



**ELIDIANE DA SILVA**

**MAPEAMENTO DE SOLOS E USO DE  
ALGORITMOS DE APRENDIZAGEM EM  
LAVRAS (MG)**

**LAVRAS – MG**

**2018**

**ELIDIANE DA SILVA**

**MAPEAMENTO DE SOLOS E USO DE ALGORITMOS DE  
APRENDIZAGEM EM LAVRAS (MG)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para obtenção do título de Doutor.

Orientador:

Dr. Nilton Curi

Co-orientadora

Dra. Michele Duarte de Menezes

**LAVRAS - MG  
2018**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha  
Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados  
informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

da Silva, Elidiane.

Mapeamento de solos e uso de algoritmos de aprendizagem em  
Lavras (MG) / Elidiane da Silva. - 2018.

194 p.

Orientador(a): Nilton Curi.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Levantamento pedológico. 2. mapeamento digital de solos. 3.  
Aprendizado de máquina. I. Curi, Nilton. II. Título.

**ELIDIANE DA SILVA**

**MAPEAMENTO DE SOLOS E USO DE ALGORITMOS DE  
APRENDIZAGEM EM LAVRAS (MG)**

**SOIL MAPPING AND USE OF MACHINE LEARNING AT LAVRAS  
(MG)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 13 de novembro de 2017.

Dr. Nilton Curi	UFLA
Dra. Michele Duarte de Menezes	UFLA
Dr. Fausto Weimar Acerbi Júnior	UFLA
Dr. Gilberto Coelho	UFLA
Dr. César da Silva Chagas	EMBRAPA-SOLOS

**Dr. Nilton Curi**  
Orientador

**Dra. Michele Duarte de Menezes**  
Co-orientadora

**Lavras – MG**  
**2018**

*A Deus dedico!!!*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo grande milagre chamado vida.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência do Solo pela acolhida e oportunidades oferecidas.

Ao CPNq, pela concessão da bolsa de doutorado.

Às agências financiadoras CAPES e FAPEMIG.

Ao professor Nilton Curi pelos inestimáveis conhecimentos e valores transmitidos, orientação e fraterna amizade.

À professora Michele Duarte de Menezes pela co-orientação e pelo inestimável incentivo à realização deste trabalho.

Ao professor Phillip Owens pela acolhida e ensinamentos no período sanduíche na Purdue University.

Aos professores da UFLA Fausto Weimar Acerbi Junior, Gilberto Coelho, ao pesquisador da EMBRAPA Solos César da Silva Chagas por aceitarem participar da banca de defesa.

Ao professor Sérgio Henrique Godinho Silva por toda ajuda, suporte e amizade, ao colega Marcelo Henrique Procópio Pelegrino pela ajuda na coleta das amostras de solo e pela amizade.

À Eduarda Martiniano de Oliveira Silveira do PPGEF-UFLA pelas contribuições na elaboração do artigo sobre mapeamento digital de solos.

A todos os funcionários do DCS/UFLA, em especial às secretárias Dirce e Maria Alice, pelo desempenho da função com alegria contagiante.

A todos os colegas e ex-colegas de departamento pela amizade e apoio, tornando o trabalho algo prazeroso de se realizar, especialmente Maíra, Giovana, Daniele, Pedro Batista, Fábio Arnaldo, Fábio Bispo, Adnane, Mariana, Leandro, Eliete, Vladimir e Walbert.

Aos meus pais Antônio e Nazaré, que quiseram fazer a vida diferente e acreditaram que a educação é o melhor caminho para isso. E à minha irmã Luciana.

Ao querido Fábio, pelo incentivo, apoio, amor e paciência na realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADA A TODOS!!!

## RESUMO

Conhecer as classes de solos e seus atributos que ocorrem em uma região é um fator primordial para que decisões mais assertivas sejam tomadas quanto ao uso e manejo do solo e da água. Nesse contexto, o mapeamento dos solos é uma importante ferramenta de planejamento e gestão para o uso adequado das terras. Este trabalho visa contribuir com o conhecimento técnico e científico a respeito das classes de solos que ocorrem no município de Lavras e o uso de técnicas modernas que permitem a predição de classes e propriedades dos solos. É apresentado o levantamento pedológico do município de Lavras, MG, e um estudo comparando duas técnicas (*Support Vector Machine - SVM* e Redes Neurais Artificiais - RNA) de mapeamento digital de solos para predição de classes e propriedades dos solos no campus da Universidade Federal de Lavras. O mapeamento dos solos do município de Lavras utilizou 27 perfis modais distribuídos uniformemente pela área de estudo. A partir da elaboração do mapa de solos foi possível avaliar também a aptidão agrícola das terras e a adequabilidade do uso atual. No estudo das técnicas de mapeamento digital de solos foram avaliados diferentes conjuntos de covariáveis ambientais em diferentes tamanhos de conjuntos de treinamento. O levantamento pedológico ao nível de reconhecimento, de média intensidade, do município de Lavras registrou Latossolos, Argissolos, Cambissolos, e Neossolos, com predominância dos Latossolos, seguidos por Argissolos, que representam juntos 72% da área total do município. Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico foi a classe, ao nível de subgrupo, de maior abrangência no município, ocorrendo em 34% da área total. Quanto à adequabilidade do uso da terra, 89% da área do município apresentam usos adequados e 7 %, inadequados. Na predição de classes de solos no campus da UFLA, as RNA apresentaram melhor desempenho quando foi utilizado um conjunto de treinamento constituído pelo maior número de covariáveis ambientais. Na predição das propriedades do solo as RNA também se destacaram. Em ambos os casos o aumento dos dados de treinamento aumentou o desempenho das técnicas. O levantamento pedológico do município de Lavras estratificou a ocorrência dos solos nas diferentes paisagens, que poderá embasar futuros trabalhos de pesquisa, de extensão e também servir de subsídio a decisões político-administrativas. A técnica de aprendizado de máquinas e RNA pode ser utilizada como ferramenta de mapeamento digital de classes e propriedades de solos em condições semelhantes à estudada.

Palavras-chave: Levantamento pedológico. Mapeamento digital de solos. Aprendizado de máquina.

## ABSTRACT

The knowledge of soil classes and their attributes in a region is an important factor for more assertive decisions to be made regarding the use and soil and water management. The soil mapping is an important planning and management tool for the proper land use. This work aims to contribute with the technical and scientific knowledge regarding the soil classes that occur in the Lavras municipality and the use of modern techniques that allow the prediction of soil classes and properties. It is shown a Lavras municipality pedological survey, and a study comparing two techniques (Support Vector Machine - SVM and Artificial Neural Networks - ANN) of digital soil mapping for predicting soil classes and properties on the campus of the Federal University of Lavras. The soils mapping of the Lavras municipality used 27 modal profiles evenly distributed throughout the study area. From the elaboration of the soil map it was possible to evaluate also the land agricultural suitability and the adequability of the current use. In the study of digital soil mapping techniques, different sets of environmental covariates were evaluated in different sizes of training sets. The pedological survey at the medium intensity reconnaissance level of the Lavras municipality registered Latosols, Argisols, Cambisols, and Neosols, with predominance of the Latosols, followed by Argisols, that together represent 72% of the total area of the municipality. Typic Dystrophic Red-Yellow Argisol was the subgroup level class with the greatest geographical expression in the municipality, occurring in 34% of the total area. The land use suitability showed 89% of the area have adequate uses and 7%, inadequate. In the prediction of soil classes on the campus of UFLA, ANN presented better performance when a training set was used consisting of the largest number of environmental covariates. In the prediction of soil properties ANN also performance well. In both cases increased training data increased the performance of the techniques. The pedological survey of the municipality of Lavras stratified the occurrence of soils in the different landscapes, which could base future research, extension work and also serve as a subsidy to political-administrative decisions. The technique of SVM and ANN can be used as a tool of digital mapping of classes and properties of soils in similar conditions.

Keywords: Pedological survey. Digital Soil Mapping. Machine learning.



## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL.....	11
1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 Levantamento pedológico e mapeamento digital de solos.....	13
2.2 Covariáveis ambientais utilizadas em mapeamento de solos.....	16
2.3 Técnicas de predição espacial de solos.....	19
2.3.2 Support Vector Machine.....	20
2.3.3 Redes Neurais Artificiais.....	21
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	22
REFERÊNCIAS.....	23
CAPÍTULO 2 LEVANTAMENTO PEDOLÓGICO DO MUNICÍPIO DE LAVRAS (MG).....	29
1 INTRODUÇÃO.....	30
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	33
2.1 Caracterização da área de estudo.....	33
2.2 Descrição metodológica.....	37
2.2.1 Bases para o levantamento pedológico.....	37
2.2.2 Análises físicas e químicas dos solos.....	39
2.2.3 Análises geoquímicas e de suscetibilidade magnética dos solos.....	40
2.2.4 Aptidão agrícola das terras.....	41
2.2.5 Adequabilidade do uso das terras.....	42
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
3.1 Solos identificados no município de Lavras.....	44
3.1.1 Argissolos.....	44
3.1.1.1 ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico.....	45
3.1.1.2 ARGISSOLO VERMELHO Distroférico típico.....	45
3.1.1.3 ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico.....	45
3.1.1.4 ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico.....	46

3.1.2 Cambissolos.....	46
3.1.2.1 CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico.....	46
3.1.2.2 CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico.....	47
3.1.2.3 CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico.....	47
3.1.2.4 CAMBISSOLO FLÚVICO Tb Distrófico típico.....	47
3.1.2.5 CAMBISSOLO FLÚVICO Tb Eutrófico típico.....	48
3.1.3 Latossolos.....	48
3.1.3.1 LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico.....	48
3.1.3.2 LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico.....	49
3.1.3.3 LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico.....	49
3.1.4 Neossolos.....	49
3.1.4.1 NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico.....	50
3.2 Caracterização dos solos do município de Lavras .....	50
3.3 Distribuição dos solos no município de Lavras .....	50
3.4 Aptidão agrícola das terras do município de Lavras.....	56
3.5 Adequabilidade do uso das terras do município de Lavras.....	60
4 CONCLUSÕES .....	62
REFERÊNCIAS.....	64
CAPÍTULO 3 SUPPORT VECTOR MACHINE AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS APPLIED TO SPATIAL PREDICTION OF SOIL TYPE AND PROPERTIES .....	66
APÊNDICE A.....	104
APÊNDICE B.....	107
APÊNDICE C.....	162
APÊNDICE D.....	169
APÊNDICE E.....	179
APÊNDICE F.....	188

## **CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL**

## 1 INTRODUÇÃO

O termo solo (do latim *solum*: superfície, base, suporte) representa a parte superior da crosta terrestre ou litosfera, resultante da interface entre atmosfera, litosfera e hidrosfera, possuindo elementos nas fases gasosa e líquida, além de materiais sólidos de origem mineral e biológica (KÄMPF E CURI, 2012).

O solo funciona como suporte e fonte de nutrientes para as plantas e como meio de obtenção de alimentos, fibras e energia. É mediador de processos fundamentais, como os ciclos da água, do carbono e outros nutrientes, além de ser base para construções civis e fonte de matéria-prima para a indústria. Em resumo, este recurso natural desempenha funções que possibilitam a existência e manutenção da vida na Terra.

Conhecer as classes de solos e suas propriedades ocorrentes em uma região é um fator primordial para que decisões mais assertivas sejam tomadas quanto ao uso e manejo do solo e da água. Segundo Resende et al. (2014), o uso das informações fornecidas pelos levantamentos de solos para a estratificação de ambientes é insubstituível, especialmente, para subsidiar estudos agronômicos e ambientais visando solucionar problemas e fortalecer o desenvolvimento da agricultura (SIMÕES et al., 2017).

Ferramentas que permitem o Mapeamento Digital de Solos (MDS) incluindo a mineração de dados, tais como *Support Vector Machine (SVM)* e

Redes Neurais Artificiais (RNA) extraem informações de forma automatizada a partir de um conjunto de dados e estão sendo cada vez mais utilizadas, seja na obtenção de informações sobre classes de solos (CALDERANO FILHO et al., 2014), ou na predição de propriedades de solos (LI et al., 2014; JAFARZADEH et al., 2016).

Essas ferramentas proporcionam alternativas para melhorar tanto a eficiência dos trabalhos de campo quanto a qualidade dos mapas finais, sendo fundamental que as mesmas sejam combinadas ao conhecimento de pedólogos que conheçam bem as relações solo-paisagem da área a ser mapeada (conhecimento de campo), unindo, desta forma, a experiência de profissionais com ferramentas para a extrapolação de informações e rápido processamento de dados.

Nesse sentido, os objetivos deste estudo foram: a) realizar o levantamento pedológico do município de Lavras (MG); e b) avaliar as técnicas de mineração de dados *Support Vector Machine* e Redes Neurais Artificiais na identificação de diferentes classes e propriedades de solos no campus da Universidade Federal de Lavras.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Levantamento pedológico e mapeamento digital de solos**

Ker et al.(2017) descrevem o histórico dos levantamentos pedológicos no Brasil com base em revisões realizadas anteriormente e em informações dos próprios autores. Neste estudo fica elucidado que os primeiros mapeamentos de solos no Brasil foram iniciados em 1934 no município de Sousa, Paraíba. Nas décadas seguintes ocorreu um aumento gradativo e significativo do conhecimento da cartografia de solos, com o apogeu nas décadas de 1970 e 1990, e a partir daí, ocorreu uma desaceleração destes trabalhos. De acordo com Carvalho et al. (2013), a situação econômica do país, por diversas vezes, tem dificultado o avanço dos levantamentos de solos no Brasil.

Pelo estudo de formas complementares e auxiliares ao levantamento pedológico surgiu o Mapeamento Digital de Solos (MDS). Segundo McBratney; Mendonça Santos e Minasny (2003), embora o levantamento pedológico gere mapas muito confiáveis, ele por muitas vezes é demorado e de custo mais elevado.

O MDS foi definido por Lagacherie e McBratney (2007) como “a criação e o incremento de sistemas de informação espacial de solos por meio de modelos numéricos para inferir as variações espaciais e temporais de classes de solo e suas propriedades, a partir de observações, conhecimentos e dados de variáveis ambientais relacionados”.

De acordo com ten Caten et al. (2012), a primeira publicação utilizando

MDS no Brasil ocorreu no ano de 2006, através de estudo de Giasson et al. (2006), embora no exterior, especialmente na Inglaterra, o primeiro estudo dessa natureza tivesse sido publicado há quase quatro décadas atrás por Webster e Burrough (1972). O estudo pioneiro em MDS no Brasil foi realizado em uma área de 253 km<sup>2</sup> em Sentinela do Sul, RS, e utilizou modelos de regressões logísticas múltiplas.

A partir daí diversos estudos têm sido realizados no Brasil (FIGUEIREDO et al., 2008; TEN CATEN et al., 2012; SARMENTO et al., 2012; MENEZES et al., 2014; CALDERANO FILHO et al., 2014; SILVA et al., 2014; BAGATINI; GIASSON; TESKE, 2016; RIZZO et al., 2016). Segundo Minasny e McBratney (2016), os resultados de pesquisas sobre MDS necessitam ser divulgados não apenas em periódicos científicos, devendo ser disponibilizados também para uso prático.

Com o maior uso de métodos matemáticos, estatísticos e numéricos aplicados para minimizar a incerteza e complexidade inerente ao sistema solo, surgiu o conceito de pedometria na área da Ciência do Solo, a qual vem sendo aprimorada para ajudar na medida temporal de alterações e auxiliar nas previsões de classes de solos e suas propriedades.

A pedometria tem como objetivo conseguir uma melhor compreensão do solo como um fenômeno que varia ao longo de diferentes escalas no espaço e no tempo. Esse entendimento é importante, tanto para a melhoria do manejo, quanto

para subsidiar o conhecimento científico do solo e os sistemas agrônômicos, ecológicos e hidrológicos do qual o solo faz parte (DALMOLIN & TEN CATEN, 2015).

## **2.2 Covariáveis ambientais utilizadas em mapeamento de solos**

Os Modelos Numéricos de Terreno (MNT) são representações do terreno como importante apoio ao levantamento pedológico. Algumas covariáveis ambientais essenciais ao levantamento pedológico podem ser facilmente obtidas a partir do MNT. Estas covariáveis consistem em dados de entrada em modelos que auxiliam explicar a distribuição dos solos na paisagem.

O relevo é considerado um importante fator para o desenvolvimento do solo por afetar a estabilidade do mesmo contra movimentos induzidos pela gravidade (Gerrard, 1981). Além disso, o relevo influencia as perdas de solo, pois, à medida que a declividade aumenta, maior é o volume e a velocidade da enxurrada (COGO; LEVIEN; SHWARZ, 2003). Portanto, de maneira geral, devido a maior remoção de solo pela erosão, em declives mais acentuados espera-se a ocorrência de solos mais rasos e jovens na paisagem e em paisagens mais planas e estáveis, com pouca remoção, espera-se encontrar solos mais profundos e intemperizados-lixiviados.

Através do MNT também é possível determinar o Perfil de Curvatura



que representa a direção da máxima declividade que rege a direção do fluxo de água (Menezes, 2011). Segundo Resende et al. (2014), a erosão aumenta à medida que a pedoforma varia de côncava para convexa. Os mesmos autores afirmam que em pedoformas côncavas há tendência de maior acúmulo, o que contribui para maior contraste entre solos de diferentes posições na paisagem. Além disso, áreas da paisagem sob a mesma classe de solo e manejo, influenciadas por diferentes pedoformas e declividades, possuem variabilidade dos atributos do solo (Resende et al., 2014), sendo tais atributos de terreno importantes parâmetros para a predição da sua variabilidade.

O solo, sendo um corpo tridimensional, possui uma forma externa, que vem a ser a sua topografia (pedoforma), que constitui uma característica da pedopaisagem (RESENDE et al., 2014). Troeh (1965) desenvolveu o modelo de paisagem baseado na curvatura do terreno, afirmando que as feições topográficas poderiam variar entre linear, côncava e convexa, e associou a inclinação e a curvatura ao grau de intemperismo e evolução do solo.

O Índice Topográfico de Umidade (ITU) é uma covariável utilizada para identificar áreas na paisagem mais propícias ao acúmulo de água e sedimentos (McKENZIE e RYAN, 1999). Esse atributo de terreno, também derivado do MNT, tem se mostrado bastante útil para predizer atributos do solo (MOORE et al., 1993; GESSLER et al., 1995). O ITU tem se tornado amplamente utilizado por inferir sobre a distribuição espacial das condições de maior umidade, por

exemplo em áreas com lençol freático mais próximo da superfície (GRABS et al., 2009). Esse índice é calculado pela expressão  $\ln(\alpha/\tan\beta)$ , em que  $\alpha$  é a razão entre a área de contribuição acima do local de interesse por unidade do perímetro dessa área, e  $\beta$  é a declividade local (BEVEN; WOOD, 1983).

Outra covariável derivada do MNT é a Altitude Acima da Rede de Drenagem (AARD) que é utilizada no mapeamento de solos e seus atributos, podendo ser citado, por exemplo, o estudo desenvolvido por Adhikari et al. (2014) que utilizaram-na no mapeamento do carbono orgânico em solos da Dinamarca.

O material de origem é o material a partir do qual o atual perfil de solo foi derivado, e é necessária a inferência de qual seja ele (YOUNG, 1976). Segundo Kämpf e Curi (2012), na maioria das vezes, o horizonte C (ou Cr), ou a camada R, representa o material de origem do solo, mas este também pode ser originário de depósitos provenientes de outras áreas. Os mesmos autores relatam que cabe ao pedólogo inferir qual é o material de origem mais provável do solo.

Estudando a distribuição dos solos no município de Lavras (MG), Curi et al. (1990) concluíram que o material de origem e a idade foram os principais fatores de formação dos solos. No Sul de MG, como um todo, este também parece ser o caso (UFV; CETEC; UFLA; FEAM, 2010). No estudo de Chagas; Fernandes Filho e Barge Bhering (2013), por exemplo, o material de origem teve influência marcante na ausência ou presença de mudança textural abrupta nos

solos da área por eles estudada.

### **2.3 Técnicas de predição espacial de solos**

Diferentes técnicas matemáticas são utilizadas no mapeamento digital de solos, como as técnicas de aprendizado de máquinas. Os algoritmos dessas técnicas funcionam pelo aprendizado de padrões e conhecimentos de um conjunto de dados e aplicam os resultados desse aprendizado a outro conjunto de dados que se queira predizer (WITTEN et al., 2016).

No contexto deste estudo são abordadas três importantes técnicas de mapeamento digital de solo: *Lógica fuzzy k-means*, *Support Vector Machine* e *Redes Neurais Artificiais*.

#### **2.3.1 Lógica *fuzzy k-means***

As classificações pela lógica fuzzy oferecem subsídio para a delimitação de classes de solo de forma contínua (McBRATNEY & GRUIJTER, 1992). O esquema de agrupamento pela lógica *fuzzy k-means* executa iterativamente a partição de grupamentos até encontrar a convergência e a similaridade máxima dentro dos grupos criados (BEZDEK, 1981; JAIN, 2010). O agrupamento de dados é usado com frequência em várias aplicações, como na agricultura de

precisão, geologia, análise de imagens, diagnósticos médicos (GHOSH & DUBEY, 2013), e na classificação de solos (LAGACHERIE et al., 1997; HOT & POPOVIĆ-BUGARIN, 2015; RIZZO et al., 2015).

### **2.3.2 Support Vector Machine**

O *Support Vector Machine (SVM)* é um algoritmo de aprendizado de máquina, que foi inicialmente desenvolvido para classificação (BOSER et al., 1992; BURGESS, 1998), mas foi também estendido para regressão no treinamento de problemas de classificação (Vapnik, 1995). O funcionamento do SVM consiste na construção de um hiperplano para a separação ideal entre as classes de um conjunto de dados (HASTIE; TIBSHIRANI; FRIEDMAN, 2009). Essa distância entre o hiperplano e o primeiro ponto de cada classe geralmente é chamada de margem. O algoritmo SVM define cada ponto pertencente a uma das classes e prevê a margem máxima de possibilidade do ponto pertencer a uma delas (OCAK E SEKER, 2013).

As margens são maximizadas pelos pontos ótimos que devem estar paralelos aos limites das classes. Estes pontos ótimos são chamados *support vectors* (vetores de suporte) e são utilizados na estimativa do hiperplano para obter a separação ideal entre duas classes (WITTEN ET AL., 2005; HAHN E GLOAGUEN, 2008).

### 2.3.3 Redes Neurais Artificiais

As Redes Neurais Artificiais (RNA) consistem em um modelo matemático que interliga unidades, chamadas de neurônios, e estima as correlações entre as variáveis. Os neurônios de entrada, que representam variáveis predictoras, estão conectados a uma única ou a várias camadas de neurônios ocultos, que estão ligados aos neurônios de saída que representam as variáveis preditas.

As conexões entre os neurônios, durante o processo de treinamento das RNA, são estabelecidas por fatores designados com base em um processo de aprendizagem intrínseco, onde os pesos são ajustados interativamente para corresponder às saídas do conjunto de dados de treinamento (BEHRENS ET AL., 2005). A taxa de aprendizagem determina o tamanho da etapa tomada durante o gradiente iterativo do processo de aprendizado.

As RNA nos estudos de solos têm sido amplamente utilizadas para estimar atributos dos solos (MINASNY et al., 2004), especificamente para a predição e distribuição das classes de solos, como nos estudos de Zhu (2000), Carvalho Júnior (2005), Chagas (2006), Sirtoli (2008), Calderano Filho et al. (2014), Arruda et al. (2015), Heung et al. (2016) e Chagas et al. (2017).

### **3 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O levantamento pedológico é uma importante ferramenta para o planejamento racional do uso da terra. As informações fornecidas pelos levantamentos de solos são essenciais para a estratificação de ambientes, principalmente, e para subsidiar estudos ambientais e agrícolas com o intuito de encontrar soluções para o desenvolvimento sustentável.

A pedometria e as novas técnicas de mapeamento digital de solos são ferramentas auxiliares ao levantamento pedológico, as quais necessitam ser escolhidas e adaptadas a cada local de interesse.

Este trabalho reforça que o levantamento pedológico e o mapeamento digital de solos, são complementares, não excludentes e não competitivos. Ambos são partes importantes da Pedologia.

## REFERÊNCIAS

ADHIKARI, K. et al. Digital mapping of soil organic carbon contents and stocks in Denmark. **PLoS One**, v. 9, e105519, 2014.

ARRUDA, G. P.; DEMATTÊ, J. A. M.; da CHAGAS, C. S. Mapeamento digital de solos por redes neurais artificiais com base na relação solo-paisagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 327-338, 2013.

ARRUDA, G.P.D. et al. Digital soil mapping using reference area and artificial neural networks. **Scientia Agricola**. v. 73, p. 266-273, 2016

BAGATINI, T.; GIASSON, E.; TESKE, R. Expanding pedological maps to physiographically similar areas with digital soil mapping. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1317-1325, 2016.

BEHRENS, T. et al. Digital soil mapping using artificial neural networks. **Journal of plant nutrition and soil science**. v. 168, n.1, p. 21-33, 2005.

BEVEN, K.; WOOD, E. F. Catchment geomorphology and the dynamics of runoff contributing areas. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 65, n. 1, p. 139-158, 1983.

BOSER, B.E.; GUYON, I.M.; VAPNIK, V.N., **A training algorithm for optimal margin classifiers**. In Proceedings of the fifth annual workshop on Computational learning theory, p. 144-152. ACM, 1992.

BUI, E.N. Soil survey as a knowledge system. **Geoderma**, v.120, n. 1–2, p. 17-26, 2004.

BURGES, C.J. A tutorial on support vector machines for pattern recognition. **Data mining and knowledge discovery**. v. 2, n.2, p.121-167, 1998.

CALDERANO FILHO, B. et al. Artificial neural networks applied for soil class prediction in mountainous landscape of the Serra do Mar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n.6, p.1681-1693, 2014.

CARVALHO JUNIOR, W.D. et al. Digital soilscape mapping of tropical hillslope areas by neural networks. **Scientia Agricola**, v.68, n.6, p.691-696, 2011.

CHAGAS, C. S., Data mining methods applied to map soil units on tropical hillslopes in Rio de Janeiro, Brazil. **Geoderma Regional**, v.9, p.47-55, 2017.

CHAGAS, C. S.; FERNANDES FILHO, E. I.; BARGE BHERING, S. Relação entre atributos do terreno, material de origem e solos em uma área no noroeste do estado do Rio de Janeiro. **Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 1, 2013.

CHAGAS, C.S. **Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica no domínio de Mar de Morros**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2006. 223p. (Tese de doutorado).

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.743-753, 2003.

DALMOLIN, R. S. D.; TEN CATEN, A. Mapeamento Digital: nova abordagem em levantamento de solos. **Investigación Agraria**, v. 17, n. 2, p. 77-86, 2015.

FIGUEIREDO, S. R. et al. Uso de regressões logísticas múltiplas para mapeamento digital de solos no planalto médio do RS. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. v.32, p. 2779-2785, 2008.

GERRARD, J. **Soils and landforms: an integration of geomorphology and pedology**. George Allen & Unwin, London and Boston. 1981. 256p.

GESSLER, P.E. et al. Soil-landscape modelling and spatial prediction of soil attributes. **International Journal Geographical Information Systems**, v.9, n.4, p.421-432, 1995.

GIASSON, E. et al. Digital soil mapping using multiple logistic regression on terrain parameters in southern Brazil. **Scientia Agricola**, v.63, p.262-268, 2006.

GHOSH, S.; DUBEY, S. K. Comparative analysis of k-means and fuzzy c-means algorithms. **International Journal of Advanced Computer Science and Applications**, v. 4, n. 4, p. 35-39, 2013.

GRABS, T. et al. Modeling spatial patterns of saturated areas: a comparison of the topographic wetness index and a dynamic distributed model. **Journal of Hydrology**, v.373 (1-2), p.15-23, 2009.



GRUNWALD, S. Multi-criteria characterization of recent digital soil mapping and modeling approaches. **Geoderma**, v. 152, n. 3-4, p.195-207, 2009.

HAHN, C.; GLOAGUEN, R. Estimation of soil types by non linear analysis of remote sensing data. **Nonlinear Processes in Geophysics**, v.15, n. 1, p.115-126, 2008.

