

COMUNICADO  
TÉCNICO

80

Rio de Janeiro, RJ  
Novembro, 2022

**Embrapa**

## Desenho amostral de solos na presença de covariáveis e cLHS para execução do mapa de solos de Mato Grosso do Sul

Waldir de Carvalho Júnior  
Braz Calderano Filho  
Sílvio Barge Bhering  
César da Silva Chagas  
Gustavo de Mattos Vasques  
Nilson Rendeiro Pereira  
Jose Ronaldo de Macedo  
Ricardo de Oliveira Dart

# Desenho amostral de solos na presença de covariáveis e cLHS para execução do mapa de solos de Mato Grosso do Sul<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Waldir de Carvalho Júnior, engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. Braz Calderano Filho, geógrafo, doutor em Geologia, analista da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. Silvio Barge Bhering, engenheiro-agrônomo, doutor em Geografia, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. César da Silva Chagas, agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. Gustavo de Mattos Vasques, engenheiro florestal, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. Nilson Rendeiro Pereira, agrônomo, mestre em Geografia, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. Jose Ronaldo de Macedo, engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. Ricardo de Oliveira Dart, geógrafo, mestre em Geografia, analista da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

## Introdução

O levantamento de solos ou levantamento pedológico é um estudo da distribuição geográfica dos solos na paisagem, determinados por um conjunto de relações e propriedades observáveis na natureza. Seu produto final o mapa pedológico ou mapa de solos, constitui-se em excelente fonte de informações sobre os solos de uma determinada área, servindo na orientação do planejamento do uso da terra, tanto para fins agro-silvo-pastoris, geotécnicos, ou de material didático ao ensino da ciência do solo (Oliveira et al., 1999).

O mapa de solos além de ressaltar os contrastes entre as regiões, possibilitando uma visão geral da distribuição espacial dos solos, constitui-se também na base ideal para avaliação das condições ecológicas limitantes das terras e,

por consequência, para a determinação do seu potencial de uso e manejo sustentáveis (Santos et al., 1995). Mapas de solos e suas informações descritivas são usados de várias formas práticas, tanto por pedólogos como por outros profissionais ligados ao planejamento ambiental (Brady; Weil, 2010).

A execução de um levantamento de solos não é tarefa simples, pois, além de trabalhoso e oneroso, envolve pessoal especializado em pedologia. Sua execução necessita de inúmeras campanhas de campo para correlação, descrição, observação e a coleta de amostras de solos em pontos específicos, transectos ou áreas previamente estabelecidas na paisagem.

Dentre as etapas para a obtenção do mapa de solos, a coleta de amostras no campo é uma das etapas mais importantes dos levantamentos de solos, sendo considerada como a etapa mais onerosa

dos levantamentos de solos (Webster; Oliver, 1990; Santos et al., 1995). No planejamento das atividades de campo deve-se considerar o número e a intensidade de amostras a serem coletadas por área, conforme a escala e o nível de detalhe esperado do mapeamento.

Da mesma forma a alocação dos pontos a serem amostrados durante o mapeamento é parte fundamental para a obtenção de um mapa de solos que considere ao máximo a variação espacial dos tipos de solo nas diferentes paisagens, considerando principalmente o nível de detalhe a ser atingido.

No Brasil, grande parte dos estados possui levantamentos pedológicos executados em nível generalizado, como os esquemáticos (escala igual ou inferior a 1:1.000.000), exploratórios, (escalas na faixa de 1:750.000 a 1:2.500.000) e reconhecimento (escalas na faixa de 1:100.000 a 1:750.000), de acordo com a extensão geográfica de seus territórios. Vale observar que os levantamentos de reconhecimento se dividem em baixa, média e alta intensidade, e os de alta intensidade com escala igual 1:100.000 ficam restritos a poucos municípios do território nacional.

Estes levantamentos pedológicos têm atendido a diversos órgãos de assistência técnica, planejamento e execução de projetos na esfera federal, estadual ou municipal, para fins de seleção de áreas para colonização, estudos de viabilidade técnica de projetos de irrigação e drenagem, indicações para introdução de novas culturas, planejamento regional

e local, zoneamentos agroecológicos e pedoclimáticos, indenização de áreas inundadas por represas hidrelétricas, seleção de áreas experimentais e para ensino e pesquisa acadêmicos.

É possível de se fundamentar o crescimento econômico do agronegócio brasileiro no potencial de uso do solo. Para isto, é imprescindível o conhecimento de sua aptidão para os diversos tipos de exploração segundo planejamento ideal de ocupação, em harmonia com o meio ambiente (Santos et al., 1995).

