



MILSON EVALDO SERAFIM

**SISTEMA CONSERVACIONISTA E DE
MANEJO INTENSIVO NA MELHORIA DE
ATRIBUTOS DO SOLO PARA A CULTURA DO
CAFEEIRO**

LAVRAS – MG

2011

MILSON EVALDO SERAFIM

**SISTEMA CONSERVACIONISTA E DE MANEJO INTENSIVO NA
MELHORIA DE ATRIBUTOS DO SOLO PARA A CULTURA DO
CAFEIEIRO**

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 a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Geraldo Cesar de Oliveira

LAVRAS – MG

2011

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Serafim, Milson Evaldo.

Sistema conservacionista e de manejo intensivo na melhoria de atributos do solo para a cultura do cafeeiro / Milson Evaldo Serafim. – Lavras : UFLA, 2011.

119 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: Geraldo César de Oliveira.

Bibliografia.

1. Capacidade de uso da terra. 2. Conservação do solo. 3. Física do solo. 4. Conservação da água. 5. Déficit hídrico. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.43

MILSON SEVALDO SERAFIM

**SISTEMA CONSERVACIONISTA E DE MANEJO INTENSIVO NA
MELHORIA DE ATRIBUTOS DO SOLO PARA A CULTURA DO
CAFEIRO**

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 a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 22 de março de 2011.

Dr. José Maria de Lima

DCS/UFLA

Dr. Nilton Curi

DCS/UFLA

Dr. Antônio Carlos Tadeu Vitorino

FCA/UFGD

Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães

CTSM/EPAMIG

Dr. Geraldo Cesar de Oliveira
Orientador

**LAVRAS – MG
2011**

A Deus, fonte de sabedoria.

AGRADEÇO

Minha esposa, Leonarda.

Aos meus pais, Aninha e Getulio.

*Meus irmãos Márcio, Márcia, Maura, Mauro, Magno, Mário e Marcela,
motivação constante para todos os projetos de vida.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus...

Ao Departamento de Ciência do Solo (DCS/UFLA), pela oportunidade.

A FAPEMIG e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café – INCT, pelo suporte financeiro e ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Geraldo Cesar de Oliveira, pela acolhida, pela orientação desafiadora e empolgante, e pela porta da sala sempre aberta (literalmente).

À empresa AP, que deu apoio financeiro e logístico.

A todos os professores do DCS, em especial José Maria, Nilton Curi, Moacir, Luiz Roberto, Janice Guedes, Valdemar Faquin e Yuri, Mozart, que deram suas contribuições neste projeto.

À banca examinadora, que atenderam prontamente.

A todos os funcionários do Departamento de Ciência do Solo.

À equipe do projeto, sempre com uma convivência harmoniosa e sem medir esforços para garantir o bom andamento dos trabalhos: Vico, Carla, Bruno Montoani, Matheus Arantes, Eliza e Samara.

Ao pesquisador da EPAMIG Paulo Gontijo Guimarães, sempre solícito para sanar nossas dúvidas, e ao Técnico da EPAMIG, Mario Lúcio, sempre motivado e bem disposto nas viagens a campo, pela paciência, bom humor, ouvindo e contando os infindáveis “causos e prosas” que preenchiam as infindáveis viagens deste projeto.

Aos amigos de curso Fábio Ono, Karine, Vico, Carla, Bruno Montoani, Eduardo, Ciro, Vitória. Michele, Ciro, Bruno Pires, Rodrigo, Waldete, Jerusa, Bárbara, Plínio e Sadjo, pela amizade e conhecimentos compartilhados.

Aos familiares Tereza, Alberto, Vanessa, Luisa, Mayara e aos amigos Vanda, Antonio e Alexandra, sempre com animadas visitas.

MUITO OBRIGADO!

"Se enxerguei longe, foi porque me apoiei nos ombros de gigantes"

Isaac Newton

Carta para Robert Hooke (15 de fevereiro de 1676)

RESUMO

O avanço da cafeicultura para a região do Cerrado Brasileiro foi motivado, dentre outros, pelo menor custo da terra e topografia favorável à mecanização. Como dificuldades, citam-se solos com baixa fertilidade natural; regime pluvial mal distribuído, agravado por veranicos prolongados no período chuvoso e escassez de água para irrigação em muitas propriedades. Inovações são sempre buscadas para que estas limitações sejam minimizadas. O estudo foi realizado com os objetivos de realizar a caracterização de um sistema conservacionista e de manejo intensivo de adubação e preparo do solo, para o cultivo de cafeeiros na região fisiográfica do Alto São Francisco e avaliar o potencial de uso e a quantificação de atributos físico-hídricos de solos cultivados com cafeeiro em áreas comerciais, manejados sob este sistema, o qual se propõe a minimizar as limitações edafoclimáticas do Cerrado. O sistema foi desenvolvido por produtores e técnicos da região fisiográfica do Alto São Francisco, MG e vem sendo adotado por muitos cafeicultores dos municípios de São Roque de Minas, Vargem Bonita e Piumhi, além de outras regiões dos estados de Minas Gerais e São Paulo. É caracterizado pela aplicação de gesso na dose de 7 kg m^{-1} na linha do cafeeiro e pelo cultivo de braquiária na entrelinha; stand médio com $5.500 \text{ plantas ha}^{-1}$; sulco de plantio com $0,5 \text{ m}$ (largura) e $0,6 \text{ m}$ (profundidade), seguido da incorporação de adubos e corretivos; plantio no mês de outubro; uso de variedades de porte baixo (Catucaí Amarelo); uso de tração animal (roçada, aplicação de defensivos e adubações) e rigoroso controle do estado nutricional das plantas. A adoção do sistema nas fazendas estudadas tem resultado em lavouras produtivas com média de 49 sacas ha^{-1} . As lavouras estudadas foram implantadas em áreas recobertas por LVd e CXbd. As áreas de Latossolos e Cambissolo latossólico foram enquadradas, no Sistema Brasileiro 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 cafeeiros sob o sistema em estudo promoveu melhorias em atributos químicos e físico-hídricos dos solos, trazendo benefícios, como melhor desenvolvimento do sistema radicular das plantas, redução do déficit hídrico e aumento na produtividade da cultura por diminuir as limitações. O sistema de manejo tem proporcionado aos solos um uso superior àquele recomendado pelo sistema de capacidade de uso, sem comprometimento aparente dos recursos naturais. A abordagem técnico-científica dada neste estudo considera positiva a adoção do sistema, desde que acompanhada de abordagem econômica, objetivando atender a produtores de diferentes níveis tecnológicos.

Palavras-chave: Conservação do solo e da água; cultura de cobertura; redução de déficit hídrico; uso eficiente de água; qualidade física do solo.

ABSTRACT

The progress of coffee cropping for the Brazilian Savannah region has been motivated by lower land costs and topography favorable to mecanization, among others. Difficulties mentioned include soils with low natural fertility, poorly distributed rainfall patterns worsened by lingering dry spells in the rainy period, and the shortage of water for irrigation on many rural properties. The objectives of this study were the characterization of an intensive coffee plant cultivation system in the Physiographic Region of the Upper San Francisco River Valley; the evaluation of the soil use potential there and the quantification of the hydro-physical characteristics of soil cultivated with coffee plants in commercial areas, managed under this system, which proposes to minimize the edaphoclimatic limitations of the Savannah. The system that was developed by producers and technicians of the Physiographic Area of Upper San Francisco River Valley, MG, has been adopted by coffee growers of the municipal districts of São Roque de Minas, Vargem Bonita and Piumhi, besides other areas in the states of Minas Gerais and São Paulo. The system is characterized by the application of 28 t ha⁻¹ of gypsum in the row of coffee plant; *Brachiaria* cultivation in between rows; stand with an average of 5,500 plants ha⁻¹; planting furrow with 0.5 m (width) and 0.6 m (depth) followed by the incorporation of fertilizers and correctives; planting in the month of October; use of short stature varieties (Catucaí Amarelo); use of animal traction (mowing; pesticide application and fertilizing), and rigorous control of the nutritional state of the plants. The adoption of the system on the studied farms has resulted in productive plantations with an average of 49 coffee sacks ha⁻¹. The studied plantations were implanted in areas covered by LVd and CXbd. The Latosol and latossolic Cambisol were framed in the Brazilian Use Capacity System as belonging to the class IIIc-1,s-5 and Cambisols belonging to the class VIe-1,s-1-3,c-1. The cultivation of coffee plants under the system under study promoted improvements in chemical and hydro-physical characteristics of the soils, resulting in benefits such as better plant root system development; water deficit reduction, and an increase in the productivity of the culture. The management system has been providing a soil use superior to that recommended by the use capacity system, without apparent compromising of the natural resources. The scientific-technical approach given in this study considers the adoption of the system positive, provided it is accompanied by an economic approach aiming to assist producers of different technological levels.

Key words: soil and water conservation, reduction of water deficit; water use efficiency, soil physical quality.

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	10
1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Generalidades	11
1.2	Objetivos	15
1.3	Organização da tese	15
2	CONSIDERAÇÕES GERAIS	16
	REFERÊNCIAS	28
	SEGUNDA PARTE – ARTIGOS	20
	ARTIGO 1 Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na Região do Alto São Francisco, MG: estudo de caso	21
1	INTRODUÇÃO	24
2	CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
	ARTIGO 2 Potencialidades e limitações de uso de Latossolos e Cambissolos sob sistema conservacionista em lavouras cafeeiras	58
1	INTRODUÇÃO	61
2	MATERIAL E MÉTODOS	64
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
4	CONCLUSÃO	86
	LITERATURA CITADA	87
	ARTIGO 3 Qualidade física e intervalo hídrico ótimo em um Latossolo e um Cambissolo cultivados com cafeeiro sob sistema conservacionista	92
1	INTRODUÇÃO	95
2	MATERIAL E MÉTODOS	96
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	102
4	CONCLUSÃO	116
	LITERATURA CITADA	117

PRIMEIRA PARTE

**SISTEMA CONSERVACIONISTA E DE MANEJO INTENSIVO NA
MELHORIA DE ATRIBUTOS DO SOLO PARA A CULTURA DO
CAFEIRO**

1 INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades

Com a expansão do parque cafeeiro do Brasil para a região do Cerrado, iniciada na década de 1970 e com um grande aumento na década de 1990 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2010), atualmente, grande parte das lavouras está implantada em solos que apresentam sérias limitações, de ordem química e nutricional, ao desenvolvimento normal das raízes (GUIMARÃES, 1992), inclusive em subsuperfície (RAIJ, 1988). Essas limitações tornam as lavouras susceptíveis a déficits hídricos e incapazes de absorver água em maiores profundidades no solo, por terem pouco desenvolvimento do sistema radicular. Entre as limitações, destaca-se a toxidez de alumínio.

A aplicação de gesso na superfície do solo, seguida por redistribuição para o subsolo ácido, resulta em melhor crescimento radicular e maior aproveitamento de água pelas raízes das plantas (CARVALHO; RAIJ, 1997). Tendo em vista o elevado percentual de solos ácidos e profundos, no Brasil o gesso deve ser considerado, potencialmente, como solução para os problemas relacionados com escassez de água para as plantas, particularmente na região dos Cerrados.

O cafeeiro, por possuir potencial para o crescimento de sistema radicular extenso e profundo, chegando a 200 cm de profundidade, mediante a aplicação de gesso (GUIMARÃES, 1992), é uma cultura potencial para receber a gessagem, devendo responder com aumento da produtividade.

A resposta do cafeeiro a melhoria química propiciada pela aplicação do gesso é realçada quando acompanhada de outras práticas de manejo, como adubação adequada, tratos fitossanitários, manutenção de cultura de cobertura na

entrelinha, entre outras. A cultura de cobertura merece destaque por preservar a fertilidade do solo e agir positivamente sobre as suas propriedades físicas, químicas e biológicas (COSTA, 1993).

O uso de mulching e a implantação de vegetação de cobertura auxiliam na conservação da umidade do solo, por se constituir em uma barreira física à transferência de energia e vapor d'água entre o solo e a atmosfera (ANTUNES, 1986). A cultura de cobertura e a manutenção dos seus restos culturais na superfície do solo podem encerrar benefícios, como diminuição das variações de temperatura do solo; redução das perdas por erosão; maior retenção de água; aumento dos rendimentos dos cultivos agrícolas, além de diminuir a evaporação de água e o escoamento superficial, elevando a taxa de infiltração de água do solo (BRAGAGNOLO; MIELNICZUCK, 1990).

Os efeitos positivos de gramíneas do gênero *Brachiaria* na cobertura e na melhoria física do solo são destacados por vários autores, ganhando ênfase na literatura recente do país (ALVES; SUZUKI, 2007; CAVALLINE et al., 2010; LIMA et al., 2004; SALTON et al., 2008; SANCHES, 1998). Contudo, estes efeitos dependem do bom estabelecimento da gramínea, com elevada produção de biomassa aérea e radicular (LEÃO et al., 2004; SALTON et al., 1998).

