



COMUNICADO
TÉCNICO

83

Rio de Janeiro, RJ
Dezembro, 2022



Aprendizado de Máquina e Imagens Sintéticas para Mapeamento da Textura Superficial dos Solos

Waldir de Carvalho Junior
Adinan Marzulo Maia Martins
Ricardo de Oliveira Dart
Nilson Rendeiro Pereira
José Ronaldo de Macedo
Silvio Barge Bhering
Gustavo Mattos Vasques
César da Silva Chagas
Braz Calderano Filho

Aprendizado de Máquina e Imagens Sintéticas para Mapeamento da Textura Superficial dos Solos¹

¹ Waldir de Carvalho Junior, engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. Adinan Marzulo Maia Martins, Graduando em Ciências Matemáticas e da Terra, Universidade Federal do Rio de Janeiro, estagiário da Embrapa Solos, RJ. Ricardo de Oliveira Dart, geógrafo, mestre em Geografia, analista da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. Nilson Rendeiro Pereira, agrônomo, mestre em Geografia, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. José Ronaldo de Macedo, engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. Silvio Barge Bhering, engenheiro-agrônomo, doutor em Geografia, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. Gustavo Mattos Vasques, engenheiro florestal, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, 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. Braz Calderano Filho, geógrafo, doutor em Geologia, analista da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

Introdução

O Estado do Mato Grosso do Sul possui importante papel na produção agrícola nacional, com expectativa de produção de 21,5 milhões de toneladas de leguminosas e oleaginosas neste ano de 2022 (IBGE, 2022). Para manter sustentável esta produção, o conhecimento dos solos é fundamental para um manejo adequado e manutenção dos ecossistemas.

O solo desempenha um papel fundamental nos ecossistemas, na produção de alimentos, na regulação do clima e nos ciclos da água e dos elementos (Diek et al., 2017; Demattê et al., 2018). Apesar de sua importância, os solos são um dos componentes ambientais mais impactados do planeta (Lal, 2004).

A falta de conhecimento pedológico em escala adequada levanta questões

importantes sobre a utilização sustentável dos solos e exigem a aplicação de novas técnicas e ferramentas de mapeamento de solos visando suprir esta demanda (Nolasco de Carvalho et al., 2015). Dentre as novas ferramentas podemos citar o sensoriamento remoto e as técnicas de mapeamento digital de solos (MDS) (Stenberg et al., 2010).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi testar uma metodologia de aprendizado de máquina aplicada sobre imagens sintéticas e dados de solos, para mapear o teor de argila superficial dos solos em dois municípios do Estado do MS.

Área de Estudo

O município de Rio Brillhante situa-se na mesorregião do sudoeste do Estado do Mato Grosso do Sul, microrregião de Dourados e localiza-se a uma latitude

20014'26" sul e uma longitude 56°22'42" oeste. Ocupa uma superfície aproximada de 3 983,562 km² e está a uma altitude de 312 metros acima do nível do mar.

O município de Inocência situa-se no Leste de Mato Grosso do Sul, microrregião de Paranaíba. Localiza-se a uma latitude 19°43'32" sul e a uma longitude 51°55'48" oeste. Ocupa uma superfície de 5 761,190 km² e está a uma altitude de 502 metros acima do nível do mar.

Material e Métodos

As imagens sintéticas foram obtidas através de processamento de coleção de imagens do satélite Landsat - 8 OLI/TIRS do ano de 2016, obtidas no site da USGS (Geological Survey, 2022) no ambiente Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017). Neste processamento, foram criadas imagens sintéticas de média para os municípios de Rio Brillhante e Inocência (ambos no MS), onde os pixels são representações de solo descoberto de vegetação ou solos expostos (Figura 1). Estas imagens foram correlacionadas com dados de classe textural e classes de solos obtidos pelo mapa de solo do estado do Mato Grosso do Sul na escala 1:100.000, recém elaborado com o propósito de atender demandas do Zoneamento Agroecológico do Estado do Mato Grosso do Sul (ZAEMS).

O mapa pedológico executado em nível de reconhecimento de média intensidade, na escala 1:100.000, seguiu as normas estabelecidas pela Embrapa (Reunião..., 1979; Carvalho et al., 1988;

Larach et al., 1988; Santos et al., 1995). Os critérios, definições e conceitos usados para o estabelecimento e subdivisão das classes de solos e fases de unidade de mapeamento seguiu as normas adotadas pela Embrapa, conforme especificado na Reunião... (1979), em Carvalho et al. (1988), Larach et al. (1988) e Santos et al. (2006).

