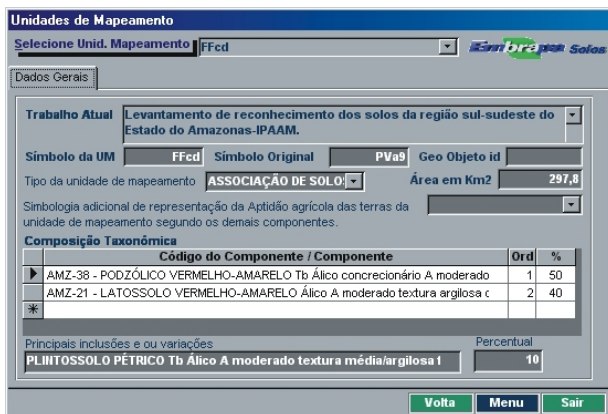
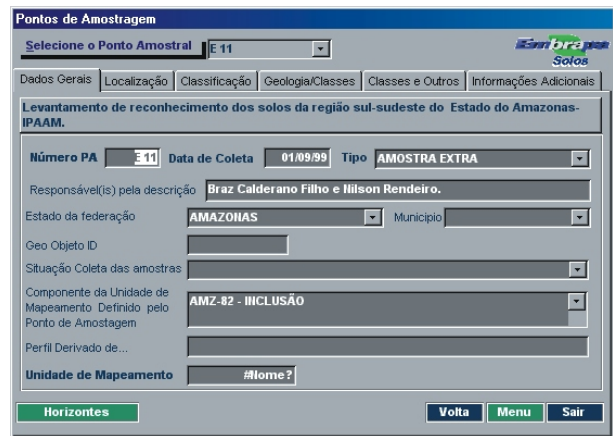


Figura 5. Tela principal da entidade trabalho.

Em 1998, foi concluída a 1ª etapa do SigSolos com a disponibilização da versão 1.0, no âmbito da Embrapa Solos (Embrapa, 1998). Nos anos subsequentes, esforços foram feitos no processo de entrada de dados alfanuméricos, ainda no âmbito da Embrapa Solos, que culminou com o cadastramento de 75 levantamentos de solos, sendo a maioria executada pela Embrapa Solos e seus antecessores

(a) Horizonte



(b) Ponto de amostragem

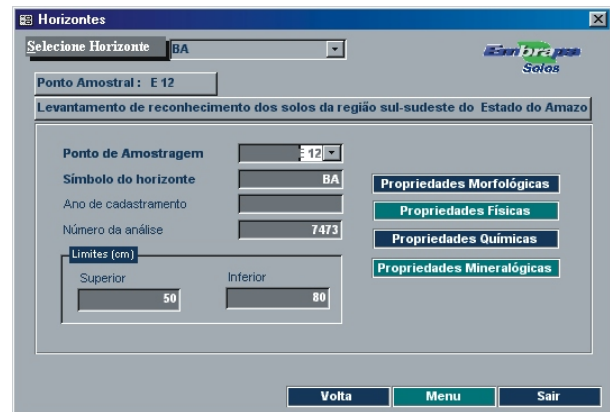


Figura 6. Tela principal da entidade unidade de mapeamento.

(SNLCS, por exemplo). Atualmente, a partir da Iniciativa Solos.br (www.cnps.embrapa.br/solosbr/), uma ação estratégica da Embrapa Solos para disponibilização e aquisição contínua de dados sobre os solos brasileiros, já é possível acessar informações sobre estes levantamentos diretamente na internet.

Todo sistema de informações baseado em banco de dados, ao ser projetado, pressupõe um conjunto conhecido de aplicações. Após sua instalação, via de regra, a disponibilidade dos dados e a capacidade de sua manipulação pelo SGBD despertam novas demandas não previstas na fase de projeto. No caso do SigSolos, por se tratar de um banco de dados associado a um SIG, as novas demandas deverão ser volumosas, seja por parte de pesquisadores da Ciência do Solo, seja por parte de outros usuários (Tanaka et al., 1997).

