

# POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DE USO DE LATOSSOLOS E CAMBISSOLOS, SOB SISTEMA CONSERVACIONISTA EM LAVOURAS CAFEEIRAS

## USE POTENTIAL AND LIMITATIONS OF LATOSOLS AND CAMBISOLS UNDER A CONSERVATION COFFEE PLANTATION SYSTEM

Milson Evaldo SERAFIM<sup>1</sup>; Geraldo César de OLIVEIRA<sup>2</sup>; Nilton Curi<sup>3</sup>; José Maria de LIMA<sup>2</sup>; Paulo Tácito Gontijo GUIMARÃES<sup>4</sup>; Vico Mendes Pereira LIMA<sup>5</sup>

1. Doutorado em Ciência do Solo, Bolsista CNPq. Projeto financiado pela FAPEMIG e apoio logístico da EPAMIG e da Empresa Agropecuária Piumhi, Piumhi, MG, Professor do Instituto Federal de Mato Grosso, Cáceres, MT, Brasil. [milson.serafim@cas.ifmt.br](mailto:milson.serafim@cas.ifmt.br); 2. Professores Associados do DCS, Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras, MG, Brasil. Bolsistas produtividade em pesquisa do CNPq; 3. Professor Titular, Bolsista produtividade em pesquisa do CNPq, DCS/UFLA, Lavras, MG, Brasil; 4. Pesquisador da EPAMIG, Centro Tecnológico do Sul de Minas, Lavras, MG, Brasil; 5. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Norte de Minas – IFNMG. Campus Almenara, MG, Brasil.

**RESUMO:** A cafeicultura da região fisiográfica do Alto São Francisco (MG) vem se expandindo e demandando estudos de solos, a fim de selecionar aqueles mais aptos. Este trabalho foi realizado com os objetivos de avaliar o potencial de uso e quantificar atributos de solos cultivados com cafeeiro manejado com sistema intensivo de cultivo considerado conservacionista. Foram estudadas seis glebas de terras, nas quais foram feitas a descrição morfológica e a classificação pedológica, além do estudo de atributos físicos e químicos dos solos, e a classificação das terras segundo sua capacidade de uso. Os solos estudados foram classificados como CXbd latossólico, LVd e CXbd. O Cambissolo latossólico e os Latossolos foram enquadrados, no sistema de capacidade de uso, como pertencentes à classe IIIc-1,s-5 e os Cambissolos, pertencentes à classe VIe-1,s-1-3,c-1. O cultivo de café sob o sistema conservacionista promoveu melhorias em atributos químicos e físicos dos solos estudados e maior desenvolvimento do sistema radicular da cultura, além de redução do déficit hídrico, o que proporcionou aumento da produtividade. Os resultados confirmam uma maior potencialidade real de uso dos solos, propiciada pelo sistema conservacionista, em comparação àquele recomendado pelo sistema de capacidade de uso.

**PALAVRAS-CHAVE:** Capacidade de uso da terra. Indicadores físico-químicos do solo. Café.

### INTRODUÇÃO

Existem diferenças na formação e na produção de plantas de cafeeiro em diferentes sítios, devido à interação dos fatores altimétricos, climáticos e pedológicos. Isto motiva a identificação e a descrição dos solos indicados para a implantação da cultura. Solos recomendados para cafeeiro devem ser profundos, idealmente de textura média e preferencialmente localizados em relevo suavizado (GUIMARÃES et al., 2002). Estes critérios, quando associados à classificação da Capacidade de Uso das Terras (LEPSCH et al., 1991), limitam o cultivo do cafeeiro a terras que se enquadram nas classes I, II ou III.

A região fisiográfica do Alto São Francisco (MG), ultimamente, tem experimentado uma expansão da cafeicultura em diferentes classes de solos, com destaque para os Latossolos e os Cambissolos, sob relevo variável, de suave ondulado a forte ondulado, salientando que estes são os solos de maior expressão geográfica na região (ALMEIDA; RESENDE, 1985). Particularmente os

Cambissolos, originados de rochas pelíticas, são sistemas muito instáveis, pelo fato de apresentarem solum pouco espesso, baixa permeabilidade, pobreza acentuada em nutrientes e encrostamento na superfície, condicionando pouca cobertura vegetal (ALMEIDA; RESENDE, 1985).

Em uma agricultura racional, a adoção de sistemas conservacionistas de manejo do solo e água é fundamental, por melhorar os atributos físico-hídricos do solo, tais como o aumento da capacidade de infiltração básica e a redução da erosão (STRECK et al., 2008). Na região do Alto São Francisco, em MG, o Sistema AP Romero, é um sistema com proposta conservacionista, pois foi desenvolvido com o objetivo de preservar e ou melhorar as condições físico-hídricas e químicas do solo, conforme descrito por Serafim et al. (2011).

Assim, este trabalho foi realizado com o de objetivo estudar as potencialidades e limitações de uso de Latossolos e Cambissolos da região fisiográfica do Alto São Francisco (MG), cultivados com cafeeiro sob sistema conservacionista de solo e água, a partir do estudo pedológico complementado

pela quantificação de atributos físico-hídricos e químicos do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido nos municípios de São Roque de Minas e Vargem Bonita, região conhecida como Planalto da Canastra, localizada na região fisiográfica do Alto São Francisco, porção centro-oeste do estado de Minas Gerais. O clima da região é do tipo Cwa, segundo classificação de Köppen. A precipitação média anual é de 1.344 mm, com estação seca bem definida nos meses de maio a setembro. A temperatura média anual é de 20,7°C, umidade relativa média de 60% e altitude média de 900 m (MENEGASSE et al., 2002).

O modelado do relevo da região é resultante da exumação de estruturas dobradas e falhadas ao longo de sucessivos ciclos de erosão, que esculpiram duas superfícies de aplainamento, sendo uma mais alta, a oeste, com cotas em torno de 1.400 m, incluindo os chapadões da Babilônia e da Canastra e a mais rebaixada, com topos de colinas entre 800 e 900 m de altitude (SAAD, 1991). Nesta segunda superfície se situam-se as os locais (glebas) deste estudo.

A região é predominantemente recoberta por Latossolos de textura argilosa e muito argilosa e por Cambissolos de textura variada, com significativas áreas argilosas (ALMEIDA; RESENDE, 1985). Segundo a mesma fonte, a litologia predominante na área compõe o grupo Canastra, formado de filitos, sericita-xistos, quartzitos, micaxistos e xistos calcíferos, sendo a região também caracterizada por uma densa rede de drenagem com tributários e várias nascentes.

As áreas amostradas neste estudo fica em um raio de 15 km da nascente do rio São Francisco, nos municípios de São Roque de Minas e Vargem Bonita. A descrição morfológica dos solos da área de estudo foi feita segundo Santos et al. (2005) e a classificação dos mesmos foi feita com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006).