Fidalski (2004), avaliando atributos físico-hídricos do solo com gramínea, sob rodado e enterrado na entrelinha de citrus, concluiu não haver necessidade de revolvimento do solo naquela condição. Os autores constataram uma melhoria da qualidade física do solo sob o rodado, o que assegura menor densidade e melhoria na capacidade de aeração e armazenamento de água, apontando grande potencial desse sistema para melhorar a estrutura do solo.

Considera-se que a quantidade de água retida no solo é tanto maior quanto mais profunda a camada considerada. Uma forma de aumentar o aproveitamento do potencial do solo em fornecer água para as plantas é procurar conduzir o sistema radicular para estas camadas. Objetivando maior tolerância

do café a déficits hídricos, Kupper (1981) sugere que a lavoura seja implantada preferencialmente em solos com profundidade efetiva acima de 120 cm, desde que tenha textura variando de média a argilosa.

O sistema de cultivo conservacionista testado neste estudo é caracterizado pela aplicação de 7 kg m^{-1} de gesso na linha da cultura, em uma faixa de 0,5 m de largura e cultivo de braquiária na entrelinha dos cafeeiros. Outros pontos marcantes do sistema são: plantio semiadensado, com estande médio de 5.333 plantas por hectare; preparo do sulco de plantio com revolvimento e correção da fertilidade do solo até 60 cm de profundidade; plantio antecipado, na segunda quinzena de outubro e primeira quinzena de novembro; uso de variedades de café de porte baixo e uso de tração animal na realização dos tratos culturais (roçada, aplicação de defensivos e adubação entre outros), além de monitoramento do estado nutricional das plantas e manejo das adubações com base em análise foliar periódica.

A recomendação do sistema está embasada em observações dos próprios produtores, que indicam sua capacidade de promover elevado aporte de matéria orgânica na superfície do solo; cobertura permanente do solo; elevada reciclagem de nutrientes; aumento da capacidade de infiltração de água no solo; redução de erosão em áreas declivosas; melhoria química do ambiente radicular pela aplicação de altas doses de gesso, calcário e adubação, o que propicia elevado crescimento radicular em profundidade e rápido estabelecimento das mudas, favorecido também pela maior profundidade do sulco de plantio.

É importante destacar que, a exemplo do que ocorreu no Brasil com o sistema de plantio direto e com a integração lavoura-pecuária, sem desconsiderar as peculiaridades de cada sistema, a expansão da pesquisa sobre este sistema conservacionista só vem ocorrendo após a difusão e a adoção da tecnologia por agricultores tecnificados. O sistema em estudo vem sendo empregado por vários produtores da região alto são Francisco e Campos das Vertentes, citando-se os

municípios de Piumhi, Vargem Bonita, São Roque de Minas, Bambuí e Santo Antônio do Amparo.

Apesar dos notáveis resultados positivos obtidos na fase de formação e produção de lavouras, implantadas em áreas distintas quanto à topografia, profundidade do solo e textura, ainda faltam informações no que diz respeito a aspectos físicos, químicos, mineralógicos e mecânicos do solo. Essas informações ajudariam a explicar algumas diferenças que vêm sendo encontradas nos diferentes ambientes em que o sistema tem sido adotado, além de esclarecer dúvidas no que diz respeito à provável lixiviação de nutrientes pelo uso elevado de gesso agrícola.

Neste contexto de ambientes pedológicos variados, o sistema AP Romero vem sendo adotado por vários produtores com crescente repercussão. Materiais de divulgação do sistema AP Romero podem ser facilmente encontrados por meio de buscas em meios digitais, inclusive em sites oficiais, como Embrapa e Inpe, entre outros. Como exemplos citam-se os seguintes endereços eletrônicos, consultados em 20/02/2009 e com nítido aumento em 2011:

<http://www.apagricola.com.br/?pag=apromero>;

<http://agronelli.locaweb.com.br/default.asp>;

<http://www23.sede.embrapa.br:8080/aplic/cafenews.nsf/>

http://www.nutrition.com.br/Nutrition_FAQGesso.asp?page=2;

<http://www.cptec.inpe.br/cgi-bin/webpub/noticia.cgi?8732>;

Destacam-se também os programas de TV que já apresentaram reportagens sobre o assunto, entre os quais se pode citar: Programa Globo Rural da Rede Globo de Televisão; Programa MG Rural da TV GloboMinas, afiliada da rede Globo de televisão; afiliadas da TV Cultura do Sul de Minas e programação do Canal Rural.

Há, entretanto, carência de informações para se validar e ou ajustar o sistema de manejo, de modo que sua difusão aconteça em bases científicas.

1.2 Objetivos

Este trabalho foi realizado com os seguintes objetivos:

a) sistematizar informações sobre o sistema conservacionista de manejo intensivo de adubação e preparo para o cultivo de cafeeiros proposto por cafeicultores e técnicos da região fisiográfica do Alto São Francisco e que vem sendo difundido nesta região;

b) avaliar as potencialidades e as limitações desse sistema em diferentes classes de solos da região fisiográfica do Alto São Francisco para o cultivo de cafeeiro sob sistema conservacionista de cultivo;

c) avaliar o efeito do sistema conservacionista na qualidade física do solo sob o sistema de cultivo conservacionista e seus efeitos na disponibilidade hídrica do solo para o cafeeiro.

1.3 Organização da tese

O trabalho está dividido em duas partes, sendo a primeira composta de uma introdução geral e a segunda, de três artigos.

No primeiro artigo apresentam-se uma revisão bibliográfica sobre o sistema conservacionista de cultivo de cafeeiro e a relação das principais práticas de manejo que compõem o sistema com a ciência do solo. Este artigo substitui o referencial teórico obrigatório na tese, tendo sido formatado para atender às normas de publicação em revista científica. Sua proposta é a apresentação detalhada do sistema, feita a partir da vivência da equipe de

trabalho em conjunto com o produtor proponente do sistema e visa trazer para discussão científica as bases do sistema, fomentando a discussão a respeito da viabilidade do mesmo no meio acadêmico.

No segundo artigo é feita a descrição dos solos estudados, sob a ótica das potencialidades e limitações das diferentes classes para o cultivo do cafeeiro. Neste artigo é apresentada a descrição pedológica e mineralógica dos solos, e estimada a sua capacidade de uso, antes e depois da adoção do sistema conservacionista de cultivo.

No último artigo é feita a avaliação da qualidade física de duas unidades de solos sob sistema conservacionista de cultivo de cafeeiros. Esta avaliação se justifica, principalmente, pelo caráter inovador do sistema, que ainda não havia sido avaliado.

Todos os trabalhos que compõem esta tese foram desenvolvidos em áreas de cultivo comercial de cafeeiro. A opção por trabalhar em áreas comerciais já manejadas com o sistema decorre, principalmente, de dois motivos: 1) aproveitar as situações já existentes de modo a diminuir o tempo para estudo do sistema e 2) explorar a condição real de campo.

2 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A condição especial em que se encontra parte da cafeicultura da região fisiográfica do Alto São Francisco, com resultados de produtividade acima da média regional, é decorrente da evolução dos sistemas de cultivo, com introdução de novas práticas de manejo, que apresentam potencial para mitigar limitações edafoclimáticas para o cafeeiro na região.

O sistema de manejo intensivo do cafeeiro nessa região ainda é incipiente, demandando a continuidade dos estudos para assegurar respostas a

respeito da longevidade das lavouras, especialmente nos solos “rasos”, além de sustentabilidade ambiental e econômica do sistema.

Os resultados obtidos em dez anos, tempo o sistema foi criado, permitem inferir que as práticas de manejo que o compõem convergem para uma desejável sustentabilidade ambiental, assegurando particularmente a conservação do solo e da água.

O sistema de manejo intensivo, observado particularmente em áreas de lavouras mais velhas, tem promovido melhoria da qualidade do solo, como aumento da fertilidade e dos teores de matéria orgânica, aumento da disponibilidade hídrica e da conservação e melhoria da qualidade física do solo.

Trata-se de um sistema inovador, cuja história pode ser comparada à de sistemas consagrados no Brasil, a exemplo do sistema de plantio direto e integração lavoura-pecuária, respeitando-se as particularidades de cada sistema. Em comum, estes sistemas foram primeiramente propostos por produtores e técnicos, sem pesquisas prévias e só então, após bons resultados, despertou a atenção da comunidade científica. No cenário atual, o sistema abordado neste estudo chama a atenção pelos princípios conservacionistas e de manejo do solo e da água adicionado às elevadas produtividades alcançadas.

REFERÊNCIAS

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 617-625, jul./ago. 2007.

ANTUNES, F. Z. Caracterização climática do estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 138, p. 9-14, ago. 1986.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por resíduos de oito seqüências de culturas e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 91-98, jan./fev. 1990.

CARVALHO, M. C. S.; RAIJ, B. van. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. **Plant and Soil**, The Hague, v. 192, n. 1, p. 37-48, Jan. 1997.

CAVALLINI, M. C. et al. Relações entre produtividade de *Brachiaria brizantha* e atributos físicos de um Latossolo do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 4, p. 1007-1015, jul./ago. 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: café, safra 2010, segunda estimativa, maio 2010**. Disponível em:
<<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/ab115d6fec883315856bfb3f57bc7a0a.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2010.

COSTA, M. B. B. da. **Adubação verde no sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. 346 p.

FIDALSKI, J. **Propriedades físico-hídricas de um Argissolo Vermelho distrófico latossólico em diferentes sistemas de manejo das entrelinhas de citros.** 2004. 62 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2004.

GUIMARÃES, P. T. G. O uso do gesso agrícola na cultura do cafeeiro. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., 1992, Uberaba. **Anais...** Uberaba: IBRAFOS, 1992. p. 175-190.

KUPPER, A. et al. Efeito do óxido e sulfato de zinco aplicados na cova de plantio do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 9., 1981, São Lourenço. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC, 1981. p. 455-458.

LEÃO, T. P. et al. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 415-423, maio/jun. 2004.

LIMA, C. L. R. et al. Heterogeneidade da compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pomar de laranja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 409-414, maio/jun. 2004.

RAIJ, B. van. **Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo.** São Paulo: ANDA, 1988. 88 p.

SALTON, J. C. et al. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 11-21, jan./fev. 2008.

SANCHES, A. C. **Alterações nas propriedades de um Podzólico Vermelho Amarelo resultantes da substituição da mata natural pela cultura da laranja.** 1998. 49 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1998.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1 SISTEMA CONSERVACIONISTA E DE MANEJO INTENSIVO DO SOLO NO CULTIVO DE CAFEIROS NA REGIÃO DO ALTO SÃO FRANCISCO, MG: ESTUDO DE CASO ⁽¹⁾

Normas da Revista Coffee of Science (versão preliminar).

Milson Evaldo Serafim⁽²⁾; Geraldo César de Oliveira⁽³⁾; Alessandro Silva de Oliveira⁽⁴⁾; José Maria de Lima⁽³⁾; Paulo Tácito Gontijo Guimarães⁽⁵⁾; Joyce Cristina Costa⁽⁴⁾.

⁽¹⁾Parte da tese do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras – UFLA. Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Lavras (MG). Projeto financiado pela FAPEMIG e apoio logístico da EPAMIG e da Empresa Agropecuária Piumhi, Piumhi - MG.

⁽²⁾Doutorando, Departamento de Ciência do Solo – UFLA. Bolsista do CNPq. E-mail: milson.serafim@cas.ifmt.br

⁽³⁾Professores Associados do DCS/UFLA. Bolsistas do CNPq. E-mail: geraldooliveira@dcs.ufla.br; jmlima@dcs.ufla.br

⁽⁴⁾Engenheiros Agrônomos – Empresa Agropecuária Piumhi – AP, Piumhi – MG. E-mail: alessandrooliveira@appiumhi.com.br; costajoyce@yahoo.com.br

⁽⁵⁾Pesquisador da EPAMIG, Centro Tecnológico do Sul de Minas, Lavras-MG. E-mail: paulotgg@dcs.ufla.br.

Titulo: SISTEMA CONSERVACIONISTA E DE MANEJO INTENSIVO DO SOLO NO CULTIVO DE CAFEIROS NA REGIÃO DO ALTO SÃO FRANCISCO, MG: ESTUDO DE CASO

Resumo: Amparado pelo melhoramento genético e a evolução dos tratos culturais, entre outros aspectos, a cafeicultura no Brasil se expandiu para a região do Cerrado, superando as limitações de déficit hídrico e a baixa fertilidade natural dos solos desta região. A evolução dos sistemas produtivos tem sido uma constante, visando aumentar os rendimentos sob a ótica da nova ordem de conservação dos recursos naturais. Com esta motivação, surgiu um sistema conservacionista e de manejo intensivo de cultivo de cafeeiros, que foi desenvolvido e vem sendo praticado na região fisiográfica do Alto São Francisco, MG, em propriedades dos municípios de São Roque de Minas, Vargem Bonita e Piumhi, além de outras regiões nos estados de Minas Gerais e São Paulo. Esse sistema é caracterizado pela aplicação de altas doses de gesso, cultivo de braquiária na entrelinha, plantio semiadensado, sulco de plantio profundo, plantio antecipado, variedades de porte baixo, uso de tração animal e rigoroso controle do estado nutricional das plantas. O sistema de cultivo intensivo destaca-se por ter sido capaz de operacionalizar boas práticas de manejo, permitindo executá-las de forma rotineira dentro do leque de atividades requeridas pela cafeicultura. Áreas de Cambissolo e Latossolo com lavouras de cinco e dez anos, respectivamente, sob esse sistema, têm apresentado bons resultados. O crescimento radicular profundo, superior a dois metros, tem sido uma constante nas lavouras adultas. O bom aspecto visual das lavouras e a produtividade média de 49 sacas por hectare reforçam os bons resultados do sistema. Tecnicamente, o sistema é positivo, economicamente, no entanto, ainda faltam estudos complementares para produtores de diferentes níveis tecnológicos.