HANESCH, M.; SCHOLGER, R. The influence of soil type on the magnetic susceptibility measured throughout soil profiles. **Geophysical Journal International**, v. 161, n. 1, p. 50-56, 2005.

HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R.; FRIEDMAN, J. Overview of supervised learning. In: **The elements of statistical learning**, Springer, New York, p. 9-41, 2009.

HEUNG, B. An overview and comparison of machine-learning techniques for classification purposes in digital soil mapping. **Geoderma**, v. 265, p. 62-77, 2016.

Hot E.; Popović-Bugarin, V.; **Soil data clustering by using K-means and fuzzy K-means algorithm**. In: 23rd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR), Belgrade, pp. 890-893, 2015.

HUDSON, B. D. The soil survey as a paradigm-based science. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p.836-841, 1992.

JAFARZADEH, A. A. et al. Comparative analysis of support vector machine and artificial neural network models for soil cation exchange capacity prediction. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 13, p. 87-96, 2016.

JAIN, A. K. Data clustering: 50 years beyond K-means. **Pattern recognition letters**, v. 31, n. 8, p. 651-666, 2010.

KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (Pedogênese). In: KER, J.C. et al. **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa: SBCS, 207-302, 2012.

LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A. B. Spatial soil information systems and spatial soil inference systems: perspectives for digital soil mapping. In: LAGACHERIE, P. et al. **Digital soil mapping: an introductory perspective**. Amsterdam: Elsevier, 2007, Cap. 1, p. 3-22.

LAGACHERIE, P. et al. Fuzzy k-means clustering of fields in an elementary catchment and extrapolation to a larger area. **Geoderma**, v. 77, n. 2-4, p. 197-216, 1997.

LI, H. et al. Evaluation models for soil nutrient based on support vector machine and artificial neural networks. **The Scientific World Journal**, v. 14, p. 1-7, 2014.

MAHER, B. A. Characterization of soils by mineral magnetic measurements. **Physics of the Earth and Planetary Interiors**, v. 42, n. 1-2, p. 76-92, 1986.

MCBRATNEY, A. B.; MENDONÇA SANTOS, M. L.; MINASNY, B. On digital soil mapping. **Geoderma**, v. 117, n. 1, p. 3-52, 2003.

MCKENZIE, N. J.; RYAN, P. Spatial prediction of soil properties using environmental correlation. **Geoderma**, Amsterdam, v. 89, n. 1/2, p.67-94, 1999.

MENEZES, M. D. **Levantamento pedológico de hortos florestais e mapeamento digital de atributos físicos do solo para estudos hidrológicos**. Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2011. 225p. (Tese de Doutorado).

MENEZES, M.D. et al. Solum depth spatial prediction comparing conventional with knowledge-based digital soil mapping approaches. **Scientia Agricola**, v. 71, p. 316-323, 2014.

MINASNY, B. Neural networks prediction of soil hydraulic functions for alluvial soils using multistep outflow data. **Soil Science Society of America Journal**, v.68, p.417-430, 2004.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. Digital soil mapping: A brief history and some lessons. **Geoderma**, v. 264, p. 301-311, 2016.

MOORE, I. D. et al. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.57, n.2, p.443-452, 1993.

OCAK, I.; SEKER, S.E. Calculation of surface settlements caused by EPBM tunneling using artificial neural network, SVM, and Gaussian processes. **Environmental earth sciences**, v.70, p.1263-1276, 2013.

RESENDE, M. et al. **Pedologia: base para a distinção de ambientes**. 6ª. ed. Lavras: Editora UFLA, 2014. 378p.

RIZZO, R. et al. Digital soil mapping at local scale using a multi-depth Vis–NIR spectral library and terrain attributes. **Geoderma**, v. 274, p. 18-27, 2016.

SARMENTO, E. C. et al. Prediction of soil orders with high spatial resolution: response of different classifiers to sampling density. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** (1977. Impressa), v. 47, p. 1395-1403, 2012.

SILVA, S. H. G. et al. Proximal sensing and digital terrain models applied to digital soil mapping and modeling of Brazilian Latosols (Oxisols). **Remote Sensing**, v.8, p.614-635, 2016.

SILVA; B. M. et al. Soil moisture assessed by digital mapping techniques and its field validation. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, p. 140-148, 2014.

SIMÕES, M. G. et al. Democratização da informação de solos do Brasil: Geoportal e banco de dados de solos com acesso via WEB. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 55-69, 2017.

SIRTOLI, A.E. **Mapeamento de solos com auxílio da geologia, atributos do terreno e índices espectrais integrados por redes neurais artificiais**. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2008. 96p. (Tese de doutorado).

TEN CATEN, A. et al. Mapeamento digital de classes de solos: características da abordagem brasileira. **Ciência Rural**, v. 42, n. 11, 2012.

TROEH, F.R. Landform equations fitted to contour maps. **Soil Science Society of America Journal**, v.263:616-627, 1965.

V. VAPNIK. **The Nature of Statistical Learning Theory**. Springer, New York, 1995.

WEBSTER, R.; BURROUGH, P. A. Computer-based soil mapping of small areas from sample data. **European Journal of Soil Science**, v.23, p.210-221, 1972.

WITTEN, I.H. et al. **Data mining: practical machine learning tools and techniques**. Elsevier, San Francisco, 2016.

YOUNG, A. **Tropical soils and survey**. Cambridge University-Press. Cambridge, United Kingdom, 1976.

ZHU, A. Mapping soil landscape as spatial continua: the neural network approach. **Water resources research**, v.36, n.3, p. 663-677, 2000.

**CAPÍTULO 2 LEVANTAMENTO PEDOLÓGICO DO MUNICÍPIO DE  
LAVRAS (MG)**

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com o modelo do geólogo russo Vasili Vasilevich Dokuchaev (1846-1903), considerado o responsável pelo primeiro conceito pedológico de solo, a formação do solo é decorrente da combinação dos fatores clima, material de origem, organismos e tempo, que mais tarde foram incorporados na conhecida equação dos fatores de formação do solo por Jenny (1941).

O levantamento pedológico consiste em subdividir áreas heterogêneas em parcelas mais homogêneas, que apresentam a menor variabilidade possível, em função dos parâmetros de classificação e das características utilizadas para distinção dos solos. Os mapas gerados constituem extensa fonte de informações indispensáveis para a compreensão e solução de problemas que afetam o meio ambiente e o planejamento de diversas atividades, agrícolas ou não-agrícolas (COSTA et al., 2009; RESENDE et al., 2017).

Cinco superfícies de erosão e os principais solos e materiais de origem foram identificados e relacionados na região de Lavras (MG) por Curi et al. (1990) e são apresentados na Figura 1. Posteriormente, Marques Júnior et al. (1992) associaram a ocorrência de Latossolos Vermelhos ao gnaiss granítico mesocrático e de Latossolos Vermelho-Amarelos ao gnaiss granítico leucocrático. Estes dois trabalhos serviram de inspiração para este capítulo.

Lavras é um importante município mineiro que ainda não possui seus solos mapeados ao nível de reconhecimento. É sede de uma das mais importantes instituições de ensino superior do Brasil, a Universidade Federal de Lavras, que produz, anualmente, diversos estudos científicos nas mais variadas áreas do saber, sendo que boa parte destes demandam informações sobre os solos do município.

Neste sentido, objetivou-se com este estudo realizar o levantamento pedológico do município de Lavras, MG, e a partir deste, verificar a adequabilidade do uso da terra com base na aptidão agrícola e no uso e cobertura da terra.

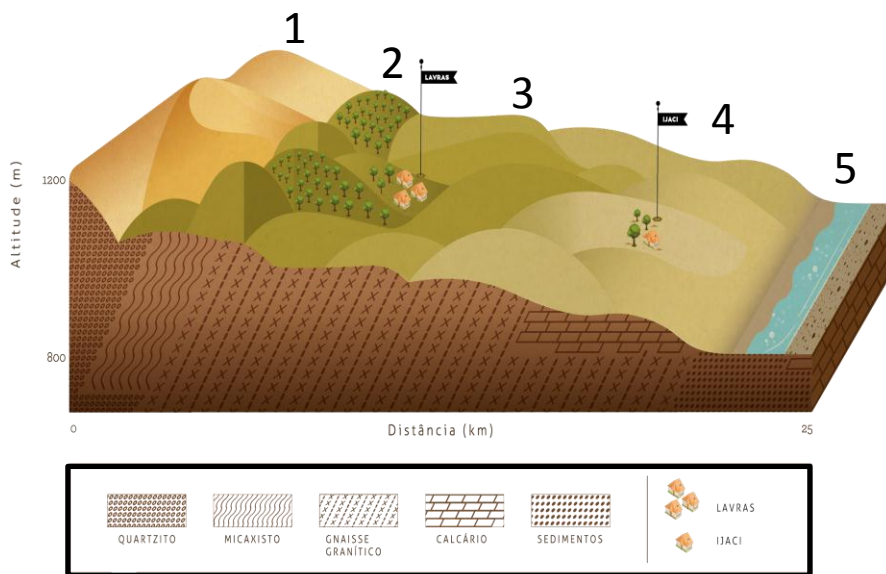


Figura 1 As cinco superfícies de erosão e os principais solos e materiais de origem da região do município de Lavras (MG)

Legenda: 1 – Superfície Gondwana. 2 – Superfície Pós-Gondwana. 3 – Superfície Sul Americana. 4 – Superfície Velhas. 5 – Superfície Paraguaçu.

Fonte: Adaptado de Curi et al. (1990).



## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado no município de Lavras que se localiza no sul do Estado de Minas Gerais, entre as latitudes 7.633.374 e 7.663.995 m e longitudes 481.296 e 514.065 no datum Sirgas2000 Zona 23K, altitude média de 918 metros (amplitude de 784 a 1282 metros), e possui uma área aproximada de 56.324 ha (Figura 2).

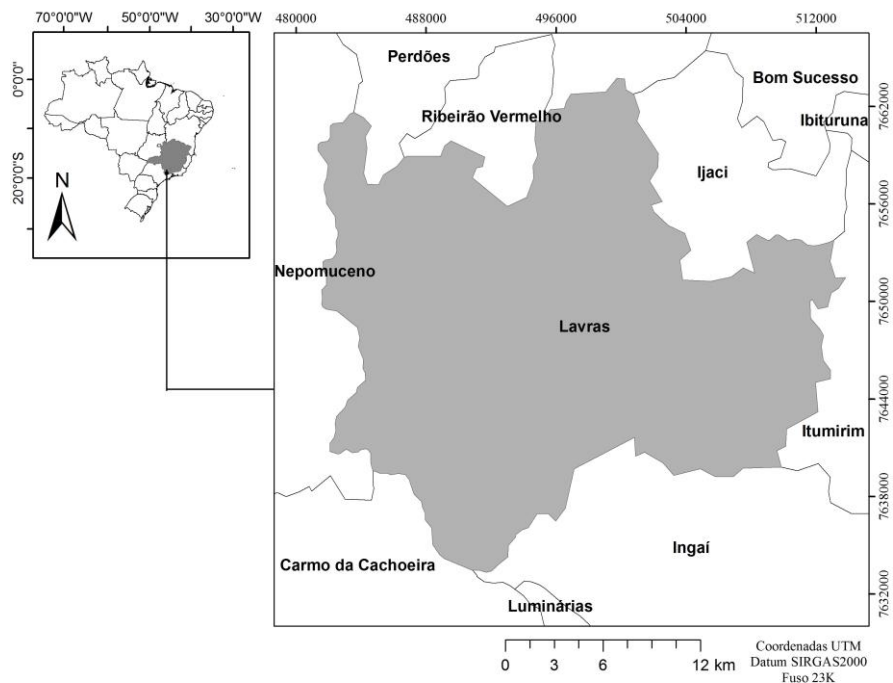


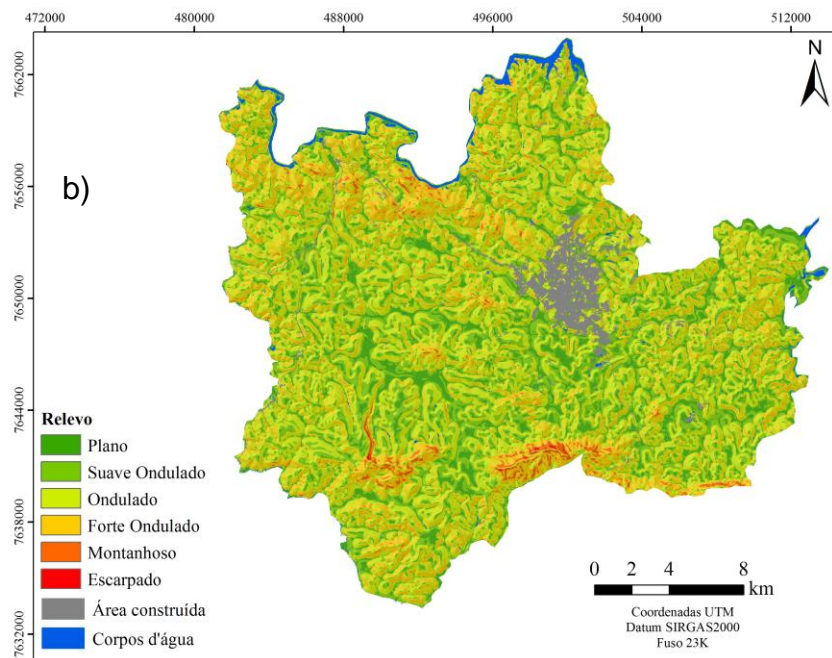
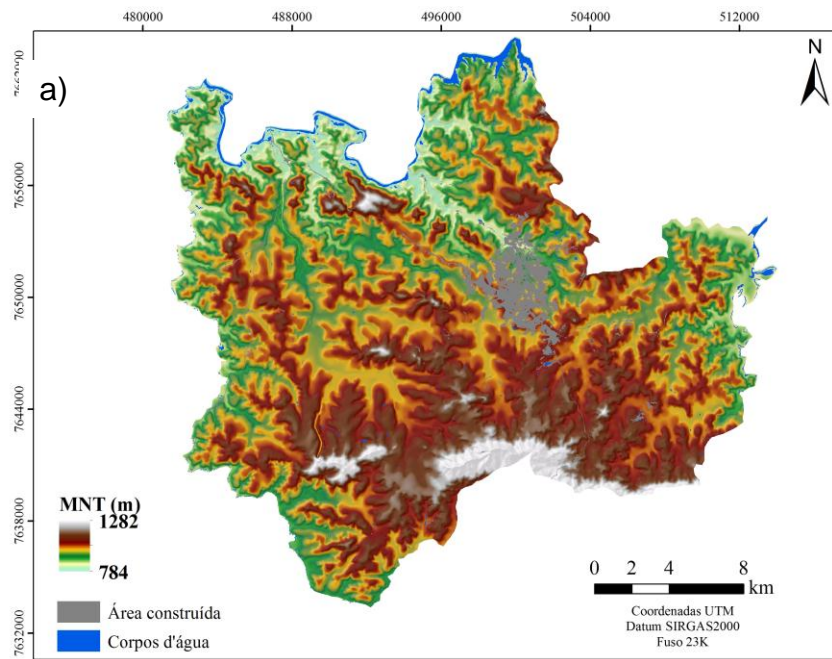
Figura 2 Localização do município de Lavras (MG)

O clima do município segundo a classificação de Köppen e estudos de Dantas et al. (2007) é do tipo Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com

inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de 1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

A formação florestal característica da região é a Floresta Tropical Semidecídua Estacional Montana (CARVALHO; SCOLFORO, 2008). Em termos de fase de levantamento pedológico (SANTOS et al., 2013) se enquadra como Floresta Tropical Subperenifólia.

O município de Lavras está inserido na unidade geomorfológica do Planalto Atlântico, especificamente na Superfície do Alto Rio Grande. Geologicamente a região é representada, predominantemente, por unidades compostas por rochas graníticas, gnaisses leucocráticos, gnaisses cataclásticos ou facoidais, material coluvionar, gabros epimetamórficos, granulitos e migmatitos, micaxistos e quartzitos e migmatitos porfiroblásticos ou facoidais de acordo com o mapa das unidades litológicas do município de Lavras, escala 1:100.000 (BUENO et al., 1990) (FIGURA 3c), apresentado juntamente com o MNT (Figura 3a) e relevo (Figura 3b). O relevo é mais estratificado na Tabela 1.



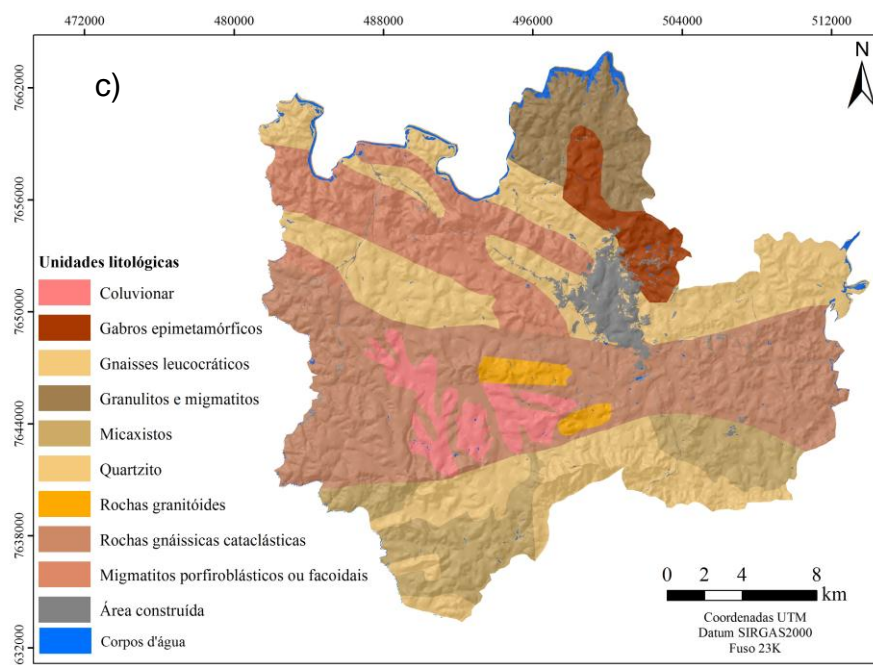


Figura 3 a) Modelo Numérico de Terreno (MNT); b) Fases de Relevo; e c) Unidades Litológicas do município de Lavras, MG

A classe de relevo predominante no município é a ondulada que compreende áreas com declives entre 8 e 20%, sendo as classes enquadradas conforme Santos et al. (2013) (FIGURA 2b e TABELA 1).

Tabela 1 Áreas e representatividade das classes de relevo do município de Lavras (MG)

Classe de Relevo	Área (ha)	%
Plano (0-3%)	9.113,73	16,18
Suave ondulado (3-8%)	14.008,47	24,87
Ondulado (8-20%)	32.420,26	57,56
Forte ondulado (20-45%)	156,84	0,28
Montanhoso (45-75%)	605,42	1,07
Escarpado >75%	20,20	0,04
<b>Total</b>	<b>56.324,00</b>	<b>100</b>

## 2.2 Descrição metodológica

### 2.2.1 Bases para o levantamento pedológico

Os dados de hipsometria foram obtidos a partir do processamento das curvas de nível do banco de dados do IBGE, com distância entre as curvas de nível de 20 metros e escala 1:50.000. A partir dessas curvas foi gerado o modelo numérico de terreno (MNT) com resolução espacial de 10m para todo o município (FIGURA 3a), pela ferramenta *Topo to Raster* do sistema de informações geográficas do *software* ArcGIS 10.2 (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI, 2010). O mapa de declividade foi gerado pela ferramenta *Slope*, do ArcGIS 10.2, a partir do MNT, sendo as classes estratificadas de acordo com Santos et al. (2013).

Os atributos de terreno, Plano de Curvatura, Perfil de Curvatura, Altitude Acima da Rede de Drenagem (AARD) e Índice de Umidade SAGA (IUS) (Figura 4) foram obtidos a partir do MNT utilizando a ferramenta Análise Básica de Terreno do *software* SAGA GIS 2.0.8 (*System for automated geoscientific analyses*) (CONRAD et al., 2015).

Os atributos de terreno juntamente com o DEM e o mapa geológico foram submetidos à análise de lógica *fuzzy* pelo método *k-means* no *software* SAGA GIS 2.0.8, pela interpolação desses elementos e os ambientes, que foram agrupados pela semelhança entre eles, formando grupos denominados *clusters*, totalizando 10 clusters, devidamente checados no campo.

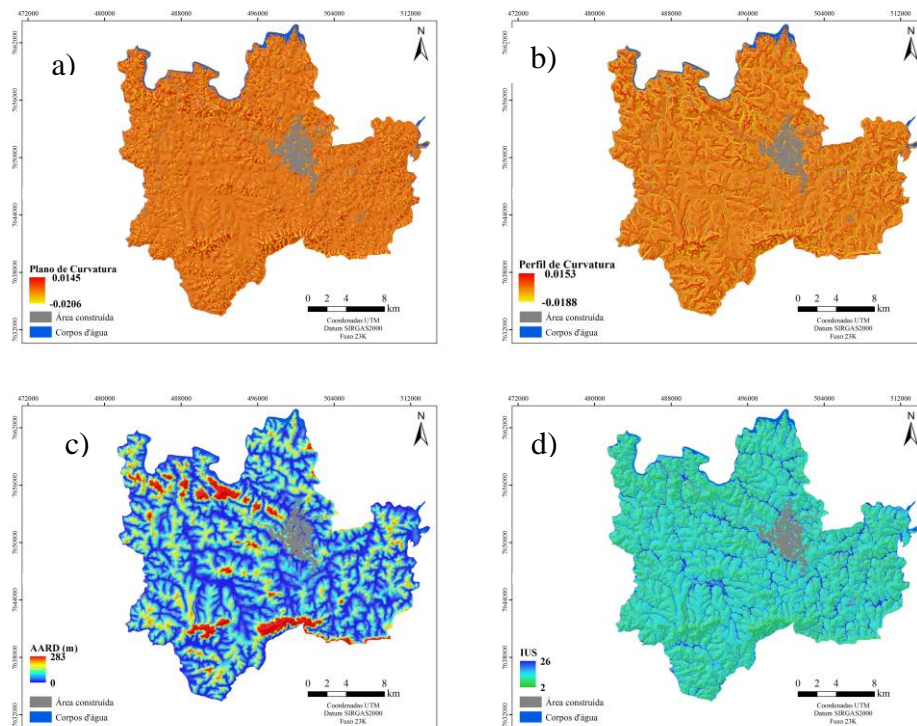


Figura 4 Atributos de terreno: a) Plano de Curvatura, b) Perfil de Curvatura, c) Altitude Acima da Rede de Drenagem (AARD) e d) Índice de Umidade SAGA (IUS) utilizados no levantamento pedológico do município de Lavras (MG)

A área do município foi intensamente percorrida para observações, descrições morfológicas, conforme Santos et al. (2013), estudos das relações solo-material de origem-paisagem, amostragens e classificação dos solos no campo.

Após esta etapa e com o apoio dos dados analíticos de laboratório, os solos foram classificados conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos atualmente em vigor (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, 2013). A área mínima mapeável foi de 20,9

km<sup>2</sup>. Com base neste aspecto, o levantamento se enquadra como Levantamento de Reconhecimento de Média Intensidade (RESENDE et al., 2014).

Foram selecionados 27 perfis de solos representativos, distribuídos de maneira uniforme na área do município, de acordo com os ambientes estratificados pela análise *cluster*, com as devidas checagens a campo.

### **2.2.2 Análises físicas e químicas dos solos**

Nos perfis de solos morfologicamente descritos foram coletadas amostras para análises dos atributos químicos e físicos, nos horizontes superficiais e subsuperficiais diagnósticos, quando presentes. Posteriormente, as amostras foram encaminhadas aos laboratórios para determinação das frações texturais (areia grossa, areia fina, silte e argila), pH (água), cátions trocáveis, fósforo disponível e remanescente – P-rem, alumínio trocável – Al<sup>3+</sup> e carbono orgânico - CO.

Para a análise das frações texturais utilizou-se o método da pipeta (DAY, 1965). O pH em água foi obtido na relação solo-solução 1:2,5, por meio de determinação potenciométrica.

O carbono orgânico foi determinado pela oxidação úmida com Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,8 mol L<sup>-1</sup>. Após oxidação completa, mediu-se a absorvância em colorímetro, a 650 nm (RAIJ; QUAGGIO; CANTARELLA, 1987). Cálcio, magnésio e

alumínio trocáveis foram extraídos com  $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$  (MCLEAN ET AL., 1958; VETTORI, 1969). O alumínio trocável foi titulado com  $\text{NaOH } 0,025 \text{ mol L}^{-1}$ , e  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  trocáveis, por sua vez, foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica de chama ar-acetileno. O potássio (K) e o fósforo (P) disponíveis foram extraídos com  $\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ , tendo sido o K determinado por fotometria de chama (Vettori, 1969) e o P por colorimetria (Mehlich, 1953).

A acidez potencial (H+Al) foi extraída com acetato de Ca tamponado a pH 7 e, então, titulada com  $\text{NaOH } 0,0606 \text{ mol L}^{-1}$  (Vettori, 1948).

Os resultados das análises físicas e químicas dos 27 perfis representativos estão apresentados no Apêndice B.

### **2.2.3 Análises geoquímicas e de suscetibilidade magnética dos solos**

A fluorescência de raios-X portátil (pXRF) e a suscetibilidade magnética (SM) são análises obtidas por sensores próximos que têm sido recentemente utilizadas nos mapeamentos de solos (SILVA et al, 2016). Estes equipamentos fornecem um grande volume de dados e informações confiáveis, com rapidez e baixo custo. A pXRF é um equipamento que permite quantificar a maioria dos elementos químicos da tabela periódica. A SM é obtida através da relação da indução de magnetização e a intensidade do campo de magnetização.



Foram realizadas análises geoquímicas e de suscetibilidade magnética em amostras de terra fina seca ao ar (TFSA). Para a estimativa do teor total de diversos elementos químicos presentes no solo, as amostras de TFSA foram analisadas por meio da fluorescência de raios-X portátil (pXRF) (Bruker modelo S1 Titan LE).

O teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  do ataque sulfúrico (AS) foi predito a partir dos valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  obtidos pela pXRF (Trace 60), de acordo com a Equação 1 (SILVA et al., 2018):

$$\text{Fe}_2\text{O}_3_{\text{AS}} = 1,0735 \text{ Fe}_2\text{O}_3_{\text{pXRF}} - 2,0195 \quad \text{Equação 1}$$

Para as leituras de suscetibilidade magnética foram utilizadas amostras com volume de  $10 \text{ cm}^3$ , que foram submetidas à leitura em baixa frequência ( $\chi_{\text{BF}} = 0,47 \text{ kHz}$ ) com auxílio do magnetômetro Bartington MS2 com sensor de frequência dual MS2B. A suscetibilidade magnética ( $\chi_{\text{BF}}$ ) foi calculada pela expressão:  $\chi_{\text{BF}} = (10 \times \kappa) \text{ m}^{-1}$ ; em que  $m$  = massa e  $\kappa$  (leitura) (adimensional) (Souza Júnior et al., 2010).

Os resultados das análises geoquímicas e de suscetibilidade magnética são apresentados no Apêndice C.

#### **2.2.4 Aptidão agrícola das terras**

Para a classificação da aptidão agrícola das terras foram utilizados dados

de 27 perfis representativos do levantamento pedológico que representam a variabilidade de solos do município.

Utilizou-se a metodologia do Sistema de Avaliação Agrícola das Terras (SAAT) proposto por Ramalho Filho e Beek (1995).

### **2.2.5 Adequabilidade do uso das terras**

O mapa de adequabilidade do uso das terras foi gerado a partir do cruzamento do mapa de uso atual das terras com o mapa de aptidão agrícola. Este mapa constitui uma representação da área em estudo quanto aos seus potenciais agrícolas e suas limitações, distinguindo áreas com uso atual adequado e inadequado em relação ao real potencial agrícola das terras.

Como mapa de uso atual das terras foi adotado o mapa de cobertura da terra do município de Lavras, elaborado por Reis et al. (2012), com escala de mapeamento 1:50.000, englobando as seguintes classes: agricultura, pastagem, reflorestamento, floresta semidecídua, campo, solo exposto, área edificada e corpos d'água (Figura 5).