O termo solo superficial aqui empregado corresponde ao horizonte superficial do solo considerado a uma profundidade de no máximo até 30 cm de profundidade.

As amostras coletadas foram submetidas à análises físicas, físico-hídricas e químicas nos laboratórios da Embrapa Solos, conforme os métodos de análise de solo detalhados por Oliveira (1979).

As determinações analíticas foram feitas na terra fina seca ao ar (TFSA), obtida após destorroamento e tamisação da amostra total para separação e quantificação das frações calhau (2 - 20 cm) e cascalho (2 -20 mm), e os resultados referem-se à terra fina seca a 105 °C (exceto determinações de densidade do solo e de partículas, e expressão dos resultados de pH em água e em KCl, percentagem de água na pasta saturada e condutividade elétrica, ou equivalente de CaCO₃ e carbono orgânico quando determinados na amostra integral).

Na determinação da composição granulométrica, empregou-se NaOH 4% como dispersante (ou calgon, quando especificado) e agitação em alta rotação por 15 minutos (no caso de amostras

ricas em carbonatos, sais solúveis ou matéria orgânica, foram empregados pré-tratamentos específicos): areia grossa (0,2 - 2 mm) e areia fina (0,05 - 0,2 mm) foram obtidas por tamisação, argila (< 0,002 mm) determinada por densimetria, pelo método do hidrômetro de Bouyoucos, e o silte (0,002 - 0,05 mm) obtido por diferença, entre as frações areia e argila. Pelo mesmo procedimento, com substituição do dispersante químico por água destilada, foi deter-

minada a argila dispersa em água e então calculado o grau de floculação, que expressa a proporção de argila não dispersa por este tratamento em relação ao teor total.

Nos trabalhos de campo foram descritos, classificados, coletados e analisados os solos em 98 pontos (Figura 1), e as principais classes de solos encontradas em Inocência e Rio Brilhante estão apresentadas na Tabela 1, abaixo.

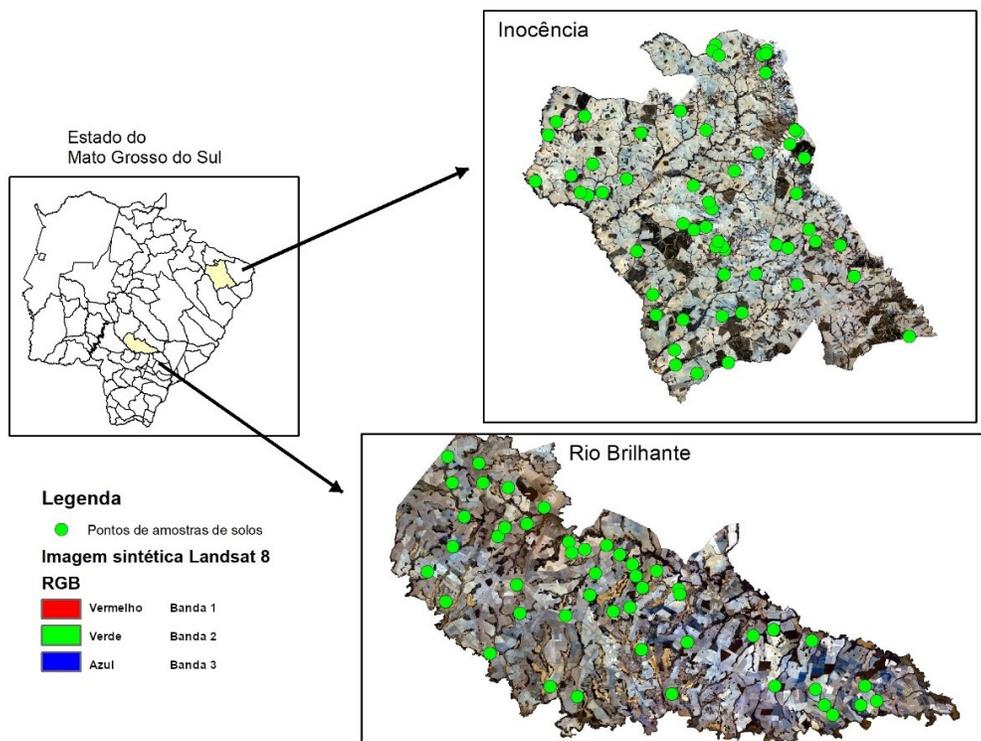


Figura 1. Área de Estudo com uma composição colorida das imagens sintéticas.