Palavras-chave: Cafeicultura no Cerrado. Sistema de cultivo de cafeeiro. Gesso agrícola, Inovação tecnológica.

Title: INTENSIVE COFFEE CULTIVATION MANAGEMENT IN THE PHYSIOGRAPHIC REGION OF THE UPPER SAN FRANCISCO RIVER, MG: A CASE STUDY

Abstract: Aided by genetic improvement and evolution of the cultural treatments, among other aspects, coffee growing in Brazil has expanded to the area of the Savannah, overcoming the water deficit and low natural soil fertility limitations of this area. The evolution of the productive systems has been a constant, seeking to increase the yields within the perspective of the new order of natural resource conservation. With this motivation, an intensive cultivation system of coffee plants has appeared, that has been developed and is being practiced in the Physiographic Region of the High San Francisco River Valley, MG, on rural properties of the municipal districts of São Roque de Minas, Vargem Bonita and Piumhi, besides other areas in the states of Minas Gerais and São Paulo. This system is characterized by the application of high doses of gypsum, brachiaria cultivation in between rows, semi-condensed planting, deep furrow planting, early planting, short stature varieties, use of animal traction and rigorous control of the nutritional state of the plants. The intensive cultivation system stands out by being capable of operationalizing good management practices, allowing to execute them in a routine way within the spectrum of activities required by coffee growing. Good results were verified in Cambisol and Latosol areas with five and ten year-old coffee plants, respectively. The crops present good visual aspect and the average productivity of the farms is 49 coffee sacks ha⁻¹. The deep root growth, over two meters, has been a constant in the adult plants. The technical approach considers the system positive. An economical approach to the system is needed for producers of different technological levels.

Keywords: Coffee production in the Cerrado. Coffee cultivation system. Gypsum.

1 INTRODUÇÃO

Com uma produtividade média de 28,6 sacas de café beneficiado por hectare, as lavouras de café (*Coffea arabica*) do Cerrado de Minas Gerais apresentaram, em 2008, a maior produtividade do país (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2010). Segundo esse levantamento, a média de produtividade do estado foi de 22,5 sacas e a média nacional de 21,2 sacas por hectare.

O cafeeiro (*Coffea arabica* L.) tem sua origem em regiões cuja altitude varia de 1.600 a 2.800 m, com precipitações elevadas, variando de 1.600 a mais de 2.000 mm anuais (DAMATTA et al., 2008). Amparada pelo melhoramento genético e a evolução dos tratos culturais, entre outros aspectos, hoje, a cafeicultura no Brasil é praticada em regiões distintas daquelas de origem da planta. Nesse sentido, Petek e Patrício (2007) ressaltam que a diversidade de clima e de solo, além do contraste no nível tecnológico dos produtores envolvidos na cafeicultura brasileira, gera a necessidade constante de desenvolvimento tecnológico para a cultura.

O déficit hídrico e a baixa fertilidade natural dos solos na região do Cerrado são as principais limitações ao bom desenvolvimento da cultura. As chuvas nessa região são concentradas em apenas seis meses do ano; no período mais seco, as camadas superficiais do solo podem apresentar valores de umidade abaixo do ponto de murcha permanente (RENA & GUIMARÃES, 2000).

A cafeicultura da região do Alto São Francisco, devido às limitações de precipitação, tem sua viabilidade atrelada a recomendação de irrigação (FERNANDES et al., 2000; KARASAWA et al., 2002). Com a falta água para irrigação em muitas propriedades, a adoção de sistemas de cultivo capazes de mitigar o déficit hídrico, como, por exemplo, a preservação ou a melhoria da qualidade física e química do solo, se torna imperativa.

A aplicação do gesso agrícola, associada ao uso adequado de corretivos e adubos, favorece o crescimento radicular em profundidade, viabilizando o uso da água armazenada no subsolo (SOUZA & RITCHEY, 1986).

Respostas positivas à aplicação de gesso agrícola no solo em áreas sob cafeicultura foram relatadas por Guimarães (1988). O autor observou acréscimo de 18,24 sacas por hectare em áreas que receberam 2,5 t ha⁻¹ deste insumo, quando comparada à lavoura que recebeu apenas calcário.

A sustentabilidade da cafeicultura depende do aumento da rentabilidade do produtor, como forma de garantir sua permanência na atividade. Isso está associado a sistemas de cultivo que proporcionem maior longevidade para as lavouras (PETEK & PATRÍCIO, 2007) e produtividades elevadas ao longo dos anos.

Nesse sentido, o cafeicultor tem demonstrado muita disposição em adotar novas tecnologias ou adaptá-las, em alguns casos e, mesmo, desenvolver suas próprias tecnologias para contornar as adversidades da atividade. Foi dessa

forma que surgiu um sistema intensivo de cultivo de cafeeiros, que foi desenvolvido e vem sendo praticado na região fisiográfica do Alto São Francisco, MG, em propriedades dos municípios de São Roque de Minas, Vargem Bonita e Piumhi, além de outras regiões nos estados de Minas Gerais e São Paulo. O sistema foi denominado, por seus criadores, como Sistema AP Romero.

Esse sistema é caracterizado pela aplicação de altas doses de gesso e cultivo de braquiária nas entrelinhas dos cafeeiros. Outros pontos marcantes do sistema são: plantio semiadensado, com estande médio de 5.333 plantas por hectare; preparo do sulco de plantio com revolvimento e correção da fertilidade do solo até 60 cm de profundidade; plantio antecipado, na segunda quinzena de outubro e na primeira quinzena de novembro; uso de variedades de porte baixo e uso de tração animal na realização dos tratos culturais (roçada, aplicação de defensivos e adubação, entre outros), além de monitoramento do estado nutricional das plantas e manejo das adubações com base em análise foliar realizadas no período de dezembro a abril.

Esse sistema conservacionista destaca-se por tornar viável boas práticas de manejo, normalmente não adotadas, em razão da dificuldade que o produtor encontra para executá-las de forma rotineira, além das atividades normalmente requeridas pela cafeicultura.

Algumas práticas deste sistema ainda carecem de bases científicas. Mesmo assim, os resultados já obtidos com a adoção do mesmo são promissores. A divulgação desse sistema, embora carente de base científica para algumas práticas, permitirá que mais pesquisadores e técnicos da área atuem na construção do conhecimento confirmem a viabilidade do seu emprego. Nesse sentido, pesquisas vêm sendo desenvolvidas no setor de Física e Conservação do Solo e Água, no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), juntamente com pesquisadores da EPAMIG/Lavras.

A abordagem dessas pesquisas visa discutir as bases desse sistema de cultivo, com ênfase em pontos que o diferenciam do sistema convencional de cultivo de cafeeiros na região em estudo. Dessa maneira, não se pretende, com este capítulo, gerar um manual a respeito do sistema e menos ainda divulgá-lo como sendo verdade científica, mas apenas discutir, à luz dos conhecimentos atuais, algumas práticas que o compõem.

O acompanhamento de lavouras sob este sistema de cultivo foi realizado em fazendas da Empresa Agropecuária Piumhi, nos municípios de Piumhi, São Roque de Minas e Vargem Bonita, na região fisiográfica do Alto São Francisco, MG. Trata-se, portanto, de propriedades situadas na cabeceira de uma das mais importantes bacias hidrográficas do país. Dentre as atividades mais relevantes desenvolvidas durante o acompanhamento das lavouras, destacam-se o

levantamento de solos das áreas cultivadas com cafeeiros e as visitas técnicas em fazendas da região, com lavouras sob o sistema.

Este sistema é dinâmico, tendo suas práticas de manejo ajustadas para cada situação, buscando conciliar a conservação do ambiente, principalmente solo e água, com altas produtividades da cultura do café. O termo “sistema”, por sinal, é muito apropriado para esse conjunto de práticas, uma vez que, por definição do termo, é a combinação de partes que concorrem para certo fim, formando um todo harmônico. O aspecto inovador desse sistema está no conjunto de práticas de manejo que o compõem e, já tendo sido amplamente estudadas, providas de base científica. O mérito inovador do mesmo está em reunir estas práticas de forma condizente com a cafeicultura, podendo ser adotado por produtores de diferentes níveis tecnológicos.

As primeiras lavouras manejadas nesse sistema estão completando dez anos. Neste período, o sistema evoluiu, foi discutido por produtores e pesquisadores, expandiu em área, recebeu ajustes e possui seu conjunto de práticas bem definido. O mesmo está ilustrado esquematicamente na Figura

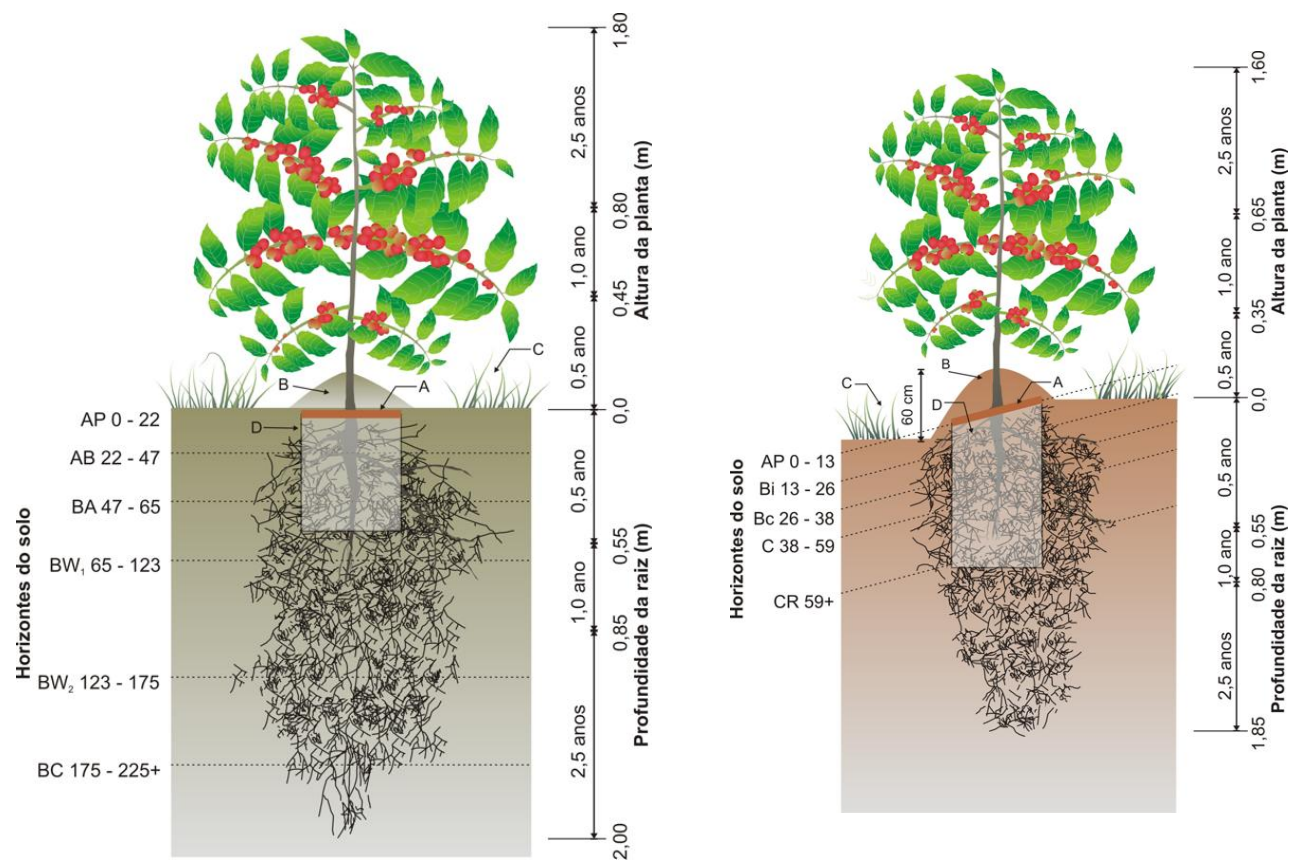


Figura 1. Representação esquemática de cafeeiro sob sistema de manejo intensivo de cultivo, em área de Latossolo (esquerda) e em área de Cambissolo (direita).

A instalação de lavouras manejadas dentro dessas premissas deste sistema em diferentes unidades de solo tem exigido algumas adaptações. Uma delas é a sistematização das áreas com declividade acima de 18%. A sistematização do terreno pode ser visualizada no esquema da direita (Figura 1), onde as linhas pontilhadas que representam os horizontes do solo são inclinadas, em condição natural; a superfície do solo, como mostrado na representação esquemática, apresenta desnível de uma entrelinha para a outra, decorrente da sistematização do terreno, que confere feições de terraços em patamar, aumentando a eficiência de aproveitamento de água das chuvas.