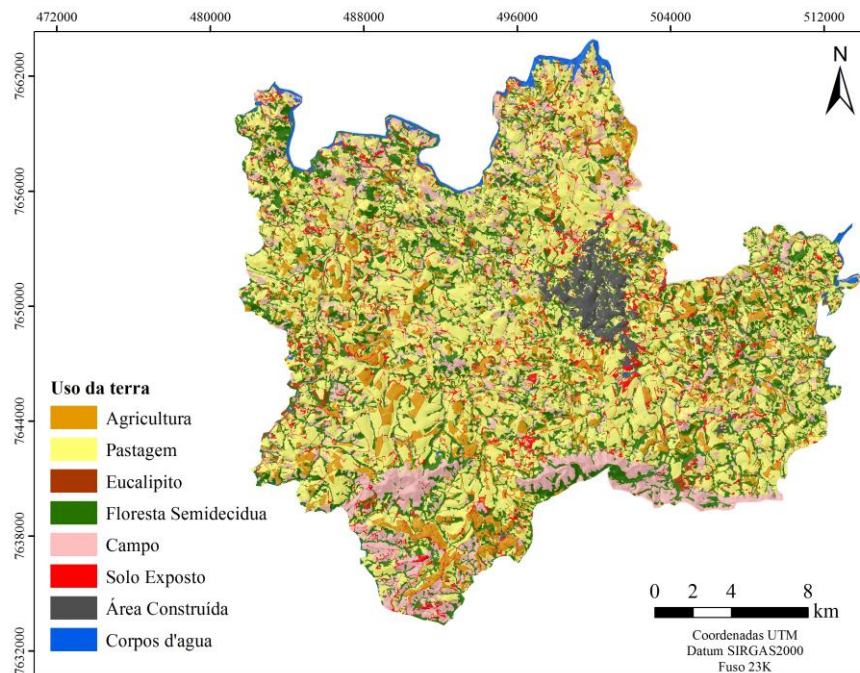


Figura 5 Distribuição da cobertura da terra do município de Lavras (MG)

Na avaliação da adequabilidade do uso das terras foram estabelecidas duas classes de uso: 1) Adequada, quando o uso está em concordância com as potencialidades e limitações da terra, podendo estar sendo utilizada da forma indicada pelo sistema de aptidão agrícola das terras, ou sendo utilizada abaixo de seu potencial, não sobrecarregando o sistema como um todo; e 2) Inadequada, quando o uso é mais intenso do que as potencialidades e limitações da terra, indicadas pela aptidão agrícola.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Solos identificados no município de Lavras**

Foram identificadas as seguintes classes de solos ao nível de ordem: Argissolos, Cambissolos, Latossolos e Neossolos. Estas foram classificadas até o 4º nível categórico (subgrupo).

A seguir são apresentadas as conceituações sumárias das classes de solos encontradas na área de estudo. Demais detalhes sobre os solos encontrados, como coordenadas geográficas dos pontos descritos, descrição morfológicas dos perfis e resultados das análises químicas, físicas, geoquímicas e de suscetibilidade magnética dos solos, assim como a classificação da aptidão agrícola, as anotações de campo e a documentação fotográfica podem ser vistos nos Apêndices A, B, C, D, E e F, respectivamente, apresentados no final deste trabalho.

##### **3.1.1 Argissolos**

Os Argissolos possuem horizonte B textural (horizonte subsuperficial diagnóstico), profundidade variável, de cores vermelhas a amarelas e textura arenosa à argilosa no horizonte A e de média à muito argilosa no horizonte Bt

(EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, 2013; SANTOS et al., 2015).

Neste levantamento pedológico foram encontrados seis subgrupos de Argissolos.

#### **3.1.1.1 ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico**

São solos com matiz 2,5YR ou mais vermelho ou com matiz 5YR e valores e cromas iguais ou menores que 4, na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA) e apresentam saturação por bases < 50% nesta mesma profundidade. Inclui PVd1 e PVd2.

#### **3.1.1.2 ARGISSOLO VERMELHO Distroférico típico**

Solo com argila de atividade baixa, saturação por bases baixa ( $V < 50\%$ ) e teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  do ataque sulfúrico variando de  $180\text{g kg}^{-1}$  a  $< 360\text{g kg}^{-1}$ , todos na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (inclusive BA). Corresponde a PVdf.

#### **3.1.1.3 ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico**

Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico apresenta colorações vermelho-amareladas e amarelo-avermelhadas. É distrófico por apresentar uma saturação por bases inferior a 50 %. Inclui PVAd1 e PVAd2

#### **3.1.1.4 ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico**

Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico típico apresenta colorações vermelho-amareladas e amarelo-avermelhadas e saturação por bases superior a 50 %. Corresponde a PV Ae.

### **3.1.2 Cambissolos**

De acordo com Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2013) e Santos et al. (2015) são pré-requisitos para um solo ser classificado como Cambissolo: ser constituído predominante por material mineral e possuir horizonte B incipiente (Bi).

Foram encontrados seis subgrupos de Cambissolos.

#### **3.1.2.1 CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico**

Este solo apresenta argila de atividade baixa e saturação por bases baixa

( $V < 50\%$ ) ambas na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA). Inclui CXbd1 e CXbd2.

#### **3.1.2.2 CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico**

Este solo apresenta argila de atividade baixa e saturação por bases alta ( $V \geq 50\%$ ) ambas na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA). Corresponde a CXbe.

#### **3.1.2.3 CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico**

Este solo é distrófico e apresenta argila de atividade baixa na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA). É latossólico por apresentar o horizonte B incipiente com características morfológicas semelhantes às do B latossólico, porém com a espessura ou uma ou mais características químicas, físicas ou mineralógicas que não atendem aos requisitos para ser classificado como B latossólico. Corresponde a CXbd3.

#### **3.1.2.4 CAMBISSOLO FLÚVICO Tb Distrófico típico**

Apresenta caráter flúvico (camadas estratificadas e, ou, distribuição

irregular de carbono orgânico em profundidade); argila com CTC de baixa atividade e saturação por bases baixas ( $V < 50\%$ ) na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (inclusive BA). Corresponde a CYbd.

#### **3.1.2.5 CAMBISSOLO FLÚVICO Tb Eutrófico típico**

Apresenta caráter flúvico (camadas estratificadas e, ou, distribuição irregular de carbono orgânico em profundidade), argila com CTC de baixa atividade e saturação por bases alta ( $V \geq 50\%$ ) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA). Corresponde a CYbe.

### **3.1.3 Latossolos**

Os Latossolos são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico precedido de qualquer tipo de horizonte A dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300 cm se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura.

No levantamento pedológico foram identificados seis subgrupos de Latossolos.

#### **3.1.3.1 LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico**



Apresenta matiz 2,5YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA) e é distrófico (saturação por bases inferior a 50%). Corresponde a LVd1 e LVd2.

### **3.1.3.2 LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico**

Apresenta colorações vermelho-amareladas e amarelo-avermelhadas e é distrófico (saturação por bases inferior a 50%) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA). Inclui LVAd1, LVAd2 e LVAd3.

### **3.1.3.3 LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico**

Apresenta saturação por bases alta ( $V \geq 50\%$ ) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA). Corresponde a LVAe.

## **3.1.4 Neossolos**

Os Neossolos abrangem solos muito jovens, em início de formação, com pequeno desenvolvimento e sem horizonte diagnóstico subsuperficial.

Neste levantamento pedológico um subgrupo foi identificado.

#### **3.1.4.1 NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico**

Apresenta saturação por bases inferior a 50%. Corresponde a RLd.

### **3.2 Caracterização dos solos do município de Lavras**

Os perfis de solos representativos do levantamento foram descritos morfológicamente e caracterizados química e fisicamente (Apêndice B).

### **3.3 Distribuição dos solos no município de Lavras**

Na Figura 6 é apresentada a distribuição das unidades de mapeamento de solos do município de Lavras, MG, escala 1:50.000.

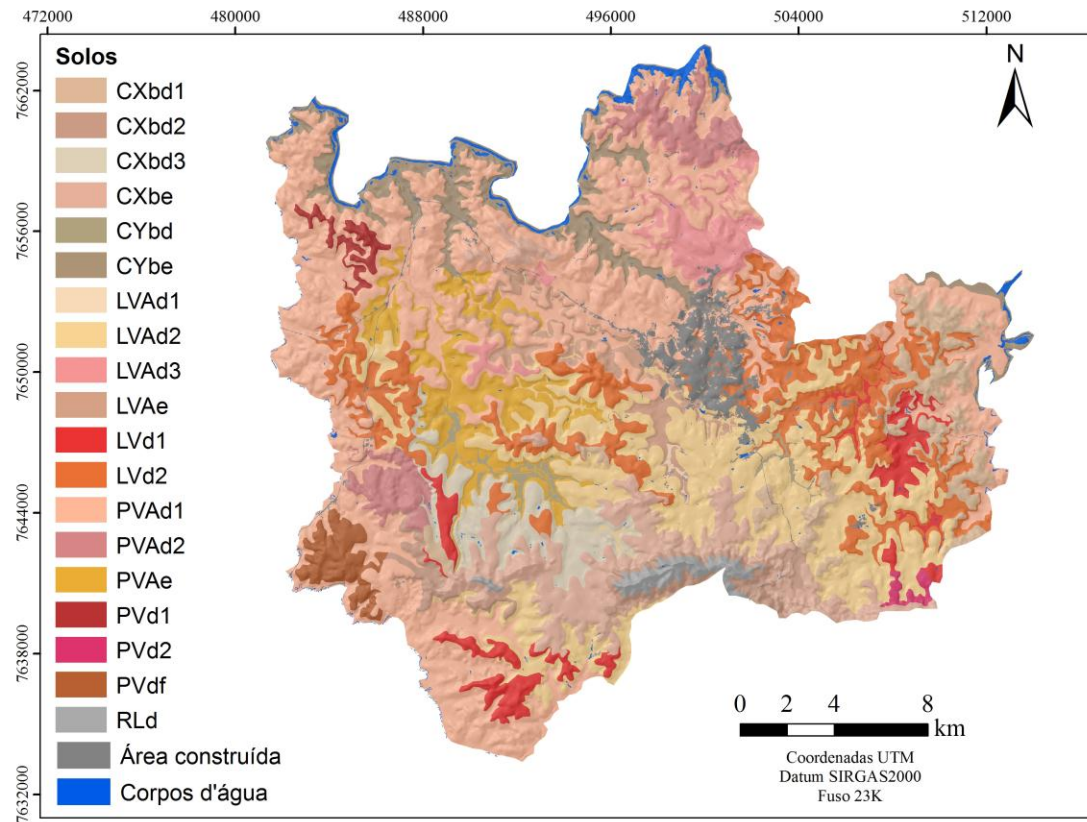


Figura 6 Distribuição das classes de solos, Lavras, MG

**LEGENDA:**

**CXbd1:** CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado.

**CXbd2:** CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, A fraco, pedregoso e endopedregoso, fase campo cerrado tropical, relevo ondulado e montanhoso.

**CXbd3:** CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado.

**CXbe:** CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico (Epidistrófico) típico, A fraco, pedregoso, fase campo cerrado tropical, relevo ondulado.

**CYbd:** ASSOCIAÇÃO DE CAMBISSOLO FLÚVICO Tb Distrófico (Epieutrófico) típico, A moderado, fase floresta ciliar, relevo plano de várzea, imperfeitamente drenado + GLEISSOLOS INDISCRIMINADOS.

**CYbe:** ASSOCIAÇÃO DE CAMBISSOLO FLÚVICO Tb Eutrófico (Epidistrófico) típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo plano de várzea, imperfeitamente drenado + GLEISSOLO HÁPLICOS Tb Eutrófico típico.

**LVAd1:** LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado.

**LVAd2:** LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (Epieutrófico) típico, A proeminente, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado.

**LVAd3:** LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (Epieutrófico) típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado.

**LVAe:** LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo plano.

**LVd1:** LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (Epieutrófico) típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo plano e suave ondulado, bem drenado.

**LVd2:** LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado, acentuadamente drenado.

**PVAd1:** ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (Epieutrófico) típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado e forte ondulado.

**PVAd2:** ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (Epieutrófico) típico, A moderado, endopedregoso, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado.

**PVAe:** ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado.

**PVd1:** ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (Epieutrófico) típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado.

**PVd2:** ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico, A fraco, endopedregoso, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado.

**PVdf:** ARGISSOLO VERMELHO Distoférrico<sup>1</sup> típico, A moderado, pedregoso, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado.

**RLd:** ASSOCIAÇÃO DE NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico, A moderado, pedregoso, fase campo rupestre, relevo montanhoso + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, A fraco, endopedregoso, fase campo cerrado tropical, relevo montanhoso + AFLORAMENTO DE ROCHAS

**[1]**: Grande Grupo sugerido.

Para os solos identificados, há uma predominância, no 4º nível categórico, de Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (e Epiutrófico) típico, que constitui aproximadamente 33% da área total do município. Considerando classes ao nível de ordem, os Argissolos ocupam aproximadamente 39% do município, os Latossolos cobrem aproximadamente 34% da área, e os Cambissolos, aproximadamente 21% (TABELA 2).

Os Argissolos que ocorrem em relevos mais suavizados possuem alto potencial agrícola, desde que sejam adotadas práticas eficientes de conservação do solo e da água. Já os Argissolos e Cambissolos que ocorrem nas áreas mais declivosas, portanto mais suscetíveis à erosão, podem ser utilizados para fins agrícolas, desde que práticas mais intensivas de conservação do solo e da água sejam adotadas. As áreas que compreendem os Latossolos apresentam alto potencial para agricultura intensiva no município, tendo em vista a estrutura favorável e a facilidade de mecanização nesses solos. Os Cambissolos Flúvicos são os preferidos pelos pequenos agricultores para o cultivo de lavouras, considerando-se maior disponibilidade de água e fertilidade natural.

Solos eutróficos incluem Cambissolo Háptico Tb Eutrófico típico, Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico típico, Cambissolo Flúvico Tb Eutrófico típico e Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico típico que abrangem 7,12%, 4,72%, 4,47% e 2,21%, respectivamente, totalizando 18,58% da área do município. A unidade de mapeamento RLd é restrita à Serra da Bocaina e corresponde a 1,01% da área total do município.

Numa comparação genérica com o mapa de solos de Minas Gerais (UFV; CETEC; UFLA; FEAM, 2010), escala 1:500.000, Figura 7, houve naturalmente maior detalhamento neste trabalho, o que enfatiza o potencial informativo desses mapas de solos para demandas diferenciais da sociedade.

Tabela 2 Áreas e percentagens das unidades de mapeamento de solos

Unidades de mapeamento	Área (ha)	%	%
CXbd1	2148,30	3,81	
CXbd2	1096,74	1,95	
CXbd3	1871,80	3,32	21,10
CXbe	4017,99	7,13	
CYbd	366,77	0,65	
CYbe	2387,05	4,24	
LVAAd1	48,10	0,09	
LVAAd2	7827,82	13,90	
LVAAd3	1662,83	2,95	33,38
LVAe	1360,98	2,42	
LVd1	1766,17	3,14	
LVd2	6125,80	10,88	
PVAd1	16861,43	29,94	
PVAd2	1660,43	2,95	
PVAe	2682,89	4,76	39,98
PVd1	362,26	0,64	
PVd2	156,35	0,28	
PVdf	791,61	1,41	
RLd	566,57	1,01	1,01
Área Construída	1785,74	3,17	3,17
Corpos d'água	776,37	1,38	1,38
TOTAL	56324	100	100

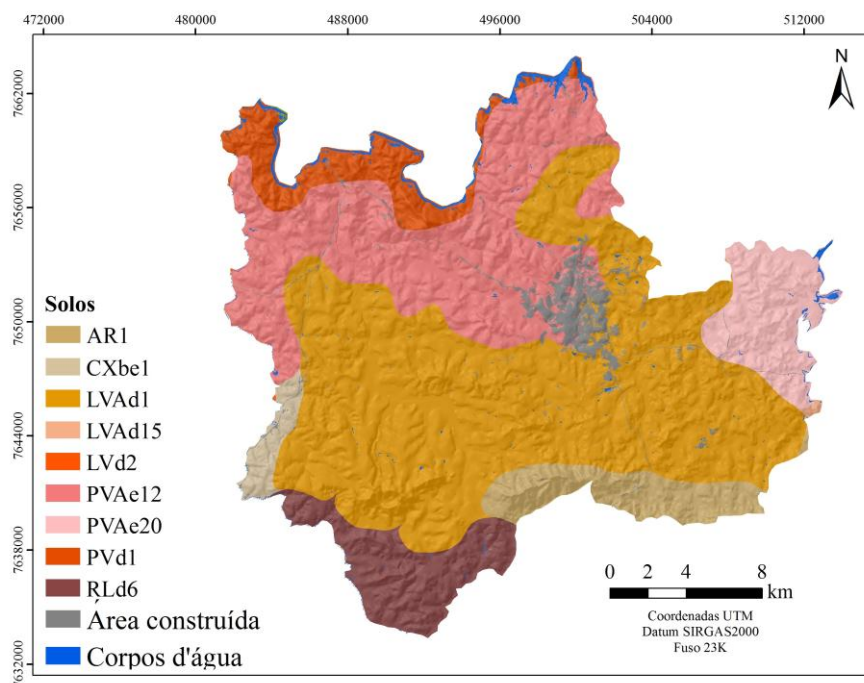


Figura 7 Mapa de solos do município de Lavras recortado do mapa de solos de Minas Gerais, escala 1:500.000

Legenda: **AR1** – AFLORAMENTO ROCHOSO. **CXbe1** – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb eutrófico típico, A moderado, textura média, fase caatinga hipoxerófila, relevo forte ondulado. **LVAd1** – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase cerrado, relevo plano e suave ondulado. **LVAd15** – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico, A moderado, textura argilosa + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico, A moderado, textura média/argilosa, ambos fase floresta subperenifólia, relevo suave ondulado, ondulado e forte ondulado. **LVd2** – LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase cerrado, relevo plano e suave ondulado. **PVAe12** – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO eutrófico típico, A moderado, textura média/argilosa + CAMBISSOLO HÁPLICO distrófico típico, A moderado, textura siltosa/argilosa, cascalhento/não cascalhento, ambos fase caatinga hipoxerófila, relevo forte ondulado. **PVAe20** – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO eutrófico típico, A moderado, textura média/argilosa + LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico, A moderado, textura argilosa + CAMBISSOLO HÁPLICO distrófico típico, A moderado, textura siltosa/argilosa, todos fase floresta subperenifólia, relevo forte ondulado e montanhoso. **PVd1** – ARGISSOLO VERMELHO distrófico típico, A moderado/fraco, textura média/argilosa, fase floresta subperenifólia, relevo forte ondulado. **RLd6** – NEOSSOLO LITÓLICO distrófico típico, A fraco/moderado + CAMBISSOLO HÁPLICO distrófico típico e léptico, textura siltosa/argilosa + ARGISSOLO

VERMELHO-AMARELO distrófico típico, A moderado, textura média/argilosa, todos fase cerrado, relevo suave ondulado, ondulado e forte ondulado.

### 3.4 Aptidão agrícola das terras do município de Lavras

Na Figura 8 estão apresentadas as classes de aptidão agrícola das terras do município de Lavras, MG, e na Tabela 3 encontram-se as áreas correspondentes à cada uma delas.

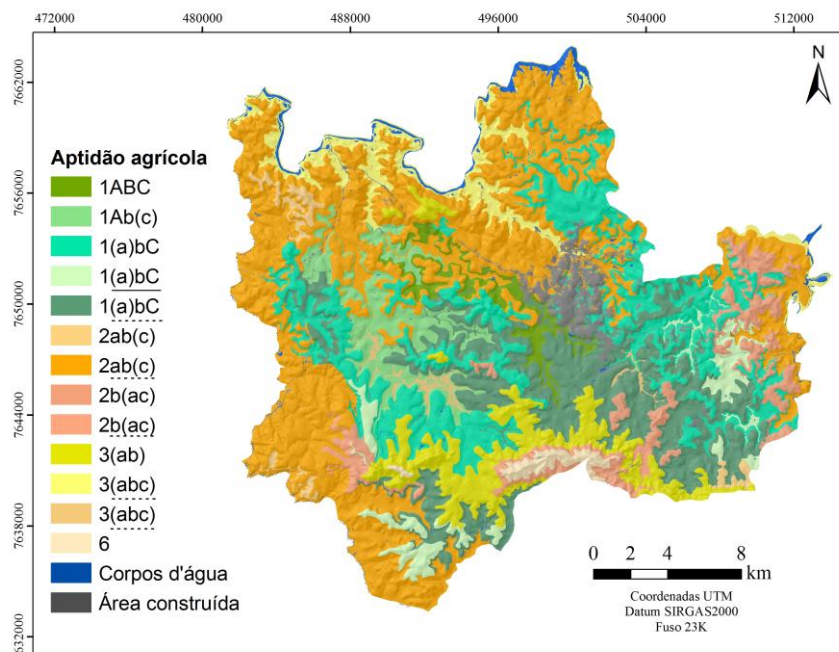


Figura 8 Distribuição das classes de aptidão agrícola das terras do município de Lavras, MG. O grifo contínuo abaixo da classe de aptidão indica haver nestas áreas terras com aptidão superior; e o grifo interrompido indica haver terras com aptidão inferior.



Tabela 3 Áreas das classes de aptidão agrícola das terras do município de Lavras, MG

UMP*	Aptidão**	Área (ha)	%
CXbd1	<u>2b(ac)</u>	2141,29	3,81
CXbd2	2b(ac); 3(ab); 4n	1091,37	1,94
CXbd3	<u>1(a)bC</u>	1862,25	3,31
CXbe	3(ab)	4011,43	7,13
CYbd	<u>3(abc)</u> ; 4p	365,35	0,65
CYbe	3(abc); 4P	2517,79	4,48
LVA <sub>d</sub> 1	<u>2ab(c)</u>	5960,08	10,60
LVA <sub>d</sub> 2	1(a)bC	2594,41	4,61
LVA <sub>d</sub> 3	1(a)bC	1609,75	2,86
LVA <sub>e</sub>	1ABC	1246,23	2,22
LV <sub>d</sub> 1	<u>1(a)bC</u> ; 1abC	1758,52	3,13
LV <sub>d</sub> 2	<u>1(a)bC</u>	5496,25	9,78
PVA <sub>d</sub> 1	2ab(c)	7166,7	12,75
PVA <sub>d</sub> 2	2ab(c); 3(ab)	11927,32	21,21
PVA <sub>e</sub>	1Ab(c)	2660,8	4,73
PV <sub>d</sub> 1	2ab(c)	155,65	0,28
PV <sub>d</sub> 2	<u>2b(ac)</u>	392,96	0,70
PV <sub>d</sub> f	<u>2ab(c)</u>	137,53	0,24
RL <sub>d</sub>	6	566,21	1,01
	Área construída	1785,74	3,18
	Corpos d'água	776,37	1,38
	Total	56224	100

\*UMP: Unidade de mapeamento. \*\*O grifo contínuo abaixo da classe de aptidão indica haver nestas áreas terras com aptidão superior; e o grifo interrompido indica haver terras com aptidão inferior.

As terras do município com aptidão boa para lavoura em um ou mais níveis de manejo ocupam aproximadamente 42 % da área do município. As terras com aptidão regular para lavoura ocupam aproximadamente 41 % do

município. As terras com aptidão restrita às lavouras em todos os níveis de manejo, e com aptidão para uso com pastagem plantada, silvicultura ou pastagem nativa, cobrem aproximadamente 13 % do município.

As áreas de Latossolos são reconhecidas por apresentarem boas características físicas para cultivos agrícolas, e com isso, aptidão boa para lavoura no nível de manejo C. São os solos preferidos pelos grandes produtores do município.

Nota-se que as áreas de Cambissolos Háplicos apresentaram limitações a um ou mais níveis de manejo. Estas limitações envolvem baixa fertilidade natural, suscetibilidade à erosão e, ou, impedimentos à mecanização devido ao relevo acidentado em que geralmente ocorrem.

Já as áreas de Cambissolos Flúvicos Tb Eutróficos, apresentam aptidão para lavoura no nível de manejo A (baixo nível tecnológico). Possuem alta fertilidade natural decorrente dos depósitos aluviais, com alguns impedimentos quanto à drenagem, tendo, portanto, aptidão regular para o nível de manejo B (médio nível tecnológico) e restrita ao nível de manejo C (alto nível tecnológico).

As áreas de Argissolos, em geral, apresentam aptidão regular para lavoura. Suas maiores limitações se relacionam à declividade movimentada do terreno e conseqüente dificuldade no controle da erosão, agravada pelo gradiente textural entre os horizontes A e B.

As áreas de Neossolos Litólicos mapeadas no município de Lavras ocorrem na Serra da Bocaina e estão, geralmente, associadas a afloramentos rochosos em relevo montanhoso e escarpado. Estas áreas devem ser destinadas à preservação da fauna e da flora e são protegidas pela legislação ambiental vigente no Brasil.

### 3.5 Adequabilidade do uso das terras do município de Lavras

Na Figura 9 estão apresentadas as classes de adequabilidade das terras do município de Lavras, MG, e na Tabela 4 encontram-se as áreas e percentagens correspondentes à cada uma delas.

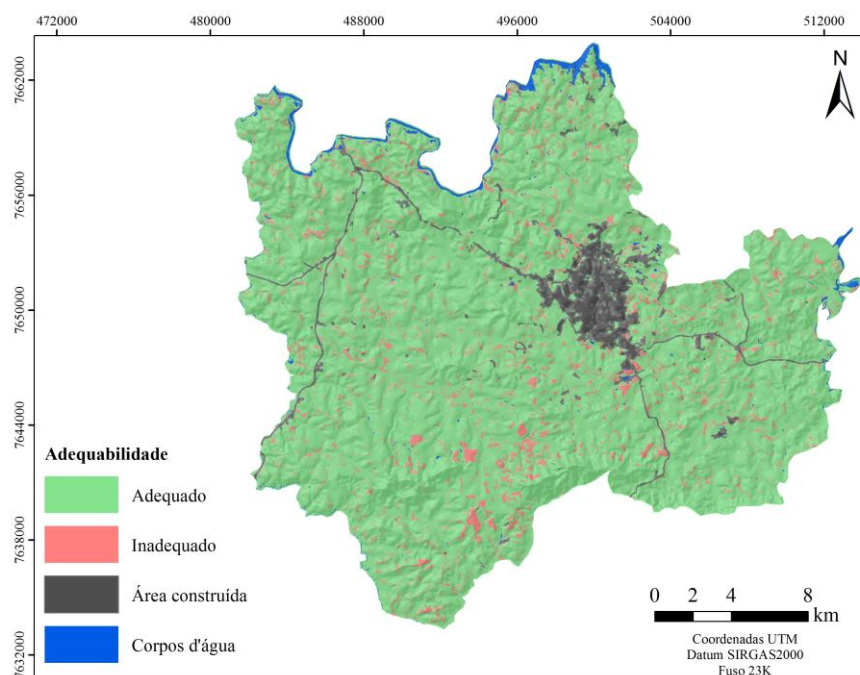


Figura 9 Mapa da adequabilidade do uso das terras do município de Lavras, MG

O mapa de adequabilidade do uso da terra foi gerado a partir do cruzamento do mapa de uso atual das terras (Figura 5) com o mapa de aptidão agrícola (Figura 8), distinguindo áreas com uso mais intensivo (inadequado) e menos intensivo (adequado) do que o recomendado pela aptidão agrícola, além

de áreas com o uso consonante em relação ao potencial agrícola das terras (adequado).

Tabela 4 Áreas e representatividade da adequabilidade do uso das terras de Lavras, MG

Situação	Área (ha)	%
Adequado	49774,13	88,37
Inadequado	3987,75	7,08
Área construída	1785,75	3,17
Corpos d'água	776,37	1,38
Total	56324,00	100

Desta maneira, observa-se na Tabela 4 que 89% da área do município de Lavras foram enquadradas em utilização adequada, e 7% em situação inadequada, por apresentar uso mais intensivo que a aptidão agrícola recomendada, o que é detalhado na Tabela 5.