Segundo Petersen et al. (1999), uma descrição completa das aplicações de bancos de dados de solos em todas as áreas das ciências ambientais é difícil de ser determinada. Enfatizando sua utilização no planejamento e manejo agrícola e atividades correlatas, como hidrologia e avaliação da qualidade

da água, podem-se listar algumas aplicações fundamentais, tais como: estudos de planejamento de uso da terra, estudos de manejo de nutrientes e planejamento conservacionista, avaliação de recursos ambientais e modelagem, avaliação e planejamento de recursos regionais e globais.

Além das aplicações apresentadas anteriormente, aquelas relacionadas com a parametrização do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (ferramenta de auxílio à metodologia de classificação); com a geração de mapas de solos (a partir da reorganização de dados preexistentes) e de aptidão agrícola, aplicações geoestatísticas (Burrough, 1991) também poderão ser potencializadas pelo SigSolos. Da mesma forma, os dados armazenados no sistema servirão como fonte de informações para aplicações em sistemas especialistas (Embrapa, 1995).

Vários sistemas de informações de solos foram desenvolvidos, nos últimos anos, para criar banco de dados de solo e tornar disponíveis aos usuários dados espaciais para diversas aplicações. Os sistemas de informações de solos integram bancos de dados e ferramentas de SIG para analisar, recuperar, registrar, relatar e mostrar relacionamentos entre dados. Estes sistemas utilizam aplicativos de desenho de banco de dados comerciais, como INFORMIX e ORACLE, ajudados por aplicativos de linguagem de programação (Petersen, et al., 1999).

No quadro 4, são apresentadas algumas características dos principais sistemas de informações de solos do mundo. Pode-se observar que o SigSolos guarda muitas semelhanças com estes sistemas, principalmente com o sistema canadense (CANSIS) e americano (NASIS). Neste sentido, destacam-se: o caráter espacial de todos os sistemas, característica desejável para os estudos que envolvem análise espacial; o tratamento dos dados alfanuméricos, através de um banco de dados comerciais (exceto o SOTER); o armazenamento de dados basicamente de instituições oficiais, e a utilização predominante de dados de levantamentos de solos.

Por outro lado, considerando as características das informações de solos no Brasil e os recursos quase sempre escassos, optou-se pelo desenvolvimento de uma base única, não-escalar, que pudesse armazenar e tratar todo e qualquer tipo de informação gerada no País. Acrescenta-se a este fato a natureza ainda incipiente dos levantamentos de solos no que se refere de detalhe. Assim, no SigSolos convivem lado a lado, sem uma organização predeterminada, levantamentos generalizados (a maioria) e alguns poucos estudos semidetalhados e detalhados.

Outro aspecto a ser destacado é a escolha pela independência em relação ao aplicativo de SIG a ser utilizado. Outros sistemas, por estarem mais desenvolvidos do que o SigSolos, estabeleceram seus

Quadro 4. Características dos principais sistemas de informações de solos do mundo

Característica	Sistema de informação de solo			
	SigSolos	Cansis ⁽¹⁾	Nasis ⁽²⁾	Soter ⁽³⁾
Caráter espacial	Sim	Sim	Sim	Sim
Abrangência geográfica	Nacional/regional	Nacional/regional/ local	Nacional/regional/ local	Nacional
Abrangência temática	Restrito	Restrito	Restrito	Restrito
Aplicativo de SIG	Independente	ARC/INFO	ARC/INFO	ILWIS
Modelo alfanumérico	Relacional	Relacional	Relacional	Tabular
Fonte de dados	Levantamentos pedológicos e outros estudos	Levantamentos pedológicos	Levantamentos pedológicos	Levantamentos Pedológicos
Procedimentos Sistêmicos	Sim	Sim	Sim	Não
Base Interinstitucional	Sim	Sim	Sim	Não
Imagens Sensores Remotos	Não	Não	Não	Não
Base Única – não-escalar	Sim	Não	Não	Sim
Redução da informação	Sim	Sim	Não	Sim
Dados absolutos	Sim	Sim	Sim	Não
Dados interpretativos	Não	Sim	Sim	Não
Origem dos dados	Instituições oficiais	Instituições oficiais	Instituições oficiais	Instituições oficiais
Operações principais	Classificação, Generalização e Análises	Classificação, Generalização e Análises	Classificação, Generalização e Análises	Classificação e Generalização