O gesso aplicado na linha da cultura é enterrado por ocasião da “chegada de terra” nas plantas. A camada de gesso persiste nas lavouras, podendo ser visualizado, conforme indicado pela letra “A” de ambos os esquemas da Figura 1, em lavouras adultas com mais de sete anos. No Cambissolo, a camada encontra-se inclinada, pois, no momento da aplicação do gesso, o terreno ainda não havia sido sistematizado; a sistematização ocorre com a “chegada de terra” ou amontoa.

A leira de terra na linha, decorrente da amontoa, inicialmente pode chegar a 0,5 m de altura, porém, com o tempo, ocorre acomodação do material e esta altura estabiliza com 0,2 a 0,3m, conforme representado pela letra “B”, em ambos os esquemas, na Figura 1. Para o Cambissolo representado no esquema,

com declividade próxima de 30%, a altura da leira somada ao desnível entre as ruas é de 0,6 m no lado de baixo, conforme esquema da direita (Figura 1).

A presença de braquiária nas entrelinhas da lavoura é de grande importância no sistema e está representada, em ambos os esquemas, pela letra “C” (Figura 1). O crescimento do cafeeiro acontece de forma diferente para áreas de Latossolo e Cambissolo. Seis meses após o plantio, no final do período chuvoso, as plantas atingem altura aproximada de 0,6 m nas áreas de Latossolo e 0,5 m nas áreas de Cambissolo². Com um ano, a lavoura em área de Latossolo tem altura média de 1,2 m, e 1,1 m, no Cambissolo. Na fase de produção, após os dois anos e meio, os cafeeiros tendem a se igualar em altura nos dois solos.

O preparo do sulco de plantio constitui etapa importante deste sistema. O sulco é preparado com 0,6 m de profundidade, conforme ilustrado em ambos os esquemas e indicado pela letra D (Figura 1). Para isso é utilizada uma cavadeira tratorizada, cujo funcionamento assemelha-se ao da enxada rotativa, diferindo pela profundidade.

O crescimento radicular, a exemplo da parte aérea, é mais rápido nas áreas de Latossolo em comparação ao Cambissolo. Nos primeiros seis meses após o plantio, as raízes atingem profundidade média de 0,8 m, contra 0,6 m no Cambissolo. Com um ano, a profundidade média é de 1,4 m no Latossolo e 1,2 m no Cambissolo. Na fase adulta, há tendência de igualar os comprimentos dos

² Informação pessoal dada pelo proprietário Alessandro Oliveira.

sistemas radiculares, contudo, na descrição morfológica do perfil, observa-se maior presença de raízes no Latossolo em comparação ao Cambissolo, principalmente nas camadas abaixo de 1 m.

Por ocasião da descrição morfológica e do perfil cultural do Cambissolo, foi observado o horizonte CR a, aproximadamente, 60 cm de profundidade (Figura 1). Neste horizonte, a densidade do solo é elevada. Dessa forma, quando as raízes atingem o fundo do sulco de plantio, já encontram algum impedimento, o que pode retardar seu crescimento em relação aos Latossolos.

CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DA REGIÃO DO ALTO SÃO FRANCISCO,

MG

Segundo Menegasse et al. (2002), o clima na região do Alto São Francisco, MG, segundo a classificação de Köppen é tipo Cwa, com clima temperado brando de verão quente e úmido e inverno seco. A temperatura média anual é de 20,7°C, sendo julho o mês mais frio, com temperatura média de 16,3°C, e janeiro o mais quente, com a média de 23,3°C. A precipitação média anual local é de 1.344 mm; o clima tropical local é responsável pela sazonalidade da dinâmica hídrica regional.

A vegetação nativa da área é do tipo savana (cerrado), com gradações que vão do Campo Limpo, onde predominam gramíneas, à vegetação densa e de

maior porte, denominada de Cerradão. A principal característica deste bioma é uma fisionomia sempre verde na estação chuvosa e completamente seca na estiagem (RADANBRASIL, 1983).

Períodos secos prolongados podem comprometer a cultura do cafeeiro, contudo, isso varia, dependendo da capacidade de retenção de água do solo, da umidade relativa do ar e da cobertura de nuvens, bem como das práticas de cultivo (DAMATTA et al., 2008).

As condições climáticas da região de estudo apresentam restrições ao cultivo do cafeeiro, principalmente devido ao déficit hídrico (SOUSA et al., 2003). Para estas condições, tecnologias que favoreçam o crescimento radicular em profundidade (CARVALHO & RAIJ, 1997) e ou aumentem a capacidade de armazenamento de água disponível no solo (PARDO et al., 2000) devem ser adotadas. A aplicação de condicionadores do ambiente radicular, como gesso agrícola (SOUZA & RITCHEY, 1986) e cobertura do solo, pela adoção e manejo de plantas de cobertura nas entrelinhas da cultura (REISSER JUNIOR et al., 2005), particularmente pelo aporte de matéria orgânica em superfície e no perfil do solo (MIELNICZUK et al., 2003), são práticas com importante efeito de mitigação do déficit hídrico.

SOLOS DA ÁREA ESTUDADA

Os solos do Cerrado apresentam características morfológicas bastante variadas. Os municípios de São Roque de Minas e Vargem Bonita, MG, locais deste estudo, são predominantemente recobertos por Latossolos de textura argilosa e muito argilosa e Cambissolos de textura variada (RADANBRASIL, 1983). Os Cambissolos formam um grupo bastante variável e nesta região ocorrem, principalmente, Cambissolos Háplicos Distróficos, com argila de atividade baixa (RADANBRASIL, 1983).

Solos recomendados para a cultura do cafeeiro, nas condições climáticas brasileiras, devem-se ter, no máximo, 20% de fração grosseira, conteúdo de argila entre 20% e 50% e porosidade adequada, além de possuir, no mínimo, 1,2 m de profundidade (GUIMARÃES et al., 2002; KÜPPER, et al. 1981).

Com a expansão do parque cafeeiro do Brasil para a região do cerrado, iniciada na década de 1970 e com um aumento na década de 1990 (ABIC, 2009), grande parte das lavouras foi implantada em solos que apresentam sérias limitações de ordem química e nutricional ao desenvolvimento normal das raízes (GUIMARÃES, 1992), inclusive em subsuperfície (RAIJ, 1988). Essas limitações intensificam os efeitos de déficits hídricos, pela pequena profundidade alcançada pelo sistema radicular e menor absorção de água e nutrientes nas partes mais profundas do perfil do solo.

A cafeicultura, na região do Alto São Francisco, vem sendo implantada prioritariamente em áreas de Latossolo. Contudo, também existem lavouras

implantadas em áreas de Cambissolos, Argissolo e, mesmo, em Plintossolos Pétricos Concrecionários. Estes solos são dotados de características contrastantes e ocorrem em posições variadas na paisagem, necessitando, portanto, de um estudo mais detalhado de suas potencialidades e limitações para o uso na cafeicultura. O sistema proposto para região possui em seu escopo práticas capazes de proporcionar melhorias dos solos cultivados. Destaca-se o uso do gesso, com importante papel na correção do íon Al^{3+} , para formas não tóxicas às plantas e no carreamento de bases para o subsolo (RAIJ, 1988), criando um ambiente menos impeditivo ao crescimento radicular em profundidade.

O uso da braquiária como cultura de cobertura nas entrelinhas complementa a prática de uso do gesso, uma vez que, manejada corretamente, assegura reciclagem de nutrientes e aumento da CTC (pH 7,0), contribuindo, ainda, para diminuir erosão e para a conservação e o armazenamento de água, entre outros benefícios (AULER et al., 2008).

A declividade acentuada, de 25% a 30%, de áreas de Cambissolo, não tem impedido a implantação de lavouras cafeeiras quando se adota o sistema proposto. A sistematização das entrelinhas assegura a formação de patamares, que permite a realização de operações com tração animal na lavoura, além de ser uma prática conservacionista de controle de erosão.

A erosão é uma preocupação na fase de implantação da lavoura nestes solos. Com a lavoura instalada, o risco de erosão fica reduzido pela presença de cobertura morta do solo e braquiária na entrelinha, pela presença dos patamares e pelo efeito dos sulcos de plantio. Nos sulcos, provavelmente devido aos efeitos do gesso e matéria orgânica adicionados, perdura uma porosidade elevada. Estes sulcos parecem apresentar efeito semelhante àqueles descritos para o mulching vertical em áreas de plantio direto (DERNARDIN et al., 2008).

LEVANTAMENTO PEDOLÓGICO E CAPACIDADE DE USO DAS TERRAS

O levantamento de solos é indispensável para o um planejamento agrícola em sintonia com o ambiente, além de facilitar a difusão de tecnologias apropriadas para cada grupo de solos (LEPSCH et al., 1991). A organização das informações dos levantamentos dentro de um sistema de classificação é recomendada para a tomada de decisões.

Atualmente, a demanda por áreas para cultivo aliada à elevação do custo da terra tem estimulado a incorporação de áreas até então marginais para a agricultura, mostrando, inclusive, a necessidade de mudanças no sistema de classificação da capacidade de uso das terras, utilizado no Brasil (LEPSCH et al., 1991), baseado nas modificações impostas pelo cultivo e na introdução de

novas práticas de manejo (SEVERIANO et al., 2009), tornando o sistema dinâmico. O bom desenvolvimento e a elevada produtividade das lavouras sob o sistema de manejo intensivo em estudo, em áreas de Cambissolo, contrariam o sistema de classificação atual, por ser um sistema de manejo capaz de reduzir limitações, inclusive topográficas dos ambientes para cafeicultura.

Pelo levantamento de solos das áreas cultivadas, constata-se que diferentes unidades de solo vêm recebendo este sistema de cultivo. Estes solos possuem atributos físico-químicos contrastantes, além de mineralogia variada. Salienta-se que a indicação de doses semelhantes de gesso, baseando-se em teor de argila, Al^{3+} , Ca^{2+} , para solos de classes diferentes é um questionamento ainda sem resposta.

Em levantamento preliminar no ano de 2008, foi constatado que, na primeira colheita, uma lavoura implantada em Latossolo Vermelho Amarelo câmbico, com estrutura tipicamente em blocos, produziu mais que outra implantada em Latossolo Vermelho com estrutura granular típica. Estes dois solos apresentam textura semelhante; o plantio foi realizado na mesma época, com a mesma variedade de cafeeiros e o manejo da fertilidade também foi o mesmo, mostrando a necessidade de se considerar a classe de solo para a indicação de gessagem.

Lavouras cultivadas sob este sistema de manejo intensivo em áreas de Cambissolo têm apresentado rendimento médio de 49 sacas por hectare, nas

duas primeiras safras (2009 e 2010). Essas lavouras encontram-se em ambientes com sérias limitações químicas, físicas e hídricas, com grande risco de insucesso se o sistema de manejo não for adequado. Deve-se vincular a implantação de lavouras a um levantamento semidetalhado de solo, capaz de identificar limitações indiferentes às tecnologias adotadas neste sistema de manejo intensivo de cultivo.

PRODUÇÃO DE MUDAS

Para a produção de mudas, a semeadura é feita nos saquinhos de polietileno (10 x 20 cm) com 90 furos. O elevado número de furos permite o plantio sem a remoção do saquinho, sem prejuízo aparente para as mudas, o que facilita o plantio mecanizado.

A semeadura direta nos saquinhos no mês de abril, normalmente apresenta germinação e emergência lenta, devido às condições do clima. O uso de sacos de aniagem e lona de polietileno preta para cobrir os canteiros garante que o processo de germinação e emergência seja acelerado, fazendo com que as mudas estejam disponíveis para o plantio na segunda metade do mês de outubro e início de novembro, enquanto, tradicionalmente, estariam prontas em dezembro ou mais tarde. O substrato recomendado para a produção de mudas é enriquecido com 5% de gesso agrícola.



Figura 2. Canteiros cobertos com filme de polietileno preto (esquerda) e muda pouco antes de ser levada para o campo (direita).

PREPARO DO SOLO PARA PLANTIO

O preparo do solo é realizado nos meses de julho e agosto, consistindo de uma aração e duas gradagens. Para o condicionamento do solo, é feita a calagem da área, visando elevar a saturação por bases para 70%. No sulco de plantio é feita uma operação com subsolador a 0,6 m de profundidade e, em seguida, o solo é revolvido até esta profundidade, misturando os adubos, através de uma “cavadeira adubadeira” do Tipo Mafes (Figuras 3).

Na linha de plantio, faz-se adubação com adubo formulado (08-44-00) enriquecido com 1,0% Zn e 0,5% B, na dose de 980 kg ha^{-1} , o que equivale a $0,245 \text{ g m}^{-1}$. O potássio é fornecido com a fórmula 20-00-20, na dose de 530 kg ha^{-1} , o que também complementa o nitrogênio. A máquina de preparo do sulco adiciona calcário a 0,6 m de profundidade.