Tabela 5 Áreas e representatividade do uso inadequado das terras de Lavras, MG

Situação	Área (ha)	%
Solo Exposto	2941,71	73,76
Pastagem	893,56	22,40
Agricultura	152,48	3,82
Total	3987,75	100

Dos 3987,75 ha com uso inadequado das terras do município de Lavras, aproximadamente 74% apresentam solo exposto, aonde não há cobertura vegetal do solo, deixando-o extremamente vulnerável às ações erosivas. Este aspecto facilita o carreamento de partículas, que além de provocar empobrecimento do

solo, causa assoreamento dos cursos d'águas no entorno. Os restantes das áreas com uso inadequado são de áreas com pastagem e agricultura, com 22 e 4%, respectivamente, em áreas que não deveriam ser utilizadas desta maneira.

#### **4 CONCLUSÕES**

O levantamento pedológico do município de Lavras, utilizando técnicas modernas de geoprocessamento como ferramentas auxiliares, evidenciou predomínio de Argissolos, seguidos por Latossolos, perfazendo juntos 72% da área total do município.

Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico foi a classe ao nível de subgrupo de maior abrangência no município, ocupando 34 % da área total.

Os solos eutróficos representam 19 % do município. Ele apresenta 41% da área que podem ser utilizados para manejos agrícolas que empregam mecanização em todas as fases do processo produtivo, que são aquelas representadas por todos os Latossolos e por Argissolos em relevo plano a ondulado.

Da área total do município, 88 % e 7 % apresentam uso atual da terra adequado e inadequado, respectivamente. O uso inadequado é decorrente, na sua grande maioria, por áreas com solo exposto, sem cobertura vegetal.

A relação solo-paisagem na área do município funciona como uma adequada moldura didática preliminar, devendo ser checada caso-a-caso,

particularmente nos trabalhos mais detalhados.

## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- BUENO, C. R. P. et al. Unidades litológicas do município de Lavras (MG). **Ciência e Prática**. Lavras, v. 14, p. 352-365, 1990.
- CARVALHO, L. M. T.; SCOLFORO, J. R. **Inventário Florestal de Minas Gerais: monitoramento da flora nativa 2005-2007**. Lavras: Editora UFLA, 2008. 357p.
- COELHO, M.R. et al. O recurso natural solo. In: MANZATTO, C.V.; FREITAS JR., E.; PERES, J.R.R. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2002. p.1-11.
- CONRAD, O. et al. System for automated geoscientific analyses (SAGA) v. 2.1. **4. Geoscientific Model Development**, v. 8, n. 7, p. 1991-2007, 2015.
- CORREIA, J.R.; REATTO, A.; SPERA, S.T. Solos e suas relações com o uso e o manejo. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E., eds. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Planaltina, Embrapa Cerrados, p.29-61, 2004.
- COSTA, A. M. D. et al. Levantamento detalhado de solos da microbacia hidrográfica do horto florestal Terra Dura (RS) e considerações sobre escalas de mapeamento. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 5, p. 1272-1279, 2009.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Mapa geológico do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CPRM, 2003.
- CURI, N.; LIMA, J.M.; ANDRADE, H.; GUALBERTO, V. Geomorfologia, física, química e mineralogia dos principais solos da região de Lavras (MG). **Ciência e Prática** 14: 297-307, p. 297-307, 1990.
- DANTAS, A.A.A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, 2007.
- DAY, P. R. Particle fractionation and particle size analysis. In: **Methods of soil analysis**. Part1, Madison: American Society of Agronomy, 1965, p. 545-566.
- DEMATTÊ, J.A. **Caracterização e espacialização do meio físico, como base**



**para o planejamento do uso da terra.** Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba – SP, 2009. (Texto acadêmico).

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 3. Ed. Brasília, 2013. 353p.

ESRI – ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE **ArcGIS Desktop:** Release 10.2. Redlands, 2010.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. **Soil survey manual.** Washington, 503p. (USDA Agriculture Handbook, 18), 1951.

HUDSON, B. D. The soil survey as a paradigm-based science. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p.836-841, 1992.

JENNY, H. **Factors of soil formation: a system of quantitative pedology.** McGraw-Hill, New York, 1941. 281p.

KER, J. C; MOTTA, P. E. F.; OLIVEIRA, V. A. Levantamentos pedológicos e a evolução do conhecimento dos solos no Brasil. In: CURI et al. (eds.) **Pedologia - Solos dos Biomas Brasileiros.** SBCS, v.1 - 45, 2017.

LEPSCH, I.F. **19 Lições de Pedologia.** São Paulo: Oficina de textos, 2011. 456 p.

MARQUES JÚNIOR, J.; CURI, N.; LIMA, J. M. Evolução diferenciada de Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro em função da litologia gnáissica na região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 235-240, 1992.

McLEAN, E.O.; HEDLESON, M.R.; BARTLETT, R.J.; HOLOWAYCHUK, D.R. Aluminium in soils: I. Extraction methods and magnitud clays in Ohio soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.22, n. 5, p.382-387, 1958.

PEDRON, F.A.; AZEVEDO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D. Alteração mineralógica de Neossolos em uma clima-litossequência no Planalto do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 42, n. 3, p. 451-458, 2012.

RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H. **Análise química do solo**

**para fins de fertilidade.** Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170 p.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras.** 3. Ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995.

REIS, A. A. et al. Land use and occupation analysis of Permanent Preservation Areas in Lavras County, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 36, n. 3, p. 300-308, 2012.

RESENDE, M. et al. **Pedologia: base para distinção de ambientes.** 6 ed. Lavras: Editora UFLA, 378 p., 2014.

SANTOS, R. et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** Revista e ampliada. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013.

SANTOS, R. D. dos; CURI, N.; SHIMIZU, S. H. **Guia prático para classificação de solos brasileiros.** Lavras: Editora UFLA, 82 p., 2015.

SILVA, S.H.G. et al. Proximal Sensing and Digital Terrain Models Applied to Digital Soil Mapping and Modeling of Brazilian Latosols (Oxisols). **Remote Sensing**, 8: 614, 2016.

SILVA, S.H.G. et al. Tropical soils characterization at low cost and time using portable x-ray fluorescence spectrometer (pXRF): effects of different sample preparation methods. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 1, 00-00, 2018.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B. Uso das informações pedológicas agrícolas e não-agrícolas. In: CURI et al. (eds.) **Pedologia - Solos dos Biomas Brasileiros.** SBCS, v.1, 47 - 110, 2017.

UFV; CETEC; UFLA; FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais.** 2010. Disponível em: <<http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais>>. Acesso em: 13 jan. 2018.

VETTORI, L. **Determinação da necessidade de cal dos solos.** Rio de Janeiro: Instituto de Química Agrícola, 1948. 36 p. (Boletim Técnico, 7).

VETTORI, L. **Métodos de análise do solo.** Rio de Janeiro: Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 34p. (Boletim Técnico, 7).

**CAPÍTULO 3 SUPPORT VECTOR MACHINE AND ARTIFICIAL  
NEURAL NETWORKS APPLIED TO SPATIAL PREDICTION OF SOIL  
TYPE AND PROPERTIES**

Artigo redigido conforme as normas do periódico científico Precision Agriculture (A1; JCR 2.012) para a qual foi submetido.

**Support vector machine and artificial neural networks applied to spatial prediction of soil type and properties**

Silva, Elidiane da: Soil Science Department – Federal University of Lavras

Menezes, Michele Duarte de\*: Soil Science Department – Federal University of Lavras

Silveira, Eduarda Martiniano de Oliveira: Forest Science Department - Federal University of Lavras

Acerbi Júnior, Fausto Weimar: Forest Science Department - Federal University of Lavras

Owens, Phillip: United States Department of Agriculture

Curi, Nilton: Soil Science Department – Federal University of Lavras

\*Corresponding author: michele.menezes@dcs.ufla.br, phone +5535999559455, ORCID – 0000-0001-7052-8327

**Abstract**

Spatial variability of soils is an important aspect of precision agriculture, customizing tillage, irrigation suitability, and fertilizer rate application. This work aimed to evaluate Support Vector Machine (SVM) and Artificial Neural Network (ANN) for mapping soil type and properties (clay and sand content, cation exchange capacity - CEC). Terrain attributes with high spatial resolution, parent material map, and magnetic susceptibility data were used as environmental covariates. Soil type maps were evaluated by Kappa Index (KI), Overall Accuracy (OA), commission and omission errors. Soil properties maps were evaluated by Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), Relative Improvement (RI) and Normalized Root Mean Square of Error

(NRMSE). ANN outperformed SVM for spatial prediction of soil types, especially when buffer around sampling points were applied. As MLAs rely on dense sampling scheme, the use of buffer around points improved the learning capacity of algorithms and the accuracy of spatial prediction (average RI of 37% for SVM, and 67% for ANN). The parent material and terrain attributes drives the spatial distribution of soils properties, since both improved the accuracy of spatial prediction (the most accurate soil type map presented KI = 0,76 and OA = 80%; the most accurate property map presented for CEC MAE = 0,72 and RMSE = 0,99; for clay content MAE = 37,4 and RMSE = 53,9; and sandy content MAE 12,4 = and RMSE= 21,2). Magnetic susceptibility could be an alternative for places where there is no parent material maps available in a proper scale.

Keywords: machine learning algorithms, dataset training, environmental covariates, magnetic susceptibility, terrain attributes, parent material.

## 1. INTRODUCTION

Spatial variability of soil types and properties are important aspects of precision agriculture, since such information customize tillage, irrigation suitability, and fertilizer rate application. Thus, attention about the accuracy of soil inference systems has increased as a method to produce digital maps (Minasny and McBratney, 2016). For this purpose, concepts of Digital Soil Mapping (DSM) has been applied, based on the *scorpan* framework, composed by an inference systems (mathematical or statistical models) along with environmental covariates or auxiliary information (*s*: soil; *c*: climate; *o*; organism; *r*: relief; *p*: parent material; *a*: age; *n*: spatial position), and their correlated errors (McBratney et al., 2003). Thus, soil measurements are quantitatively related with environmental covariates (Brungard et al., 2015), which often increase local predictions

(Goovaerts, 1999; McBratney et al., 2000; Menezes et al., 2016).

Among inference systems, Machine Learning Algorithms (MLAs) are based on automated computational-statistical process. The learning of spatial variability is achieved by means of rules without any explicit human guidance (Mitchell 1997). Thus, this study attempted to test SVM and ANN as a soil predictive models, since few studies have compared different learners performances (Heung et al., 2016). Although both methods are among the less DSM models commonly used (Mountrakis et al. 2011; Heung et al. 2016), more studies are necessary because they have a great potential for mapping soils, since: a) they allow the use of numerical and categorical environmental covariates (Bishop et al. 2012; Chagas et al., 2017); b) the relationship between soil and covariates are not necessarily linear (Hengl et al. 2004; Menezes et al. 2016), thus, there is an advantage of no assumption concerning data distribution; c) they are recognized as complex models due to necessary parameterization (Brungard et al. 2015), however, they have outperformed other spatial prediction methods (Brungard et al. 2015; Heung et al. 2016; Yang et al. 2006), especially in areas where there is a large diversity of soil types (Brungard et al. 2015). For a successful application of models, tuning and training parameterization (Yang et al. 2006), the choice of dataset training points (Giasson et al. 2015; Pelegrino et al. 2016; ten Caten et al. 2012), and environmental covariates choice (Brungard et al. 2015, Samuel-Rosa et al. 2015; Arruda et al. 2013) have been recognized as key points for successful modeling task.

In order to get optimal model performances, tuning and training are necessary to achieve not only a suit generalization over the study area (Yang et al. 2006), but also higher accuracy according to external validation sampling points. Additionally, machine-

learners tend to improve their accuracy as long as the dataset training increases (Pal and Mather 2003), but it is not always feasible especially in Brazil, where there is scarcity of resources. Thus, other alternatives to increase dataset for training models should be seek, as the use of information near or around the sampling points. As a fundamental geographical principle (Tobler, 1970), things that are closer tend to be more alike than things that are farther apart, but there is probably an uncertainty zone that be considered. So, the advantages in increase accuracy by applying such information on soil modeling should be assessed by external validation points (Pelegriño et al., 2016).

Predictive models performances also rely on the choice of covariates to better represent soil-landscape relationships (Arruda et al. 2013; Brungard et al. 2015, Samuel-Rosa et al. 2015; Taghizadeh-Mehrjardi et al., 2015). The investigation of the main drivers of soil pedogenesis and their geographic patterns are important aspects for a successful mapping (Silva et al. 2016). In general, lots of Brazilian areas do not have a long historical of soil crop and management, thus, soil forming factors or environmental covariates must drive the spatial variability of soils rather than management itself. The use aforementioned information is strategic for tropical countries in development, since they might improve the spatial prediction accuracy (Menezes et al., 2016; Pelegriño et al., 2016; Silva et al., 2016).

Considering the area of this work, previous studies have considered parent material as the main driver of soil variability (Curi et al. 1990; Marques Junior et al. 1992). Nevertheless, in Brazil there is scarcity of parent material maps in scale suitable for detailed maps required by precision agriculture. Thus, magnetic susceptibility, which reflects the concentrations and characteristics of magnetic minerals present in soils,

could work as a proxy of parent material. The major interest of soil magnetic studies is iron oxides, since different iron forms reflect different soil-forming and processes (Maher and Thompson, 1999; Silva et al., 2016). It is an alternative as an environmental covariate since it is an inexpensive remote sensor, with non-destructive analysis (Liu et al., 2016) and could help to explain soil variability (Marques Junior et al., 2014). Furthermore, with the popularization of digital elevation models (DEM) and their derivatives in a raster format, the influence of relief as a soil forming factor could bring improvements for the predictive power of models (Minasny and McBratney, 2016), being one of the most environmental covariate used in DSM (Grunwald, 2009; McBratney et al. 2003).

Thus, this work aimed to assess the performance of ANN and SVM in the spatial prediction of soil types and properties (CEC, clay content and sand content of B horizon), by means of an independent validation dataset. Facing the complexity of soil-landscape relationship in the study area and the necessity of understand how to better train models, different environmental covariates were tested as input models, varying the training dataset (field points or soil information from buffer around field points).

## **2. MATERIAL AND METHODS**

### **2.1 Study area**

The study area is located in the southeast of Minas Gerais (MG) state, Brazil, with a total of 314 hectares, between the latitudes 7,651,207 and 7,653,478 m W and longitudes 501,962 and 503,957 m S (Figure 1), datum SIRGAS2000, zone 23K. The climate of the region is Cwa according to Köppen classification system (C: subtropical climate; w: rainy summers; a: warm summers) and cold and dry winters, with mean



annual temperature and rainfall of 19° C and 1530 mm, respectively.

## **2.2 Soil sampling and analysis**

A total of 87 points were analyzed and sampled throughout the study area, with a distance around of 200 meters between samples. At each location, soils were classified up to second categorical level according to the Brazilian Classification System (Embrapa, 2013). In addition, B horizon (or C horizon in the absence of B) was sampled for determination of CEC, clay content, and sand content. CEC was calculated from the sum of total exchangeable bases and the potential acidity according to Embrapa (2011). The particle size distribution was analyzed by pipette method (Bayer et al. 1972; Gee et al. 1986). Such soil properties were selected because they are important to land use and management by agriculture and environmental purposes.

## **2.3 Environmental covariates**

The environmental covariates used as input data of models represents relief and parent material soil forming factors. Relief information was obtained from contour lines with 1 m of vertical distance, interpolated by Topo to Raster tool of ArcGIS 10.2 (ESRI). Thus, DEM of 5m resolution was generated. From this 12 other terrain derivatives attributes in a raster format were generated, by means of Terrain Analysis module in SAGA GIS (System for automated geoscientific analyses) (Conrad et al. 2015). Table 1 presents the description of terrain attributes used.

The input of soil parent material information was in a categorical format (polygon). The study area has a great geologic variety, where the soils are formed mainly from leucocratic and mesocratic gneisses, gabbro intrusion and sediments of varying nature. Following the sequence, leucocratic gneiss → mesocratic gneiss →

gabro, there is: a) an increase of clay content, Fe and magnetic susceptibility (MS); b) a decrease of sand content; c) changes of B horizon colors, ranging from yellow, red-yellow to red, respectively (Curi et al. 2017; Silva et al. 2016).

Another input model was MS, which was determined using the Barrington MS2B magnetometer in air-dried samples passed through a 2-mm sieve. Data were obtained at low frequency (XBF=0.47 kHz). The sampling followed the aforementioned scheme, and details about spatial interpolation of MS can be found in Curi et al. (2017). The MS values are related to soil genesis and can be associated with geochemistry and mineralogy properties. Previous studies have shown that soil types comprising the same taxonomic order (Latosols and Argisols) but developed from different parent materials showed contrasting magnetic susceptibility values, which demonstrates the potential of using magnetic susceptibility for characterizing soils with varying parent materials (Silva et al. 2016).

#### **2.4 Dataset training model and inputs**

The dataset training models were composed by 87 sampling points (referred here as original) and information around them obtained by buffer (referred here as buffer), as depicted in Figure 2. In order to increase the number of training points, buffers were created around the original sample points by assuming homogeneity of soil occurrence in a 10 meters radius. The neighbor pixels (5 meters of spatial resolution) with area include in the buffer radius action were classified as the central pixel. Thus, a total of 1,131 training points from the buffer tool (12 extra points around de original sample point) were used.

In addition, in order to better understand the contributions of each

environmental covariate in the accuracy of models, different input models were set. The matrices are presented in Table 2.

## **2.5 Machine learning algorithms**

ANN and SVM were tested mainly due to their capability to deal with highly dimensional data and nonlinearity of soil-environmental covariate relationships (Witten et al. 2016). The creation of matrices and training of MLAs were performed in Weka (Waikato Environment for Knowledge Analysis) version 3.8 data mining program.

SVM constructs an optimal separating hyperplane between the class data (Hastie et al. 2009). In this study, it was used the Sequential Minimal Optimization algorithm with the Gaussian radial basis function (RBF) kernel (Ballabio 2009; Hsu et al. 2016). To train the SVM, an error parameter  $C$  and kernel parameter  $\gamma$  were set. The  $C$  parameter trades-off misclassification of training data set against simplicity of the decision model. The  $\gamma$  parameter defines how far the influence of a single training example reaches. In order to choose proper parameters of  $C$  and  $\gamma$ , it was used a 10-fold and 5-fold cross-validation to evaluate the accuracy of the model.  $C=100$  e the  $\gamma =0,01$  were set since they presented the best performance.

The ANN consists of a mathematical model that interconnects units, called neurons, and estimates the non-linear correlations between variables. The input neurons, which represent predictor variables, are connected to a single or multiple layers of hidden neurons, which are linked to the output neurons that represent the predictive variables (Witten et al. 2016). Multi-Layer Perceptron (MLP) algorithm was used with a feedforward backpropagation neural network model, with one hidden layer (Taghizadeh-Mehrjardi et al. 2015). The connections between neurons during the training process are

established by designate weights based on an intrinsic learning process, where the weights are iteratively adjusted to match the outputs of the training dataset (Behrens et al, 2005). The MLP parameters are learning rate and momentum term. The learning rate determines the step size taken during the iterative gradient descent learning process. The momentum term is used to assist the gradient descent process if it becomes stuck in a local minimum. It was used a learning rate of 0.3 and a momentum term of 0.2.

## 2.6 Accuracy assessment

The validation dataset was composed by 28 independent samples selected throughout the study area (not used for training models). Soil type maps were evaluated by KI (Cohen, 1960), OA (Hellden et al. 1980), omission and commission error. The OA is the sum of the main diagonal components of the confusion matrix divided by the total of validation samples (Equation 1).

$$OA = \frac{\sum_{j=1}^c x_{jj}}{N} \quad \text{Equation 1}$$

where:  $x_{jj}$  is the number of correct samples and  $N$  is the total number of samples.

KI is an agreement measure calculated taking into account the total number of samples, the number of soil types and the correctly classified samples (Congalton and Green, 2008) (Equation 2).

$$KI = \frac{po-pe}{1-pe} \quad \text{Equation 2}$$

where  $po$  is the relative observed agreement, and  $pe$  is the hypothetical probability of chance agreement. If the raters are in complete agreement then  $\kappa = 1$ . If there is no agreement among the raters other than would be expected by chance (as given by  $pe$ ),  $\kappa \leq 0$ .

The accuracy of soil properties was assessed by MAE and de RMSE. The MAE is a quantity used to measure how close the predictions are to the outcomes (Equation 3).

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\hat{\Theta}_i - \Theta_i| \quad \text{Equation 3}$$

where  $\hat{\Theta}_i$  is the observed value;  $\Theta_i$  is the estimated value;  $N$  is the sample size.

The RMSE indicates the absolute fit of the model to the data: how close the observed data points are to the model's predicted values (Equation 4).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |\hat{\Theta}_i - \Theta_i|^2}{n}} \quad \text{Equation 4}$$

where  $\hat{\Theta}_i$  is the observed value;  $\Theta_i$  is the estimated value;  $N$  is the sample size. From RMSE values, two another indexes were calculated:

a) The relative improvement (RI) achieved by the use of buffer over sampling points without buffer (Equation 5).

$$RI (\%) = \frac{RMSE_{without\ buffer} - RMSE_{with\ buffer}}{RMSE_{without\ buffer}} * 100$$

Equation 5

b) RMSE normalized (NRMSE) (Equation 6), which allows a comparison between soil properties in different scales (Ballabio 2009).

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\sigma} \quad \text{Equation 6}$$

where  $\sigma$  is standard deviation.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1 Soil type accuracy assessment

Table 3 presents the accuracy values (KI and OA) of soil type spatial prediction methods, considering the training dataset and different environmental covariables (matrices). The use of buffer brought substantial improvement of spatial prediction for both SVM and ANN. The values of OA ranged from 25% to 38% when original sampling points was used and from 31% to 80% with buffer. Regarding KI values, the strength of agreement between prediction and validation (Landis and Koch 1977) of original sampling points was considered poor (KI equals to 0) or slight poor ( $KI < 0.20$ ). By using the buffer, most of KI values have shown moderate ( $0.41 \leq KI \leq 0.60$ ) or substantial ( $0.61 \leq KI \leq 0.80$ ) strength of agreement.

Such results point out both MLAs as very sensitive to dataset size, in agreement with previous studies where large sampling size was necessary to achieve accuracy of spatial prediction (Mountrakis et al. 2011; Taghizadeh-Mehrjardi et al. 2015). In addition, the larger the number of different soil types, the higher the complexity and more samples would be necessary to train classifiers (Chagas et al. 2017). One advantage of DSM is fitting quantitative relationships between soils and environmental covariables, and from machine learning perspective, there is a dependency upon training dataset. Thus, to properly take advantage of these algorithms, keeping the feasibility of soil mapping generation, the use of buffer around the sampling points seems to be appropriate. In this sense, large number of training dataset can be available quickly and easily through the buffering method (Millard and Richardson 2015).

Environmental covariates play an important role in DSM techniques performances since it represents the soil-landscape relationships formalized by means of predictive models (Brungard et al. 2015; Santos et al. 2016). As data mining tools, SVM

and ANN might perform better when important environmental covariates are used for spatial prediction to each region (Li et al. 2013). On the other hand, they are considered as black box systems (Ballabio 2009; Schaap and Leij 1998; Prakash et al. 2017), since the interrelation between inputs and outputs are not explained or formally stated. Thus, by adding and removing covariates, the importance of each one is better understood. According to Table 3, it is clear that different environmental covariate inputs have influenced the accuracy of spatial prediction.

Models with magnetic susceptibility and parent material (T5) performed worst, whose KI values varied from 0 to 0.23 and OA from 31 to 40. In such cases, only parent material as a soil forming factor and only few input data maps (only two) leads to poor accuracy of spatial prediction. Those models with input data with relief only (T1 data training totaling 13 input maps) performed better than T5, with KI ranges of 0.07-0.69, and OA ranges of 27-74. However, the best models were those with combination of parent material and relief, with higher values of KI and OA. The best performances of SVM were achieved with T2 and T4, and ANN with T2 and T3.

Even though previous studies have pointed out parent material and age as the main drivers of soil differentiation over the study region (Curi et al. 1990; Marques Junior et al. 1992), during this time, DEM and its derivatives were not broadly available and massively used (McBratney et al. 2003). Thus, according to accuracy results, the use of relief in MLA helped to better elucidate the soil-landscape relationships in this study, improving the spatial prediction accuracy.

According to Silva et al. (2016), soils under tropical conditions vary according to the places where they occur on the landscape. This is even clearer in detailed soil

surveys, where parent material variations become more important. In addition, inside same parent material portions, the relief variations took place, where terrain models could help predict soil types even more. This fact probably explains the good performance of models with relief and parent material combination.

Although models T2 and T3 ANN with buffer performed quite similar (most accurate maps), it would be recommend T2 model, since it is a combination of digital terrain models and magnetic susceptibility. The latter has the advantages of being a proximal remote sensor, since: a) allow faster and cheaper acquisition of data in field or laboratory; b) data are acquired with few or no-sampling preparation; c) non-destructive and non-polluting analysis (McBratney et al. 2011); d) there is scarcity of parent material or even geology maps in detailed scales in Brazil. Also, it could support soil type spatial prediction in tropical countries since it is correlated with parent material (Curi and Franzmeier 1987; Silva et al. 2016).

According to Table 3, ANN outperformed SVM, irrespective of training dataset and environmental covariate inputs. The highest accuracy was achieved with ANN T2 model (KI of 0.76 and OA of 80). The relation between soils environmental covariates is complex and very often non-linear (Hengl et al. 2004; Menezes et al. 2016), but ANN is capable to deal with this type of data (Bodaghabadi et al. 2015; Ripley 1996). Thus, the higher accuracy indexes are in accordance with other published studies, which successfully applied ANN for soil type spatial prediction (Zhu 2000; Fidêncio et al. 2001; Zhao et al. 2009; Behrens et al. 2005).

Many studies have shown that SVM outperformed other spatial prediction techniques (Boyd et al. 2006; Pal and Mather 2005; Li et al. 2013; Heung et al. 2016;



Lorenzetti et al. 2015; Taghizadeh-Mehrjardi et al. 2015), but it was not the case in this study. It seems that Gaussian RBF (kernel) or the parameters set for the models ( $C$  and  $\gamma$ ) did not provide optimal SVM configuration. The choice of kernel and parameters of models are the major setbacks of SVM and can bearing the results of analysis (Mountrakis et al. 2011). Furthermore, exhaustive discussion regard SVM variants are not available and there is not heuristics establishment for selection of these parameters (Ballabio 2009; Heung et al. 2016; Mountrakis et al. 2011; Rodriguez-Galiano et al., 2015). In addition, except model T5, the other ones have high dimensionality and kernel mapping is more vulnerable to dimensionality problems (Mountrakis et al. 2011)

### **3.2 Soil type map with highest accuracy**

Table 4 shows the number of points per each soil type used as training dataset. Predominance of Latosols and Argisols, with lower proportions of Cambisols, Indiscriminate Floodplain, and Nitisols were found. Even though soil sampling or training points are geographically well distributed over the study area, the proportion of soil types is unequally distributed. In other words, the training dataset exhibits an intrinsic unequal distribution between its classes resulted from the nature of spatial variation, and thus, it can be considered as an imbalanced dataset (He and Garcia, 2009).

Figure 3 depicts the most accurate soil type map (ANN model T2). Overall, the spatial pattern of the soil type map was consistent with the understanding of soil distribution in the study area. It was found predominance of Red Latosol (RL), followed by Yellow-Red Latosol, in accordance with the training dataset (Table 3) and previous studies in the study region (UFV,CETEC,UFLA,FEAM 2010; Silva et al. 2014). It was expected greater geographical expression of YRA, due to the higher number of sampling

points (total of 18), however this soil type occurred in stains in the study area, since it occurs in association with other soil classes in the landscape, and because of its differentiation by soil morphology itself, and not by landscape attributes.