⁽¹⁾ CANSIS - Canadian Soil Information System. ⁽²⁾ NASIS - National Soil Information System. ⁽³⁾ SOTER - The World Soil and Terrain Database.

aplicativos de SIG com base nas características de suas informações e, principalmente, no desempenho destes. Porém, hoje já se tem certeza de que a utilização do ArcInfo (ESRI, 1994) é a melhor opção dentre as disponíveis no mercado, dada a confiabilidade e robustez deste aplicativo.

PERSPECTIVAS FUTURAS

Durante o desenvolvimento do SigSolos, muito esforço foi dispensado na busca da organização das informações de solos do Brasil, principalmente, pelo fato de estarem essas informações muito dispersas e pouco normatizadas. Este trabalho culminou com a liberação de uma versão inicial capaz de, nesta primeira etapa, atender às necessidades iniciais do projeto. Entretanto, alguns pontos carecem de maior atenção, para que seja alcançado um sistema, a exemplo do americano e do canadense, capaz de gerenciar o vasto e valioso volume de dados de solos, tão importante para a sustentabilidade de nossos ecossistemas.

Neste sentido, os responsáveis pelo desenvolvimento do SigSolos devem dar atenção aos seguintes pontos: (a) migração dos dados do Microsoft Access para um banco de dados relacional robusto; (b) definição oficial do software de SIG a ser utilizado; (c) atualização dos dados, com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999); (d) disponibilização da base de dados em universidades e outras instituições estaduais e federais; e (e) digitalização dos mapas de solos gerados nas diferentes instituições oficiais, com base em um critério único, com vistas em obter maior uniformização e confiabilidade dos produtos gerados.

Dados temáticos correlatos, como geologia e geomorfologia, e informações de natureza sócio-econômica devem ser incorporados ao sistema, por meio da elaboração de convênios com instituições oficiais, de forma a viabilizar o estabelecimento de um sistema cooperativo, em que cada instituição seria responsável por um conjunto restrito de temas de sua competência. A estrutura do sistema deve ser calcada em procedimentos, em equipamentos e em aplicativos consagrados, para que possa servir de base e de testemunho ao desenvolvimento tecnológico nos processos de captura e manipulação de dados ambientais, bem como ser capaz de atender a requisitos de interpretações.

CONCLUSÕES

1. O banco de dados e a visualização geográfica através de SIG podem ser gerados em qualquer software utilizado no mercado.

2. Os dados alfanuméricos adquiridos pelo subsistema de entrada de dados em MS Access podem ser importados pelo SGBD adotado.

3. Dadas as suas características, o SigSolos pode contribuir para maior organização e sistematização da informação de solos no Brasil.

4. O processo de automatização do programa oferece aos usuários das informações de solos acesso rápido para armazenamento, atualização e exclusão de dados; ligação, em tempo real, entre mapas e dados alfanuméricos relacionados com estes mapas, e desenvolvimento de novas funcionalidades, a saber: sistemas de avaliação agrícola, sistemas especialistas de suporte à decisão e de elaboração de zoneamentos.