Para este estudo foram escolhidas áreas formadas pela associação de Latossolos e Cambissolos em uma mesma rampa. As amostras foram coletadas nos horizontes A, Bw ou Bi em trincheiras de cada solo e também nas profundidades de 0-30 e 30-60 cm, como pontos complementares.

Para a implantação das lavouras cafeeiras cultivar Catucaí Amarelo multilínea, foi realizado o preparo do solo com aração e gradagem, aproveitando-se as operações para incorporação de calcário e gesso agrícola, previamente aplicados, segundo recomendação para o estado de Minas Gerais (ALVAREZ et al., 1999). No preparo do sulco de plantio foi empregada cavadeira dotada de sistema rotativo, a qual revolve o solo numa faixa de 0,5 m de largura e 0,60 m de profundidade, realizando conjuntamente a mistura dos adubos previamente colocados na linha de plantio. No outono seguinte ao plantio foi feita a aplicação de gesso agrícola em superfície, na linha da cultura, em uma faixa de 0,5 m de largura. A operação seguinte foi a chegada de terra na linha da cultura, que cobre todo o gesso. As quantidades de corretivos e adubos utilizados nas épocas de plantio, formação e produção da lavoura, são apresentadas a seguir (Tabela 1).

**Tabela 1.** Quantidade de corretivos e adubos utilizados nas épocas de plantio, formação e produção da lavoura ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

Fonte	Cronograma de adubação ( $\text{kg ha}^{-1}$ )		
	1º ano	2º ano	3º ano
	Plantio	Cobertura	
Gesso agrícola <sup>1</sup>	2000	28000	-
Calcário dolomítico <sup>2</sup>	8000+1000	-	-
Superfosfato triplo	900	-	-
F.T.E. BR 155	100	-	-
F.T.E. BR 93	-	-	100
20-00-20 <sup>3</sup>	530	492	1700
Nitrato de amônio <sup>4</sup>	-	100	-
Monofosfato de amônio (MAP) <sup>5</sup>	40	-	-

Potencialidades e limitações...

SERAFIM, M. E. et al.

18-00-27 +0,2% de B	-	-	-	1700
Óxido Mg	-	-	100	-
KCl (pó)	-	-	100	-

<sup>1</sup>Gesso agrícola: 2.000 kg.ha<sup>-1</sup> em área total no preparo do solo e 28.000 kg.ha<sup>-1</sup> na linha da cultura; <sup>2</sup>Calcário dolomítico: 8.000 kg.ha<sup>-1</sup> no preparo do solo e 1.000 kg.ha<sup>-1</sup> no sulco de plantio; <sup>3</sup>20-00-20: Para a primeira adubação, que ocorre antes da primeira chuva, a fórmula é balanceada, utilizando como fonte de N o NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>. <sup>4</sup>Nitrato de amônio: aplicação em área total, sobre a cultura de cobertura; <sup>5</sup>MAP: Aplicação no momento do plantio.

Ao todo, foram estudadas seis glebas, situadas em duas fazendas. As amostragens para análises de fertilidade foram feitas na entrelinha do cafeeiro, nas áreas com a lavoura já instalada (L) e em áreas adjacentes sob vegetação nativa (N), sendo Cerrado *Stritu Sensu* nas áreas de Latossolo e Cambissolo latossólico e Campo Cerrado em área de Cambissolo. A seguir são apresentados os locais

de estudo, o nome da fazenda e a classe de solo, acompanhada da idade da lavoura, dos horizontes amostrados e da profundidade de amostragem (Tabela 2). Devido às variações de profundidade dos horizontes entre as áreas comparadas, a profundidade de amostragem foi fixada de acordo com a profundidade dos horizontes das áreas de lavoura.

**Tabela 2.** Identificação dos locais de estudo: classe de solo<sup>1</sup> com idade da lavoura, horizonte amostrado e profundidade de amostragem.

Fazenda	Classe/idade da lavoura <sup>1</sup>	Horizonte	Profundidade de amostragem (m)
Curimba	CXbd <sub>3,5</sub> <sup>2</sup>	Ap	0 a 0,2
Curimba	CXbd <sub>3,5</sub> <sup>2</sup>	Bi	0,5 a 0,75
Curimba	LVd <sub>3,5</sub>	Ap	0 a 0,22
Curimba	LVd <sub>3,5</sub>	Bw	0,65 a 1,23
AP 2	LVd <sub>0,5</sub>	Ap	0 a 0,25
AP 2	LVd <sub>0,5</sub>	Bw	0,9 a 1,5
AP 2	CXbd <sub>0,5</sub>	Ap	0 a 0,13
AP 2	CXbd <sub>0,5</sub>	Bi	0,13 a 0,26
AP 2	LVd <sub>1,5</sub>	Ap	0 a 0,29
AP 2	LVd <sub>1,5</sub>	Bw	1,2 a 1,75
AP 2	CXbd <sub>1,5</sub>	Ap	0 a 0,1
AP 2	CXbd <sub>1,5</sub>	Bi	0,1 a 0,31

<sup>1</sup> CXbd - Cambissolo Háplico Tb distrófico; LVd - Latossolo Vermelho distrófico; <sup>2</sup>CXbd<sub>3,5</sub> Cambissolo Háplico Tb distrófico latossólico.

Os dados de produtividade das lavouras em cada gleba estudada foram obtidos considerando-se a produção total de cada gleba.

As análises químicas de rotina incluíram pH, P e K disponíveis; Ca, Mg e Al trocáveis; conforme metodologia adotada pela Embrapa (1997). As considerações a respeito dos teores de nutrientes no solo e os valores recomendados para cultura do café foram feitos com base na 5ª aproximação para o estado de Minas Gerais (ALVAREZ et al., 1999).

A análise granulométrica foi feita pelo método da pipeta, segundo Day (1965). A densidade

do Solo (Ds) foi determinada conforme Embrapa (1997); o volume total de poros (VTP) foi determinado considerando o VTP igual à umidade de saturação, conforme Serafim (2008) e a microporosidade foi obtida a partir de amostras submetidas à tensão de 0,006 MPa (SEVERIANO et al., 2009), em unidade de sucção, conforme Embrapa (1997). O volume de macroporos do solo foi obtido da diferença entre volume total de poros e o volume de microporos.

A determinação do conteúdo de água nos diferentes potenciais aplicados para ajuste das curvas de retenção de água do solo foram obtidas

segundo Embrapa (1997), nas profundidades de 0,18 a 0,22 m e 0,38 a 0,42 m, denominadas, neste trabalho, de profundidade de 0,20 e 0,40 m, respectivamente. Utilizaram-se amostras com estrutura preservada, confinadas em anéis (0,064 m de diâmetro por 0,025 m de altura), coletadas em trincheiras, com 3 repetições. O ajuste das curvas de conteúdo volumétrico de água ( $\theta$ ), em função da tensão da água no solo ( $h$ ), foi conseguido empregando-se o modelo proposto por van Genuchten (1980), utilizando o software SWRC (DOURADO NETO et al., 2000).