The validation indexes presented in Table 3 do not describe how well each soil type was predicted individually. Thus, the confusion matrix from validation points is presented in Table 5. Omission error indicates the exclusion of a sample from the class that it actually belongs, and commission error indicates a sample in a class in which it should not have been included. The commission and omission error values were satisfactory, except for RN. The most accurate model was not able to learn RN pattern of distribution (highest values of omission and commission errors). Furthermore, other sources of error are mostly related to RN and the associated soils RL and RA. It might be related to two factors: a) the intrinsic imbalance of training dataset, which heavily biased in favor of the majority classes (Foody et al. 2003; Heung et al. 2016), in this case, RL and RA over RN. Several studies have shown that classes with lower sampling frequencies were modeled less accurately (Brungard et al. 2015; Barthold et al. 2013; Kim et al. 2012; Marchetti et al. 2011; Stum et al. 2010; Taghizadeh-Mehrjardi et al. 2015), as RN and SIV in this study. b) The differences among Nitosol, Latosol, and Argisol are related to morphological features used for classification purposes rather than environmental covariates. In addition, in the study area, such soils are spatially associated in the landscape, thus, they likely occur in similar portions over the landscape. In such case, the environmental covariates have a low predictive power.

### **3.3 Soil Attributes data accuracy assessment**

Similar trend of spatial prediction of soil type and properties accuracy was

found: training dataset from buffer outperformed those without buffer (Table 6). For both MLA, irrespective of training dataset, the values of MEA and RMSE were consistently lower when the buffer around points was used. Thus, the RI reached by buffer use ranged from 19 to 49% (average of 37%) for SVM, and from 15 to 83% (average of 67%) for ANN, showing again that the increasing in dataset training substantially improved the accuracy of spatial prediction.

Besides the importance of soil fertility and management, the soil properties of this study were likely to be influenced by soil forming factors, as well as are representative of soil evolution and characteristics. Thus, in respect of environmental covariates, the terrain attributes associated with parent material and magnetic susceptibility (T4 data set training) resulted in lower values of MAE and RMSE, and thus, higher accuracy. Terrain attributes is well-known for controlling spatial distribution of physical, chemical and biological properties, and the overall energy and water balances (Florinsky et al. 2011). Likewise, Campos et al. (2007) verified that the geomorphic landscape and the identification of the parent material were very efficient for the understanding of the variation of soil properties studied, such as CEC, clay and sand content.

The study carried out by Jafarzadeh et al. (2016) using SVM an ANN in Iran, founded that the two models had the ability to predict CEC and suggested that these models may be before tested in datasets from different regions, due the dependency of data. Besides, the number of works applying SVM and ANN are scarce, making difficult the comparison with the results found.

In order to facilitate the comparison between MLAs and different models

performance, the NRMSE was calculated (Figure 4). The accuracy of models showed quite similar behavior of CEC, clay and sand content. Thus, environmental covariates might influence such soil properties similarly. Overall, the MLAs without buffer performed worst, but unlike soil type spatial prediction, SVM outperformed ANN with less training points. With buffer use, the ANN outperformed SVM, probably due to its sensitivity to increasing points, as observed by Taghizadeh-Mehrjardi et al. (2015). The most accurate maps were obtained from ANN T4 model with buffer.

It could be noticed an overall stability of NRMSE values considering environmental covariates (matrices), thus, NRMSE variation seems to be in charge of MLAs techniques and training dataset. The model T5 is the most stable, where a very few variation of NRMSE is noticed. It highlights the importance of parent material on spatial variability of soil properties: clay content tends to increase and sand content decreases following the sequence leucocratic gneiss → mesocratic gneiss → gabbro (Santos et al. 2016). Also, the CEC had the same behavior, presenting higher value in the soil type derived from materials with greater presence of mafic elements, besides the type of soil with higher clay content. Figure 5 shows the prediction maps of the soil properties CEC (a), clay (b), and sand content (c) of ANN with buffered samples to T4 training data set. The CEC content ranged from 2 to 24 cmol kg<sup>-1</sup>, the clay content ranged from 27 to 906 g kg<sup>-1</sup>, and the sand content from 83 to 548 g kg<sup>-1</sup>. The appearance of the soil types showed very accurate with the expected for the region.

#### **4. Conclusion**

Overall, ANN outperformed SVM for spatial prediction of soil types, especially when buffer around sampling points were applied. Since MLAs rely on dense sampling

scheme, the use of buffer around sampling points proved to be an alternative to improve the learning capacity of algorithms and improve the accuracy of spatial prediction.

The parent material along with terrain attributes drives the spatial distribution of soil types and properties, since the use of both as environmental covariates improved the accuracy of spatial prediction of MLA. In addition, magnetic susceptibility could be an alternative for places where there is no parent material maps available in proper scale.

## 5. Acknowledgments

The authors thank the agencies Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) and Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) for the financial support for the development of this work.

## 6. References

- Arruda, G. P., Demattê, J. A. M., & da Silva Chagas, C. (2013). Mapeamento digital de solos por redes neurais artificiais com base na relação solo-paisagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000200004>.
- Ballabio, C. (2009). Spatial prediction of soil properties in temperate mountain regions using support vector regression. *Geoderma*, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.04.022>.
- Barthold, F. K., Wiesmeier, M., Breuer, L., Frede, H. G., Wu, J., & Blank, F. B. (2013). Land use and climate control the spatial distribution of soil types in the grasslands of Inner Mongolia. *Journal of Arid Environments*, <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.08.004>.
- Bayer, L.D., Gardner, W.H., Gardner, W.R. (1972). *Soil Physics*. New York, NY: John

Wiley & Sons.

Behrens, T., Förster, H., Scholten, T., Steinrücken, U., Spies, E. D., & Goldschmitt, M. (2005). Digital soil mapping using artificial neural networks. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, <https://doi.org/10.1002/jpln.200421414>.

Beven, K. J., & Kirkby, M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Journal*, <https://doi.org/10.1080/02626667909491834>.

Bishop, M. P., James, L. A., Shroder, J. F., & Walsh, S. J. (2012). Geospatial technologies and digital geomorphological mapping: concepts, issues and research. *Geomorphology*, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.06.027>.

Bodaghabadi, M. B., Martínez-Casasnovas, J., Salehi, M. H., Mohammadi, J., Borujeni, I. E., Toomanian, N., & Gandomkar, A. (2015). Digital soil mapping using artificial neural networks and terrain-related attributes. *Pedosphere*, [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)30038-2](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)30038-2).

Böhner, J., & Antonić, O. (2009). Land-surface parameters specific to topo-climatology. *Developments in Soil Science*, [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)00008-1](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00008-1).

Boyd, D. S., Sanchez-Hernandez, C., & Foody, G. M. (2006). Mapping a specific class for priority habitats monitoring from satellite sensor data. *International Journal of Remote Sensing*, <https://doi.org/10.1080/01431160600554348>.

Brungard, C. W., Boettinger, J. L., Duniway, M. C., Wills, S. A., & Edwards, T. C. (2015). Machine learning for predicting soil classes in three semi-arid landscapes. *Geoderma*, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.09.019>.

Campos, M. C., Marques Júnior, J., Pereira, G., Montanari, R., Arantes Camargo, L.

- (2007). Relações solo-paisagem em uma litosseqüência arenito-basalto na região de Pereira Barreto, SP. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31 (3), 519-529.
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37-46.
- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L. & Böhner, J. (2015). System for automated geoscientific analyses (SAGA) v. 2.1. 4. *Geoscientific Model Development*, 8(7), 1991-2007.
- Curi, N., & Franzmeier, D. P. (1987). Effect of parent rocks on chemical and mineralogical properties of some Oxisols in Brazil. *Soil Science Society of America Journal*, <http://doi:10.2136/sssaj1987.03615995005100010033x>.
- Curi, N., Lima, J. M., Andrade, H., & Gualberto, V. (1990). Geomorfologia, física, química e mineralogia dos principais solos da região de Lavras (MG). *Ciência e Prática*, 14(2), 297-307.
- Curi, N., Silva, S.H.G., Poggere, G.C., Menezes, M.D. (2017). *Mapeamento de solos e magnetismo no campus da UFLA como traçadores ambientais*. Lavras, MG: Editora UFLA.
- Chagas, C. S., Pinheiro, H. S. K., de Carvalho Junior, W., dos Anjos, L. H. C., Pereira, N. R., & Bhering, S. B. (2017). Data mining methods applied to map soil units on tropical hillslopes in Rio de Janeiro, Brazil. *Geoderma Regional*, <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.03.004>.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2011). *Manual de métodos de análise de solos*. Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA.
- Fidêncio, P. H., Ruisánchez, I., & Poppi, R. J. (2001). Application of artificial neural

networks to the classification of soils from Sao Paulo state using near-infrared spectroscopy. *Analyst*, 126(12), 2194-2200.

Foody, G. M., Boyd, D. S., & Cutler, M. E. (2003). Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. *Remote Sensing of Environment*, [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00039-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00039-7).

Florinsky, I. V. (2011). The soil formation equation: Imaginary scientific priority of Hans Jenny. *Pedometron*, (30), 1-3.

Gallant, J. C., & Dowling, T. I. (2003). A multiresolution index of valley bottom flatness for mapping depositional areas. *Water resources research*, <https://doi.org/10.1029/2002WR001426>.

Gallant, J.C., Wilson, J.P. (2000). Primary topographic attributes. In: Wilson, J.P., Gallant, J.C. (Ed.). *Terrain Analysis: Principles and applications*. (pp. 51-85). New York: John Wiley & Sons.

Gee, G.W., Bauder, J.W. (1986). Particle-size analysis. In: Klute, A. (Ed.). *Methods of Soil Analysis*. American Society of Agronomy (pp. 383-412). Madison, WI, USA.

Giasson, E., ten Caten, A., Bagatini, T., & Bonfatti, B. (2015). Instance selection in digital soil mapping: a study case in Rio Grande do Sul, Brazil. *Ciência Rural*, <https://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20140694>.

Goovaerts, P. (1999). Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma*, [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(98\)00078-0](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(98)00078-0).

Grunwald, S. (2009). Multi-criteria characterization of recent digital soil mapping and modeling approaches. *Geoderma*, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.06.003>.

Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J. (2009). *The Elements of Statistical Learning:*



*Data Mining, Inference, and Prediction*. Berlin, BE: Springer.

He, H., & Garcia, E. A. (2009). Learning from imbalanced data. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, <https://doi.org/10.1109/TKDE.2008.239>.

Hellden, U., & Stern, M. (1980). *Evaluation of Landsat imagery and digital data for monitoring desertification indicators in Tunisia*. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 14 th, San Jose, Costa Rica, 1601-1610.

Hengl, T.; Heuvelink, G.; Stein, A.A.A. (2004). Generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging. *Geoderma*, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.08.018>.

Heung, B., Ho, H. C., Zhang, J., Knudby, A., Bulmer, C. E., & Schmidt, M. G. (2016). An overview and comparison of machine-learning techniques for classification purposes in digital soil mapping. *Geoderma*, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.11.014>.

Hsu, C.W., Chang, C.C., Lin, C.J. (2016). A practical guide to support vector classification. <http://www.datascienceassn.org/sites/default/files/Practical%20Guide%20to%20Support%20Vector%20Classification.pdf>. Accessed 14 January 2018.

Jafarzadeh, A. A., Pal, M., Servati, M., FazeliFard, M. H., & Ghorbani, M. A. (2016). Comparative analysis of support vector machine and artificial neural network models for soil cation exchange capacity prediction. *International Journal of Environmental Science and Technology*, <https://doi.org/10.1007/s13762-015-0856-4>.

Kim, J., Grunwald, S., Rivero, R. G., & Robbins, R. (2012). Multi-scale modeling of soil series using remote sensing in a wetland ecosystem. *Soil Science Society of America Journal*, <https://doi.org/10.2136/sssaj2012.0043>.

- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, <https://doi.org/10.2307/2529310>.
- Li, Q., Yue, T., Wang, C., Zhang, W., Yu, Y., Li, B., Yang, J., Bai, G. (2013). Spatially distributed modeling of soil organic matter across China: an application of artificial neural network approach. *Catena*, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.11.012>.
- Liu, D.; Ma, J.; Sun, Y.; Li, Y. (2016). Spatial distribution of soil magnetic susceptibility and correlation with heavy metal pollution in Kaifeng, China. *Catena*, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.11.004>.
- Lorenzetti, R., Barbetti, R., Fantappiè, M., L'Abate, G., & Costantini, E. A. (2015). Comparing data mining and deterministic pedology to assess the frequency of WRB reference soil groups in the legend of small scale maps, *Geoderma*, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.09.006>.
- Marchetti, A., Piccini, C., Santucci, S., Chiuchiarelli, I., & Francaviglia, R. (2011). Simulation of soil types in Teramo province (Central Italy) with terrain parameters and remote sensing data. *Catena*, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.01.012>.
- Marques Junior, J., Curi, N., & Lima, J. M. (1992). Evolução diferenciada de Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro em função da litologia gnáissica na região de Lavras (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 16(2), 235-240.
- Marques Junior, J.; Siqueira, D.S.; Camargo, L.A.; Teixeira, D.D.B.; Barrón, V.; Torrent, J. (2014). Magnetic susceptibility and diffuse reflectance spectroscopy to characterize the spatial variability of soil properties in a Brazilian Haplustalf. *Geoderma*, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.12.007>.

- McBratney, A., Minasny, B., & Whelan, B. (2011). Defining proximal soil sensing. In The Second Global Workshop on Proximal Soil Sensing. Montreal, 15-18.
- McBratney, A.; Odeh, I.; Bishop, T.; Dunbar, M.; Shatar, T. (2000). An overview of pedometric techniques for use in soil survey. *Geoderma*, [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(00\)00043-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(00)00043-4).
- McBratney, A. B., Santos, M. M., & Minasny, B. (2003). On digital soil mapping. *Geoderma*, [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00223-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00223-4).
- Maher, B.A.; Thompson, R (1999). The magnetic record of palaeoclimate in the terrestrial loess and palaeosol sequences, in Quaternary Climates. In Maher, B.A. & Thompson, R. (Ed.). *Environments and Magnetism*. (pp. 81–125). Cambridge: University Pres.
- Menezes, M.D.; Silva, S;H.G; Mello, C.R.; Owens, P.R.; Curi, N. (2016). Spatial prediction of soil properties in two contrasting physiographic regions in Brazil. *Scientia Agricola*, <http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0071>.
- Millard, K., & Richardson, M. (2015). On the importance of training data sample selection in random forest image classification: A case study in peatland ecosystem mapping. *Remote Sensing*, <http://dx.doi.org/10.3390/rs70708489>.
- Minasny, B.; McBratney, A.B. (2016). Digital soil mapping: a brief history and some lessons. *Geoderma*, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.07.017>.
- Mitchell, T. M. (1997). Does machine learning really work? *AI magazine*, <https://doi.org/10.1609/aimag.v18i3.1303>.
- Mountrakis, G., Im, J., & Ogole, C. (2011). Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*,

<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.11.001>.

Pal, M., & Mather, P. M. (2003). An assessment of the effectiveness of decision tree methods for land cover classification. *Remote Sensing of Environment*, [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00132-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00132-9).

Pal, M., & Mather, P. M. (2005). Support vector machines for classification in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, <https://doi.org/10.1080/01431160512331314083>.

Pelegriño, M. H. P., Silva, S. H. G., Menezes, M. D. D., Silva, E. D., Owens, P. R., & Curi, N. (2016). Mapping soils in two watersheds using legacy data and extrapolation for similar surrounding areas. *Ciência e Agrotecnologia*, <http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542016405011416>.

Prakash, M., Karthika, S., & Ramanani, S. (2017). An Analysis for Classification of Soil Data in Data Mining using R. *International Journal of Control Theory and Applications*, 10(2), 91-98.

Ripley, B. D. (1996). *Pattern recognition and neural networks*. 1996. Cambridge University Press, Cambridge.

Rodriguez-Galiano, V., Sanchez-Castillo, M., Chica-Olmo, M., & Chica-Rivas, M. (2015). Machine learning predictive models for mineral prospectivity: An evaluation of neural networks, random forest, regression trees and support vector machines. *Ore Geology Reviews*, <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.01.001>.

Samuel-Rosa, A., Heuvelink, G. B. M., Vasques, G. M., & Anjos, L. H. C. (2015). Do more detailed environmental covariates deliver more accurate soil maps? *Geoderma*, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.12.017>.

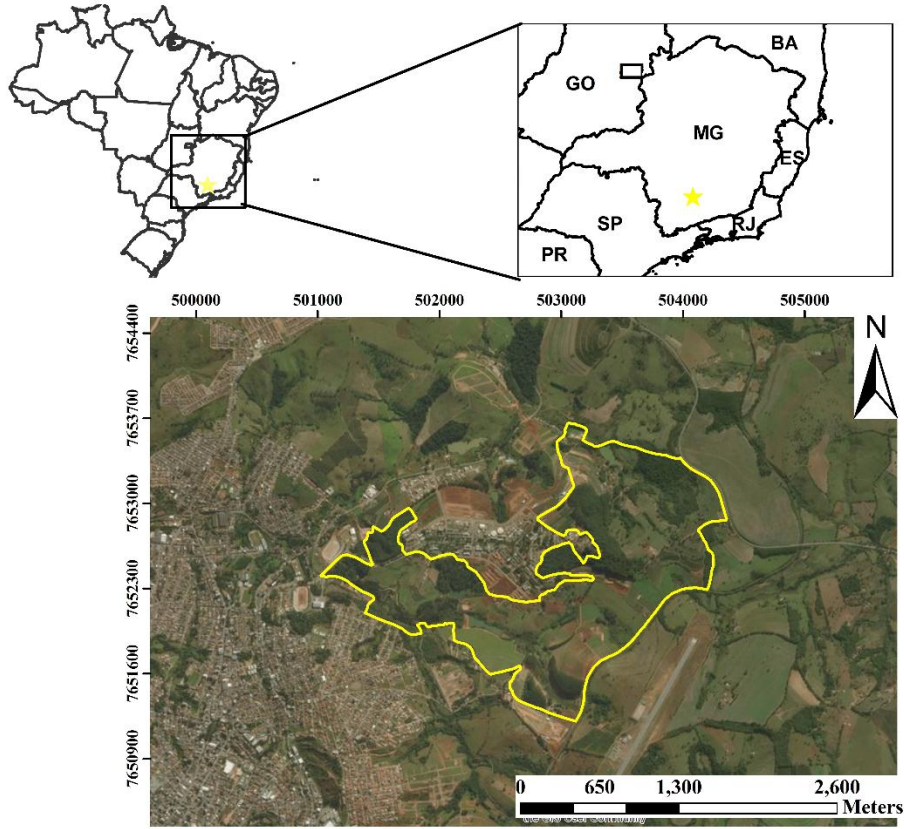
- Schaap, M. G., & Leij, F. J. (1998). Using neural networks to predict soil water retention and soil hydraulic conductivity. *Soil and Tillage Research*, [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(98\)00070-1](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(98)00070-1).
- Silva, B., Santos, W., & Marques, J. M. (2014). *Levantamento detalhado dos solos da Fazenda Muquém/UFLA*, Lavras-MG. Lavras: UFLA.
- Silva, S. H. G., Poggere, G. C., Menezes, M. D. D., Carvalho, G. S., Guilherme, L. R. G., & Curi, N. (2016). Proximal Sensing and Digital Terrain Models Applied to Digital Soil Mapping and Modeling of Brazilian Latosols (Oxisols). *Remote Sensing*, <https://doi.org/10.3390/rs8080614>.
- Stum, A. K., Boettinger, J. L., White, M. A., & Ramsey, R. D. (2010). *Random forests applied as a soil spatial predictive model in arid Utah*. In *Digital Soil Mapping* (pp. 179-190). Springer, Dordrecht.
- Taghizadeh-Mehrjardi, R., Nabiollahi, K., Minasny, B., & Triantafilis, J. (2015). Comparing data mining classifiers to predict spatial distribution of USDA-family soil groups in Baneh region, Iran. *Geoderma*, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.04.008>.
- ten Caten, A. T., Dalmolin, R. S. D., & Ruiz, L. F. C. (2012). Digital soil mapping: strategy for data pre-processing. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000400003>.
- Tobler, W. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, <https://doi.org/10.2307/143141>.
- UFV, CETEC, UFLA, FEAM (2010). *Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais: Legenda Expandida*. Belo Horizonte, MG: FEAM.

Witten, I.H., Frank, E., Hall, M.A., Pal, C. J. (2016). *Data mining: practical machine learning tools and techniques*. San Francisco, CA: Elsevier.

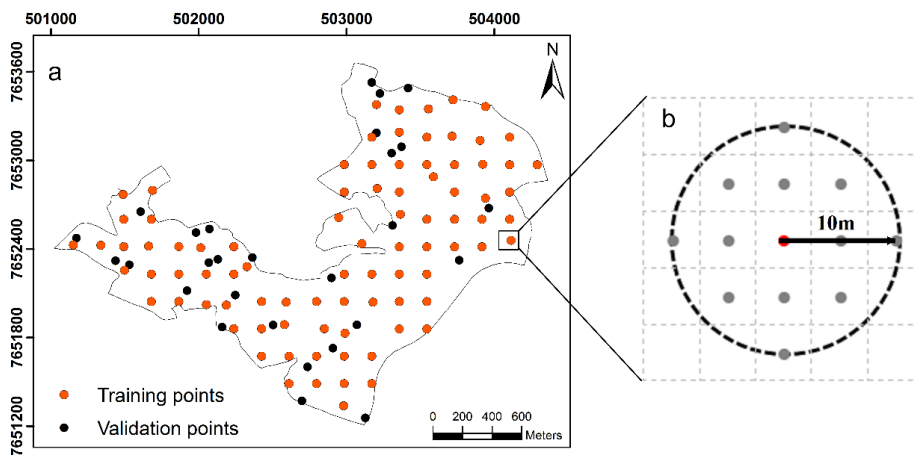
Yang, F., White, M.A., Michaelis, A.R., Ichii, K., Hashimoto, H., Votava, P., Zhu, A.X. and Nemani, R.R. (2006). Prediction of continental-scale evapotranspiration by combining MODIS and AmeriFlux data through support vector machine. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, <http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2006.876297>.

Zhao, Z., Chow, T. L., Rees, H. W., Yang, Q., Xing, Z., & Meng, F. R. (2009). Predict soil texture distributions using an artificial neural network model. *Computers and electronics in agriculture*, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.07.008>.

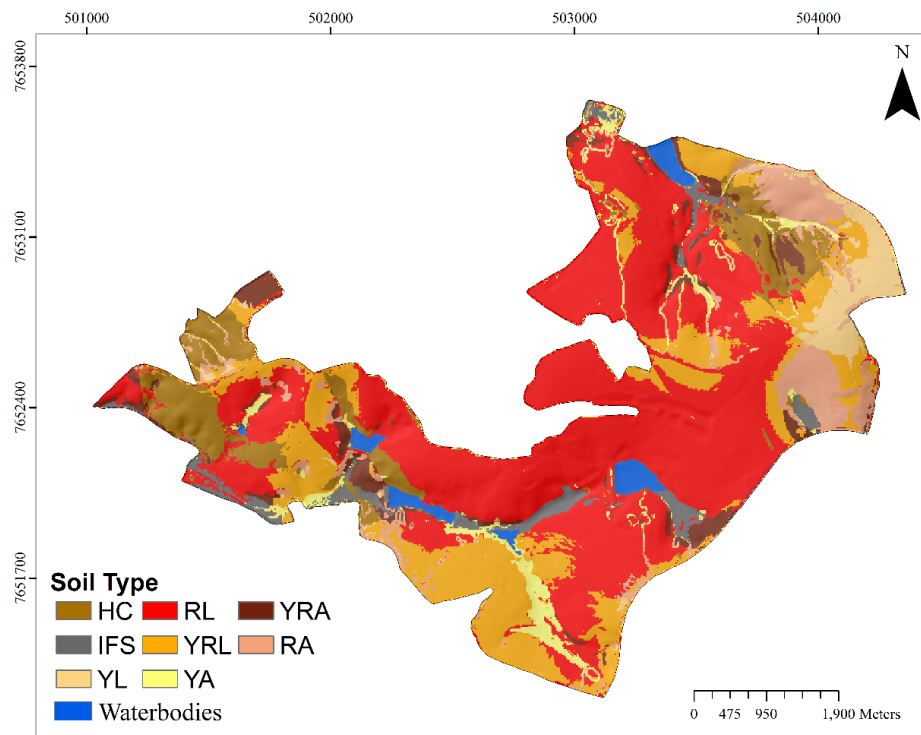
Zhu, A. (2000). Mapping soil landscape as spatial continua: the neural network approach. *Water Resources Research*, <http://dx.doi.org/10.1029/1999WR900315>.



**Fig. 1** Study area in Minas Gerais state, southeast of Brazil

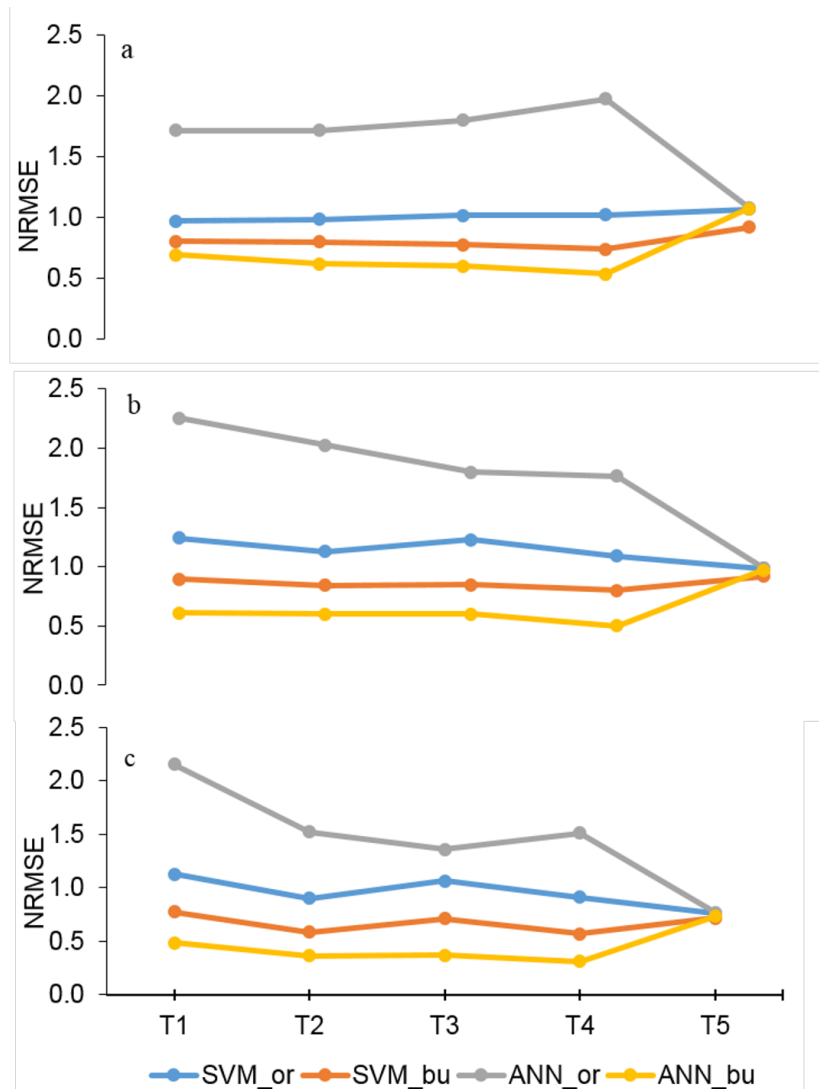


**Fig. 2** a: Sampling scheme of dataset training from buffers and validation points; b: based on a raster with 5 m of resolution, it was created a 10 m buffer radius that included 12 pixels around center pixel. Each pixel was converted to point and then they were used as training data point



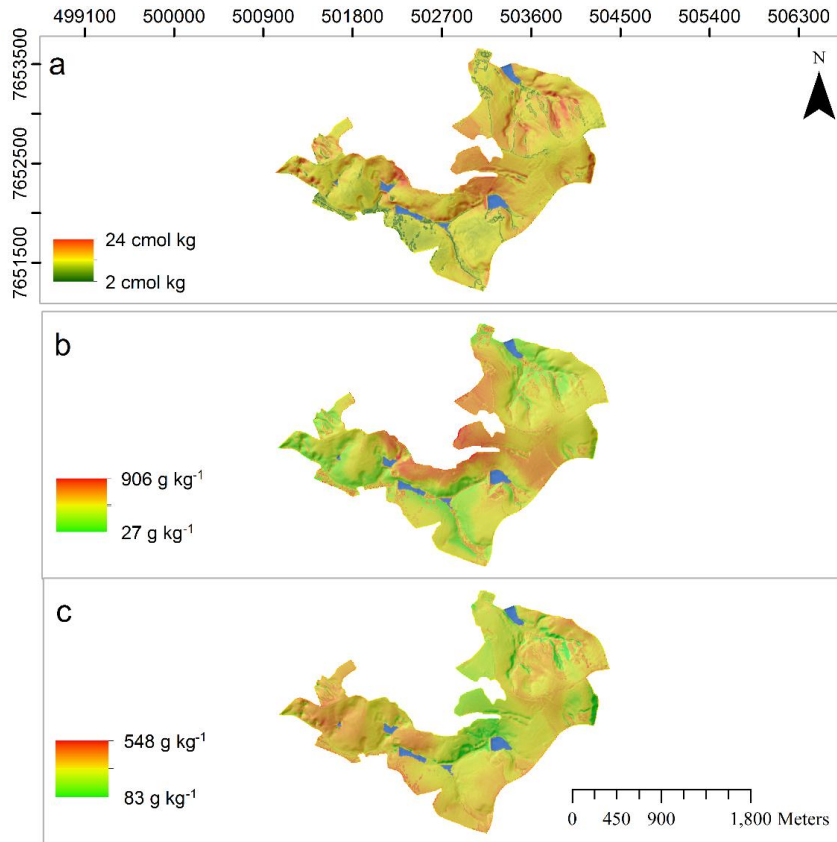
**Fig. 3** Spatial prediction of soil type for the study area using Artificial Neural Network (ANN) in buffered samples to T2 data set training (terrain attributes and magnetic susceptibility). HC: Haplic Cambisol; IFS: Indiscriminate Floodplain Soil; YL: Yellow Latosol; RL: Red Latosol; YRL: Yellow-Red Latosol; YA- Yellow Argisol; YRA: Yellow-Red Argisol; RA: Red Argisol





**Fig. 4** NRMSE (normalized Root Mean Square Error). Lower better. a: ation Exchange Capacity prediction. b: Clay prediction. C: Sand prediction.