O sulco de plantio profundo (0,6 m), corrigido, adubado e com baixa densidade reúne condições favoráveis para o estabelecimento das mudas e um rápido crescimento radicular que, no final do período chuvoso, já se encontra até na profundidade de 0,9 m. Supostamente, esta camada apresenta água disponível para as plantas por um período maior, quando comparado à camada superficial, o que resulta em melhor aspecto visual das plantas, “bem vestidas” e com folhas turgidas nesta época do ano. Estas práticas, possivelmente, são as principais responsáveis pela mitigação dos efeitos deletérios da seca no primeiro ano de implantação da cultura.



Figura 3. Preparo do sulco de plantio utilizando cavadeira adubadeira tipo Mafes.

PLANTIO DAS MUDAS NO SISTEMA INTENSIVO DE CULTIVO EM ESTUDO

O plantio é feito no início do período chuvoso, até o final do mês outubro e o replantio até dezembro. Dessa forma, a muda tem até o final de abril para se estabelecer, quando se encerra o período chuvoso. O plantio é mecanizado, utilizando mudas com 3 a 4 pares de folhas verdadeiras. O espaçamento adotado é o de 2,5 x 0,5 a 0,75 m, constituindo um estande aproximado de 5.500 plantas por hectare.

O uso do sistema semiadensado tem como vantagens a otimização do uso da área, permitindo maior produtividade. O adensamento da lavoura tem proporcionado maior cobertura do solo, o que reduz a erosão e aumenta os conteúdos de matéria orgânica e de nutrientes no solo, a longo prazo (PAVAN et al., 1997). A dificuldade de manejo da lavoura neste espaçamento é contornada com o uso de tração animal.

A adubação de plantio é feita com adubo de liberação lenta (mistura de grânulos) contendo 31% de N e 11% de P_2O_5 . A dose utilizada do adubo é 30 g por planta, o que corresponde a 160 kg ha^{-1} . Esta é a última adubação fosfatada que a lavoura recebe.

Considera-se que o plantio de mudas sadias e de elevado potencial produtivo é fundamental para a formação de uma lavoura. Para minimizar os custos de produção, o plantio é mecanizado.



Figura 4. Plantio mecanizado de mudas utilizando-se saquinhos furados e eliminação apenas do fundo da embalagem.

CULTURA DE COBERTURA DO SOLO NAS ENTRELINHAS

Nas entrelinhas da lavoura cultiva-se a *Brachiaria ruzizensis* ou *Brachiaria decumbens*, para cobertura do solo da área e ciclagem de nutrientes.



Figura 5. Implantação da braquiária antes do plantio do cafeeiro. Área com aproveitamento do banco de sementes do solo.

A formação da braquiária nas entrelinhas é uma etapa feita antes da implantação da lavoura. Em áreas em que se cultiva milho antes do plantio do

cafeeiro, o solo é corrigido com calcário e gesso agrícola e recebe adubação, conforme recomendação para a cultura do milho. A braquiária é semeada nas entrelinhas do milho. Com a gramínea já formada na área, o preparo do solo para a instalação dos cafeeiros é feito apenas no sulco de plantio. Salienta-se que a braquiária estabelecida assegura cobertura do solo, constituindo benefícios de retenção de umidade e proteção contra erosão, entre outros (BRAGAGNOLO & MIELNICZUCK, 1990).

Quando a opção é a instalação da braquiária por ocasião do plantio do cafeeiro, é feita a semeadura de uma linha de braquiária na entrelinha. A quantidade de sementes é a mesma recomendada para a formação de pastagens e a adubação de semeadura é feita com 20 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

Após a emergência, na fase de estabelecimento, e no início de cada período chuvoso, a braquiária recebe uma adubação de cobertura com nitrato de amônio, na dose de 200 kg ha^{-1} .

Nas lavouras em fase de formação, o manejo da braquiária é feito com roçadeira tratorizada, sendo o primeiro corte feito logo após o pendoamento. No período chuvoso, a gramínea é cortada com altura de 5 a 10 cm, a intervalos de 35 a 45 dias e, no início do período de seca, a braquiária é roçada, visando à redução da concorrência com o cafeeiro, principalmente por água no solo. Os cortes são realizados em ruas alternadas. Esta estratégia permite que a braquiária apresente alto grau de lignificação dos tecidos, o que torna a cobertura mais

duradoura na superfície do solo, sem comprometer a quantidade de luz ao cafeeiro, sobretudo em lavouras produtivas. Na linha, o manejo da braquiária e do mato é feito com capina.

A matéria orgânica é considerada um dos atributos do solo mais relacionados à sua qualidade (MIELNICZUK, 1999). Diante disso, os formuladores desse sistema intensivo de cultivo do cafeeiro procuram o máximo de aporte de matéria orgânica em superfície e no perfil, objetivando maximizar as melhorias dos atributos do solo e os benefícios para a lavoura.

A cultura de cobertura nas entrelinhas e a manutenção dos restos culturais na superfície do solo encerram benefícios como diminuição das variações de temperatura do solo, redução das perdas por erosão, maior retenção de água e aumento dos rendimentos dos cultivos agrícolas, além de diminuir a evaporação de água e o escoamento superficial, elevando a taxa de infiltração (BRAGAGNOLO & MIELNICZUCK, 1990).

Quatro meses após o plantio do cafeeiro, faz-se aplicação de gesso na linha da cultura, seguido da “chegada de terra” na linha do cafeeiro. Dessa forma, por ocasião da operação da amontoa, que é feita depois deste período de acúmulo de resíduo, todo o material, inclusive a massa de raízes presentes até 0,1 m, é removido juntamente com a camada superficial de solo para junto das plantas.

Com o acúmulo de matéria orgânica no solo há ativação de diversos processos que atuam na agregação do solo, no aumento da capacidade de retenção de cátions, no estoque de nutrientes, na adsorção e complexação de compostos, na ciclagem de elementos químicos, no sequestro de carbono atmosférico, na atividade biológica do solo e na resistência a perturbações (CARVALHO et al., 2010; MARTORANO et al, 2009; MIELNICZUK et al., 2003; VEZZANI, 2001). O resíduo adicionado a linha de cafeeiros, provavelmente, propicia efeitos físicos, químicos e biológicos importantes para a estabilidade do sistema, e melhoram os efeitos da alta dose de gesso empregada, salientando, ainda, que o gesso fica amontoado, propiciando que seus componentes químicos sejam liberados gradativamente.

ADUBAÇÃO DE FORMAÇÃO

Aos 60 dias após o plantio (janeiro), iniciam-se às adubações de cobertura do cafeeiro. Esse período de 60 dias é possível devido à utilização de adubo de liberação lenta no plantio. São feitas três adubações com intervalos de 30 a 40 dias, até o mês de abril. Nesta operação é utilizada a fórmula 20-00-20, na dose de 110 kg ha^{-1} , em cada cobertura, o que equivale a 20 g por planta. As operações são feitas com adubadoras de tração animal, na linha do cafeeiro ou utilizando adubadeira manual, conhecida como matraca ou pula-pula.

APLICAÇÃO DO GESSO E CHEGADA DE TERRA NA LINHA DA CULTURA

No mês de fevereiro ou no de março é realizada a aplicação de gesso em cobertura, na linha de plantio, sendo empregados 7 kg m^{-1} deste insumo, o que corresponde a 28 t ha^{-1} nas lavouras estudadas, com espaçamento de 2,5 m entrelinhas (Figura 6). No momento da aplicação, as folhas do cafeeiro devem estar com a superfície seca, pois, na presença de água, ocorre reação com o gesso, causando a queima das folhas.



Figura 6. Lavoura sob sistema conservacionista logo após a aplicação de gesso agrícola na linha de plantio do cafeeiro.

O uso do gesso no sistema visa promover melhorias químicas no ambiente radicular das plantas e propiciar condições adequadas para o aprofundamento do sistema radicular. Sistemas radiculares profundos exploram

maior volume de solo e, dessa forma, maior quantidade de água e nutrientes pode ser absorvida pela planta. A melhoria do ambiente radicular condicionada pelo gesso se dá, principalmente, pela presença do íon sulfato (SO_4^{4-}) que, por ser altamente móvel no solo, é capaz de formar pares iônicos com cátions de reação básica e descer, enriquecendo o perfil do solo. O sulfato também forma par com o alumínio (Al^{3+}), formando precipitados, reduzindo a atividade do Al^{3+} .

Para este sistema que combina elevado aporte de matéria orgânica e altas doses de gesso, além do sulfato, o carbono orgânico dissolvido (COD) na camada superficial do solo e o fluoreto, proveniente do gesso, na subsuperfície, são importantes na complexação do Al^{3+} , podendo superar efeito do sulfato (ZAMBROSI et al., 2007).

Dessa forma, fica claro o papel do gesso na melhoria do ambiente radicular, permitindo o seu aprofundamento (PAVAN & VOLKWEISS, 1986). Isto se torna importante, sobretudo em períodos de seca e também na ocorrência de veranicos, por propiciar à planta maior e mais eficiente aproveitamento de água do perfil do solo (RAIJ, 1988).

Os efeitos adversos do gesso na nutrição de plantas, amplamente discutidos na literatura, não ocorrem na mesma proporção do aumento da dose de gesso do sistema intensivo de cultivo do cafeeiro na região, o que chega a 48 t ha⁻¹. Algumas hipóteses podem ser levantadas a esse respeito, embora estudos direcionados sejam ainda necessários. A aplicação do gesso apenas na linha,

seguida da amontoa de terra sobre o mesmo, reduz a taxa de solubilização. Foi observado que em lavoura com mais de sete anos, ainda se verifica a presença da camada de gesso na linha de plantio.

A elevada quantidade de matéria orgânica acumulada na leira de plantio, combinada com o pH 6,0 a 6,5 do solo, assegura aumento da CTC, o que reduz a lixiviação de bases trocáveis, mesmo na presença do gesso (WADT, 2000). Na camada subsuperficial de solos muito intemperizados, a fração mineral tem um importante papel no balanço de cargas, apresentando, inclusive, carga positiva em alguns casos (ALLEONI & CAMARGO, 1994a; WEBER et al., 2005). A adsorção do sulfato a estes sítios reduz sua mobilidade, propiciando seu acúmulo (SERAFIM et al., 2009; WADT, 2000), reduzindo seu potencial de lixiviar bases.

Logo após a gessagem, é realizada a “chegada de terra” às plantas. A primeira etapa desta operação é o revolvimento do solo da entrelinha com uma grade, até a profundidade de 0,1 m. Utilizando-se de uma lâmina acoplada ao trator, a camada revolvida da entrelinha é removida para a linha da cultura. Em seguida, são feitos acertos manuais da leira com uso de enxada, com o material de solo recobrimo as plantas até altura do segundo ou terceiro ramo plagiotrópico, formando a leira (Figura 7).

A leira tem como objetivo promover adubação orgânica do cafeeiro, tendo em vista ser esta constituída de material de solo acrescido de resíduos de

brachiária. Dessa forma, os nutrientes fornecidos à gramínea, via adubação, retornarão ao cafeeiro após a sua liberação. A leira também exerce o papel de diminuir as oscilações de temperatura do solo onde se encontra a maior parte do sistema radicular da planta, além de proteger a camada de gesso contra a ação direta da água da chuva e do vento. Outros benefícios da leira são reduzir o tombamento e evitar lesão de colo dos cafeeiros. Estudos estão sendo desenvolvidos para mensurar os efeitos desta leira.



Figura 7. Leira de terra enriquecida com restos de braquiária ao longo da linha da cultura, ao final do período chuvoso (esquerda) e início do período chuvoso (direita).

ADUBAÇÃO DE PRODUÇÃO

O monitoramento do estado nutricional das plantas e as recomendações de adubação de produção para as lavouras neste sistema intensivo de cultivo são feitos com base nos resultados de análise foliar, no histórico da área e na diagnose visual, interpretados conjuntamente. São realizadas três amostragens de

folha, por ano, nos meses de novembro/dezembro, janeiro/fevereiro e março/abril.

A adubação nitrogenada é feita logo após a colheita, tendo como fonte o nitrato de amônio. A escolha dessa fonte nitrogenada assegura que as perdas sejam mínimas, mesmo quando aplicada na condição de solo seco. A justificativa para o fornecimento de adubos ao solo ainda no período seco é que, segundo Malavolta et al., (2002), a absorção de nutrientes pelo cafeeiro ocorre com a umidade remanescente do solo ou na primeira chuva, estimulando a antese e, portanto, eles devem estar disponíveis no solo antes do florescimento. Outras vantagens são a facilidade e o rendimento da operação de adubação no período seco.

O atendimento da demanda nutricional das plantas vai depender da capacidade de absorção pelas raízes e do transporte no xilema, que devem estar ativos mesmo no inverno (DAMATTA et al., 1999; RENA & GUIMARÃES, 2000). A viabilidade dessa premissa vai depender do uso e do manejo de irrigação suplementar e ou da manutenção de água disponível no solo para as plantas, o que é indispensável para a nutrição do cafeeiro (MALAVOLTA et al., 2002).