A avaliação das condições estruturais do solo foi feita com base no parâmetro S (DEXTER, 2004a), pelo cálculo da inclinação do ponto de inflexão da curva de retenção de água, utilizando-se o modelo de van Genuchten (1980) conforme equação 1.

$$S = -n(\theta_{sat} - \theta_{res}) [1+1/m]^{-(1+m)} \quad (1)$$

em que  $m$  e  $n$  são parâmetros da equação de van Genuchten (1980) e  $\theta_{sat}$  e  $\theta_{res}$  são a umidade de saturação e a umidade residual, respectivamente.

Os dados quantitativos foram submetidos à análise de variância e, quando significativo, foi aplicado o teste de média, utilizando-se o software estatístico Sisvar (FERREIRA, 2000).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação entre os teores de nutrientes presentes no solo na condição de lavoura implantada e o solo sob condição natural indica uma redução das limitações químicas com o uso (Tabela 3), principalmente no horizonte A, devido as práticas de correções e adubações realizadas para implantação e manutenção da lavoura.

**Tabela 3.** Resultados das análises químicas das amostras de solo em profundidades selecionadas, coletadas na condição natural (N) e com a lavoura já instalada (L).

Classe/idade <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>	Prof. m	pH	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	H+Al	T	V	m
			H <sub>2</sub> O	mg dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>								
LVd <sub>3,5</sub>	L	0-0,22	7,0	2,3	168	7,2	1,3	8,9	0,0	1,7	10,6	80	0
	N		5,3	0,9	40	1,2	0,7	2,0	1,3	6,9	8,9	22	39
LVd <sub>3,5</sub>	L	0,65-1,23	5,1	0,9	93	1,6	0,6	2,4	0,5	7,0	9,4	26	17
	N		4,6	0,7	48	0,8	0,4	1,3	1,7	6,6	9,3	14	52
LVd <sub>1,5</sub>	L	0-0,29	6,0	4,6	343	3,6	1,7	6,2	0,1	2,9	9,1	68	2
	N		5,5	0,8	90	2,1	0,9	3,3	0,9	3,5	6,8	48	22
LVd <sub>1,5</sub>	L	1,2-1,75	5,0	0,9	22	0,3	0,4	0,7	0,2	3,2	3,9	19	22
	N		5,0	0,5	27	0,4	0,3	0,8	0,6	4,2	5,0	15	44
CXbdc <sub>3,5</sub>	L	0-0,2	6,0	2,3	300	3,0	1,4	5,2	0,2	3,6	8,8	59	4
	N		4,1	1,1	11	1	0,8	1,8	1,2	7,5	9,3	20	40
CXbdc <sub>3,5</sub>	L	0,5-0,75	5,4	0,4	16	1,5	0,8	2,3	0,5	3,2	5,5	42	18
	N		4,6	0,3	7	0,8	0,5	1,3	1,3	6,0	7,3	16	52
LVd <sub>0,5</sub>	L	0-0,25	5,7	1,7	121	3,2	1,6	5,1	0,2	4,0	9,1	57	4
	N		5,3	1,5	89	2,0	1,0	3,2	0,3	7,0	10,1	32	9
LVd <sub>0,5</sub>	L	0,9-1,5	5,0	0,6	12	0,2	0,1	0,2	0,4	3,6	3,9	8,0	55
	N		5,2	0,4	17	0,2	0,1	0,3	0,5	4,0	4,3	8	59
CXbd <sub>0,5</sub>	L	0-0,13	6,0	2,3	53	3,1	2,4	5,6	0,1	4,0	9,6	59	2
	N		4,7	1,0	60	0,3	0,2	0,7	2,4	7	7,7	9	77
CXbd <sub>0,5</sub>	L	0,13-0,26	5,1	0,9	28	0,2	0,3	0,6	1,6	5,6	6,2	9,2	74
	N		5,0	1,1	30	0,2	0,2	0,5	1,7	5,4	5,9	8,0	78
CXbd <sub>1,5</sub>	L	0-0,1	5,3	2,3	259	3,3	1,4	5,3	0,8	5,0	10,4	55	13
	N		4,9	0,9	55	0,2	0,1	0,4	2,4	10,3	10,7	4,0	85
CXbd <sub>1,5</sub>	L	0,1-0,31	5,0	0,9	86	0,1	0,1	0,4	2,2	8,8	9,2	4,6	84
	N		4,7	1,2	81	0,2	0,1	0,5	3,5	15,1	15,6	3,0	87

<sup>1</sup>classe de solo/idade da lavoura: CXbd - Cambissolo Háplico Tb distrófico, exceto CXbd<sub>3,5</sub> Cambissolo Háplico Tb distrófico latossólico; LVd - Latossolo Vermelho distrófico. <sup>2</sup>P: posição de amostragem, sendo L para lavoura instalada e N em área natural adjacente à lavoura. SB: soma de bases; T: capacidade de troca de cátions pH=7,0; V: saturação por bases; m: saturação por Al.

O horizonte Bw do Latossolo apresentou redução de limitação química nas lavouras com um

ano e meio e três anos e meio de idade, enquanto, na lavoura de meio ano, as alterações são pouco

perceptíveis, indicando que é necessário um tempo superior a meio ano da implantação da lavoura para que seja perceptível a movimentação de bases trocáveis no perfil do solo. No Cambissolo, a movimentação dos nutrientes no perfil aparenta ser ainda mais lenta, dado que os valores praticamente não se alteraram do momento do preparo do solo até o estágio da lavoura com um ano e meio. No Cambissolo latossólico, foram observados os mesmos efeitos do manejo que no Latossolo. Trata-se de um solo com atributos intermediários entre as duas classes principais deste trabalho. Estas classes têm algumas características e propriedades opostas, que são atenuadas neste solo intermediário. Como exemplo, pode-se citar a porosidade, abundante no Latossolo, reduzida no Cambissolo e próxima do desejável no Cambissolo latossólico.

Esta diferença no tempo de resposta às práticas de manejo entre Latossolo e Cambissolo, provavelmente, está relacionada ao menor fluxo vertical de água no segundo solo (menor infiltração e menor permeabilidade), em consonância com sua maior densidade do solo e menor volume total de poros (Tabela 4), além do seu declive mais acentuado (MENEZES et al., 2009), que reduz a possibilidade de a água infiltrar no solo. O encrostamento destes solos também reduz a infiltração de água (ALMEIDA; RESENDE, 1985), embora, neste caso, o uso de cultura de cobertura tem sido eficiente para evitar a formação de crosta e garantir um melhor aproveitamento da água precipitada.