No estado de Mato Grosso do Sul, é acentuada a demanda de informações mais detalhadas e compatíveis com as necessidades do planejamento de uso das terras sobre os recursos de solos, particularmente pelas instituições públicas locais de planejamento agropecuário (agrícola, pastoril e florestal), ou de meio ambiente, empresas privadas interessadas em aportar recursos no agronegócio e instituições de ensino, pesquisa e extensão.

Este trabalho atende ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 2 – Fome Zero e Agricultura Sustentável estipulado pelas Nações Unidas (ONU), mais especificamente à meta 2.4, que pretende, até 2030, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos, por meio de políticas de pesquisa, de assistência técnica e extensão rural, entre outras, visando implementar práticas agrícolas resilientes que aumentem a produção e a produtividade e, ao mesmo tempo, ajudem a proteger, recuperar e conservar os serviços ecossistêmicos,

fortalecendo a capacidade de adaptação às mudanças do clima, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, melhorando progressivamente a qualidade da terra, do solo, da água e do ar.

## Área de Interesse deste estudo

Este estudo atende a fase 3 do projeto “Zoneamento Agroecológico do Estado do Mato Grosso do Sul”, coordenado pela Embrapa Solos em parceria com o governo do Estado do Mato Grosso do Sul, por meio da Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Desenvolvimento Econômico, Produção e Agricultura Familiar – SEMAGRO. O projeto tem como um dos objetivos produzir o Mapa de Solos de Mato Grosso do Sul, visando dar suporte ao projeto Zoneamento Agroecológico do Estado, em execução.

A fase 3 do projeto abrange os limites com os estados de Goiás a nordeste, Minas Gerais a leste, Paraná (sul) e São Paulo (sudeste), além do Paraguai (sul). Esta fase envolve 46 municípios distribuídos na Bacia hidrográfica do Rio Paraná no Estado, cujos rios componentes são Rio Verde, Sucuriu, Santana, Quiteria, Pardo, Ivinhema, Iguatemi, Apore e Amanbai. De acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos (Mato Grosso do Sul, 2010), esses rios foram arranjados em 9 Unidades de Planejamento e Gerenciamento dos Recursos Hídricos (UPG), cujos nomes

guardam correspondência com a toponímia do seu rio principal.

## Prospecção de solos

Considerando o elevado custo requerido para a execução de levantamento de solos e a necessidade de obtenção em curto prazo do mapa pedológico do estado do Mato Grosso do Sul na escala 1:100.000, optou-se pelo método do Mapeamento digital de solos (MDS), em detrimento do método tradicional.

Os métodos de levantamentos de solos tem experimentando desenvolvimento recente de novos protocolos, em função do uso de tecnologia da informação, variedade e quantidade de dados ambientais disponíveis, associados à capacidade de processamento de dados, uso de sistemas de informações geográficas (SIGs) e ferramentas geostatísticas. Os novos métodos chamados de forma ampla de Mapeamento Digital de Solos (MDS), buscam maior agilidade e acurácia na entrega dos resultados, com menor custo de execução.

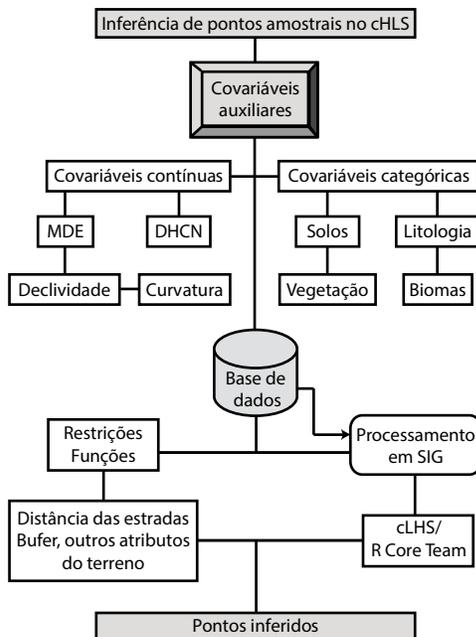
Os levantamentos de solos feitos por MDS buscam a elaboração de mapas mais precisos e de forma mais ágil, com legenda atualizada diante dos avanços da taxonomia de solos nacional, cujo sistema brasileiro de classificação de solos se encontra em sua 5ª edição, e maior riqueza cartográfica do que os mapas disponíveis para a área, produzidos anteriormente em escalas na faixa de 1:250.000 a 1:1000.000), constituindo portanto,

excelente material para a produção do Zoneamento Agroecológico do Estado.