Tabela 1. Classes de solos, com textura superficial e número de pontos coletados em cada município.

Classes de solos	Textura superficial	Inocência	Rio Brilhante
LVd	Média ou Arenosa	15	--
LVd	Argilosa, Média ou Arenosa	--	04
LVdf	Argilosa ou Muito Argilosa	--	35
LAd	Argilosa	01	02
CXbd	Média	01	--
FXe	Arenosa	01	--
PVd	Arenosa	04	--
GMbd e GXbd	Arenosa, Média e Argilosa	01	03
OOs	Média	01	--
RQo	Arenosa	30	--

Onde: LVd - Latossolo Vermelho distrófico; LVdf - Latossolo Vermelho distrófico; LAd - Latossolo Amarelodistrófico; CXbd - Cambissolo Háptico Tb distrófico; FXe - Plintossolo Háptico eutrófico; PVd - Argissolo Vermelho distrófico; GMbd e GXbd - Gleissolo Melânico ou Hálico Tb distrófico; OOs - Organossolo; RQo - Neossolo Quartazrênico órtico

Todo o processamento dos dados para modelagem foi feito no R (R Core Team, 2022). As variáveis independentes (bandas da imagem sintética) foram pre-processadas para eliminar aquelas altamente correlacionadas (correlação de Spearman $> |0.95|$) e aquelas com variância próxima de zero.

A elaboração dos layouts das imagens foi feita utilizando-se o ArcGIS 10. Os teores de argila dos pontos amostrais de solos (Figura 1) foram correlacionados com os dados espectrais das imagens sintéticas, buscando por aprendizado de máquina elaborar um modelo de mapeamento digital baseado no algoritmo RandomForest (Breiman, 2001).

Nesta etapa, os dados foram divididos aleatoriamente em Treino e Teste na proporção de 70 e 30%, respectivamente. Essa divisão foi repetida 100 vezes para eliminar qualquer viés na observação dos resultados. Foram usados os pacotes Caret (Kuhn, 2022) e Raster (Hijmans, 2022) para processar toda a modelagem. Foi usado o coeficiente de determinação (R^2) médio para verificar a performance da modelagem.

Os mapas de argila foram gerados a cada repetição, e ao final do processo foi calculado o mapa médio de teor superficial de argila dos solos.

Resultados

No município de Inocência, os solos são em sua maioria de textura superficial média ou arenosa (Figura 2), composto de Latossolos Vermelhos e Vermelhos Amarelos, além dos Neossolos Quartzarênicos (Tabela 1).

Já o município de Rio Brilhante possui em geral solos com textura superficial argilosa ou muito argilosa (Figura 2), composto principalmente por Latossolos Vermelhos Distrofêricos argilosos ou muito argilosos e Latossolos Vermelhos e Amarelos argilosos (Tabela 1).

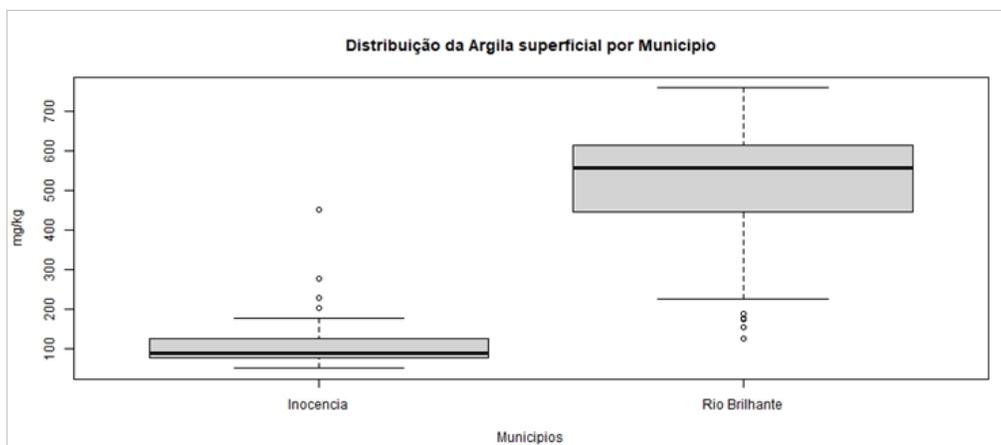


Figura 2. Boxplot da distribuição de argila superficial para os municípios estudados.