**Tabela 4.** Caracterização física na linha (L) e na entrelinha (E), raízes no perfil do solo e descrição de cascalhos em áreas da região fisiográfica do Alto São Francisco (MG).

Classe <sup>1</sup> /idade	H. <sup>2</sup>	Profundidade m	Raízes	Silte	Argila g kg <sup>-1</sup>	Cascalho	Ds <sup>3</sup>		VTP <sup>4</sup>	
							g cm <sup>-3</sup>		cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	
							L	E	L	E
CXbd <sub>3,5</sub>	A	0-0,2	abundante	130	730	-	0,98	1,11	0,65	0,57
CXbd <sub>3,5</sub>	Bw	0,5-0,75	muitas	160	700	-	1,09	1,09	0,58	0,54
LVd <sub>3,5</sub>	A	0-0,22	abundante	90	740	-	0,81	0,99	0,64	0,58
LVd <sub>3,5</sub>	Bw	0,65-1,23	muitas	80	770	-	0,75	0,83	0,63	0,60
LVd <sub>0,5</sub>	A	0-0,25	Abundante	90	710	-	0,97	1,10	0,66	0,61
LVd <sub>0,5</sub>	Bw	0,9-1,5	muitas	120	760	-	1,01	1,04	0,63	0,59
CXbd <sub>0,5</sub>	A	0-0,13	abundante	200	670	90	0,98	1,29	0,65	0,52
CXbd <sub>0,5</sub>	Bi	0,13-,26	comuns	180	720	330	1,04	1,31	0,63	0,62
LVd <sub>1,5</sub>	A	0-0,29	abundante	70	680	-	0,86	1,00	0,66	0,62
LVd <sub>1,5</sub>	Bw	1,2-1,75	poucas	90	660	-	0,98	0,89	0,64	0,61
CXbd <sub>1,5</sub>	A	0-0,1	abundantes	220	560	460	0,89	1,34	0,63	0,58
CXbd <sub>1,5</sub>	Bi	0,1-0,31	muitas	200	580	560	0,92	1,38	0,61	0,57

<sup>1</sup> Classe do solo / idade da lavoura – anos: CXbd - Cambissolo Háplico Tb distrófico, exceto CXbd<sub>3,5</sub> Cambissolo Háplico Tb distrófico latossólico; LVd - Latossolo Vermelho distrófico. <sup>2</sup> Horizontes do solo; <sup>3</sup> Ds – densidade do solo; <sup>4</sup> VTP = volume total de poros

Os teores de P no solo eram muito baixos e permaneceram assim após a implantação da lavoura, já que este nutriente é adicionado à cova e a amostra foi coletada na entrelinha da cultura.

Para o potássio, os teores iniciais no solo são baixos para o Latossolo e o Cambissolo. No horizonte A do Latossolo, após a implantação da lavoura, os teores subiram para a classe boa e alta; já no horizonte Bw, o aumento não ocorreu em todos os locais, sendo pequenas as diferenças entre lavoura e mata, indicando lixiviação moderada desse nutriente. No horizonte A do Cambissolo, os teores de K subiram de baixo para o alto na lavoura de um ano e meio e para médio na lavoura de meio ano. No Cambissolo latossólico, o manejo teve efeito similar ao do Latossolo.

Houve um aumento considerável nos teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> no horizonte A de todos os solos, decorrente da calagem. Para o Latossolo e o Cambissolo latossólico foram observados aumentos desses nutrientes na camada subsuperficial analisada somente nas lavouras com mais de um ano e meio. Para o Cambissolo, não foram observados aumentos desses nutrientes no horizonte Bi.

Os Latossolos e o Cambissolo latossólico não apresentam limitação de profundidade efetiva para a cultura do cafeeiro e possuem adequada estrutura física, indicada por baixos valores de densidade do solo e elevada porosidade (Tabela 4). Na linha de plantio, devido ao preparo, foram observados os maiores valores de volume total de poros (VTP) e os menores de densidade do solo em

comparação à entrelinha, mesmo quatro anos e meio após o preparo, o que indica que nenhuma pressão substancial foi exercida sobre o solo na posição linha.

Observações de campo revelaram que, em áreas de Latossolos, lavouras manejadas com o sistema convencional apresentam, em média, sistema radicular até 0,6 m de profundidade (BARRETO et al., 2006). Já no sistema conservacionista, por ocasião da descrição morfológica dos perfis, foram encontradas raízes em profundidade superior a 2,0 m. Este aumento da profundidade explorada pelas raízes, passando de 0,6 para 2,0 m, indica um aumento de água disponível para as lavouras sob o sistema conservacionista (LIBARDI, 2000) e consequente, menor vulnerabilidade hídrica em períodos de seca e veranicos.

Na descrição morfológica do perfil de Cambissolo, foram observadas raízes do cafeeiro até 2,0 m, em lavouras de dois anos e meio, embora fossem raízes muito finas. Macroscopicamente, observou-se que o saprolito (horizonte CR) apresentava xistosidade preservada e marcante variação de tonalidade, indicadora da variação textural e mineralógica da rocha original (VARAJÃO et al., 2009). Essa heterogeneidade de material influenciando velocidades de intemperismo diferentes favorece o aparecimento de “veios” de solo em profundidade, o qual é explorado pelas raízes do cafeeiro, minimizando o estresse hídrico nos veranicos e no inverno.

O solo na posição linha em comparação à entrelinha apresenta menores valores numéricos de densidade do solo e maiores de porosidade total (Tabela 4), devendo apresentar papel semelhante àquele proposto pelo mulching vertical (DERNARDIN, 2008), que aumenta a infiltração, reduzindo o escoamento superficial. Isto é justificado pelo preparo do sulco de plantio até a

profundidade de 0,6 m, com 0,5 m de largura, adotado no sistema conservacionista em estudo.

Para o CXbd<sub>0,5</sub> de textura muito argilosa e CXbd<sub>1,5</sub> de textura argilosa, observou-se, no campo, um adensamento em comparação aos Latossolos e ao Cambissolo latossólico, em concordância com seus maiores valores de densidade do solo (Tabela 4). Na linha de cultivo, a até 0,6 m de profundidade, o preparo do solo reduziu a densidade do solo, constituindo um ambiente fisicamente mais favorável ao crescimento radicular, principalmente na fase inicial da lavoura.

Em subsuperfície do Cambissolo, embora a densidade do solo seja mais elevada, foram observadas raízes do cafeeiro até 1,80 m do perfil. Uma hipótese plausível para o crescimento destas raízes nesta profundidade foi a aplicação de gesso agrícola na linha da cultura, o qual reduz as limitações químicas em subsuperfície (RAIJ, 2008). Combinada a este efeito do gesso, salienta-se a posição do Cambissolo nos terços médio e inferior da paisagem, com topos de Latossolo. A água das chuvas infiltradas neste Latossolos do topo, parte deve caminhar por drenagem lateral interna, contribuindo para manter a umidade mais elevada no perfil do Cambissolo ao longo do ano (MENEZES et al., 2009). A umidade mais elevada reduz sua resistência à penetração de raízes (SERAFIM, 2008).