Do mesmo modo surgiram várias estratégias de amostragem do solo no campo buscando equacionar tempo e custo demandados na etapa de amostragem. Segundo Minasny e McBratney (2006), um esquema de amostragem com base na utilização de dados auxiliares deve ser capaz de capturar toda a variação de valores das diferentes covariáveis auxiliares utilizadas. Assim, propuseram o método de amostragem do hiper-cubo latino condicionado cLHS, para a alocação de pontos amostrais pela utilização de um conjunto de covariáveis contínuas e, ou, categóricas (Minasny; McBratney, 2006). O cLHS utiliza como base o método de amostragem do hiper-cubo latino (LHS, sigla em inglês), proposto por McKay et al. (1979).

Nesse contexto, para definir a localização dos pontos amostrais que compõem o conjunto amostral da área de estudo (Fase 3), foi utilizado o programa Conditioned Latin Hipercube Sampling cLHS (Minasny; McBratney, 2007), tendo como covariáveis (modelo digital de elevação, declividade, curvatura, distância horizontal ao canal de drenagem (DHCN), litologia, solos, vegetação e biomas (cerrado e mata atlântica), figura 1. Aplicando restrições operacionais, como sugerido em Roudier et al. (2012), pois embora o método cLHS se tornou uma ferramenta interessante no mapeamento digital de solos, frequentemente ele produz um esquema amostral que resulta em planos de implementação dispendioso. Assim, o custo para se alcançar cada ponto na paisagem a partir das

estradas foi avaliado, usando para tal, atributos topográficos, a cobertura do terreno e um buffer, com limite definido a princípio de 200m de distância das estradas.



**Figura 1.** Pontos amostrais inferidos com o programa cLHS.

Todas as informações cartográficas necessárias ao estudo foram preparadas em ambiente de geoprocessamento, gerando um banco de dados no ArcGIS 10 (ESRI, 2010), padronizado no sistema de coordenadas UTM (projeção Universal de Mercator), fusos 21 e 22S datum SIRGAS 2000.

Um modelo digital de elevação (MDE) NASADEM (NASA JPL, 2020), foi utilizado para gerar, no Spatial Analyst do ArcGIS Desktop 10 (ESRI, 2010), os atributos do terreno elevação, declividade e curvatura do terreno (Gallant; Wilson, 2000). A

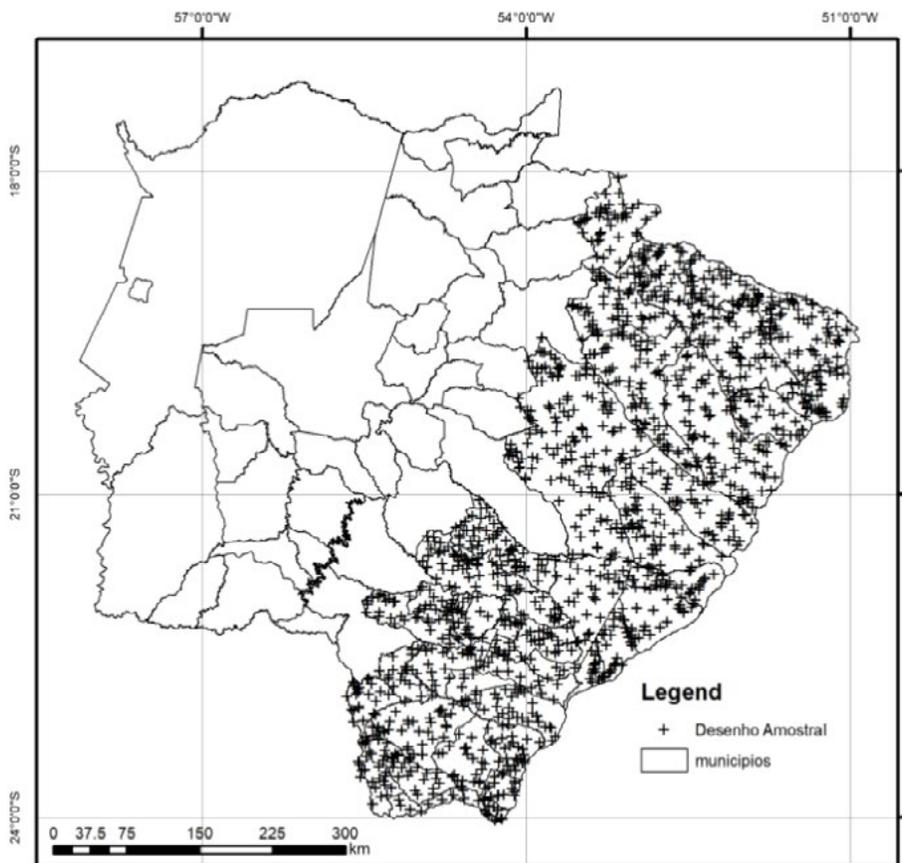
distância horizontal ao canal de drenagem foi calculada por meio de geoprocessamento no Saga GIS (Conrad et al., 2015), e as covariáveis categóricas obtidas através do Banco de Dados de Informações Ambientais (BDiA) do IBGE (2022).