Legend: SVM\_or – Support Vector Machine in original sample size matrix. SVM\_bu – Support Vector Machine in buffered sample size matrix. ANN\_or – Artificial Neural Network in original sample size matrix. ANN\_bu – Artificial Neural Network in buffered sample size matrix. T1 - only terrain attributes (DEM and its derivatives); T2 - terrain attributes and magnetic susceptibility; T3 - terrain attributes, magnetic susceptibility, and parent material; T4 - terrain attributes, magnetic susceptibility and parent material data; T5 - magnetic susceptibility and parent material



**Fig. 5** Spatial prediction of soil properties from the highest accuracy values, where: a - Cation Exchangeable Capacity using Artificial Neural Network and the environmental covariates set T4 (terrain attributes, magnetic susceptibility, and parent material dataset) using buffered sample size; b - clay content for the study area using Artificial Neural Network and the environmental covariates set T4 (terrain attributes, magnetic susceptibility, and parent material dataset) using buffered sample size. c - sand content for the study area using Artificial Neural Network and the environmental covariates set T4 (terrain attributes, magnetic susceptibility, and parent material dataset) using buffered sample size

Table 1 Terrain attributes and their respective description.

Terrain attribute	Description
DEM	Digital Elevation Model
Slope	Slope of DEM grid cell from a pixel to another neighbor pixel.
SAGA Wetness index	Wetness index calculating by modified catchment area
Vertical distance channel network	Distance between portions of the landscape and the drainage network
Multiresolution index of ridge top flatness	Identifies the flat areas in highest position in landscape (Gallant and Dowling 2003)
Multiresolution index of valley bottom flatness	Identifies flat areas in lowest position in landscape (Gallant and Dowling 2003)
Relative slope position	Distance from base of slope to pixel (Böhner and Antonić 2009)
Topographic wetness index	Produces a grid showing water accumulation and likely drainage systems of the watershed (Beven and Kirkby 1979)
Valley depth	Vertical distance to a base level of the channel network
LS factor	Combination of slope and slope length
Profile curvature	Convex, linear, and concave areas transversally crossing the contours (Gallant and Wilson 2000)
Plan curvature	Convergence or divergence areas along the contours of the landscape (Gallant and Wilson 2000)
Aspect	Orientation of the slope related to evapotranspiration, insolation and moisture content in soil (Gallant and Wilson 2000)

Table 2 Environmental covariate matrices

Matrix	Description
T1	Terrain attributes (DEM and its derivatives)
T2	Terrain attributes and magnetic susceptibility
T3	Terrain attributes and parent material
T4	Terrain attributes, magnetic susceptibility and parent material data
T5	Magnetic susceptibility and parent material

Table 3 Accuracy assessment of the machine-learning models

Data trainin g	SVM <sup>a</sup>				ANN <sup>b</sup>			
	Original <sup>c</sup>		Buffer <sup>d</sup>		Original		Buffer	
	KI <sup>e</sup>	OA <sup>f</sup> (%)	KI	OA (%)	KI	OA (%)	KI	OA (%)
T1 <sup>g</sup>	0.14	38	0.34	49	0.07	27	0.69	74
T2 <sup>h</sup>	0.12	35	0.43	56	0.15	33	0.76	80
T3 <sup>i</sup>	0.09	34	0.37	52	0.04	25	0.75	80
T4 <sup>j</sup>	0.08	31	0.46	58	0.01	27	0.69	7aa4
T5 <sup>k</sup>	0	32	0.05	31	0.13	34	0.23	40

a: Support Vector Machine; b: Artificial Neural Network; c: 87 points; d: 1131 points; e: Kappa Index; f: Overall Accuracy; g: only terrain attributes (DEM and its derivatives); h: terrain attributes and magnetic susceptibility; i: terrain attributes and parent material; j: terrain attributes, magnetic susceptibility and parent material data; k: magnetic susceptibility and parent material.

Table 4 Soil type distribution of training data sets.

Soil Type	Training points	Training points with buffer	% of total
HC <sup>a</sup>	9	117	10
IFS <sup>b</sup>	3	39	3
YL <sup>c</sup>	2	26	2
RL <sup>d</sup>	29	377	33
YRL <sup>e</sup>	15	195	17
RN <sup>f</sup>	2	26	2
YA <sup>g</sup>	2	26	2
RA <sup>h</sup>	7	91	8
YRA <sup>i</sup>	18	234	21
<b>Total</b>	<b>87</b>	<b>1131</b>	<b>100%</b>

a: Haplic Cambisol; b: Indiscriminate Floodplain Soil; c: Yellow Latosol; d: Red Latosol; e: Yellow-Red Latosol; f: Red Nitosol; g: Yellow Argisol; h: Red Argisol; i: Yellow-Red Argisol.

Table 5 Confusion matrix of soil type map generated from Artificial Neural Network with buffered samples, terrain attributes and magnetic susceptibility (T2 model)

	HC	IFS	YL	RL	RYL	RN	YA	RA	RYA	Total	Commission error
HC <sup>a</sup>	3	1	0	0	0	0	0	0	0	4	0.25
IFS <sup>b</sup>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.00
YL <sup>c</sup>	0	0	2	1	0	0	0	0	0	3	0.33
RL <sup>d</sup>	0	0	0	5	0	1	0	0	0	6	0.17
YRL <sup>e</sup>	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0.00
RN <sup>f</sup>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1.00
YA <sup>g</sup>	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0.00
RA <sup>h</sup>	0	0	0	0	0	1	0	3	0	4	0.25
YRA <sup>i</sup>	1	0	0	0	0	0	0	0	4	5	0.20
TOTAL	4	2	2	6	2	2	2	4	4	28	
Omission error	0.25	0.51	0.00	0.16	0.00	1.00	0.00	0.25	0.00		

a: Haplic Cambisol; b: Indiscriminate Floodplain Soil; c: Yellow Latosol; d: Red Latosol; e: Yellow-Red Latosol; f: Red Nitosol; g: Yellow Argisol; h: Red Argisol; i: Yellow-Red Argisol .

Table 6 Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE) and Relative improvement (RI) of prediction of Support Vector Machine (SVM) and Artificial Neural Network (ANN)

Training data set	SVM						ANN				
	Original data <sup>b</sup>		Buffer data <sup>c</sup>			Original data		Buffer data			
	MAE	RMSE	MAE	RMSE	RI (%)	MAE	RMSE	MAE	RMSE	RI (%)	
CEC <sup>a</sup> (cmoc kg <sup>-1</sup> )	T1 <sup>d</sup>	1,64	2,25	1,02	1,48	34	2,82	3,97	0,94	1,28	68
	T2 <sup>e</sup>	1,68	2,28	0,99	1,47	36	2,79	3,97	0,83	1,14	71
	T3 <sup>f</sup>	1,74	2,35	0,97	1,43	39	3,14	4,16	0,85	1,11	73
	T4 <sup>g</sup>	1,76	2,37	0,89	1,36	43	3,34	4,57	0,72	0,99	78
	T5 <sup>h</sup>	1,91	2,47	1,28	1,69	32	1,87	2,5	1,56	1,97	21
Clay (g kg <sup>-1</sup> )	T1	117,4	153,4	66,6	96,6	37	182,8	278	50,3	65,6	76
	T2	108	139	62,8	90,9	35	179,7	250	49,1	64,6	74
	T3	118,9	151,6	62,4	91,3	40	160,1	222	48,3	64,7	71
	T4	103,4	134,6	58,5	86,3	36	151,6	217,6	37,4	53,9	75
	T5	93,7	121,9	76,1	99,2	19	98,4	122,3	81,9	104,5	15
Sand (g kg <sup>-1</sup> )	T1	65,7	94,3	36,6	52,6	44	106,2	180,2	23,9	33	82
	T2	50,8	75,6	27,5	39,6	48	79,1	127,4	18,5	24,6	81
	T3	62,2	88,9	32,3	48,4	46	81	113,8	16,3	25,1	78
	T4	51,1	76,5	27	38,7	49	85,8	126,5	12,4	21,2	83
	T5	46	63,6	35	48,8	23	50,5	64,6	38,9	49,8	23

a: Cation Exchangeable Capacity; b: 87 training points; c: 1131 training data; d: Environmental covariates with only terrain attributes (Digital Elevation Model and its derivatives); e: terrain attributes and magnetic susceptibility; f: terrain attributes, magnetic susceptibility, and parent material; g: terrain attributes, magnetic susceptibility and parent material data; h: magnetic susceptibility and parent material.

## **APÊNDICE A**

**Coordenadas geográficas e classificação dos perfis de solos descritos e amostrados**



Coordenadas geográficas e classificação dos perfis de solos descritos e amostrados.

Perfil	Coordenadas UTM (Fuso 23K, Datum SIRGAS 2000)		Classificação
	X (m E)	Y (m S)	
1	484.107	7.655.942	ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (Epieutrófico) típico
2	483.574	7.660.234	ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO Distrófico típico
3	483.400	7.650.935	ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO Distrófico típico
4	484.860	7.646.368	ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO Distrófico (Epieutrófico) típico
5	483.738	7.641.192	ARGISSOLO VERMELHO Distroférrico típico
6	488.162	7.641.168	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico
7	488.795	7.644.772	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico
8	488.795	7.650.870	ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO Eutrófico típico
9	489.903	7.653.960	ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO Eutrófico (Epidistrófico) típico
10	498.940	7.645.819	LATOSSOLO VERMELHO- AMARELO Distrófico típico
11	497.407	7.642.144	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico (Epidistrófico) típico
12	494.394	7.641.386	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico
13	491.089	7.635.257	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico
14	493.098	7.645.694	CAMBISSOLO FLÚVICO Tb Distrófico (Epieutrófico) típico
15	493.100	7.645.695	LATOSSOLO VERMELHO- AMARELO Eutrófico típico

Perfil	Coordenadas UTM (Fuso 23K, Datum SIRGAS 2000)		Classificação
	X (m E)	Y (m S)	
16	493.793	7.651.252	ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO Distrófico típico
17	494.394	7.656.554	CAMBISSOLO FLÚVICO Tb Eutrófico (Epidualtrófico) típico
18	502.269	7.645.909	LATOSSOLO VERMELHO- AMARELO Distrófico (Epidualtrófico) típico
19	503.783	7.641.095	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico
20	508.179	7.640.575	ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico
21	509.088	7.645.792	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (Epidualtrófico) típico
22	509.477	7.649.189	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico
23	503.943	7.651.164	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico
24	498.988	7.655.861	LATOSSOLO VERMELHO- AMARELO Distrófico (Epidualtrófico) típico
25	499.053	7.660.920	ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO Distrófico (Epidualtrófico) típico
26	499.029	7.641.956	NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico
27	500.044	7.642.061	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico

## **APÊNDICE B**

**Descrição geral e morfológica e análises físicas e químicas dos perfis  
de solos representativos**

**PERFIL Nº: 1****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 20/10/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (Epieutrófico) típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: PVd1

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS, Lavras, MG, UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 484.107 mE, 7.655.942 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em corte de estrada, em terço médio de encosta, com 6% de declividade, sob floresta alterada.

ALTITUDE: 942 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração de gnaisse granítico mesocrático.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado e ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia.

USO ATUAL: Floresta alterada.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de 1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique Procópio Pelegrino e Nilton Curi.

**B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Ap 0 – 20 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, úmida) e vermelho-amarelado (5YR 4/6, seca); granular; franco-argilosa.

Bt 40 – 70 cm, vermelho (2,5YR 5/8, úmida); blocos subangulares; argila; cerosidade.

**C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Horizonte		Composição granulométrica da terra fina					Relação	C
Símbolo	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	silte/argila	Orgânico
	---cm---	----- g kg <sup>-1</sup> -----						dag kg <sup>-1</sup>
Ap	0 – 20	460	340	120	170	370	0,46	2,83
Bt	40 – 70	300	210	90	170	530	0,32	0,82

Complexo sortivo												
Hor.	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
	água	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----						----- % -----		----- mg kg <sup>-1</sup> -----		
Ap	5,5	5,74	2,07	0,37	8,18	0,1	4,03	12,31	66,44	1,21	2,61	37,02
Bt	5,7	0,87	0,69	0,58	2,14	0,2	2,36	4,7	45,49	8,55	1,04	17,06

**PERFIL Nº: 2****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 20/10/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: PVAd1

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Lavras, MG, UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 483.574 mE, 7.660.234 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em corte de estrada, com 11% de declividade, sob pastagem de braquiária.

ALTITUDE: 883 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração de gnaisse granítico leucocrático.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia.

USO ATUAL: Pastagem de braquiária.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de 1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique Procópio Pelegrino e Nilton Curi.

**B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Ap 0 – 23 cm, vermelho-escuro-acinzentado (5YR 3/4, úmida) e vermelho-acinzentado (5YR 4/4, seca); granular; franco-argilosa.

Bt 40 – 70 cm, vermelho-acinzentado (5YR 5/4, úmida); blocos subangulares; argila.

**C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Horizonte		Composição granulométrica da terra fina					Relação	C
Símbolo	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	silte/argila	Orgânico
	--cm--	----- g kg <sup>-1</sup> -----						dag kg <sup>-1</sup>
Ap	0 – 23	460	340	120	170	370	0,45	1,37
Bt	40 – 70	330	220	110	140	530	0,26	0,66

Complexo sortivo												
Hor.	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
	água	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----					----- % -----		-----mg kg <sup>-1</sup> -----			
Ap	5,1	0,59	0,18	0,14	0,91	0,8	5,03	6,74	13,55	46,78	1,24	24,06
Bt	4,7	0,35	0,1	0,03	0,48	1,3	4,73	6,51	7,42	73,03	1,29	21,19

**PERFIL Nº: 3****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 20/10/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, ausência de A, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: PVAd1

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Lavras, MG, UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 483.400 mE, 7.650.935 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em microtrincheira, em meia encosta, horizonte A removido por erosão devido à falta de práticas conservacionistas, com 34% de declividade, sob lavoura de café.

ALTITUDE: 926 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração de gnaisse granítico leucocrático

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado e forte ondulado.

EROSÃO: Laminar intensa.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia.

USO ATUAL: Lavoura de café.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de 1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique Procópio Pelegrino e Nilton Curi.



**B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Bt 20 – 40 cm, amarelo-avermelhado (5YR 6/8, úmida); bloco subangulares; franco-argilosa.

**C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Horizonte		Composição granulométrica da terra fina					Relação	C
Símbolo	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	silte/argila	Orgânico
	---cm---	----- g kg <sup>-1</sup> -----						dag kg <sup>-1</sup>
Bt	20 – 40	230	60	170	470	300	1,56	0,85

Complexo sortivo												
Hor.	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
	água	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----						----- % -----		-----mg kg <sup>-1</sup> -----		
Bt	5,2	0,45	0,33	0,13	0,91	0,8	2,94	4,65	19,48	46,78	1,10	25,38

**PERFIL Nº: 4****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 20/10/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (Epieutrófico) típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: PVAd2

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Lavras, MG, UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 484.860 mE, 7.646.368 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em corte de estrada, em terço médio de encosta, com 13% de declividade, sob pastagem de braquiária.

ALTITUDE: 870 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração de gnaisse granítico leucocrático.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia.

USO ATUAL: Pastagem de braquiária.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de 1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique Procópio Pelegrino e Nilton Curi.

**B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

- Ap 0 – 25 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3, úmida) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, seca); granular; franco-argilosa.
- Bt 40 – 90 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmida); blocos subangulares; franco-argilosa; cerosidade abundante.

**C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Horizonte		Composição granulométrica da terra fina					Relação	C
Símbolo	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	silte/argila	Orgânico
	--cm--	----- g kg <sup>-1</sup> -----						dag kg <sup>-1</sup>
Ap	0 – 25	320	110	210	370	310	1,19	2,17
Bt	40 – 90	370	110	260	320	310	1,03	0,58

Complexo sortivo												
Hor.	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
	água	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----					----- % -----		-----mg kg <sup>-1</sup> -----			
Ap	6	3,44	1,05	0,18	4,67	0,1	3,07	7,84	59,62	2,1	2,09	32,35
Bt	5,1	0,72	0,1	0,04	0,86	0,6	2,43	3,89	22,08	41,1	0,82	26,54

**PERFIL Nº: 5****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 20/10/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: ARGISSOLO VERMELHO Distroférico<sup>1</sup> típico, A moderado, pedregoso, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: PVdf

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Lavras, MG, UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 483.738 mE, 7.641.192 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em corte de estrada, em terço inferior de encosta, com 15% de declividade, sob pastagem de braquiária.

ALTITUDE: 882 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração de gabro com possível contribuição de materiais retrabalhados.

PEDREGOSIDADE: Pedregoso.

ROCHOSIDADE: Rochosa.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia.

USO ATUAL: Pastagem de braquiária.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de 1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique Procópio Pelegrino e Nilton Curi.

1/ Grande Grupo sugerido.

### B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap 0 – 20 cm, bruno-avermelhado (2,5YR 4/4, úmida) e bruno-avermelhado (5YR 5/4, seca); granular; franco-argilosa; pedregoso.

Bt 80 – 120 cm, vermelho (2,5YR 5/6, úmida); blocos subangulares; argila; pedregoso.

### C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Horizonte	Composição granulométrica da terra fina						Relação silte/argila	C Orgânico	
	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila			
Símbolo	--cm---	----- g kg <sup>-1</sup> -----						----- dag kg <sup>-1</sup> -----	
Ap	0 – 20	300	90	210	350	350	1	1,50	
Bt	80 – 120	200	50	150	370	430	0,86	1,55	

Complexo sortivo												
Hor.	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
	água	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----						----- % -----		----- mg kg <sup>-1</sup> -----		
Ap	5,3	0,16	0,1	0,12	0,38	0,6	4,28	5,26	7,23	61,22	1,38	13,42
Bt	5,8	0,53	0,19	0,06	0,78	0,1	1,93	2,81	27,84	11,36	0,74	10,07

**PERFIL Nº: 6****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 20/10/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, A fraco, endopedregoso, fase campo cerrado tropical, relevo ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: CXbd2

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Lavras, MG, UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 488162 mE, 7641168 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em corte de estrada, em terço médio de encosta, com 18% de declividade, sob pastagem nativa.

ALTITUDE: 945 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração de gnaisse granítico leucocrático.

PEDREGOSIDADE: Moderadamente pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado e forte ondulado.

EROSÃO: Laminar intensa.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Campo cerrado tropical.

USO ATUAL: Pastagem nativa.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de 1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique Procópio Pelegrino e Nilton Curi.

**B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

- Ap 0 – 5 cm, bruno (10YR 5/3, úmida) e bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3, seca); granular; muito argilosa.
- Bi 30 – 60 cm, bruno muito claro-acinzentado (10YR 7/4, úmida); blocos subangulares; muito argilosa; moderadamente pedregoso.

**C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Horizonte		Composição granulométrica da terra fina					Relação	C
Símbolo	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	silte/argila	Orgânico
	--cm--	----- g kg <sup>-1</sup> -----						dag kg <sup>-1</sup>
Ap	0 – 5	210	30	180	80	710	0,11	1,11
Bi	30 – 60	170	30	140	120	710	0,17	0,59

Complexo sortivo												
Hor.	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
	água	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----							----- % -----		-----mg kg <sup>-1</sup> -----	
Ap	5,5	0,62	0,19	0,18	0,99	0,5	2,36	3,85	25,82	33,56	1,52	40,25
Bi	5,2	0,1	0,1	0,04	0,24	0,9	1,64	2,78	8,81	78,95	1,01	37,33

**PERFIL Nº: 7****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 20/10/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado, bem drenado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: LVd1

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Lavras, MG, UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 488.795 mE, 7.644.772 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em corte de estrada, com 8% de declividade, sob lavoura de soja.

ALTITUDE: 958 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração de gnaisse granítico mesocrático.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia.

USO ATUAL: Lavoura de soja.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de 1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique Procópio Pelegrino e Nilton Curi.



**B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Ap	0 – 20 cm, vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmida) e vermelho-escuro (10R 3/6, seca); granular; muito argilosa.
Bw	70 – 90 cm +, vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmida); forte muito pequena granular; muito argilosa.

**C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Horizonte	Composição granulométrica da terra fina						Relação silte/argila	C Orgânico
	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila		
Símbolo	--cm--	g kg <sup>-1</sup>					dag kg <sup>-1</sup>	
Ap	0 – 20	160	50	110	50	790	0,06	1,53
Bw	70 – 90+	160	60	100	50	790	0,06	1,25

Hor.	Complexo sortivo											
	pH água	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>							----- % -----	----mg kg <sup>-1</sup> ----		
Ap	5,4	0,95	0,29	0,30	1,54	0,2	3,26	5,00	30,8	11,49	14,1	14,65
Bw	5,5	1,07	0,25	0,09	1,41	0,1	2,86	4,37	32,16	6,62	0,79	13,23

**PERFIL Nº: 8****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 20/10/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: PVAe

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Lavras, MG, UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 488.795 mE, 7.650.870 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em corte de estrada, em terço inferior de encosta, com 12% de declividade, sob pastagem de braquiária.

ALTITUDE: 877 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração de gnaisse granítico leucocrático.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia.

USO ATUAL: Pastagem de braquiária.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de 1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique Procópio Pelegrino e Nilton Curi.

**B –DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Ap	0 – 20 cm, bruno-forte (5YR 4/6, úmida) e vermelho-amarelado (5YR 5/8, seca); granular; franco-argilossiltosa.
Bt	50 – 70 cm, vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmida); blocos subangulares; muito argilosa.

**C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Horizonte		Composição granulométrica da terra fina					Relação	C
Símbolo	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	silte/argila	Orgânico
	--cm--	----- g kg <sup>-1</sup> -----						dag kg <sup>-1</sup>
Ap	0 – 20	210	100	110	390	400	0,97	1,32
Bt	50 – 70	220	110	110	170	610	0,30	0,92

Complexo sortivo												
Hor.	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
	água	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----					----- % -----		----mg kg <sup>-1</sup> ----			
Ap	6,9	2,59	0,96	0,10	3,65	0,1	1,46	5,21	70,11	2,67	3,94	11,79
Bt	6,5	2,36	0,52	0,04	2,92	0,1	1,29	4,31	67,73	3,31	0,82	12,41

**PERFIL Nº: 9****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 20/10/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico (Epidistrófico) típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: PVAe

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Lavras, MG, UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 489.903 mE, 7.653.960 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em corte de estrada, em terço médio de encosta, com 4% de declividade, sob pastagem de braquiária.

ALTITUDE: 868 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração de gnaisse granítico leucocrático.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Ligeiramente rochosa.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado e ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia.

USO ATUAL: Pastagem de braquiária.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de 1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique Procópio Pelegrino e Nilton Curi.

**B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Ap	0 – 25 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/6, úmida) e vermelho-amarelado (5YR 4/6, seca); granular; franco.
Bt	50 – 80 cm, bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmida); blocos subangulares; franco-argilosa; cerosidade abundante.

**C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Horizonte	Composição granulométrica da terra fina						Relação silte/argila	C Orgânico	
	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila			
Símbolo	--cm---	g kg <sup>-1</sup>						dag kg <sup>-1</sup>	
Ap	0 – 25	360	200	160	360	280	1,28	1,60	
Bt	50 – 80	430	280	150	210	360	0,58	1,09	

Hor.	Complexo sortivo											
	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
	água	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>						%		mg kg <sup>-1</sup>		
Ap	5,5	1,91	0,86	0,57	3,34	0,2	3,3	6,84	48,78	5,65	1,74	35,38
Bt	6	1,64	0,88	0,13	2,65	0,1	2,25	5	52,92	3,64	0,79	29,68

**PERFIL Nº: 10****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 27/10/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO  
Distrófico típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: LVAd1

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Lavras, MG,  
UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 498.940 mE, 7.645.819 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL:  
Descrito e coletado em corte de estrada, com 5% de declividade, sob lavoura de café.

ALTITUDE: 903 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração de gnaisse granítico leucocrático

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado a forte ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia.

USO ATUAL: Lavoura de café.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de 1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique Procópio Pelegrino e Nilton Curi.

**B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Ap 0 – 20 cm, bruno-avermelhado (5YR 4/3, úmida) e bruno-avermelhado (5YR 5/4, seca); granular; franco-argilosa.

Bw 40 – 110 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmida); fraca blocos subangulares; argila.

**C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Horizonte		Composição granulométrica da terra fina					Relação	C
Símbolo	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	silte/argila	Orgânico
	--cm---	g kg <sup>-1</sup>						dag kg <sup>-1</sup>
Ap	0 – 20	430	290	140	200	370	0,54	0,95
Bw	40 – 110	260	160	100	150	590	0,25	0,42

Complexo sortivo												
Hor.	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
	água	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>					----- % -----		--mg kg <sup>-1</sup> --			
Ap	5,3	1,44	0,13	0,07	1,64	0,8	3,2	5,64	29,15	32,79	3,18	34,58
Bw	5,3	0,79	0,1	0,04	0,93	1,6	2,67	5,2	17,98	63,24	1,18	27,21

**PERFIL Nº: 11****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 27/10/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico (Epidistrófico) típico, A fraco, pedregoso, fase campo cerrado tropical, relevo ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: CXbe

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Lavras, MG, UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 497.407 mE, 7.642.144 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em corte de estrada, em terço médio de encosta, com 15% de declividade, sob pastagem nativa.

ALTITUDE: 990 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração de gnaisse granítico mesocrático.

PEDREGOSIDADE: Pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado e forte ondulado.

EROSÃO: Laminar intensa.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Campo cerrado tropical.

USO ATUAL: Pastagem nativa.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de 1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique Procópio Pelegrino e Nilton Curi.



**B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

- Ap 0 – 10 cm, vermelho (2,5YR 5/8, úmida) e vermelho (2,5YR 5/6, seca); argila; pedregoso.
- Bi 40 – 60 cm, vermelho-claro (2,5YR 6/6, úmida); blocos subangulares; muito argilosa; pedregoso.