De acordo com o enquadramento dos solos no Sistema de Capacidade de Uso da Terra (LEPSCH et al., 1991), os Cambissolos pertencem à classe VIe-1,s-1-3-5,c-1, o que se deu em razão do risco de erosão devido à declividade do terreno (e-1) além de pequena profundidade efetiva (s-1), elevada quantidade de cascalho (s-3), baixa saturação por bases (s-5) e seca prolongada (c-1). Os Latossolos e o Cambissolo latossólico foram enquadrados na classe IIIc-1,s-5, sendo os principais fatores limitantes a seca prolongada (c-1) e a baixa saturação por bases (s-5) (Tabela 5).

**Tabela 5.** Classe de solo, estrutura do solo, fatores limitantes ao manejo e classificação das terras no sistema de capacidade de uso em seis glebas cultivadas com cafeeiro com idades variadas, na região fisiográfica do Alto São Francisco (MG).

Classe /idade	Estrutura <sup>2</sup>			Fator limitante <sup>3</sup>						Classe de capacidade de uso
	Tipo	Classe	Grau	p.e. <sup>4</sup> m	c. <sup>5</sup>	Drenagem	D <sup>6</sup> %	Erosão	E <sup>7</sup>	
CXbd3,5	Blocos angulares	Pequena	Fraca	> 2,1	m	Fortemente drenado	4 a 8	Não aparente	d	A IIIc-1,s-5
LVd3,5	Granular	Muito pequena	Forte	> 2,2	m	Fortemente drenado	9 a 14	Não aparente	d	A IIIc-1,s-5
LVd0,5	Granular	Muito pequena	Forte	> 2,0	m	Fortemente drenado	5 a 6	Não aparente	d	A IIIc-1,s-5

Potencialidades e limitações...

SERAFIM, M. E. et al.

CXbd0,5	Bloco angulares	Pequena e média	Moderada	0,38	a	Bem Drenado	20 a 30	Não aparente	d	VIe-1,s-1-3,c-1
LVd1,5	Granular	Muito pequena	Forte	> 1,75	m	Fortemente drenado	4 a 8	Não aparente	d	A IIIc-1,s-5
CXbd1,5	Bloco angulares	Media	Moderada	0,79	a	Bem Drenado	25 a 30	Não aparente	a	VIe-1,s-1-3,c-1

<sup>(1)</sup> Classe de Solo/idade da lavoura em anos: Cambissolo Háplico Tb distrófico (CXbd) exceto CXbd<sub>3,5</sub> Cambissolo Háplico Tb distrófico latossólico, Latossolo e Latossolo Vermelho distrófico (LVd). <sup>(2)</sup> Segundo critérios propostos por Santos et al. (2005). <sup>(3)</sup> Conforme Lepsch et al. (1991). <sup>4</sup>p.e.: profundidade efetiva; <sup>5</sup>c: classe textural em que m: muito argilosa e a: argilosa; <sup>6</sup>D: declividade do terreno; <sup>7</sup>E: específico, em que d: distrofismo e a: álico; .

De acordo com este sistema, os Latossolos e o Cambissolo latossólico aqui enquadrados como IIIc-1,s-5 são passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagens ou reflorestamento, mas, por causa de suas restrições naturais, necessitam de um tratamento intensivo para serem cultivados (LEPSCH et al., 1991). Esta limitação é restritiva à cultura do café, sendo recomendado o uso de irrigação complementar (SOUZA et al., 2003). Sob condições naturais, o uso das terras relacionadas aos Cambissolos aqui enquadrados como VIe-1,s-1-3-5,c-1, é restrito para pastagens, florestas artificiais e, eventualmente, culturas permanentes protetoras do solo. A dificuldade de mecanização, a pequena profundidade efetiva e a seca prolongada são restritivas à cultura do café (GUIMARÃES et al., 2002).

Analisando-se as curvas de retenção de água do solo (Figura 1) e os parâmetros da equação de Van Genuchten (Tabela 6), observa-se que na linha da cultura (L) existe maior amplitude entre os limites da umidade de saturação (relacionada à porosidade total do solo) e a umidade residual (água retida no potencial matricial de 1.500 kPa), em relação à entrelinha da cultura (EL), o que está relacionado ao preparo do solo no sulco.

A acentuada inclinação das curvas em Latossolos típicos indica um decréscimo abrupto no conteúdo de água disponível, o que é decorrente de sua estrutura granular, a qual tem a aparência de maciço poroso *in situ*. Isso gera duas classes de poros distintas, sendo uma formada por macroporos, que perdem água facilmente em baixas tensões e outra por microporos, capazes de reter a água fortemente (FERREIRA et al., 1999).