O gesso aplicado ao solo em áreas de lavouras manejadas nesse sistema normalmente assegura uma nutrição satisfatória de cálcio (Ca) e enxofre (S), o que corrobora os resultados de Marques et al. (1999). Entretanto, estes autores

alertam para o fato de que, com a sucessão das colheitas, os teores foliares daqueles nutrientes diminuem. Isso justifica a preocupação dos formuladores deste sistema com a análise foliar da cultura.

Nitrogênio (N) e potássio (K) são fornecidos de quatro a cinco vezes no período de agosto a fevereiro, por meio do fertilizante 18-00-27, que pode ser enriquecido de micronutrientes, como boro e zinco, quando necessário.

O cobre (Cu) é fornecido via fungicidas. Após a colheita do café, a aplicação de fungicidas cúpricos tem função cicatrizante na planta. O molibdênio (Mo) é fornecido via foliar, nos meses de novembro e fevereiro. Visando proteger as folhas do ataque de microrganismos, o cloro é fornecido pela aplicação de um “antisséptico” após a colheita, no mês de março, época a partir da qual há redução da temperatura.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem dada ao sistema de manejo intensivo do cafeeiro na região do Alto São Francisco foi de ordem técnica, faltando ainda uma abordagem econômica do sistema para produtores de diferentes níveis tecnológicos.

As lavouras assim manejadas em áreas de Cambissolos ainda não ultrapassaram cinco anos, deixando em aberto o conhecimento da longevidade das mesmas nesta unidade pedológica, tendo em vista supostas limitações,

particularmente de ordem física destes solos. As melhorias proporcionadas em atributos do solo e, conseqüentemente, em lavouras cafeeiras neste sistema, embora visualmente nítidas, são suportadas por resultados analíticos ainda incipientes em áreas de Cambissolos, o que justifica maiores estudos a respeito dos efeitos do sistema nestas áreas.

As práticas de manejo adotadas no sistema apresentam potencial para reduzir limitações relacionadas ao déficit hídrico das classes de solos da região do estudo, abordadas neste trabalho. Com base no que foi discutido, é possível inferir que as práticas de manejo que compõem o sistema intensivo de cultivo convergem para a desejável sustentabilidade ambiental, assegurando particularmente a conservação do solo e da água, notadamente em uma região que faz parte da cabeceira de uma das principais bacias hidrográficas do país, a bacia do rio São Francisco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIC. Associação Brasileira da Indústria do Café. Disponível em: <<http://www.abic.com.br/estatisticas.html#intro>>. Acesso em 31 out. 2009.

AULER, P. A. M.; FIDALSKI, J.; PAVAN, M. A. and NEVES, C. S. V. J.. Produção de laranja 'Pêra' em sistemas de preparo de solo e manejo nas entrelinhas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.1, p.363-374, jan./fev.2008.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por resíduos de oito seqüências de culturas e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.1, p.91-98, jan./fev. 1990.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAM Brasil: **Levantamento de Recurso Naturais, Folhas SF.23/24 Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro**. Vol. 32. 780p.. (6 mapas: geologia; geomorfologia; pedologia; vegetação; uso potencial da terra; avaliação do relevo). 1983.

ALLEONI, L.R.F.; CAMARGO, O.A. Pontos de efeito salino nulo de latossolos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.2, p.175-80, mar./abr. 1994a.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBrasil: **Levantamento de Recurso Naturais, Folhas SF.23/24 Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro**. v. 32. 780p.. (6 mapas: geologia; geomorfologia; pedologia; vegetação; uso potencial da terra; avaliação do relevo), 1983.

CARVALHO, M. C. S. & RAIJ, B. van. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. **Plant Soil**, v.192, n.1, p.37-48, jan. 1997.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N. MELLO, C. R. CERRI, C. E. P.. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.34, n.2, p.277-290, mar./abr. 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: café, safra 2010, segunda estimativa, maio 2010**. Disponível

em:

<<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/ab115d6fec883315856bfb3f57bc7a0a..pdf>>. Acesso em: 30 out. 2010.

DAMATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. v.19, n.4, p.485-510, mar. 2008.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A.; SATTLER, AM; DERNADIM, D.. "Vertical mulching" como prática conservacionista para manejo de enxurrada em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n. spe., Out./dez. 2008.

FERNANDES, A.L.T.; SANTINATO, R.; LESSI, R.; YAMADA, A.; SILVA, V.A. Deficiência hídrica e uso de granulados em lavoura cafeeira irrigada por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.4, n. p.376-381, 2000.

GUIMARÃES, P. T. G. nutrição e adubação do cafeeiro. In: NUTRIÇÃO e adubação do cafeeiro. Machado: Fundação Cargil, ANDA, POTAFOS, ESCAMA, 1988. P. 123-166.

GUIMARÃES, R.J.; MENDES, A.N.G.; SOUZA, C.A.S. (Ed.). **Cafeicultura**. Lavras, MG: UFLA/FAEPE, 2002. 317p.

GUIMARÃES, P. T. G. **O uso do gesso agrícola na cultura do cafeeiro**. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., 1992, Uberaba. Anais... Uberaba: IBRAFOS, 1992. p. 175-190.

KARASAWA, S.; FARIA, M. A. de; GUIMARÃES, R. J. Resposta do cafeeiro cv. Topázio MG-1190 submetido a diferentes épocas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.28-34, jan./mar. 2002.

KUPPER, A.; CARVALHO, C. H. S.; MARTINS, M.; SANTINATO, R.; SILVA, O. A. da; GARCIA, A. W. R. Efeito do óxido e sulfato de zinco aplicados na cova de plantio do cafeeiro. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS**, 9., 1981, São Lourenço, MG, 1981. Resumos... Rio de Janeiro: IBC, 1981. p. 455-458.

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.

MALAVOLTA, E.; FAVARIN, J. L.; MALAVOLTA, M. CABRAL, C. P.; HEINRICH, R. SILVEIRA, J. S. M.. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.7, p.1017-1022, jul. 2002.

MARQUES, E. S.; FAQUIN, V.; GUIMARÃES, P. T. G. Teores foliares de nutrientes no cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em resposta a calcário e gesso. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 1, p. 140-151, jan. 1999.

DA MATTA, F. M.; AMARAL, J. A. T.; RENA, A. B. Growth periodicity in trees of *Coffea arabica* L. in relation to nitrogen supply and nitrate reductase activity. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.60, p.223-229, 1999.

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, PB, v.13, n.4, p.397-405, jul./ago. 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, p.1-19, Mai. 2002.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C. VEZZANI, F. FERNANDES, F. F. DEBARBA, L. Manejo de solos e culturas e sua relação com estoques de carbono e nitrogênio do solo. **Tópico em ciência do solo**, Viçosa, MG, v.3, p.209-248, 2003.

MIELNICZUK, J., **Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas**. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.de O.(editores) Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Genesis, 1999, p.1-8.

PARDO, A.; AMATO, M.; CHIARANDA, F. Q. Relationships between soil structure, root distribution and water uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Plant growth and water distribution. **European Journal of Agronomy**. v.13, n. 1, p.39- 45, jan. 2000.

PAVAN, M.A.; VOLKWEISS, S.J. **Efeitos do gesso nas relações solo - planta: princípios.** In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1., 1985, Brasília. Anais... EMBRAPA-SPI, 1986. p.107-118.

PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D.; SIQUEIRA, R. & ANDROCIO FILHO, A. **O sistema de plantio adensado e a melhoria da fertilidade do solo.** Piracicaba, Potafós, 1997. p.1-7. (Informações Agronômicas, 80).

PETEK, M. R.; PATRÍCIO, F. R. A. **Cultivares resistentes ou tolerantes a fatores bióticos e abióticos desfavoráveis:ponto-chave para a cafeicultura sustentável.** O Agrônomo, Campinas, SP, v. 59, n. 1, p.39-40, jul. 2007.

RAIJ, B. van. **Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo.** São Paulo, ANDA, 1988. 88p.

REISSER JUNIOR, C. R.; UENO, B.; MEDERIOS, A. R. M. de; MEDEIRO, C. A. B.; ANTUNES, L. E.; WREGE, M. S.; HERTER F. G. **Irrigação e Cobertura do Solo em Pomares de Figueira em Transição para o Sistema Orgânico de Produção.** Circular Técnica. Pelotas, RS, Embrapa Clima Temperado, n.50, p.1-2, 2005.

RENA, A. B. e GUIMARÃES, P. T. G. **Sistema Radicular do Cafeeiro: Estrutura, Distribuição, Atividade e Fatores que o Influenciam.** Belo Horizonte: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. 2000. 80 p.

SERAFIM, M. E.; LIMA, V. M. P.; MAGALHÃES, C. A. S.; ZEVIANI, W. M.; PESSONI, P. T.; PEREIRA, M. A.. Alterações eletroquímicas e movimentação de íons em latossolo vermelho sob doses de gesso. In: **XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 2009, Fortaleza. XXXII CBCS, 2009.

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. ???, p.159-168, 2009.

SOUZA, D. M. G.; RITCHEY, K. D. **Uso do gesso no solo de cerrado.** In: Anais do I Seminário sobre o Uso de Fosfogesso na Agricultura. P. 119-144. Brasília, Embrapa-DDT, 1986.

SOUZA, E. A.; COELHO E. F.; PAZ V. P. S.; DA SILVA, T. S. M. Distribuição da umidade num 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.

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 184p. (Tese de Doutorado).

WADT, P. G. S. Alterações eletroquímicas de um latossolo vermelho-amarelo tratado com carbonato e sulfato de cálcio. **Scientia Agricola**, v.57, n.3, p.519-524, jul./set. 2000.

WEBER, O. L. S.; CHITOLINA, J. C.; CAMARGO, O. A. & ALLEONI, L. R. F.. Cargas elétricas estruturais e variáveis de solos tropicais altamente intemperizados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.29, n.6, p.867-873. Nov./dez. 2005.

ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Aplicação de gesso grícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**. Santa Maria, RS. v.37, n.1, p.110-117, jan-fev, 2000.

ARTIGO 2 POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DE USO DE LATOSSOLOS E CAMBISSOLOS SOB SISTEMA CONSERVACIONISTA EM LAVOURAS CAFEIRAS⁽³⁾

Normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo.

Milson Evaldo Serafim⁽²⁾; Geraldo César de Oliveira⁽³⁾; Nilton Curi⁽⁴⁾; José Maria de Lima³; Paulo Tácito Gontijo Guimarães⁽⁵⁾; Vico Mendes Pereira Lima⁽⁶⁾.

⁽³⁾Parte da tese do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade

Federal de Lavras – UFLA. Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Lavras (MG). Projeto financiado pela FAPEMIG e apoio logístico da EPAMIG e da Empresa Agropecuária Piumhi, Piumhi - MG.

⁽²⁾Doutorando, Departamento de Ciência do Solo – UFLA. Bolsista do CNPq. E-mail: milson.serafim@cas.ifmt.br

⁽³⁾Professores Associados do DCS/UFLA. Bolsista da Capes e CNPq respectivamente. E-mail: geraldooliveira@dcs.ufla.br; jmlima@dcs.ufla.br

⁽⁴⁾Professor Titular do DCS/UFLA. Bolsista do CNPq. E-mail: niltcuri@dcs.ufla.br

⁽⁵⁾Pesquisador da EPAMIG, Centro Tecnológico do Sul de Minas, Lavras-MG. E-mail: paulotgg@dcs.ufla.br.

⁽⁶⁾Doutorando, DCS/UFLA. E-mail: vicomendes@hotmail.com

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

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, com a finalidade de racionalizar o uso e o manejo dos mesmos. 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, que tem como premissas a abertura de sulcos profundos e homogeneização do material de solo com fertilizantes; a implantação e a manutenção de braquiária nas entrelinhas da lavoura; a aplicação de gesso na linha da cultura; a sistematização dos terrenos declivosos e a manutenção do estado nutricional das plantas. 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 indicam maior potencialidade de uso dos solos, propiciada pelo sistema conservacionista, em comparação àquele recomendado pelo sistema de capacidade de uso.

Termos de indexação - Capacidade de uso da terra. Indicadores físico-químicos do solo. Café.

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

Summary - 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, that has as premises the opening of deep furrows and homogenization of the soil material with fertilizers; the implantation and maintenance of brachiaria in between rows of coffee plant; application of gypsum in the crop line; systemization of sloping land, and management of the nutritional state of the plants. 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.

Index terms: Land use capacity. Soil physical and chemical indicators. Coffee.

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, o que exige alguns ajustes na maioria das áreas cultivadas com esta cultura.

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 (RadamBrasil, 1983; Almeida & Resende, 1985). Segundo Pessoni (2009), os Latossolos sob cafeicultura na região, normalmente, são enquadrados na classe III do Sistema de Capacidade de Uso das Terras e os Cambissolos, na Classe VI.

Os Cambissolos da região dos Cerrados, normalmente, apresentam baixa capacidade de armazenamento de água (Resende et al., 2007). A principal causa é o acentuado deflúvio, devido à posição ocupada por estes solos na paisagem, normalmente em declive muito acentuado (Silva et al., 2005). Estes solos associados a Neossolos Litólicos ocupam cerca de 34% da área da região do Alto São Francisco, em Minas Gerais (Almeida & Resende, 1985) e, além da deficiência hídrica estacional, apresentam certas particularidades que os tornam merecedores de atenção (Curi et al., 1994; Oliveira et al. (1994).