**C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Horizonte		Composição granulométrica da terra fina					Relação	C
Símbolo	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	silte/argila	Orgânico
	--cm--	----- g kg <sup>-1</sup> -----						dag kg <sup>-1</sup>
Ap	0 – 10	340	140	200	260	400	0,65	0,73
Bi	40 – 60	50	10	40	280	670	0,42	0,25

Complexo sortivo												
Hor.	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
	água	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----					----- % -----		----mg kg <sup>-1</sup> ----			
Ap	5,6	0,35	0,23	0,10	0,68	0,8	1,97	3,45	19,79	54,05	0,90	34,68
Bi	5,9	1,66	0,17	0,03	1,86	0,5	1,11	3,47	53,53	21,19	0,57	28,98

**PERFIL Nº: 12****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 27/10/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: CXbd3

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Lavras, MG, UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 497.407 mE, 7.642.144 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em corte de estrada, em terço superior de encosta, com 4% de declividade, sob floresta nativa.

ALTITUDE: 967 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração de gnaisse granítico mesocrático.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia.

USO ATUAL: Reserva de flora e fauna.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de 1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique Procópio Pelegrino e Nilton Curi.

**B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

A 0 – 20 cm, vermelho (2,5YR 4/8, úmida) e bruno-avermelhado (2,5YR 4/4, seca); granular; franco-argilosa.

Bi 30 – 70 cm, vermelho (2,5YR 5/8, úmida); blocos subangulares; franco-argilosa.

**C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Horizonte		Composição granulométrica da terra fina					Relação	C
Símbolo	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	silte/argila	Orgânico
	--cm--	g kg <sup>-1</sup>						dag kg <sup>-1</sup>
A	0 – 20	390	40	350	280	330	0,84	1,98
Bi	30 – 70	400	30	370	280	320	0,87	0,37

Complexo sortivo												
Hor.	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
	água	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>					%		mg kg <sup>-1</sup>			
A	5,5	1,2	0,61	0,18	1,99	0,4	3,92	6,31	31,6	16,74	0,82	28,28
Bi	5,2	0,1	0,1	0,02	0,22	0,1	1,34	1,66	13,01	31,25	0,38	6,92

**PERFIL Nº: 13****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 27/10/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado, bem drenado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: LVd1

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Lavras, MG, UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 491.089 mE, 7.635.257 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em corte de estrada, em terço médio de encosta, com 7% de declividade, sob lavoura de café.

ALTITUDE: 947 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração de gnaisse granítico mesocrático.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia.

USO ATUAL: Lavoura de café.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de 1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique Procópio Pelegrino e Nilton Curi.

**B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Ap 0 – 20 cm, vermelho (10R 4/6, úmida) e vermelho-acinzentado (10R 4/4, seca); granular; argila.

Bw 40 – 70 cm +, vermelho (10R 5/6, úmida); forte muito pequena granular; argila.

**C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Horizonte		Composição granulométrica da terra fina					Relação	C
Símbolo	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	silte/argila	Orgânico
	--cm---	----- g kg <sup>-1</sup> -----						dag kg <sup>-1</sup>
Ap	0 – 20	230	30	200	220	550	0,40	1,55
Bw	40 – 70 +	230	30	200	220	550	0,40	0,40

Complexo sortivo												
Hor.	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
	água	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----					----- % -----		----mg kg <sup>-1</sup> ----			
Ap	5,2	0,1	0,1	0,09	0,29	0,7	3,62	4,61	6,32	70,71	0,66	14,53
Bw	5,3	0,1	0,1	0,04	0,24	0,1	1,51	1,85	12,92	29,41	0,38	2,67

**PERFIL Nº: 14****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 27/10/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: CAMBISSOLO FLÚVICO Tb Distrófico (Epieutrófico) típico, A moderado, fase floresta ciliar, relevo plano de várzea, imperfeitamente drenado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: CYbd

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Lavras, MG, UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 493.098 mE, 7.645.694 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em microtrincheira, com 1% de declividade, em terraço de várzea, sob lavoura de milho.

ALTITUDE: 900 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos aluviais.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Plano de várzea.

RELEVO REGIONAL: Plano e suave ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta ciliar.

USO ATUAL: Lavoura de milho.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de 1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique Procópio Pelegrino e Nilton Curi.

**B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

- Ap 0 – 23 cm, bruno-escuro (10YR 3/3, úmida) e bruno (10YR 4/3, seca); granular; franco-argiloarenosa.  
 Bi 30 – 80 cm, bruno (10YR 5/3, úmida); blocos subangulares; franco-argiloarenosa.

**C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Horizonte		Composição granulométrica da terra fina					Relação	C
Símbolo	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	silte/argila	Orgânico
	--cm---	----- g kg <sup>-1</sup> -----						dag kg <sup>-1</sup>
Ap	0 – 23	620	200	420	160	220	1,33	1,71
Bi	30 – 80	650	180	470	130	220	0,59	0,70

Complexo sortivo												
Hor.	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
	água	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----							----- % -----		----mg kg <sup>-1</sup> ----	
Ap	6,6	2,52	0,8	0,17	3,49	0,1	1,72	5,31	65,77	2,79	1,60	35,88
Bi	5,5	0,2	0,1	0,02	0,32	0,3	2,47	3,09	10,22	48,39	0,57	16,47

**PERFIL Nº: 15****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 27/10/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo plano.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: LVAe

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Lavras, MG, UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 493.100 mE, 7.645.695 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em corte de estrada, em meia encosta, com 1% de declividade, sob pastagem de braquiária.

ALTITUDE: 893 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração de gnaisse granítico leucocrático.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Plano.

RELEVO REGIONAL: Plano e suave ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia.

USO ATUAL: Pastagem de braquiária.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de 1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique Procópio Pelegrino e Nilton Curi.



**B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

- Ap 0 – 20 cm, bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmida) e bruno-avermelhado (5YR 5/4, seca); granular; franco-argilosa.
- Bw 60 – 90 cm +, vermelho-amarelado (5YR 5/6, úmida); fraca blocos subangulares; argilossiltosa.

**C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Horizonte		Composição granulométrica da terra fina					Relação	C
Símbolo	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	silte/argila	Orgânico
	--cm--	g kg <sup>-1</sup>						dag kg <sup>-1</sup>
Ap	0 – 20	200	100	100	450	350	1,28	2,72
Bw	60 – 90 +	320	160	160	200	480	0,41	0,71

Complexo sortivo												
Hor.	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
	água	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>					%			mg kg <sup>-1</sup>		
Ap	7,8	7,19	0,68	0,24	8,11	0	1,05	9,16	88,56	0	8,67	36,71
Bw	7,7	3,06	0,1	0,04	3,2	0	1,19	4,39	73	0	1,15	12,38

**PERFIL Nº: 16****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 27/10/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: PVAd1

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Lavras, MG, UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 493.793 mE, 7.651.252 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em corte de estrada, em terço médio de encosta, com 18% de declividade, sob pastagem de braquiária.

ALTITUDE: 928 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração de gnaisse granítico leucocrático.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Moderadamente rochosa.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia.

USO ATUAL: Pastagem de braquiária.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de 1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique Procópio Pelegrino e Nilton Curi.

**B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Ap	0 – 40 cm, bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmida) e vermelho-amarelado (5YR 5/6, seca); granular; franco.
2Bt	60 – 80 cm +, amarelo-avermelhado (5YR 6/8, úmida); blocos subangulares; argila.

**C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Horizonte	Composição granulométrica da terra fina						Relação silte/argila	C Orgânico
	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila		
Símbolo	--cm--	g kg <sup>-1</sup>						dag kg <sup>-1</sup>
Ap	0 – 40	350	160	190	390	260	1,5	1,90
2Bt	60 – 80 +	270	130	140	270	460	0,58	0,73

Hor.	Complexo sortivo											
	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
	água	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>						%		mg kg <sup>-1</sup>		
Ap	5,8	1,78	0,5	0,13	2,41	0,3	3,52	6,23	38,71	11,07	0,88	24,82
2Bt	5,7	1,1	0,13	0,06	1,29	0,1	1,88	3,27	39,34	7,19	1,01	24,54

**PERFIL Nº: 17****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 27/10/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: CAMBISSOLO FLÚVICO Tb Eutrófico (Epidistrófico) típico, A moderado, fase floresta ciliar, relevo plano de várzea, imperfeitamente drenado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: CYbe

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Lavras, MG, UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 494.394 mE, 7.656.554 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em microtrincheira, com 2% de declividade, sob pastagem de braquiária.

ALTITUDE: 790 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos aluviais.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Plano de várzea.

RELEVO REGIONAL: Plano e suave ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta ciliar.

USO ATUAL: Pastagem de braquiária.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de 1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique Procópio Pelegrino e Nilton Curi.

**B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

- Ap 0 – 20 cm, bruno (10YR 4/3, úmida) e bruno (10YR 5/3, seca); granular; argilossiltosa.  
 Bi 40 – 70 cm, bruno-acinzentado (10YR 5/2, úmida); blocos subangulares; muito argilosa.

**C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Horizonte		Composição granulométrica da terra fina					Relação	C
Símbolo	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	silte/argila	Orgânico
	--cm--	g kg <sup>-1</sup>						dag kg <sup>-1</sup>
Ap	0 – 20	20	10	10	490	490	1	1,11
Bi	40 – 70	70	20	50	320	610	0,55	0,52

Complexo sortivo												
Hor.	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
	água	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>					%			mg kg <sup>-1</sup>		
Ap	5,6	1,91	0,42	0,15	2,48	0,5	3,68	6,66	37,22	16,78	2,61	19,19
Bi	7	2,91	0,54	0,04	3,49	0,1	1,66	5,25	66,46	2,79	1,18	16,65

**PERFIL Nº: 18****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 03/11/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO  
Distrófico (Epieutrófico) típico, A proeminente, fase floresta tropical  
subperenifólia, relevo ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: LVAd2

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Lavras, MG,  
UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 502.269 mE, 7.645.909 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL:  
Descrito e coletado em microtrincheira, em terço médio de encosta, com 17% de  
declividade, sob lavoura de milho.

ALTITUDE: 930 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração de gnaisse granítico  
leucocrático.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia.

USO ATUAL: Lavoura de milho.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão  
chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de  
1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique  
Procópio Pelegrino e Nilton Curi.

**B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Ap 0 – 20 cm, bruno (5YR 4/4, úmida) e bruno (5YR 5/4, seca); granular; argila.

Bw 50 – 90 cm +, vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmida); fraca blocos subangulares; argila.

**C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Horizonte		Composição granulométrica da terra fina					Relação	C
Símbolo	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	silte/argila	Orgânico
	--cm--	----- g kg <sup>-1</sup> -----						dag kg <sup>-1</sup>
Ap	0-20	350	110	240	200	450	0,44	2,64
Bw	50 – 90 +	330	80	250	160	510	0,31	0,70

Complexo sortivo												
Hor.	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
	água	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----					----- % -----		----mg kg <sup>-1</sup> ----			
Ap	7	4,68	2,13	0,44	7,25	0,1	1,51	8,86	81,87	1,36	3,27	20,02
Bw	5,8	0,46	0,03	0,03	0,68	0,1	1,91	2,69	25,39	12,82	0,66	5,66

**PERFIL Nº: 19****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 03/11/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, A fraco, endopedregoso, fase campo cerrado tropical, relevo ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: CXbd2

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Lavras, MG.  
UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 503.783 mE, 7.641.095 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL:  
Descrito e coletado em corte de estrada, em terço inferior de encosta, com 12% de declividade, sob pastagem nativa.

ALTITUDE: 961 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração de quartzito, com contribuição de micaxisto.

PEDREGOSIDADE: Ligeiramente pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado e forte ondulado.

EROSÃO: Laminar intensa.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Campo cerrado tropical.

USO ATUAL: Pastagem nativa.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de 1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique Procópio Pelegrino e Nilton Curi.



**B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

- Ap 0 – 5 cm, bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmida) e bruno-avermelhado (5YR 5/3, seca); granular; franco.
- Bi 20 – 50 cm, bruno-avermelhado-claro (5YR 6/4, úmida); franco; blocos subangulares; ligeiramente pedregoso.

**C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Horizonte		Composição granulométrica da terra fina					Relação	C
Símbolo	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	silte/argila	Orgânico
	--cm---	----- g kg <sup>-1</sup> -----						dag kg <sup>-1</sup>
Ap	0 – 5	530	150	380	330	140	2,35	0,94
Bi	20 – 50	430	70	360	420	150	2,80	0,80

Complexo sortivo												
Hor.	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
	água	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----						----- % -----		----mg kg <sup>-1</sup> ----		
Ap	5	0,1	0,1	0,07	0,27	0,9	2,16	3,33	8,02	76,92	1,36	44,38
Bi	5,1	0,1	0,1	0,04	0,04	0,9	1,69	2,83	8,63	78,95	1,05	35,75

**PERFIL Nº: 20****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 03/11/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico, A fraco, endopedregoso, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: PVd2

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Lavras, MG, UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 508.179 mE, 7.640.575 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em corte de estrada, em terço médio de encosta, com 7% de declividade, sob pastagem de braquiária.

ALTITUDE: 982 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração de gnaisse granítico mesocrático.

PEDREGOSIDADE: Ligeiramente pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado e ondulado.

EROSÃO: Laminar intensa.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia.

USO ATUAL: Pastagem de braquiária.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de 1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique Procópio Pelegrino e Nilton Curi.

**B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Ap	0 – 5 cm, bruno-amarelado (10YR 5/4, úmida) e bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3, seca); granular; argila.
Bt	40 – 70 cm, vermelho-claro (2,5YR 6/6, úmida); muito argilosa; blocos subangulares; ligeiramente pedregoso.

**C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Horizonte		Composição granulométrica da terra fina					Relação	C
Símbolo	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	silte/argila	Orgânico
	--cm--	----- g kg <sup>-1</sup> -----						dag kg <sup>-1</sup>
Ap	0 – 5	200	20	180	220	580	0,38	1,58
Bt	40 – 70	130	80	50	180	690	0,26	0,25

Complexo sortivo												
Hor.	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
	água	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----						----- % -----		----mg kg <sup>-1</sup> ----		
Ap	5,7	1,17	0,6	0,14	1,91	0,3	2,73	4,94	38,57	13,57	1,16	27,62
Bt	5,7	0,1	0,1	0,02	0,22	0,3	1,26	1,78	12,45	57,69	0,60	17,13

**PERFIL Nº: 21****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 03/11/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (Epieutrófico) típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo plano, bem drenado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: LVd1

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Lavras, MG, UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 509.088 mE, 7.645.792 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em microtrincheira, em terço médio de encosta, com 2% de declividade, sob lavoura de milho em sistema de plantio direto.

ALTITUDE: 925 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração de gnaisse granítico mesocrático.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Plano.

RELEVO REGIONAL: Plano e suave ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia.

USO ATUAL: Lavoura de milho em sistema de plantio direto.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de 1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique Procópio Pelegrino e Nilton Curi.

**B –DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Ap	0 – 20 cm, vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmida) e vermelho (2,5YR 5/6, seca); granular; argila.
Bw	40 – 70 cm +, vermelho (2,5YR 5/8, úmida); forte pequena granular; argila.

**C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Horizonte		Composição granulométrica da terra fina					Relação	C
Símbolo	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	silte/argila	Orgânico
	--cm--	----- g kg <sup>-1</sup> -----						dag kg <sup>-1</sup>
Ap	0 – 20	400	120	280	190	410	0,46	1,47
Bw	40 – 70 +	400	70	330	180	420	0,43	1,55

Complexo sortivo												
Hor.	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
	água	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----					----- % -----		----mg kg <sup>-1</sup> ----			
Ap	7,2	4,51	1,48	0,45	6,44	0,1	1,16	7,7	83,63	1,53	10	33,28
Bw	5,2	1,71	0,1	0,03	1,84	0,5	4,84	7,18	25,67	21,37	1,05	14,87

**PERFIL Nº: 22****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 03/11/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: CXbd1

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Lavras, MG, UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 509.477 mE, 7.649.189 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em corte de estrada, em terço superior de encosta, com 15% de declividade, sob pastagem mal manejada.

ALTITUDE: 941 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração de gnaisse granítico leucocrático.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia.

USO ATUAL: Pastagem mal manejada.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de 1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique Procópio Pelegrino e Nilton Curi.

**B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Ap	0 – 20 cm, bruno forte (7,5YR 5/6, úmida) e amarelo-avermelhado (7,5YR 7/6, seca); granular; argila.
Bi	40 – 60 cm, bruno forte (7,5YR 5/8, úmida); blocos subangulares; franco-argilosa.

**C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Horizonte		Composição granulométrica da terra fina					Relação	C
Símbolo	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	silte/argila	Orgânico
	--cm---	----- g kg <sup>-1</sup> -----						dag kg <sup>-1</sup>
Ap	0 – 20	340	60	280	220	440	0,50	2,35
Bi	40 – 60	270	50	220	410	320	1,28	0,72

Complexo sortivo												
Hor.	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
	água	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----							----- % -----		----mg kg <sup>-1</sup> -----	
Ap	5,3	1,69	0,63	0,28	2,6	0,4	4,02	7,02	37,01	13,33	1,44	26,72
Bi	5,1	0,19	0,1	0,06	0,35	0,6	1,72	2,67	12,95	63,16	0,88	18,7

**PERFIL Nº: 23****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 03/11/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado, acentuadamente drenado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: LVd2

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Próximo ao aeroporto de Lavras, Lavras, MG, UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 503.943 mE, 7.651.164 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em corte de estrada, em terço superior de encosta, com 5% de declividade, sob pastagem de braquiária.

ALTITUDE: 951 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração de gnaisse granítico mesocrático.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Acentuadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia.

USO ATUAL: Pastagem de braquiária.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de 1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique Procópio Pelegrino e Nilton Curi.



**B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Ap 0 – 30 cm, vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmida) e vermelho (2,5YR 4/6, seca); granular; muito argilosa.

Bw 70 – 90 cm +, vermelho (2,5YR 5/6); forte muito pequena granular; muito argilosa.

**C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Horizonte		Composição granulométrica da terra fina					Relação	C
Símbolo	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	silte/argila	Orgânico
	--cm--	g kg <sup>-1</sup>						dag kg <sup>-1</sup>
Ap	0 – 30	230	140	90	150	620	0,24	2,73
Bw	70 - 90 +	190	100	90	140	670	0,20	0,59

Complexo sortivo												
Hor.	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
	água	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>					%			mg kg <sup>-1</sup>		
Ap	5,3	1,62	0,87	0,53	3,02	0,3	5,4	8,72	34,62	9,04	1,56	18,09
Bi	5,1	0,1	0,1	0,02	0,22	0,1	2,17	2,49	8,67	31,25	0,63	5,14

**PERFIL Nº: 24****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 03/11/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO  
Distrófico (Epieutrófico) típico, A moderado, fase floresta tropical  
subperenifólia, relevo suave ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: LVAd3

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Lavras, MG,  
UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 498.988 mE, 7.655.861 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL:  
Descrito e coletado em corte de estrada, em terço superior de encosta, com 4%  
de declividade, sob pastagem de braquiária.

ALTITUDE: 912 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração de gnaisse granítico  
leucocrático.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia.

USO ATUAL: Pastagem de braquiária.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão  
chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de  
1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique  
Procópio Pelegrino e Nilton Curi.

**B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

- Ap 0 – 20 cm, bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmida) e bruno-avermelhado (5YR 5/4, seca); granular; muito argilosa.
- Bw 80 – 100 cm +, vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmida); forte muito pequena granular; muito argilosa.

**C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Horizonte		Composição granulométrica da terra fina					Relação	C
Símbolo	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	silte/argila	Orgânico
	--cm---	----- g kg <sup>-1</sup> -----						dag kg <sup>-1</sup>
Ap	0 – 20	160	60	100	230	610	0,40	2,24
Bw	80 – 100 +	220	110	110	120	660	0,18	0,67

Complexo sortivo												
Hor.	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
	água	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----						----- % -----		----mg kg <sup>-1</sup> ----		
Ap	7,6	5,5	1,25	0,12	6,87	0	1,11	7,98	86,07	0	1,39	24,79
Bw	5,8	0,79	0,12	0,03	0,94	0,1	1,44	2,48	37,79	9,62	0,44	8,25

**PERFIL Nº: 25****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 03/11/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (Epieutrófico) típico, A moderado, endopedregoso, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: PVAd2

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Lavras, MG, UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 499.053 mE, 7.660.920 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em corte de estrada, em terço médio de encosta, com 22% de declividade, sob pastagem de braquiária.

ALTITUDE: 880 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração de gnaisse granítico leucocrático.

PEDREGOSIDADE: Ligeiramente pedregosa.

ROCHOSIDADE: Ligeiramente rochosa.

RELEVO LOCAL: Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado e forte ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia.

USO ATUAL: Pastagem de braquiária.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de 1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique Procópio Pelegrino e Nilton Curi.

**B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

- Ap 0 – 20 cm, bruno-avermelhado (5YR 4/3, úmida) e bruno-avermelhado (5YR 5/4, seca); granular; franco-argilosa.
- Bt 40 – 110 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmida); argila; blocos subangulares; ligeiramente pedregoso; cerosidade abundante.

**C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Horizonte		Composição granulométrica da terra fina					Relação	C
Símbolo	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	silte/argila	Orgânico
	--cm---	----- g kg <sup>-1</sup> -----						dag kg <sup>-1</sup>
Ap	0 – 20	440	300	140	200	360	0,55	2,31
Bt	40 – 110	270	170	100	150	580	0,26	0,32

Complexo sortivo												
Hor.	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
	água	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----						----- % -----		----mg kg <sup>-1</sup> ----		
Ap	6,2	3,54	1,5	0,11	5,15	0,1	2,32	7,57	68,07	1,9	1,30	30,31
Bt	5,8	1,08	0,3	0,02	0,02	0,1	1,54	3,04	46,1	6,67	1,05	10,68

**PERFIL Nº: 26****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 03/11/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico, A moderado, pedregoso, fase campo rupestre, relevo montanhoso.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: RLd

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Lavras, MG, UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 499.029 mE, 7.641.956 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em corte de estrada, em terço médio de encosta, com 47% de declividade, sob pastagem nativa.

ALTITUDE: 1249 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração de quartzito com contribuição de micaxisto.

PEDREGOSIDADE: Pedregosa.

ROCHOSIDADE: Rochosa.

RELEVO LOCAL: Montanhoso.

RELEVO REGIONAL: Montanhoso e escarpado.

EROSÃO: Laminar.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Campo rupestre.

USO ATUAL: Pastagem nativa.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de 1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique Procópio Pelegrino e Nilton Curi.

**B –DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Ap 0 – 20 cm, granular; franco-arenosa, pedregoso.

**C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Horizonte		Composição granulométrica da terra fina					Relação	C
Símbolo	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	silte/argila	Orgânico
	--cm---	----- g kg <sup>-1</sup> -----						dag kg <sup>-1</sup>
Ap	0 – 20	690	30	630	250	90	2,77	0,9

Complexo sortivo												
Hor.	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
	água	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----							----- % -----		----mg kg <sup>-1</sup> ----	
Ap	4,5				0,3			3,9	8	80		

**PERFIL Nº: 27****A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 03/11/2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, A moderado, pedregoso, fase campestre, relevo montanhoso.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: CXbd2

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Lavras, MG, UTM DATUM SIRGAS2000 23K, 500.044 mE, 7.642.061 mN.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em corte de estrada, em terço médio de encosta, com 46% de declividade, sob pastagem nativa.

ALTITUDE: 1083 metros.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração de micaxisto com contribuição de quartzito.

PEDREGOSIDADE: Pedregosa.

ROCHOSIDADE: Rochosa.

RELEVO LOCAL: Montanhoso.

RELEVO REGIONAL: Montanhoso.

EROSÃO: Em sulcos.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Campo limpo.

USO ATUAL: Pastagem nativa.

CLIMA: Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 19,9 °C e precipitação média anual de 1.486 mm concentrada entre os meses de outubro e março.

DESCRITO E COLETADO POR: Elidiane da Silva, Marcelo Henrique Procópio Pelegrino e Nilton Curi.



### B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ap 0 – 20 cm; franco-argilosa; granular; pedregoso.  
 Bi 20 – 40 cm; franco-arenosa; blocos subangulares; pedregoso.

### C – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Horizonte		Composição granulométrica da terra fina					Relação	C
Símbolo	Prof.	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	silte/argila	Orgânico
	--cm---	----- g kg <sup>-1</sup> -----						dag kg <sup>-1</sup>
Ap	0 – 20	320	80	240	400	280	1,43	2,3
Bi	20 - 40	520	60	460	330	150	2,20	2

Complexo sortivo												
Hor.	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	Valor m	P disp	P-rem
	água	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----							----- % -----		----mg kg <sup>-1</sup> ----	
Ap	4,9				0,5			7,1	7	74		30,31
Bi	4,8				0,3			1,6	19	70		10,68

## **APÊNDICE C**

**Análises geoquímicas e de suscetibilidade magnética**

**Análises da fluorescência de raios-X portátil (pXRF).**

Perfil	Solo	Horiz.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe	SiO <sub>2</sub>	Ti	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Mn	Cu	K <sub>2</sub> O	As	Cr	Zr	Pb
			-----%-----			-----ppm-----								
1	PVd1	Ap	8,84	3,27	31,03	0,69	0,07	0,03	0,002	0,24	<LOD	0,005	0,05	0,003
		Bt	16,47	8,47	33,27	10466	<LOD	0,09	0,003	0,43	<LOD	0,024	0,04	0,007
2	PVAd1	Ap	11,93	5,12	43,612	0,68	<LOD	0,03	0,001	0,18	<LOD	<LOD	0,03	0,003
		Bt	17,70	7,62	32,62	0,83	0,10	0,04	0,001	0,23	<LOD	0,005	0,02	0,004
3	PVAd1	Bt	16,02	6,30	35,06	0,93	<LOD	0,03	0,003	11991	<LOD	0,014	0,06	0,004
4	PVAd2	Ap	20,09	4,52	43,72	0,49	0,09	0,07	0,004	0,72	<LOD	0,016	0,02	0,004
		Bt	16,15	4,08	40,02	0,46	<LOD	0,03	0,003	0,64	<LOD	0,014	0,02	0,003
5	PVdf	Ap	13,90	12,91	26,99	18700	0,12	0,21	0,004	0,24	<LOD	0,011	0,06	0,005
		Bt	13,34	15,33	21,34	24987	0,08	0,09	0,005	0,14	<LOD	0,008	0,07	0,005
6	CXbd2	Ap	7,67	1,88	61,26	0,22	0,10	0,01	0,001	3466	0,001	0,005	0,03	<LOD
		Bi	7,84	1,57	61,23	0,24	0,06	0,01	0,001	12531	<LOD	<LOD	0,03	<LOD
7	LVd1	Ap	22,90	12,19	21,80	12495	0,10	0,02	0,004	0,23	<LOD	0,049	0,03	0,003
		Bw	14,46	9,46	15,61	12448	<LOD	0,03	0,004	0,13	0,001	0,031	0,02	0,004
8	PVAe	Ap	16,21	8,60	28,89	12176	0,09	0,05	0,004	0,46	<LOD	0,008	0,05	0,00
		Bt	18,79	8,58	30,80	12485	0,11	0,03	0,004	0,48	<LOD	0,010	0,04	0,004
9	PVAe	Ap	12,57	5,74	35,91	0,39	0,09	0,07	0,004	17812	<LOD	0,117	0,02	0,008
		Bt	12,91	5,88	36,08	0,40	<LOD	0,08	0,004	17220	<LOD	0,103	0,02	0,007

Continua...

...continuação.