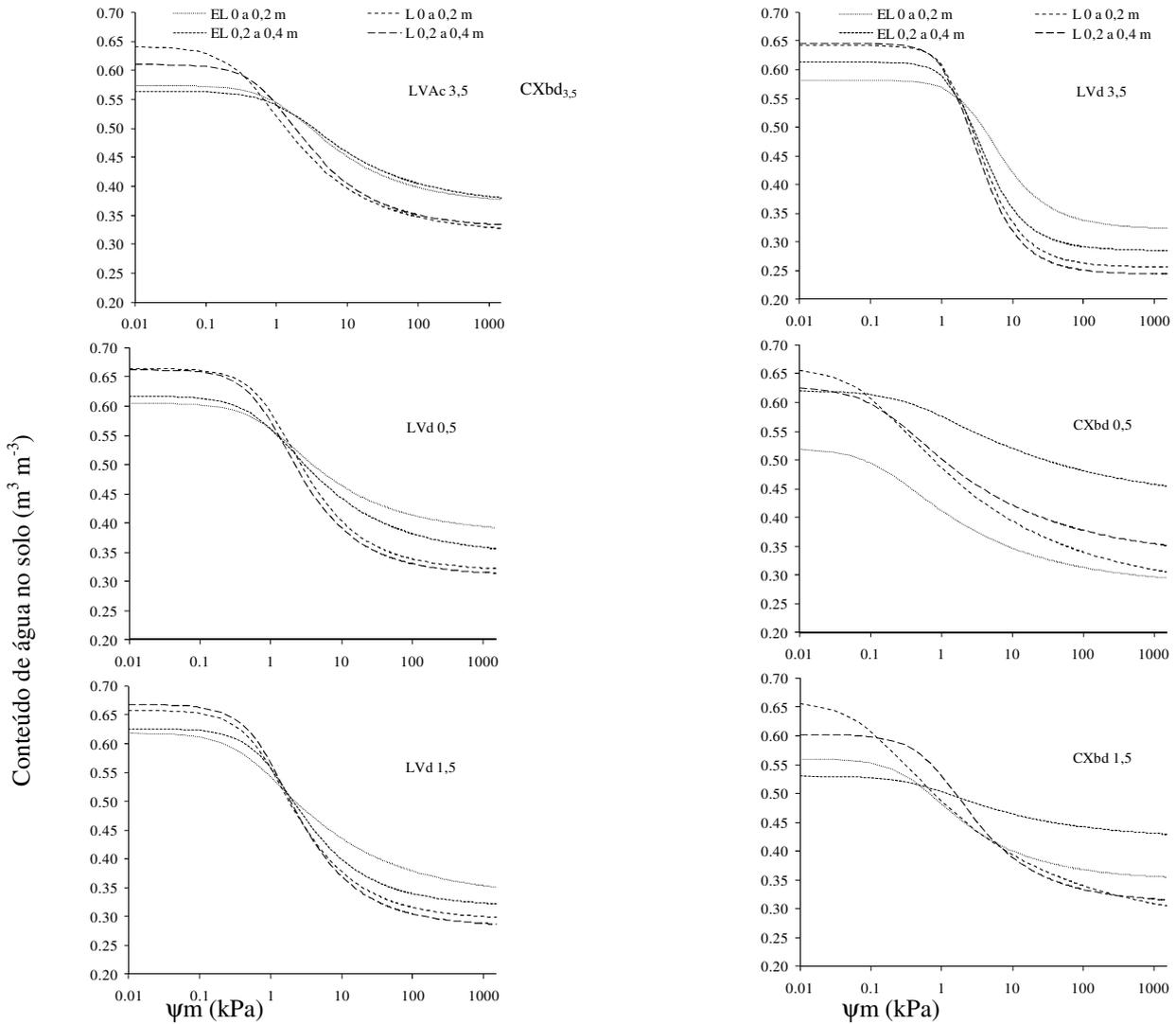
No Cambissolo e mesmo no Cambissolo latossólico, além de a amplitude total de água no solo ser menor que aquela observada nos Latossolos típicos, o que está relacionado ao seu menor VTP (Tabela 4), observa-se um decréscimo gradual do conteúdo de água, o que pode refletir em maior

disponibilidade hídrica para as plantas (CELIK et al., 2004).

No Cambissolo, comparando-se a posição linha com a entrelinha, na profundidade de 0,2 m, constata-se que a maior amplitude observada nos valores de capacidade de água disponível (CAD) foi para a linha (Tabela 6). Isto é atribuído à operação de uniformização dos materiais dos horizontes Bi e C que, misturados com o gesso e o material orgânico trazidos da entrelinha para linha na chegada de terra, podem estar agindo para a melhor disponibilidade de água neste solo, o que deve ser melhor estudado. Para a camada de 0,2 a 0,4 m, as diferenças não foram marcantes, indicando maior uniformidade deste atributo em profundidade.

Ainda com relação à disponibilidade hídrica, todos os solos estudados apresentaram valores de umidade de saturação ( $\theta_s$ ) significativamente maiores na linha em relação à entrelinha, na profundidade de 0 a 0,2 m (Tabela 6), o que está relacionado ao revolvimento e possível acúmulo da mistura gesso e material proveniente da decomposição da braquiária. Para os valores de  $\theta_r$ , observou-se o contrário.

Estes atributos favoráveis ao desenvolvimento da cultura refletiram no parâmetro  $S$  que, segundo Dexter (2004a), é o valor da inclinação da primeira inflexão da curva de retenção de água e pode ser considerado um adequado indicador de qualidade estrutural do solo. Todos os valores de  $S$  obtidos se encontram dentro da faixa  $0,035 \leq S \leq 0,35$ , indicando um solo com boa qualidade física para o desenvolvimento de plantas (DEXTER, 2004a).



**Figura 1.** Curvas de retenção de água do solo [conteúdo de água no solo ( $U$ ) em função do potencial matricial ( $\psi_m$ )], nas profundidades de 0,2 e 0,4 m de solos sob cafeeiro com idades de 0,5; 1,5 e 3,5 anos, na região fisiográfica do Alto são Francisco, MG. Cambissolo Háplico Tb distrófico (CXbd), Cambissolo Háplico Tb distrófico latossólico (CXbd<sub>3,5</sub>) e Latossolo Vermelho distrófico (LVd).

**Tabela 6.** Parâmetros da equação de Van Genuchten ( $\theta_s$ ,  $\theta_r$ ,  $a$ ,  $n$ ,  $m$ ), conteúdo de água do solo na capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ) e parâmetro  $S$ , para curvas de retenção de água em seis glebas cultivadas com cafeeiro.

Profundidade	Posição <sup>1</sup>	<sup>2</sup> $\theta_s$	<sup>3</sup> $\theta_r$	<sup>7</sup> $\theta_{cc}$	<sup>8</sup> CAD	<sup>9</sup> $S$	<sup>4</sup> $a$	<sup>5</sup> $n$	<sup>6</sup> $m$
m		$m^3 m^{-3}$							
CXbd <sub>3,5</sub>									
0,2	EL	0,57b <sup>10</sup>	0,37a	0,47a	0,10	0,045	0,74	1,445	0,308
0,2	L	0,64a	0,32b	0,42b	0,10	0,071	2,37	1,450	0,310
0,4	EL	0,56b	0,37a	0,48a	0,11	0,039	0,68	1,390	0,280
0,4	L	0,61a	0,33a	0,43b	0,10	0,070	1,15	1,531	0,347
LVd <sub>3,5</sub>									
0,2	EL	0,58b	0,32a	0,46a	0,14	0,086	0,30	1,818	0,450
0,2	L	0,64a	0,26b	0,38b	0,12	0,154	0,45	2,047	0,511
0,4	EL	0,61a	0,29a	0,40a	0,11	0,130	0,41	2,045	0,511
0,4	L	0,65a	0,24b	0,37a	0,13	0,160	0,49	2,046	0,511
LVd <sub>0,5</sub>									
0,2	EL	0,61b	0,38a	0,48a	0,10	0,046	1,10	1,413	0,292
0,2	L	0,66a	0,32b	0,43b	0,11	0,096	0,91	1,631	0,387
0,4	EL	0,62a	0,34a	0,46a	0,12	0,057	1,13	1,418	0,295
0,4	L	0,66a	0,31a	0,42a	0,11	0,096	1,08	1,617	0,382
CXbd <sub>0,5</sub>									
0,2	EL	0,52b	0,28a	0,36b	0,08	0,040	6,81	1,302	0,232
0,2	L	0,66a	0,27a	0,41a	0,14	0,056	10,70	1,242	0,195
0,4	EL	0,62a	0,42a	0,53a	0,11	0,026	2,55	1,213	0,175
0,4	L	0,63a	0,33b	0,44b	0,11	0,046	6,71	1,274	0,215
CXbd <sub>1,5</sub>									
0,2	EL	0,56b	0,35a	0,42a	0,07	0,036	2,37	1,450	0,310
0,2	L	0,66 <sup>a</sup>	0,27b	0,40a	0,13	0,056	10,70	1,242	0,195
0,4	EL	0,53b	0,40a	0,46a	0,06	0,035	1,85	1,309	0,236
0,4	L	0,60a	0,31b	0,41a	0,10	0,069	1,15	1,531	0,347
LVd <sub>1,5</sub>									
0,2	EL	0,62a	0,33a	0,45a	0,12	0,052	1,89	1,346	0,257
0,2	L	0,66a	0,29b	0,41b	0,12	0,095	1,24	1,580	0,367
0,4	EL	0,63a	0,32a	0,43a	0,11	0,080	1,00	1,574	0,365
0,4	L	0,67a	0,28b	0,40a	0,12	0,104	1,14	1,608	0,378