Uma vez preparado o material cartográfico básico (MDE, declividade, curvatura, distância horizontal ao canal de drenagem, litologia, solos, vegetação e biomas, a partir do programa cLHS, foi feita uma previsão de pontos amostrais, através de esquema de amostragem de solos, em função da representatividade das covariáveis auxiliares na paisagem. O conjunto de dados foi modelado no R (The R Foundation, 2020). O método cLHS é um procedimento de amostragem aleatória estratificada que fornece uma eficiente forma de amostragem de variáveis a partir de suas distribuições multivariadas (Minasny; McBratney, 2006). Ele funciona da seguinte forma: dado  $K$  variáveis com  $X_1, \dots, X_k$ , sendo a faixa de variação de cada uma,  $X$  é dividido em  $n$  prováveis intervalos iguais (estratos); para cada variável uma amostra aleatória é tomada para cada estrato (Carvalho Júnior et al., 2014). As amostras obtidas para cada variável por estrato são confrontadas umas com as outras, de forma aleatória ou seguindo alguma regra previamente especificada. O método garante que cada variável está representada de maneira completa por meio de seus estratos. Descrição detalhada sobre o método cLHS pode ser obtida em Minasny e McBratney (2006) e Roudier et al. (2012).

O programa selecionou 1400 pontos para checagem de campo, e em cada ponto foram feitas observações e coleta de amostras de solos, considerando sempre a viabilidade de execução, a localização dos 1400 pontos onde o solo foi amostrado é apresentada na figura 2. Segundo Brungard e Boettinger (2010), a determinação do número ideal de amostras, quando se utiliza o método cLHS, ainda é uma questão a ser investigada. O mesmo acontece com o mapeamento tradicional, cujo assunto permanece em discussão.

Com base nessa previsão dos pontos amostrais, realizaram-se sucessivas campanhas de campo para identificação e coleta de amostras de solos nos pontos definidos a priori. A identificação e coleta foi realizada por meio de tradagens e observações em cortes de estrada e trincheiras. Todos os pontos examinados e coletados foram marcados com o GPS e posteriormente transferidos para a base digital.

A correlação entre informações do solo e variáveis ambientais fornece a base para a construção do conjunto de dados do MDS para estudos de atributos ou classes de solos. Este trabalho encontra-se em desenvolvimento, estudos adicionais serão realizados para avaliar o ganho da determinação prévia de pontos amostrais na otimização dos procedimentos de mapeamento de solos e comparar essa metodologia com outras.



**Figura 2.** Distribuição dos pontos amostrais de coleta de amostras de solo.

## Referências

- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elements of the nature and properties of soils**. 3rd ed. Boston: Pearson Education International, 2010. 614 p.
- BRUNGARD, C. W.; BOETTINGER, J. L. Conditioned latin hypercube sampling: optimal sample size for digital soil mapping of arid rangelands in Utah, USA. In: BOETTINGER, J. L.; HOWELL, D. W.; MOORE, A. C.; HARTEMINK, A. E.; KIENAST-BROWN, S. (ed.). **Digital soil mapping: bridging research, environmental application, and operation**. Dordrecht: Springer, 2010. p. 67-75. (Progress in soil science, 2). DOI: [https://doi.org/10.1007/978-90-481-8863-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-90-481-8863-5_6).
- CARVALHO JÚNIOR, W. de; CHAGAS, C. da S.; MUSELLI, A.; PINHEIRO, H. S. K.; PEREIRA, N. R.; BHERING, S. B. Método do hipercubo latino condicionado para a amostragem de solos na presença de covariáveis ambientais visando o mapeamento digital de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 386-396, mar./abr. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000200003>.
- CONRAD, O.; BECHTEL, B.; BOCK, M.; DIETRICH, H.; FISCHER, E.; GERLITZ, L.; WEHBERG, J.; WICHMANN, V.; BÖHNER, J. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. **Geoscientific Model Development**, v. 8, n. 7, p. 1991-2007, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>.