Perfil	Solo	Horiz.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe	SiO <sub>2</sub>	Ti	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Mn	Cu	K <sub>2</sub> O	As	Cr	Zr	Pb
			-----%-----			-----ppm-----								
10	LVAd1	Ap	19,72	2,34	47,12	0,44	0,08	0,03	0,002	16350	<LOD	0,00	0,03	0,004
		Bw	16,73	2,02	37,98	0,42	<LOD	0,03	0,001	17527	0,001	<LOD	0,02	0,004
11	CXbe	Ap	14,56	4,72	46,98	0,44	<LOD	0,04	0,003	0,93	<LOD	0,01	0,03	0,004
		Bi	19,41	5,72	67,84	0,49	0,05	0,05	0,003	12804	<LOD	0,01	0,02	0,003
12	CXbd3	A	16,61	5,35	35,65	0,82	0,08	0,03	0,003	0,43	0,001	0,01	0,05	0,003
		Bi	13,05	4,49	28,14	0,87	<LOD	0,02	0,003	0,40	0,001	0,01	0,04	0,004
13	LVd1	Ap	20,27	7,60	22,57	10493	<LOD	0,03	0,004	17596	0,001	0,02	0,04	0,003
		Bw	28,58	9,15	21,99	10371	<LOD	0,04	0,004	17820	0,001	0,02	0,04	0,003
14	CYbd	Ap	12,04	5,60	30,84	0,83	<LOD	0,03	0,003	0,16	0,001	0,02	0,04	0,002
		Bi	29,49	3,81	32,32	11562	0,06	0,01	0,002	0,20	<LOD	0,01	0,05	0,003!
15	LVAe	Ap	19,42	6,10	31,72	0,81	<LOD	0,03	0,003	0,44	<LOD	0,01	0,04	0,003
		Bw	27,52	7,00	37,85	0,89	<LOD	0,02	0,003	0,47	<LOD	0,01	0,03	0,004
16	PVAd1	Ap	13,71	7,28	33,67	11495	0,10	0,05	0,003	0,86	<LOD	0,01	0,03	0,005
		2Bt	17,58	8,35	31,07	0,99	<LOD	0,06	0,003	0,62	<LOD	0,01	0,03	0,005
17	CYbe	Ap	21,40	6,43	28,48	0,80	0,10	0,04	0,004	7583	0,001	0,03	0,02	0,004
		Bi	26,99	6,06	35,89	0,65	0,07	0,10	0,004	16849	<LOD	0,01	0,02	0,004

Continua...

...continuação.

Perfil	Solo	Horiz,	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe	SiO <sub>2</sub>	Ti	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Mn	Cu	K <sub>2</sub> O	As	Cr	Zr	Pb
			-----%-----			-----ppm-----								
18	LVAd2	Ap	34,48	6,82	24,93	10075	0,07	0,02	0,002	0,27	0,001	0,01	0,04	0,003
		Bw	33,79	6,61	19,38	10347	<LOD	0,02	0,001	0,23	0,001	0,01	0,05	0,003
19	CXbd2	Ap	13,30	4,04	39,84	0,52	<LOD	0,06	0,002	42229	<LOD	0,01	0,04	0,005
		Bi	12,60	3,25	37,24	0,40	<LOD	<LOD	0,002	26868	<LOD	0,00	0,03	0,003
20	PVd2	Ap	20,81	5,28	37,78	0,66	<LOD	0,03	0,002	18722	<LOD	0,01	0,03	0,003
		Bt	19,26	6,14	32,82	0,75	0,08	0,04	0,003	24347	<LOD	0,01	0,03	0,002
21	LVd1	Ap	21,10	7,97	42,44	0,79	0,11	0,17	0,006	0,22	<LOD	0,03	0,03	0,003
		Bw	20,66	8,51	30,60	0,81	0,08	0,11	0,004	0,21	<LOD	0,04	0,02	<LOD
22	CXbd1	Ap	26,15	8,90	31,78	0,94	0,08	0,03	0,006	0,69	<LOD	0,04	0,02	0,004
		Bi	27,37	4,94	29,98	0,50	<LOD	0,01	0,005	10401	0,001	0,02	0,02	0,003
23	LVd2	Ap	28,57	11,51	18,58	12688	<LOD	0,04	0,002	0,20	0,001	0,04	0,04	0,003
		Bw	35,22	11,32	24,81	11558	<LOD	0,03	0,002	0,19	0,001	0,04	0,04	0,003
24	LVAd3	Ap	20,88	11,22	26,64	13519	<LOD	0,08	0,003	0,12	0,001	0,03	0,07	0,004
		Bw	24,35	10,95	31,48	13185	0,07	0,06	0,003	0,12	<LOD	0,02	0,06	0,003
25	PVAd2	Ap	19,09	6,63	45,35	0,65	0,10	0,13	0,004	0,32	<LOD	0,04	0,03	0,003
		Bt	29,34	9,48	31,05	0,42	0,09	0,04	0,005	0,19	<LOD	0,06	0,01	0,003

&lt;LOD: abaixo do limite de detecção do aparelho.

**Análises da Suscetibilidade Magnética (SM) em (x 10<sup>-7</sup> Kg ) m<sup>-1</sup>**

Perfil	Solo	Horizonte	SM	Perfil	Solo	Horizonte	SM
1	PVd1	Ap	6,2	14	CYbd	Ap	5,2
		Bt	7,4			Bi	3,2
2	PVAd1	Ap	4,1	15	LVAe	Ap	11,0
		Bt	1,6			Bw	6,2
3	PVAd1	Bt	3,4	16	PVAd1	Ap	4,5
4	PVAd2	Ap	3,3			Bt	6,3
5	PVdf	Bt	2,6	17	CYbe	Ap	1,6
		Ap	48,8			Bi	1,2
6	CXbd2	Bt	45,8	18	LVAd2	Ap	4,0
		Ap	2,0			Bw	2,2
7	LVd1	Bi	0,7	19	CXbd2	Ap	2,6
		Ap	17,1			Bi	1,3
8	PVAe	Bw	19,3	20	PVd2	Ap	4,8
		Ap	7,5			Bt	2,8
9	PVAe	Bt	8,7	21	LVd1	Ap	5,7
		Ap	9,7			Bw	5,7
10	LVAd1	Bt	10,0	22	CXbd1	Ap	4,5
		Ap	0,3			Bi	2,0
11	CXbe	Bw	0,6	23	LVd2	Ap	10,9
		Ap	3,1			Bw	11,1
12	CXbd3	Bi	1,0	24	LVAd3	Ap	11,7
		A	9,7			Bw	11,2
13	LVd1	Bi	11,2	25	PVAd2	Ap	7,0
		Ap	5,3			Bt	8,1
		Bw	6,7				

**Predição do teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> do ataque sulfúrico a partir do teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
obtido por pXRF**

Perfil	Solo	Horizonte	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sub>pXRF</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sub>AS</sub>
1	PVd1	Ap	4,68	3,00
		Bt	12,11	10,98
2	PVAd1	Ap	7,32	5,84
		Bt	10,90	9,68
3	PVAd1	Bt	9,01	7,65
4	PVAd2	Ap	6,46	4,92
		Bt	5,83	4,24
5	PVdf	Ap	18,46	17,80
		Bt	21,92	21,51
6	CXbd2	Ap	2,69	0,87
		Bi	2,25	0,40
7	LVd1	Ap	17,43	16,69
		Bw	13,53	12,50
8	PVAe	Ap	12,30	11,18
		Bt	12,27	11,15
9	PVAe	Ap	8,21	6,79
		Bt	8,41	7,01
10	LVAd1	Ap	3,35	1,58
		Bw	2,89	1,08
11	CXbe	Ap	6,75	5,23
		Bi	8,18	6,76
12	CXbd3	A	7,65	6,19
		Bi	6,42	4,87
13	LVd1	Ap	10,87	9,65
		Bw	13,08	12,02

Continua...

...continuação.

Perfil	Solo	Horizonte	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> pXRF	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> AS
14	CYbd	Ap	8,01	6,58
		Bi	5,45	3,83
15	LVAe	Ap	8,72	7,34
		Bw	10,01	8,73
16	PVAd1	Ap	10,41	9,16
		Bt	11,94	10,80
17	CYbe	Ap	9,19	7,85
		Bi	8,67	7,29
18	LVAd2	Ap	9,75	8,45
		Bw	9,45	8,13
19	CXbd2	Ap	5,78	4,19
		Bi	4,65	2,97
20	PVd2	Ap	7,55	6,09
		Bt	8,78	7,41
21	LVd1	Ap	11,40	10,22
		Bw	12,17	11,04
22	CXbd1	Ap	12,73	11,65
		Bi	7,06	5,56
23	LVd2	Ap	16,46	15,65
		Bw	16,19	15,36
24	LVAd3	Ap	16,04	15,20
		Bw	15,66	14,79
25	PVAd2	Ap	9,48	8,16
		Bt	13,56	12,54

pXRF: Fluorescência de raios-X portátil; AS: Ataque sulfúrico.



## **APÊNDICE D**

**Classificação da aptidão agrícola das terras**

Solo		P1 – ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (Epieutrófico) típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado															
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>e</b>			<b>m</b>			Uso Atual	Aptidão Agrícola
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>		
Grau de limitação	M	L	L	N/L	N/L	N/L	N	N	N	M	L2	L2	M	M	M		
Classe Aptidão	a	B	C	A	B	C	A	B	C	a	b	c	a	(b)	(c)	Floresta alterada	2a(bc)

Solo		P2 – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado															
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>e</b>			<b>m</b>			Uso Atual	Aptidão Agrícola
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>		
Grau de limitação	F	M	L2	N/L	N/L	N/L	N	N	N	M	L2	L2	M	M	M		
Classe Aptidão	(a)	b	C	A	B	C	A	B	C	a	b	c	A	b	c	Pastagem de braquiária	2(a)bc

Solo		P3 – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, ausência de A, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado															
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>e</b>			<b>m</b>			Uso Atual	Aptidão Agrícola
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>		
Grau de limitação	F	L2	L2	N/L	N/L	N/L	L	L	L	F	M1	F	F	M/F	F		
Classe Aptidão	(a)	b	C	A	B	C	A	B	C	(a)	(b)	-	(a)	(b)	-	Lavoura de café	3(ab)

Solo	P4 – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (Epieutrófico) típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado																
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>e</b>			<b>m</b>				
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	Uso	Aptidão
Grau de limitação	M	L2	L1	N/L	N/L	N/L	L	L	L	M	L2	L2	M	M	M	Atual	Agrícola
Classe Aptidão	a	b	C	A	B	C	A	B	C	a	b	c	A	b	(c)	Pastagem de braquiária	2ab(c)
Solo	P5 – ARGISSOLO VERMELHO Distroférico típico, A moderado, pedregoso, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado																
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>e</b>			<b>m</b>				
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	Uso	Aptidão
Grau de limitação	M	L2	L1	N/L	N/L	N/L	L	L	L	M	L2	L2	M	M	M	Atual	Agrícola
Classe Aptidão	a	b	C	A	B	C	A	B	C	a	b	c	A	B	(c)	Pastagem de braquiária	2ab(c)
Solo	P6 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, A fraco, endopedregoso, fase campo cerrado tropical, relevo ondulado																
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>e</b>			<b>m</b>				
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	Uso	Aptidão
Grau de limitação	F	M	L2	N/L	N/L	N/L	N	N	N	F	M1	F	F	M/F	F	Atual	Agrícola
Classe Aptidão	(a)	b	C	A	B	C	A	B	C	(a)	(b)	-	(a)	(b)	-	Pastagem nativa	3(ab)

Solo	P7 – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado, ondulado, bem drenado																
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>e</b>			<b>m</b>				
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	Uso Atual	Aptidão Agrícola
Grau de limitação	M	L1	N2	N/L	N/L	N/L	L	L	L	L	L	L	L	L	L		
Classe Aptidão	(a)	b	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	Lavoura de soja	1(a)bc
Solo	P8 – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado																
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>e</b>			<b>m</b>				
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	Uso Atual	Aptidão Agrícola
Grau de limitação	L	N	N	N/L	N/L	N/L	L	L	L	M	M	L2	M	M	M		
Classe Aptidão	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	(c)	A	b	(c)	Pastagem de braquiária	3Ab(c)
Solo	P9 – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico (Epidistrófico) típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado																
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>e</b>			<b>m</b>				
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	Uso Atual	Aptidão Agrícola
Grau de limitação	L	N	N	N/L	N/L	N/L	L	L	L	M	M	L2	M	M	M		
Classe Aptidão	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	(c)	A	b	(c)	Pastagem de braquiária	3Ab(c)

Solo		P10 – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado															
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>e</b>			<b>m</b>			Uso Atual	Aptidão Agrícola
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>		
Grau de limitação	F	L1	N2	N/L	N/L	N/L	N	N	N	L	L	L	L	L	L		
Classe Aptidão	(a)	b	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	Lavoura de café	1(a)bC

Solo		P11 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico (Epidistrófico) típico, A fraco, pedregoso, fase campo cerrado tropical, relevo ondulado															
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>e</b>			<b>m</b>			Uso Atual	Aptidão Agrícola
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>		
Grau de limitação	L	N	N	N/L	N/L	N/L	L	L	L	F	M1	F	F	M/F	F		
Classe Aptidão	A	B	C	A	B	C	A	B	C	(a)	(b)	-	(a)	(b)	-	Pastagem nativa	3(ab)

Solo		P12 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado															
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>e</b>			<b>m</b>			Uso Atual	Aptidão Agrícola
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>		
Grau de limitação	F	L1	N2	N/L	N/L	N/L	L	L	L	L	L	L	L	L	L		
Classe Aptidão	(a)	b	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	Reserva de flora e fauna	1(a)bC

Solo	P13 – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado, bem drenado																
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>e</b>			<b>m</b>				
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	Uso Atual	Aptidão Agrícola
Grau de limitação	F	L1	N2	N/L	N/L	N/L	N	N	N	L	L	L	L	L	L		
Classe Aptidão	(a)	b	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	Lavoura de café	1(a)bc
Solo	P14 – CAMBISSOLO FLÚVICO Tb Distrófico (Epieutrófico) típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo plano de várzea, imperfeitamente drenado																
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>e</b>			<b>m</b>				
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	Uso Atual	Aptidão Agrícola
Grau de limitação	F	L1	N2	N/L	N/L	N/L	M	M	M	N	N	N	L	L	L		
Classe Aptidão	(a)	b	C	A	B	C	(a)	(b)	(c)	A	B	C	A	B	C	Lavoura de milho	3(abc), 4P
Solo	P15 – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo plano																
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>e</b>			<b>m</b>				
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	Uso Atual	Aptidão Agrícola
Grau de limitação	L	N	N	N/L	N/L	N/L	L	L	L	N	N	N	N	N	N		
Classe Aptidão	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	Pastagem de braquiária	1ABC

Solo	P16 – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado																
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>e</b>			<b>m</b>				
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	Uso	Aptidão
Grau de limitação	M	L2	L1	N/L	N/L	N/L	L	L	L	M	L2	L2	M	M	M	Atual	Agrícola
Classe Aptidão	a	b	C	A	B	C	A	B	C	a	b	(c)	A	b	(c)	Pastagem de braquiária	2ab(c)
Solo	P17 – CAMBISSOLO FLÚVICO Tb Eutrófico (Epidistrófico) típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo plano de várzea, imperfeitamente drenado																
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>E</b>			<b>m</b>				
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	Uso	Aptidão
Grau de limitação	L	N	N	N/L	N/L	N/L	M	M	M	N	N	N	M	M	M	Atual	Agrícola
Classe Aptidão	A	B	C	A	B	C	(a)	(b)	(c)	A	B	C	A	b	(c)	Pastagem de braquiária	3(abc)/4 P
Solo	P18 – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (Epieutrófico) típico, A proeminente, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado																
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>E</b>			<b>m</b>				
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	Uso	Aptidão
Grau de limitação	M	L2	L1	N/L	N/L	N/L	N	N	N	M	M	L2	M	M	M	Atual	Agrícola
Classe Aptidão	a	b	C	A	B	C	A	B	C	A	B	(c)	A	b	(c)	Lavoura de milho	2ab(c)

Solo	P19 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, A fraco, endopedregoso, fase campo cerrado tropical, relevo ondulado																
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>e</b>			<b>m</b>				
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	Uso	Aptidão
Grau de limitação	F	L1	N2	N/L	N/L	N/L	L	L	L	M	M	L2	M	M	M	Atual	Agrícola
Classe Aptidão	(a)	b	C	A	B	C	A	B	C	A	B	(c)	A	b	(c)	Pastagem nativa	2b(ac)
Solo	P20 – ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico, A fraco, endopedregoso, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado																
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>e</b>			<b>m</b>				
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	Uso	Aptidão
Grau de limitação	F	L1	N2	N/L	N/L	N/L	L	L	L	M	M	L2	M	M	M	Atual	Agrícola
Classe Aptidão	(a)	b	C	A	B	C	A	B	C	A	B	(c)	A	b	(c)	Pastagem de braquiária	2b(ac)
Solo	P21 – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (Epieutrófico) típico, A fraco, fase floresta tropical subperenifólia, suave plano, bem drenado																
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>e</b>			<b>m</b>				
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	Uso	Aptidão
Grau de limitação	M	L2	L1	N/L	N/L	N/L	N	N	N	L	L	L	L	L	L	Atual	Agrícola
Classe Aptidão	a	b	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	Lavoura de milho	1abC
Solo	P22 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado																
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>e</b>			<b>m</b>				
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	Uso	Aptidão
Grau de limitação	F	L1	N2	N/L	N/L	N/L	N	N	N	M	M	L2	M	M	M	Atual	Agrícola
Classe	(a)	b	C	A	B	C	A	B	C	A	B	(c)	A	b	(c)	Pastagem mal	2b(ac)



Aptidão																manejada	
Solo	P23 – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado, acentuadamente drenado																
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>e</b>			<b>m</b>				
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	Uso	Aptidão
Grau de limitação	F	L1	N2	N/L	N/L	N/L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	Atual	Agrícola
Classe Aptidão	(a)	b	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	Pastagem de braquiária	1(a)bC
Solo	P24 –LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (Epieutrófico) típico, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado																
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>e</b>			<b>m</b>				
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	Uso	Aptidão
Grau de limitação	F	L1	N2	N/L	N/L	N/L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	Atual	Agrícola
Classe Aptidão	(a)	b	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	Pastagem de braquiária	1(a)bC
Solo	P25 – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (Epieutrófico) típico, A moderado, endopedregoso, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado																
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>e</b>			<b>m</b>				
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	Uso	Aptidão
Grau de limitação	M	L1	N2	N/L	N/L	N/L	N	N	N	L	L1	N2/L	M	M	M	Atual	Agrícola
Classe Aptidão	a	b	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	b	(c)	Pastagem de braquiária	2ab(c)

Solo P26 – NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico, A moderado, pedregoso, fase campo Cerrado tropical, relevo montanhoso																	
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>e</b>			<b>m</b>				
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	Uso	Aptidão
Grau de limitação	M	M1	M2	N/L	N/L	N/L	N	N	N	MF	MF	MF	MF	MF	MF	Atual	Agrícola
Classe Aptidão	a	(b)	(c)	A	B	C	A	B	C	-	-	-	-	-	-	Pastagem nativa	6

Solo P27 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, A fraco, pedregoso, fase campo Cerrado tropical, relevo montanhoso																	
Limitação	<b>f</b>			<b>h</b>			<b>o</b>			<b>e</b>			<b>m</b>				
Manejo	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	Uso	Aptidão
Grau de limitação	M	M1	M2	N/L	N/L	N/L	N	N	N	MF	MF	MF	MF	MF	MF	Atual	Agrícola
Classe Aptidão	a	(b)	(c)	A	B	C	A	B	C	-	-	-	-	-	-	Pastagem nativa	6

## **APÊNDICE E**

**Anotações de campo dos perfis de solos**

Perfil	Hor. A	Hor.B	Solo	Relevo	Obs.:
1	Moderado	Bt	PV	Suave ondulado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Textura média/argilosa.</li> <li>• Região de relevo movimentado típico de ocorrência de Argissolos.</li> <li>• Bt: bem estruturado, presença de cerosidade.</li> <li>• Área de floresta alterada.</li> <li>• Afloramento de rochas graníticas, indicando que o processo de intemperismo não foi tão intenso.</li> <li>• Possivelmente região de influência de gnaiss granítico mesocrático.</li> </ul>
2	Moderado	Bt	PVA	Ondulado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Textura média/argilosa.</li> <li>• Relevo movimentado.</li> <li>• Possivelmente região de influência de gnaiss granítico leucocrático.</li> <li>• Área de pastagem de braquiária.</li> </ul>
3	Ausente	Bt	PVA	Forte ondulado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Textura média/argilosa.</li> <li>• Horizonte A removido por erosão e tráfico de máquinas.</li> <li>• Relevo forte ondulado.</li> <li>• Possivelmente região de influência de gnaiss leucocrático.</li> </ul>

<b>Perfil</b>	<b>Hor. A</b>	<b>Hor.B</b>	<b>Solo</b>	<b>Relevo</b>	<b>Obs.:</b>
4	Moderado	Bt	PVA	Ondulado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Textura média/argilosa.</li> <li>• Presença nítida de cerosidade.</li> <li>• Possivelmente região de influência de gnaiss granítico leucocrático.</li> <li>• Pastagem de braquiária.</li> </ul>
5	Moderado	Bt	PV	Ondulado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Textura média/argilosa.</li> <li>• Hor. A rochoso.</li> <li>• Ausência de cerosidade.</li> <li>• Pedregoso de cima a baixo.</li> <li>• Material tendendo a máfico, provavelmente mesocrático.</li> <li>• Presença de fragmentos de rochas em alteração, de coloração amarelada.</li> <li>• Baixa atração magnética por imã em campo.</li> </ul>
6	Fraco	Bi	CX	Ondulado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Influência de micaxisto com possível contribuição de quartzito.</li> <li>• Material petroplíntico no Bi/C.</li> </ul>
<b>Perfil</b>	<b>Hor. A</b>	<b>Hor.B</b>	<b>Solo</b>	<b>Relevo</b>	<b>Obs.:</b>

7	Moderado	Bw	LV	Ondulado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilidade da influência de rochas pelíticas pobres ao invés de gnaiss granítico mesocrático.</li> <li>• Lavoura de soja colhida.</li> </ul>
8	Moderado	Bt	PVA	Suave ondulado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Textura média/argilosa.</li> <li>• Terço inferior de encosta, próximo à várzea.</li> <li>• Pastagem de braquiária.</li> </ul>
9	Moderado	Bt	PVA	Ondulado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Textura média/argilosa.</li> <li>• Cerosidade nítida.</li> <li>• Relevo movimentado (próximo ao trevo de Lavras na BR 381).</li> <li>• Afloramentos de rochas.</li> </ul>
10	Moderado	Bw	LVA	Suave ondulado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possível influência de gnaiss granítico leucocrático.</li> </ul>

<b>Perfil</b>	<b>Hor. A</b>	<b>Hor.B</b>	<b>Solo</b>	<b>Relevo</b>	<b>Obs.:</b>
11	Fraco	Bi	CX	Ondulado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Região de influência de micaxisto e quartzito.</li> <li>• Vegetação de Campo Cerrado.</li> <li>• Região da Serra da Bocaina: vegetação campestre.</li> <li>• Fragmentos de rochas em decomposição.</li> <li>• Espera-se alto teor de silte.</li> </ul>
12	Moderado	Bi	CX	Suave ondulado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Profundo, friável.</li> <li>• Teor de silte mais alto.</li> <li>• Menor retenção de água. Mais suscetível à compactação.</li> <li>• Atentar para o resultado do laboratório para o teor de silte e areia fina.</li> <li>• Presença de material em decomposição (micaxisto) a 1,5m de profundidade.</li> </ul>

<b>Perfil</b>	<b>Hor. A</b>	<b>Hor.B</b>	<b>Solo</b>	<b>Relevo</b>	<b>Obs.:</b>
13	Moderado	Bw	LV	Suave ondulado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Textura argilosa.</li> <li>• Possível influência de gnaisse granítico mesocrático.</li> <li>• Lavoura de milho colhida.</li> </ul>
14	Moderado	Bi	CY com mosquea dos cinzas	Plano de várzea	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mosqueados cinzentos a partir de 50cm de profundidade.</li> <li>• Horizonte maciço cinza de 60-80cm.</li> <li>• Retoma cor amarelada a partir de 100cm.</li> <li>• Área de terraço.</li> <li>• Imperfeitamente drenado.</li> </ul>
15	Moderado	Bw	LVA	Plano	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Componente comum da Superfície Velhas.</li> </ul>
16	Moderado	Bt	PVA	Ondulado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Textura média/argilosa.</li> <li>• A:0-40cm; Bt1: 40-60cm; Linha de pedra: 60-80cm; 2Bt2: 80cm +.</li> </ul>



<b>Perfil</b>	<b>Hor. A</b>	<b>Hor.B</b>	<b>Solo</b>	<b>Relevo</b>	<b>Obs.:</b>
17	Moderado	Bi	CY com mosqueados cinzas	Plano de várzea	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mosqueados cinza, de redução, em todo o perfil.</li> <li>• Imperfeitamente drenado.</li> </ul>
18	Proeminente	Bw	LVA	Ondulado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Textura argilosa/argilosa.</li> <li>• Pedoforma convexa: paisagem típica de Latossolo.</li> </ul>
19	Fraco	Bi	CX	Ondulado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Endopedregoso: predregosidade abaixo dos 40cm.</li> <li>• A fraco devido à muita erosão.</li> </ul>
20	Fraco	Bt	PV	Suave ondulado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perfil bicrômico.</li> <li>• Ap/BA/Bt.</li> <li>• Presença de cerosidade.</li> <li>• Cor do horizonte B: vermelha.</li> <li>• Estrutura em blocos e adensamento no Bt, com presença de fragmentos de material de origem.</li> </ul>

<b>Perfil</b>	<b>Hor. A</b>	<b>Hor.B</b>	<b>Solo</b>	<b>Relevo</b>	<b>Obs.:</b>
21	Moderado	Bw	LV	Plano	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Textura argilosa/argilosa.</li> <li>• Superfície Velhas.</li> <li>• Área cultivada com milho, com braquiária nas entrelinhas.</li> </ul>
22	Moderado	Bi	CX	Ondulado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cerosidade fraca.</li> <li>• Ap/Bi/BC/C.</li> <li>• Raso.</li> <li>• Área com presença de cupins anêmicos.</li> </ul>
23	Moderado	Bw	LV	Suave ondulado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Textura argilosa/argilosa.</li> <li>• Possível influência de gnaisse granítico mesocrático.</li> <li>• Ponto próximo ao atual aeroporto de Lavras (Bairro Baunilha).</li> </ul>
24	Moderado	Bw	LVA	Suave ondulado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Textura argilosa/argilosa.</li> <li>• Ponto na estrada de terra de Lavras em direção à represa do Funil.</li> </ul>

<b>Perfil</b>	<b>Hor. A</b>	<b>Hor.B</b>	<b>Solo</b>	<b>Relevo</b>	<b>Obs.:</b>
25	Moderado	Bt	PVA	Forte ondulado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ap/Bt1 (possível influência de material félsico, mais vermelho-amarelado)/2Bt2: (possível influência de material máfico, mais avermelhado).</li> <li>• Possível solo eutrófico.</li> <li>• Cerosidade nítida.</li> <li>• Presença de fendilhamentos.</li> <li>• Bem estruturado. Estrutura em blocos.</li> <li>• Afloramentos de rochas no entorno do perfil.</li> </ul>
26	Moderado	Ausência	RL	Montanhoso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afloramentos frequentes de rochas.</li> </ul>
27	Moderado	Bi	CX	Montanhoso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encostas ravinadas, afloramentos esparsos de rochas.</li> </ul>

## **APÊNDICE F**

**Fotos de perfis selecionados de solos e paisagens representativas de sua ocorrência**

**PERFIL 2 (PVA)**



**PERFIL 5 (PV)**



**PERFIL 6 (CX)**



**PERFIL 11 (CX)**



**PERFIL 13 (LV)**



**PERFIL 15 (LVA)**

**PERFIL 16 (PVA)**

**PERFIL 19 (CX)**

**PERFIL 20 (PV)**

**PERFIL 22 (CX)**



**PERFIL 23 (LV)**



**PERFIL 24 (LVA)**



**PERFIL 25 (PVA)**





Paisagem de ocorrência do Perfil 1 (PV).



Paisagem de ocorrência do Perfil 2 (PVA).



Paisagem de ocorrência do Perfil 12 (CX).



Paisagem de ocorrência do Perfil 18 (LVA).

Paisagem de ocorrência do Perfil 22 (CX).

Paisagem de ocorrência do Perfil 25 (PVA).





Paisagem de ocorrência de Latossolos na Superfície Sul-Americana, com vestígios da Superfície Gondwana ao fundo.

Paisagem de ocorrência de Neossolos Litólicos e Cambissolos Háplicos (Serra da Bocaina, Lavras, MG).