<sup>1</sup>Posição: EL – entrelinha; L – linha; <sup>2</sup> $\theta_s$  – umidade de saturação; <sup>3</sup> $\theta_r$  – umidade residual; <sup>4</sup> $\theta_{cc}$  – umidade na capacidade de campo; <sup>5</sup>CAD – capacidade de água disponível; <sup>6</sup> $S$  – parâmetro  $S$ ; <sup>7</sup> $a$  - ; <sup>8</sup> $n$  - ; <sup>9</sup> $m$  – parâmetros da equação de Van Genuchten ; <sup>10</sup>Médias seguidas de mesma letra na coluna, para uma mesma profundidade, não diferem entre si, pelo teste t, a 5% de probabilidade.

Os maiores valores de  $S$  encontrados na linha da cultura se devem ao efeito do preparo. Na entrelinha, menores valores de  $S$  se devem ao efeito do tráfego de máquinas (colheita, pulverização, roçada e outros), que provoca alteração estrutural no solo (ARAÚJO JUNIOR et al., 2008), somado à ausência de revolvimento.

Salienta-se que o uso da irrigação para cafeicultura no Cerrado, embora promissor, em

muitas propriedades rurais, encontra limitações de água disponível para esta prática (FIGUEREDO et al., 2008). Nesse sentido, o sistema conservacionista apresenta vantagens e cria condições para uma maior capacidade de infiltração de água. Assim, áreas de café manejadas com este sistema devem contribuir para a recarga de água (MENEZES et al., 2009).

A possibilidade de uso de áreas de Cambissolos, conforme as condições descritas para a cultura cafeeira, ainda carece de mais estudos e cautela nas recomendações. Contudo, produtores de outras culturas já vêm utilizando estes solos, com destaque para eucalipto (COSTA et al., 2009) e as lavouras de cana-de-açúcar (SEVERIANO et al., 2009), o que está relacionado aos avanços tecnológicos alcançados nos sistemas de manejo.

Os resultados dos atributos avaliados neste estudo permitem inferir que o uso dado às terras, superior ao proposto pelo sistema de capacidade de uso, não implica necessariamente em

depauperamento do solo. Pelo contrário, promoveu redução das limitações observadas nos solos sob condições naturais.

As produtividades das lavouras estudadas (Tabela 7) são superiores à média para o estado de Minas Gerais, que é de 28,6 sacas ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2009). Até o momento não foram observadas diferenças de produtividade entre as glebas e as classes de solo estudadas, possíveis de diferenciá-las quanto ao potencial de produção, embora os custos operacionais devam ser mais elevados no Cambissolo (Tabela 7).

**Tabela 7.** Produtividade de lavouras cafeeiras sob sistema conservacionista, com diferentes idades, classes de solos e localidades na região do Alto São Francisco MG.

Fazenda	Classe/idade da lavoura <sup>1</sup> ano	Implantação <sup>2</sup> ano	2008	2009	2010
			Saca 60 kg (beneficiada)		
Curimba	CXbd <sub>3,5</sub>	2005	50	51	44
Curimba	LVd <sub>3,5</sub>	2005	45	49	44
AP 2	LVd <sub>0,5</sub>	2007	-	-	77
AP 2	CXbd <sub>0,5</sub>	2007	-	-	50
AP 2	LVd <sub>1,5</sub>	2006	-	45	29
AP 2	CXbd <sub>1,5</sub>	2006	-	57	45

<sup>1</sup>CXbd - Cambissolo Háplico Tb distrófico, exceto CXbd<sub>3,5</sub> Cambissolo Háplico Tb distrófico latossólico; LVd - Latossolo Vermelho distrófico. Idade da lavoura no início do estudo; <sup>2</sup>Plantio nos meses de outubro e novembro dos respectivos anos.

## CONCLUSÕES

Os solos sob sistema conservacionista, particularmente em áreas de lavouras mais velhas, tiveram sua limitação de fertilidade (s-5) reduzida.

O sulcamento de plantio promoveu alterações positivas nos parâmetros físicos avaliados, incrementando o potencial de uso dos Cambissolos.

As limitações por pouca profundidade efetiva (s-1) e cascalho (s-3) das áreas de Cambissolo Háplico foram reduzidas pela abertura do sulco.

A limitação por seca prolongada (c-1) foi reduzida pela abertura do sulco, correção química do perfil e uso de cultura de cobertura.

## AGRADECIMENTOS

À Embrapa Café, pelo apoio financeiro ao projeto. Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq), pela concessão de bolsa aos autores. Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café. A EPAMIG, pelo apoio logístico e à Empresa Agropecuária Piumhi (AP), por permitir a instalação do experimento em sua área comercial, além do apoio às atividades de campo.

**ABSTRACT:** The Physiographic Area of the Upper San Francisco river valley (MG) has been expanding its coffee culture, demanding soil studies with the objective of selecting those more capable to rationalize their use and management. This work had as an objective, to evaluate the use potential and to quantify characteristics of soils cultivated with coffee plants managed under the system considered conservationist. We studied six tracts of land in which the morphological description and the pedological classification were conducted, besides the study of the soil physical and chemical characteristics, and classification of the lands according to their use capacity. The studied soils were classified as latossolic dystrophic Tb Haplic Cambisol (CXbd), dystrophic Red Latosol (LVd) and dystrophic Tb Haplic Cambisol (CXbd). The latossolic CXbd (Inceptisol) and LVd (Oxisol) were framed in the use capacity system as belonging to the

class IIIc-1,s-5 and CXbd belonging to the class VIe-1,s-1-3,c-1. The cultivation of coffee under the conservationist system promoted improvements in chemical and physical characteristics of the studied soils, further supported by field measurements that revealed higher development of the culture root system and reduction of the water deficit, besides a productivity increase. The results point to a higher use potential of the soils under conservationist system in comparison with that recommended by the use capacity system.