Particularmente os Cambissolos originados de rochas pelíticas, muito comuns na região do Alto São Francisco (MG), 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). Estes autores fazem considerações sobre o manejo desses Cambissolos e sugerem o uso de grandes covas adubadas para o cultivo de plantas perenes. Consideram também que o encrostamento deve receber atenção especial, por ser a causa de baixa infiltração, erosão entre outros problemas de conservação.

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). Dessa forma, o uso de práticas conservacionistas, mesmo elevando os custos de produção, não deve ser negligenciado pelos produtores.

Nesta linha de raciocínio, uma proposta conhecida como mulching vertical vem sendo implementada no sul do país (Dernadin & Freitas, 1982; Dernadin et al., 2008) e diz respeito à construção de sulcos semelhantes aos terraços que, cheios de restos de cultura, têm como objetivo a redução da velocidade das enxurradas e o aumento da infiltração e da permeabilidade, potencializando o aproveitamento das águas provenientes das chuvas.

Para garantir a sustentabilidade da atividade cafeeira, é importante obter elevado índice de produtividade associado à qualidade do produto. Isso demanda o uso de tecnologias adequadas que incluem desde a escolha da área para implantação da cultura, passando pela escolha da variedade, das práticas culturais e vão até a colheita e a pós-colheita (Zambolim, 2002).

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. A prática conservacionista adotada é a vegetativa, pelo uso de gramínea

(*Brachiaria* sp.) como cultura de cobertura nas entrelinhas da cultura do café, o que garante proteção contra os impactos diretos da gota de chuva e aumento do aporte de matéria orgânica na superfície e no perfil do solo (Martorano et al., 2009).

O aporte de matéria orgânica no perfil se dá, principalmente, pela morte do sistema radicular das gramíneas (Aratani et al., 2009). A presença das plantas na entrelinha, somada ao material morto acumulado na superfície do solo, funciona como uma barreira ao escoamento da água da chuva, aumentando seu tempo para infiltração no solo. Soma-se a estes fatores a formação de canais (bioporos) devido à morte de raízes, o que facilita a infiltração da água (Bezerra & Cantalice, 2006). O acúmulo de material orgânico na superfície protege o solo da radiação direta, o que reduz as variações de temperatura e perda de água por evaporação (Martorano et al., 2009).

Estas melhorias buscam reduzir as limitações ao uso das terras, tornando-as viáveis para o cultivo do café na região do Alto São Francisco, em condição de sequeiro. Este sistema possui ainda outras premissas relacionadas à conservação e ao melhor aproveitamento da água do solo pela cultura, devendo-se destacar: construção da fertilidade do solo no sulco de plantio que é revolvido até 0,6 m de profundidade e 0,5 m de largura, objetivando maior enraizamento das plantas; produção antecipada de mudas de café e plantio concentrado na primeira quinzena do mês de novembro para maior aproveitamento das águas no período chuvoso, além da manutenção da qualidade nutricional das plantas.

Outra operação marcante no sistema AP Romero é a aplicação de 7 kg m⁻¹ de gesso agrícola aplicado na superfície do solo, na linha da cultura, associado à “chegada de terra”. A terra amontoada sobre o gesso assegura um reservatório deste insumo e o sulfato de cálcio, base da sua composição química, vai sendo gradativamente liberado ao longo dos anos. A “chegada de terra”, por sua vez, visa garantir sustentação às plantas, evitando o tombamento, além de

protegê-las do frio nas áreas mais baixas. Desde o plantio até a construção da leira ocorre um elevado acúmulo de massa proveniente da braquiária na entrelinha da lavoura. Dessa forma, nesta operação de enleiramento, toda a massa orgânica acumulada no solo até 0,1 m de profundidade é removida para junto da planta.

A classificação pedológica associada à classificação da capacidade de uso da terra é uma importante ferramenta não só para a identificação e a delimitação geográfica dos solos existentes, mas, principalmente, para estratificar o ambiente em nível local (Resende et al., 2002), visando o melhor desenvolvimento da lavoura cafeeira. No mais, a interpretação das informações pedológicas fornece subsídios para a definição de práticas de manejo dos solos que podem garantir a sustentabilidade e a competitividade da exploração (Schneider et al., 2007).

Assim, este trabalho foi realizado com o de objetivo salientar potencialidades e limitações de Latossolos e Cambissolos da região fisiográfica do Alto São Francisco (MG), cultivados com café sob sistema conservacionista de solo e água, a partir do estudo pedológico complementado pela quantificação de atributos físico-hídricos 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 situa o local deste estudo.

A região é predominantemente recoberta por Latossolos de textura argilosa e muito argilosa e por Cambissolos de textura variada (RadamBrasil (1983). 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.

A área amostrada 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. Como material de origem dos solos predominam siltitos e micaxistos. 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 contíguas formadas pela associação de Latossolos e Cambissolos. 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 espalhados nas duas áreas

Para a implantação das lavouras cafeeiras cultivar Catucaí Amarelo multilínea, foi feito o preparo do solo com aração e gradagem, aproveitando-se as operações para incorporação de calcário e gesso agrícola, previamente aplicados, com base na análise de solo, 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, além de abrir o solo, também o revolve 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 é 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 (Quadro 1).

Quadro 1. Quantidade de corretivos e adubos utilizados nas épocas de plantio, formação e produção da lavoura (kg ha⁻¹).

Fonte	Cronograma de adubação			
	1º ano		2º ano	3º ano
	Plantio	Cobertura		
Gesso agrícola ¹	2000	28000		
Calcário dolomítico ²	8000+1000			
Superfosfato triplo	900			
F.T.E. BR 155	100			
F.T.E. BR 93			100	
20-00-20 ³	530	492	1700	600
Nitrato de amônio ⁴		100		320
Monofosfato de amônio (MAP) ⁵	40			
18-00-27 +0,2% de B				1700
Óxido Mg			100	
KCl (pó)			100	

¹Gesso agrícola: 2.000 kg.ha⁻¹ em área total no preparo do solo e 28.000 kg.ha⁻¹ na linha da cultura;

²Calcário dolomítico: 8.000 kg.ha⁻¹ no preparo do solo e 1.000 kg.ha⁻¹ no sulco de plantio;

³20-00-20: Para a primeira adubação, que ocorre antes da primeira chuva, a fórmula é balanceada, utilizando como fonte de N o NH₄NO₃.

⁴Nitrato de amônio: aplicação em área total, sobre a cultura de cobertura;

⁵MAP: 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, em 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 (Quadro 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.

Quadro 2. Identificação dos locais de estudo: classe de solo¹ com idade da lavoura, horizonte amostrado e profundidade de amostragem.

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

¹ CXbd - Cambissolo Háplico Tb distrófico; LVd - Latossolo Vermelho distrófico; ²CXbd_{3,5} 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.

Análises Químicas

As análises químicas de rotina incluíram pH, P e K disponíveis; Ca, MG e Al trocáveis; S e carbono orgânico, 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).

Análises físico-hídricas

a) Análise granulométrica e densidade do solo e porosidade do solo

A análise granulométrica foi feita pelo método da pipeta, segundo Day (1965). A densidade do Solo (D_s) 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 (Oliveira et al., 1994; 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.

b) Retenção de água pelo solo

As curvas de retenção de água do solo foram obtidas para as 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.

Para as determinações do conteúdo de água nos potenciais aplicados, as amostras foram devidamente preparadas e saturadas por capilaridade, por meio da elevação gradual de uma lâmina de água, em bandeja. Depois de saturadas, elas foram pesadas e submetidas aos seguintes potenciais: 0,001, 0,002, 0,004, 0,006 e 0,01 MPa, na mesa de tensão e 0,033, 0,066, 0,3 e 1,5 MPa, na membrana extratora de Richards, segundo Embrapa (1997). Após atingir o equilíbrio hídrico em cada potencial, as amostras foram pesadas e submetidas ao potencial seguinte, constituindo o método por secamento. Após o último

potencial, as amostras foram secas em estufa, a $105^{\circ}\text{C}\pm 2$, por 24 horas, para determinação do conteúdo de água do solo (θ_r).

O ajuste das curvas de conteúdo volumétrico de água (θ), 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), conforme a equação 1:

$$\theta = (\theta_{\text{sat}} - \theta_{\text{res}}) [1 + (\alpha h)^n]^{-m} + \theta_{\text{res}} \quad (1)$$

sendo h a tensão da água no solo (kPa); θ o conteúdo de água ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); θ_{sat} o conteúdo de água na saturação ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); θ_{res} o conteúdo de água no ponto de murcha permanente ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e m , n e α os parâmetros de ajuste do modelo.

c) Avaliação das condições estruturais do solo

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).

$$S = -n(\theta_{\text{sat}} - \theta_{\text{res}}) [1 + 1/m]^{-(1+m)} \quad (2)$$

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

Análise estatística

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 (Quadro 3), principalmente no horizonte A.

O horizonte Bw do Latossolo apresentou redução de limitação química nas lavouras com um ano e meio e três anos e meio, 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 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 (Quadro 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.

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^{2+} e Mg^{2+} 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.

Quadro 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 de solo/idade da lavoura ¹	E ²	Prof.	pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	Al ³⁺	H+Al	T	V	m
LVd _{3,5}	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 _{3,5}	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 _{1,5}	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 _{1,5}	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 _{3,5}	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 _{3,5}	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 _{0,5}	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 _{0,5}	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 _{0,5}	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 _{0,5}	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

Continuação...

CXbd _{1,5}	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 _{1,5}	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

¹CXbd - Cambissolo Háplico Tb distrófico, exceto CXbd_{3,5} Cambissolo Háplico Tb distrófico latossólico; LVd - Latossolo Vermelho distrófico.

²E: época 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; V: saturação por bases; m: saturação por Al.

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 (Quadro 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 0,8 m de profundidade. Já no sistema conservacionista, por ocasião da descrição dos perfis, foram encontradas raízes em profundidade superior a 2,0 m. Este aumento da profundidade explorada pelas raízes, passando de 0,8 para 2,0 m, indica um aumento de água disponível para as lavouras sob o sistema conservacionista (Libardi, 2000).

Por ocasião da 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 C) 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 material do horizonte B 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 (Quadro 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 em estudo.

Para o CXbd_{0,5} de textura muito argilosa e CXbd_{1,5} 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 (Quadro 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.

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

¹ CXbd - Cambissolo Háplico Tb distrófico, exceto CXbd_{3,5} Cambissolo Háplico Tb distrófico latossólico; LVd - Latossolo Vermelho distrófico. ² Horizontes do solo; ³ Ds – densidade do solo; ⁴ VTP = volume total de poros

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, contribuindo para manter a umidade mais elevada no perfil do solo ao longo do ano, o que reduz sua resistência à penetração de raízes (Serafím, 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*) (Quadro 5).

Quadro 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 de Solo ¹ /idade da lavoura em anos	Estrutura ²			Fator limitante ³						Classe de capacidade de uso
	Tipo	Classe	Grau	p.e. ⁴ m	c. ⁵	Drenagem	D ⁶ %	Erosão	E ⁷	
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
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

⁽¹⁾ Cambissolo Háplico Tb distrófico (CXbd) exceto CXbd_{3,5} Cambissolo Háplico Tb distrófico latossólico, Latossolo e Latossolo Vermelho distrófico (LVd). ⁽²⁾ Segundo critérios propostos por Santos et al. (2005). ⁽³⁾ Conforme Lepsch et al. (1991). ⁴p.e.: profundidade efetiva; ⁵c: classe textural em que m: muito argilosa e a: argilosa; ⁶D: declividade do terreno; ⁷E: 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 (Quadro 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.

A acentuada inclinação das curvas em Latossolos típicos indica um decréscimo abrupto no conteúdo de água, 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). A segregação em duas categorias de poros nestes solos caracteriza uma distribuição bimodal (Dexter, 2004c).

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 (Quadro 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).