ESRI. **ArcGIS Desktop** v. 10. Redlands, 2010.

GALLANT, J. C.; WILSON, J. P. Primary topographic attributes. In: WILSON, J. P.; GALLANT, J. C., (ed.). **Terrain analysis: principles and applications**. New York: John Wiley & Sons, 2000. p. 51-85.

IBGE. **BDiA - Banco de Dados de Informações Ambientais**. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>. Acesso em: 17 nov. 2022.

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia; Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande: Editora UEMS, 2010. 194 p. Disponível em: <https://www.imasul.ms.gov.br/wp-content/uploads/2015/06/PERH-MS.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2022.

MCKAY, M. D.; BECKMAN, R. J.; CONOVER, W. J. A comparison of three methods for selecting values of input variables in the analysis of output from a computer code. **Technometrics**, v. 21, n. 2, p. 239-245, May 1979. DOI: <https://doi.org/10.2307/1268522>.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. **Computers & Geosciences**, v. 32, n. 9, p. 1378-1388, Nov. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2005.12.009>.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. Latin hypercube sampling as a tool for digital soil mapping. In: LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A. B.; VOLTZ, M. (ed.). **Digital soil mapping: an introductory perspective**. Amsterdam: Elsevier, 2007. cap. 12, p. 153-165. (Developments in soil science, 31). DOI: [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(06\)31012-4](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(06)31012-4).

NASA JPL. **NASADEM Merged DEM Global 1 arc second nc V001**. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. 2020. Disponível em: [https://doi.org/10.5067/MEaSURES/NASADEM/NASADEM\\_NC.001](https://doi.org/10.5067/MEaSURES/NASADEM/NASADEM_NC.001). Acesso em: 30 jul. 2020.

OLIVEIRA, J. B. de; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: legenda expandida. Campinas: Instituto Agronômico; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 64 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/164919/1/Mapa-pedologico-do-Estado-de-SP-legenda-expandida-1999-Embrapa-Solos.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2022.

ROUDIER, P.; HEWITT, A. E.; BEAUDETTE, D. E. A conditioned latin hypercube sampling algorithm incorporating operational constraints. In: MINASNY, B.; MALONE, B. P.; MCBRATNEY, A. B. (ed). **Digital soil assessments and beyond**. London: CRC Press: Balkema, 2012. p. 227-232.

SANTOS, H. G. dos; HOCHMÜLLER, D. P.; CAVALCANTI, A. C.; RÉGO, R. S.; KER, J. C.; PANOSO, L. A.; AMARAL, J. A. M. do. **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI; Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 108 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/149478/1/CNPS-Procedimentos-normativos-levantamentos-pedologicos1995.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2022.

THE R FOUNDATION. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, 2018. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 10 jan. 2020.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Statistical methods in soil and land resource survey**. Oxford: Oxford University Press, 1990. 316 p.

Exemplares desta edição  
podem ser adquiridos na:

**Embrapa Solos**  
Rua Jardim Botânico, 1024.  
Jardim Botânico,  
CEP: 22460-000. Rio de Janeiro, RJ  
Fone: + 55 (21) 2179-4500  
[www.embrapa.br](http://www.embrapa.br)  
[www.embrapa.br/fale-conosco/sac](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac)

**1ª edição**

E-book (2022): PDF

Comitê Local de Publicações  
da Embrapa Solos

Presidente

*Silvio Barge Behring*

Secretário-Executivo

*Marcos Antônio Nakayama*

Membros

*Bernadete da Conceição Carvalho Gomes*

*Pedreira, David Vilas Boas de Campos,*

*Evaldo de Paiva Lima, José Francisco*

*Lumbreras, Joyce Maria Guimarães Monteiro,*

*Lucia Raquel Queiroz Pereira da Luz, Maurício*

*Rizzato Coelho, Wenceslau Geraldes Teixeira*

Supervisão editorial

*Marcos Antônio Nakayama*

Normalização bibliográfica

*Luciana Sampaio de Araujo (CRB – 7/5165)*

Projeto gráfico da coleção

*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica

*Alexandre Abrantes Cotta de Mello*

Capa

*Embrapa Milho e Sorgo,  
Agência Nacional de Águas*