Essa distribuição diferenciada da classe textural superficial dos solos entre os dois municípios estudados, foi associada às diferenças de reflectância das bandas da imagem sintética, o que contribuiu para a correlação ambiental entre teor superficial de argila dos solos e a reflectância das bandas da imagem sintética.

No processo de aprendizado de máquina foram excluídas as covariáveis que tinham correlação maior que 0,95, além daquelas com variância zero ou próximo disso. Assim as bandas SR_B2 (alta correlação), QA_PIXEL

e QA_RADSAT (variância zero) foram excluídas do processo de modelagem. Desta forma, restaram oito covariáveis, a saber SR_B1, SR_B3, SR_B4, SR_B5, SR_B6, SR_B7, ST_TRAD e NDVI.

Prosseguindo com o processo de aprendizado de máquina, foram gerados subconjuntos aleatórios de dados para treino e teste na proporção de 70/30. Os dados de treino contêm 70 observações e os de teste 30. Estes dados de treino foram usados para gerar o modelo RandomForest, repetindo o processo por 100 vezes, buscando a estabilização do modelo e observação do R2.

Os valores médios R2 foram de 0,64 para treino e de 0,56 para teste. Estes valores indicam uma performance média do modelo RandomForest, porém interessante, já que foram utilizadas apenas as covariáveis da imagem sintética, sem nenhum atributo do terreno ou covariável baseada no modelo digital de elevação.

Quanto as imagens geradas de argila (média de 100 repetições) (Figura 3), podemos notar que as áreas com vegetação permanentemente e aquelas consideradas como solo exposto tiveram predições bastante diferentes, apresentando descontinuidades que não ocorrem na natureza.

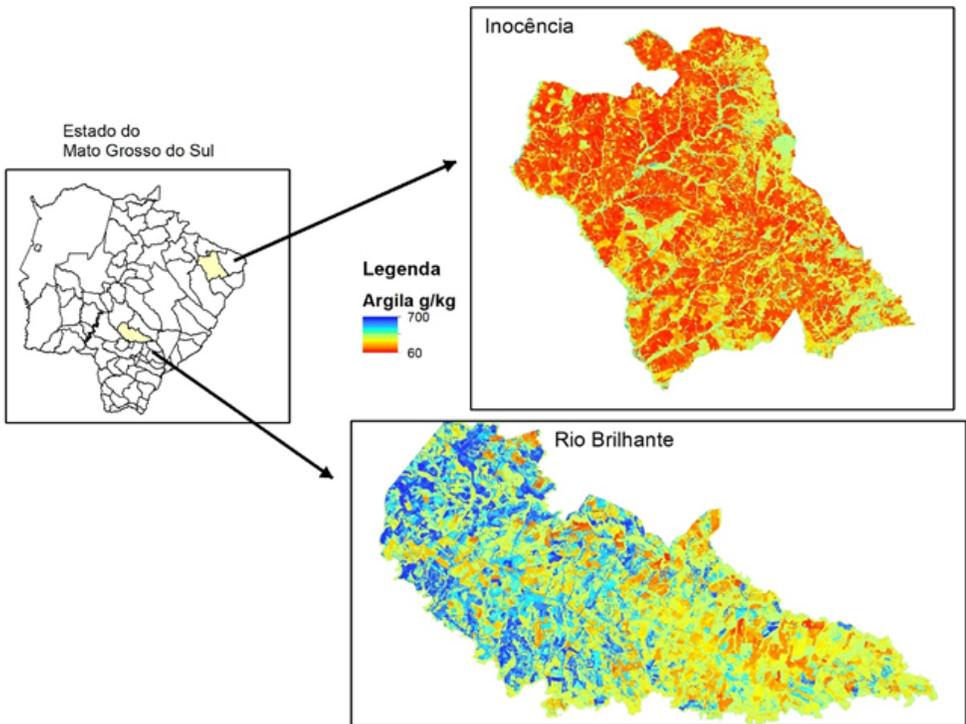


Figura 3. Mapas de distribuição de argila superficial para os municípios de Inocência e Rio Brilhante (ambos em MS).