**KEYWORDS:** Land use capacity. Soil physical and chemical indicators. Coffee.

---

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. R.; RESENDE, M. Considerações sobre o manejo de solos rasos desenvolvidos de rochas pelíticas no Estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 128, p. 19-26, 1985.
- ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.
- ARATANI, R. G.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um latossolo vermelho acriférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 677-687, 2009.
- ARAÚJO-JUNIOR, C. F.; DIAS JUNIOR, M. S.; GUIMARAES, P. T. G.; PIRES, B. S. Resistência à compactação de um Latossolo cultivado com cafeeiro, sob diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 23-32, 2008.
- BARRETO, C. V. G.; SAKAI, E.; ARRUDA, F. B.; SILVA, E. A.; PIRES, R. C. M. Distribuição espacial do sistema radicular do cafeeiro irrigado por gotejamento em Campinas. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 4, p. 641-647, 2006.
- BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B. Erosão entressulcos em diferentes condições de cobertura vegetal de solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 565-573, 2006.
- CELIK, I.; ORTAS, I.; KILIC, S. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 78, p. 59-67, 2004.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/>. Acesso em: 30 de out. 2009.
- COSTA, A. M.; CURI, N.; MENEZES, M. D.; ARAÚJO, E. F.; MARQUES, J. J. Levantamento detalhado de solos da microbacia hidrográfica do horto florestal Terra Dura (RS) e considerações sobre escalas de mapeamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1272-1279, 2009.
- CURI, N.; CHAGAS, C. S.; GIAROLA, N. F. B. Distinção de ambientes agrícolas e relações solo-pastagens nos Campos da Mantiqueira (MG). In: EVANGELISTA, A. R.; CARVALHO, M. M.; CURI, N. (Ed.). **Desenvolvimento de pastagens na zona fisiográfica Campos das Vertentes MG: reunião de trabalho sobre pastagens nativas e desenvolvimento de pastagens para o gado de leite das zonas dos Campos Vertentes**. Lavras: ESAL/EMBRAPA, 1994. p. 21-43.
- DAY, P. R. Particle fractionation and particle size analyses. In: BLACK, C. A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Madison: ASA, 1965. v. 1, p. 545-546.

- DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A.; SATTLER, A.; MANHAGO, D. D. "Vertical mulching" como prática conservacionista para manejo de enxurrada em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2847-2852, 2008.
- DENARDIN, J. E.; FREITAS, P. L. Características fundamentais da chuva no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 10, p. 1409-1416, 1982.
- DEXTER A.R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v. 120, n. 3-4, p. 201-214, 2004.
- DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. Software to model soil water retention curves (swrc, version 2.00). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 191-196, 2000.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Brasília, Produção de Informação, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Brasília, Produção de Informação, 2006. 306p.
- FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4. 0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.
- FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURTI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 515-524, 1999.
- FIGUERÊDO, S. F.; POZZEBON, E. J.; FRIZZONE, J. A.; AZEVEDO, J. A.; GUERRA, A. F.; SILVA, E. M. Gerenciamento da irrigação do feijoeiro baseado em critérios técnicos e econômicos no Cerrado. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 3, p. 378-391, julho-setembro, 2008.
- GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; SOUZA, C. A. S. (Ed). **Cafeicultura**. Lavras, MG: UFLA/FAEPE, 2002. 317p.
- LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI, JR., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4ª aproximação, 2ª impressão revisada. Campinas: SBCS, 1991. 175p.
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba, O Autor, 2000. 509p.
- MARTORANO, L. G.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; FARIA, R. T.; MIELNICZUK, J.; COMIRAN, F. Indicadores da condição hídrica do solo com soja em plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 397-405, 2009.
- MENEGASSE, L. N.; GONÇALVES, J. M.; FANTINEL, L. M. Disponibilidades hídricas na Província Cárstica de Arcos-Pains-Doresópolis, Alto São Francisco, Minas Gerais, Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**. São Paulo, v. 16, n. 1, p. 1-19, 2002.
- MENEZES, M. D.; JUNQUEIRA JÚNIOR, J. A.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; CURTI, N.; MARQUES, J. J. Dinâmica hidrológica de duas nascentes, associada ao uso do solo, características pedológicas e atributos físico-hídricos na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha – Serra da Mantiqueira (MG). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 82, p. 175-184, jun. 2009.
- RAIJ, B. VAN. **Gesso na agricultura**. Campinas, Instituto Agrônomo, 2008. 233p.

- RESENDE, M.; CURI, N.; LANI, J. L. Reflexões sobre o uso dos solos brasileiros. In: ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. C. (Org.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, SBCS, 2002. v. 2, p. 593-644.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia: Base para distinção de ambientes**. 5.ed. Lavras, UFLA, 2007. 322p.
- SAAD, A. **Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais**. 1991. 285 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 1991.
- SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, U. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 92p.
- SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; KLAMT, E. **Classificação da aptidão agrícola das terras: um sistema alternativo**. Guaíba, Agrolivros, 2007. 72p.
- SERAFIM, M. E.; VITORINO, A. C. T.; PEIXOTO, P. P. P.; SOUZA, C. M. A.; CARVALHO, D. F. Intervalo hídrico ótimo em um latossolo vermelho distroférico sob diferentes sistemas de produção. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 654-665, 2008.
- SERAFIM, M. E.; OLIVEIRA, G. C.; OLIVEIRA, A. S.; LIMA, J. M.; GUIMARÃES, P. T. G.; COSTA, J. C. Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na região do Alto São Francisco, MG: Um estudo de caso. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, n.6, p.964-977, 2011.
- SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; CURI, N.; DIAS JUNIOR, M. S. Potencial de uso e qualidade estrutural de dois solos cultivados com cana-de-açúcar em Goianésia (GO). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 159-168, 2009.
- SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LIMA, J. M.; AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1223-1230, 2005.
- SOUZA, E. A.; COELHO E. F.; PAZ V. P. S.; DA SILVA, T. S. M. Distribuição da umidade em um Latossolo irrigado por gotejamento superficial e subsuperficial e enterrado, com uso de TDR. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 13., 2003, Juazeiro. **Anais...** Viçosa: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 2003. CD-ROM.
- STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; HORN, R. Relações do parâmetro S para algumas propriedades físicas de solos do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2603-2612, 2008.
- VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 5-6, p. 892-897, 1980.
- VARAJAO, C. A. C.; SALGADO, A. A. R.; VARAJÃO, A. F. D. C.; BRAUCHER, R.; COLI, F.; NALINI Jr, H. A. Estudo da evolução da paisagem do quadrilátero ferrífero (Minas Gerais, Brasil) por meio da mensuração das taxas de erosão (10be) e da pedogênese. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1409-1425, 2009.