LITERATURA CITADA

- BAUMGARDNER, M.F. Soil databases. In: SUMNER, M.E., ed. Handbook of soil science. Boca Raton, CRC Press, 1999. p.H1-H4.
- BURROUGH, P.A. Soil information systems. In: MAGUIRE, D.J.; GOODCHILD, M.F. & RHIND, D.W., ed. Geographical information systems: principles and applications. Essex, Longman Scientific and Technical, 1991. v.2. p.153-169.
- CHEN, P.P. The entity-relationship model - toward a unified view of data. ACM Transactions on Database Systems, 1:9-36, 1976.
- COMPUTER ASSOCIATION. OpenIngres: SQL Language Reference. New York, 1995.
- COOTE, D.R. & MACDONALD, K.B. The canadian soil database. In: SUMNER, M.E., ed. Handbook of soil science. Boca Raton, CRC Press, 1999. p.H41-H51.
- CURI, N.; LARACH, J.O.I.; KAMPF, N.; MONIZ, A.C. & FONTES, L.E.F. Vocabulário de ciência do solo. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 90p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Base de informações georreferenciada de solos: metodologia e guia básico do aplicativo SigSolos, versão 1.0. Rio de Janeiro, 1998. CD-ROM (Embrapa - CNPS. Boletim de pesquisa, 11)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Iniciativa Solos.br. Disponível em: < <http://www.cnps.embrapa.br/solosbr> > acesso em: 26 fev. 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (Embrapa - CNPS. Documentos, 1)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos. Brasília, 1995. 116p.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, Embrapa Produção da Informação, 1999. 412p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento: normas usadas pelo SNLCS. Rio de Janeiro, 1988a. 67p. (Embrapa - SNLCS. Documentos, 11)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Definição e notação de horizontes e camadas do solo. Rio de Janeiro, 1988b. 54p. (Embrapa - SNLCS. Documentos, 3)
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI. ArcView GIS: The Geographic Information System for everyone. New York, 1996.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI. PC Arc/Info: Command references. New York, 1994.
- ERNSTROM, D.J. & LYTLE, D.J. Enhanced soils information systems from advances in computer technology. *Geoderma*, 60:327-341, 1993.
- FAO. The digitized soil map of the world including derived soil properties. Rome, FAO, 1996. CD-ROM.
- FERNÁNDEZ, R.N. & RUSINKIEWICZ, M. A conceptual design of a soil database for a geographic information system. *Int. J. Geogr. Inf. System*, 7:525-539, 1993.
- LEMOES, R.C. & SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 3.ed. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 84p.
- LYTLE, D.J. Digital soils databases for the United States. In: *Environmental modeling with GIS*. New York, Oxford University Press, 1993. p.386-391.
- LYTLE, D.J. United States soil survey database. In: SUMNER, M.E., ed. *Handbook of soil science*. Boca Raton, CRC Press, 1999. p.H53-H67.
- MACDONALD, K.B. & KLOOSTERMAN, B. The canadian soil information system - CANSIS: general users manual. Ottawa, Land Resource Research Institute, Research Branch, Agriculture Canada, 1984. 56p.
- NACHTERGAELE, F.O. From the soil map of the world to the digital global soils and terrain database: 1960 - 2002. In: SUMNER, M.E., ed. *Handbook of soil science*. Boca Raton, CRC Press, 1999. p.H5-H17.
- PETERSEN, G.W.; NIZEYIMANA, E.; MILLER, D.A. & EVANS, B.M. The use of soil databases in resource assessments and land use planning. In: SUMNER, M.E., ed. *Handbook of soil science*. Boca Raton, CRC Press, 1999. p.H69-H94.
- RAMALHO FILHO, A. & BEEK, K.J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 3. ed. rev. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1995. 65p.
- SOIL SURVEY STAFF - SSS. National soil information system (NASIS): soil interpretation and information dissemination sub-system. Draft requirements statement. Lincoln, USDA, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, 1991. 67p.
- SOIL SURVEY STAFF - SSS. Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Washington, USDA, Natural Resources Conservation Service, 1999. 870p. (Agricultural Handbook, 436)
- TANAKA, A.K.; BHERING, S.B. & CHAGAS, C.S. Modelagem conceitual do sistema de informações georreferenciadas de solos do Brasil. In: SOLO SUELO - CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996. Resumos expandidos. Águas de Lindóia, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. CD-ROM.
- TANAKA, A.K.; CHAGAS C. S. & BHERING, S.B. O sistema de informações georreferenciadas de solos do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Resumos expandidos. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.
- van ENGELEN, V.W.P. & WEN, T.T. Global and national soils and terrain digital databases (SOTER): procedures manual. Wageningen, UNEP-ISSS-ISRIC-FAO, 1995. 129p.
- van ENGELEN, V.W.P. SOTER: the world soils and terrain database. In: SUMNER, M.E., ed. *Handbook of soil science*. Boca Raton, CRC Press, 1999. p.H19-H28.