Considerações Finais

O presente estudo demonstrou a possibilidade de utilização de técnicas de aprendizado de máquina para mapeamento digital de atributos de solos, principalmente, em relação a distribuição do teor de argila superficial dos solos. Estas técnicas serão usadas no projeto de Zoneamento Agroecológico do Estado do Mato Grosso do Sul (ZAEMS).

Referências

- BREIMAN, L. Random forests. **Machine Learning**, v. 45, p. 5-32, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>.
- CARVALHO, A. P. de; LARACH, J. O. I.; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. (comp.). **Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento**: normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1988. 67 p. (EMBRAPA-SNLCS. Documentos, 11). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/36148/1/criterios.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2022.
- DEMATTÊ, J. A. M.; FONGARO, C. T.; RIZZO, R.; SAFANELLI, J. L. Geospatial Soil Sensing System (GEOS3): a powerful data mining procedure to retrieve soil spectral reflectance from satellite images. **Remote Sensing of Environment**, v. 212, p. 161-175, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.04.047>.
- DIEK, S.; FORNALLAZ, F.; SCHAEPMAN, M. E.; DE JONG, R. Barest pixel composite for agricultural areas using Landsat time series. **Remote Sensing**, v. 9, n. 12, 1245, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs9121245>.
- GEOLOGICAL SURVEY (Estados Unidos). **Landsat 8 | U.S. Geological Survey**. 2022. Disponível em: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>. Acesso em: 15 dez. 2022.
- GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18-27, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.
- HIJMANS, R. J. **Raster**: geographic data analysis and modeling. R package version 3.5-29. 2022. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=raster>. Acesso em: 15 dez. 2022.
- IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. **Levantamento sistemático da produção agrícola - maio 2022**: Mato Grosso do Sul. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/mato-grosso-do-sul>. Acesso em: 13 jun. 2022.
- KUHN, M. **Caret**: classification and regression training. R package version 6.0-93. 2022. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=caret>. Acesso em: 15 dez. 2022.
- LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, v. 123, n. 1/2, p. 1-22, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032>.
- LARACH, J. O. I.; CAMARGO, M. N.; JACOMINE, P. K. T.; CARVALHO, A. P. de; SANTOS, H. G. dos. **Definição e notação de horizontes e camadas do solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1988. 54 p. (EMBRAPA-SNLCS. Documentos, 3).
- NOLASCO DE CARVALHO, C. C.; NUNES, F. C.; ANTUNES, M. A. H.; NOLASCO, M. C. Soil surveys in Brazil and perspectives in digital soil mapping. **Soil Horizons**, v. 56, n. 6, p. 1-9, 2015. DOI: <https://doi.org/10.2136/sh14-01-0002>.
- OLIVEIRA, L. B. de (coord.). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/213515/1/Manual-de-metodos-de-analise-de-solo-1979.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2022.
- R CORE TEAM. **R: the R Project for statistical computing**. Vienna, AT: R Foundation for Statistical Computing, 2022. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 15 dez. 2022.
- REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10., 1979, Rio de Janeiro. **Súmula...** Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979. 83 p. (EMBRAPA-SNLCS. Série Miscelânea, 1). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/212100/1/SNLCS-Miscelanea-1-1979.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2022.

SANTOS, H. G. dos; HOCHMÜLLER, D. P.; CAVALCANTI, A. C.; RÊGO, 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.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (ed.). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/93143/1/sistema-brasileiro-de-classificacao-dos-solos2006.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2022.

STENBERG, B.; VISCARRA ROSSEL, R. A.; MOUAZEN, A. M.; WETTERLIND, J. Visible and near infrared spectroscopy in soil science. **Advances in Agronomy**, v. 107, p. 163-215, 2010. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)07005-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)07005-7).

Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, n° 1024
Jardim Botânico, Rio de Janeiro, RJ
CEP: 22460-000
Fone: +55 (21) 2179-4500

www.embrapa.br

www.embrapa.br/fale-conosco/sac

1ª edição

Publicação digital - PDF (2022)



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



Comitê Local de Publicações

Presidente

Silvio Barge Bhering

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 Araújo (CRB 7/5165)

Projeto gráfico da coleção

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica

Beatriz Regina de Figueiredo

Capa

Beatriz Regina de Figueiredo

Foto da capa

Nilson Rendeiro Pereira