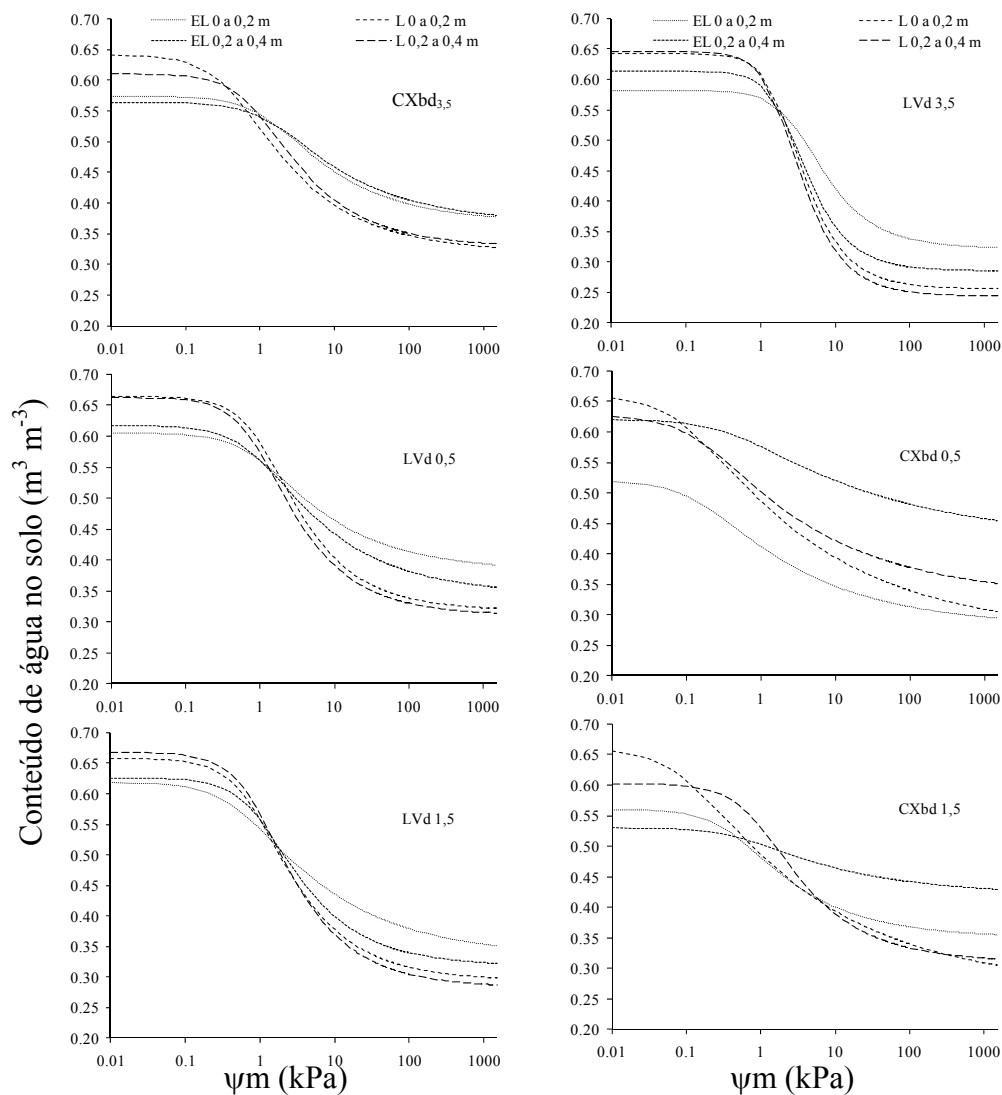


Figura 1. Curvas de retenção de água do solo [conteúdo de água no solo (U) em função do potencial matricial (ψ_m)], nas profundidades de 0,2 e 0,4 m de solos sob café com idades de 0,5; 1,5 e 3,5 anos, na região fisiográfica do Alto São Francisco, MG. Cambissolo Háplico Tb distrófico (CXbd), Cambissolo Háplico Tb distrófico latossólico (CXbd_{3,5}) e Latossolo Vermelho distrófico (LVd).

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 (Quadro 6). Isto é atribuído à operação de uniformização dos materiais dos horizontes Bi e C que, misturados com o gesso e o material orgânico da entrelinha, 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 uniformização, todos os solos estudados apresentaram valores de umidade de saturação (θ_s) significativamente maiores na linha em relação à entrelinha, na profundidade de 0 a 0,2 m (Quadro 6), o que está relacionado ao revolvimento e possível acúmulo da mistura gesso e material proveniente da decomposição da braquiária. Para os valores de θ_r , observou-se o contrário.

Quadro 6. Parâmetros da equação de Van Genuchten (θ_s , θ_r , a , n , m), conteúdo de água do solo na capacidade de campo (θ_{cc}) e parâmetro S , para curvas de retenção de água em seis glebas cultivadas com cafeeiro.

Profundidade	Posição ¹	² θ_s	³ θ_r	⁷ θ_{cc}	⁸ CAD	⁹ S	⁴ a	⁵ n	⁶ m
m				$m^3 m^{-3}$					
					CXbd _{3,5}				
0,2	EL	0,57b ¹⁰	0,37a	0,47a	0,10	0,045	0,74	1,445	0,308
0,2	L	0,64 ^a	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	0,61 ^a	0,33a	0,43b	0,10	0,070	1,15	1,531	0,347
					LVd _{3,5}				
0,2	EL	0,58b	0,32a	0,46a	0,14	0,086	0,30	1,818	0,450
0,2	L	0,64 ^a	0,26b	0,38b	0,12	0,154	0,45	2,047	0,511
0,4	EL	0,61 ^a	0,29a	0,40a	0,11	0,130	0,41	2,045	0,511
0,4	L	0,65 ^a	0,24b	0,37a	0,13	0,160	0,49	2,046	0,511
					LVd _{0,5}				
0,2	EL	0,61b	0,38a	0,48a	0,10	0,046	1,10	1,413	0,292
0,2	L	0,66 ^a	0,32b	0,43b	0,11	0,096	0,91	1,631	0,387
0,4	EL	0,62 ^a	0,34a	0,46a	0,12	0,057	1,13	1,418	0,295
0,4	L	0,66 ^a	0,31a	0,42a	0,11	0,096	1,08	1,617	0,382
					CXbd _{0,5}				
0,2	EL	0,52b	0,28a	0,36b	0,08	0,040	6,81	1,302	0,232
0,2	L	0,66 ^a	0,27a	0,41a	0,14	0,056	10,70	1,242	0,195
0,4	EL	0,62 ^a	0,42a	0,53a	0,11	0,026	2,55	1,213	0,175

Continuação...

0,4	L	0,63 ^a	0,33b	0,44b	0,11	0,046	6,71	1,274	0,215
				CXbd _{1,5}					
0,2	EL	0,56b	0,35a	0,42a	0,07	0,036	2,37	1,450	0,310
0,2	L	0,66 ^a	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	0,60 ^a	0,31b	0,41a	0,10	0,069	1,15	1,531	0,347
				LVd _{1,5}					
0,2	EL	0,62 ^a	0,33a	0,45a	0,12	0,052	1,89	1,346	0,257
0,2	L	0,66 ^a	0,29b	0,41b	0,12	0,095	1,24	1,580	0,367
0,4	EL	0,63 ^a	0,32a	0,43a	0,11	0,080	1,00	1,574	0,365
0,4	L	0,67 ^a	0,28b	0,40a	0,12	0,104	1,14	1,608	0,378

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

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 apresentados 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).

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 (Figuerêdo 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 podem 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.

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, podendo ocorrer redução das limitações observadas nos solos sob condições naturais.

As produtividades das lavouras estudadas (Quadro 7) são superiores à média para o estado de Minas Gerais, que é de 28,6 sacas/hectare (CONAB, 2009). Até o momento não foram observadas diferenças de produtividade entre as glebas e as classes de solo (Quadro 7).

Quadro 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 ¹	Implantação ²	2008	2009	2010
	ano	ano	Saca 60 kg (beneficiada)		
Curimba	CXbd _{3,5}	2005	50	51	44
Curimba	LVd _{3,5}	2005	45	49	44
AP 2	LVd _{0,5}	2007	-	-	77
AP 2	CXbd _{0,5}	2007	-	-	50
AP 2	LVd _{1,5}	2006	-	45	29
AP 2	CXbd _{1,5}	2006	-	57	45

¹CXbd - Cambissolo Háplico Tb distrófico, exceto CXbd_{3,5} Cambissolo Háplico Tb distrófico latossólico; LVd - Latossolo Vermelho distrófico. Idade da lavoura no início do estudo;

²Plantio nos meses de outubro e novembro dos respectivos anos.

CONCLUSÕES

1. Os solos sob sistema conservacionista, particularmente em áreas de lavouras mais velhas, tiveram sua limitação de fertilidade (s-5) reduzida.
2. O sulcamento de plantio promoveu alterações positivas nos parâmetros físicos avaliados, incrementando o potencial de uso dos Cambissolos.
3. As limitações por pouca profundidade efetiva (s-1) e cascalho (s-3) das áreas de Cambissolo Háplico foram reduzidas pela abertura do sulco.
4. 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.

LITERATURA CITADA

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, 11:19-26, 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 acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. Rev. Bras. Ciênc. Solo, 33:677-687, 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. Rev. Bras. Ciênc. Solo, 32:23-32, 2008.

BEZERRA, S.A. & CANTALICE, J.R.B. Erosão entressulcos em diferentes condições de cobertura vegetal de solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. Ver. Bras. Ciênc. Solo, 30:565-573, 2006.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBrasil: Levantamento de Recurso Naturais, Folhas SF.23/24 Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro. v. 32. 780p.. (6 mapas: geologia; geomorfologia; pedologia; vegetação; uso potencial da terra; avaliação do relevo), 1983.

CELIK, I.; ORTAS, I. & KILIC, S. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. Soil Till Res, Madison, v.78, p.59-67, 2004.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/>>. Acesso em 30 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. *Ciênc. agrotec.* 33:1272-1279, 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. 1:545-546.

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. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 32:2847-2852, 2008.

DENARDIN, J. E. & FREITAS, P.L. de. Características fundamentais da chuva no Brasil. *Pesq. agropec. bras.*, 17:1409-1416, 1982.

DEXTER A.R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 120:201-214, 2004a.

DEXTER A.R. Soil physical quality: Part III. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. *Geoderma*, 120:227-239, 2004c.

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, 57:191-196, 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., São Carlos, 2000. p.255-258.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B. & CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da Região Sudeste do Brasil. R. Bras. Ci. Solo. 23:515-524, 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, 13:378-391, 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. R. Bras. Eng. Agric. Ambiental, 13:397-405, 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. Rev. Águas Subterrâneas. 16:1-19, 2002.

MENEZES, M. D.; JUNQUEIRA JÚNIOR, J. A.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; CURI, 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). Sci. For. 37: 175-184, 2009.

OLIVEIRA, G. C.; FERREIRA, M. M. & CURI, N. Caracterização físico-hídrica de Cambissolos da microrregião Campos da Mantiqueira (MG). Ciênc. Prática, Lavras, 18:341-348, 1994.

PESSONI, P.T. Sistema conservacionista de cultivo de café: solos e práticas de manejo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2009. 72p. (Monografia de conclusão do curso de Agronomia).

- RAIJ, B. VAN. Gesso na agricultura. Campinas, Instituto Agronômico, 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. 2:593-644.
- 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. Belo Horizonte, Inst. de Geociências, UFMG, 1991. 285p. (Tese (Docência) - Belo Horizonte).
- 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, 28:654-665, 2008.
- 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). R. Bras. Ci. Solo, 33:159-168, 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. Pesq. agropec. bras. 40: 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. 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. Rev. Bras. Ciênc. Solo, 32:2603-2612, 2008.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 44:892-897, 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. Rev. Bras. Ciênc. Solo. 33:1409-1425, 2009.

ZAMBOLIM, L. (Ed.). Tecnologia de produção de café com qualidade. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2002. 648p.

ARTIGO 3 QUALIDADE FÍSICA E INTERVALO HÍDRICO
ÓTIMO EM UM LATOSSOLOS E UM CAMBISSOLO
CULTIVADOS COM CAFEEIRO SOB SISTEMA
CONSERVACIONISTA⁽⁴⁾

Normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo (versão preliminar).

Milson Evaldo Serafim⁽²⁾; Geraldo César de Oliveira⁽³⁾; Antonio
Carlos Tadeu Vitorino⁽⁴⁾; Bruno Montoani Silva⁽⁵⁾; Carla Eloize
Carducci⁽⁶⁾.

⁽⁴⁾Parte da tese do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras – UFLA. Caixa Postal 3037,
CEP 37200-000, Lavras (MG). Projeto financiado pela FAPEMIG e apoio logístico
da EPAMIG - Lavras e da Empresa Agropecuária Piumhi, Piumhi - MG.

⁽²⁾Doutorando, Departamento de Ciência do Solo – UFLA. Bolsista do CNPq. E-
mail: milson.serafim@cas.ifmt.br

⁽³⁾Professor Associado do DCS/UFLA. Bolsista CNPq. E-mail:
geraldooliveira@dcs.ufla.br;

⁽⁴⁾ Professor Associado da Faculdade de Ciências Agrárias, UFGD. Bolsista do
CNPq. E-mail: antoniovitorino@ufgd.edu.br

⁽⁵⁾ Mestrando, DCS/UFLA. E-mail: brunoms3@yahoo.com.br

⁽⁶⁾ Doutoranda, DCS/UFLA. E-mail: elocarducci@hotmail.com

QUALIDADE FÍSICA E INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO EM UM LATOSSOLOS E UM CAMBISSOLO CULTIVADOS COM CAFEEIRO SOB SISTEMA CONSERVACIONISTA

Resumo - Cafeicultores da região fisiográfica do Alto São Francisco, MG, Brasil, vêm adotando um novo sistema de cultivo, considerado conservacionista, cujos efeitos na qualidade física do solo ainda são desconhecidos. Este trabalho foi realizado com o objetivo de estudar a qualidade física de dois Latossolos localizados em áreas contíguas sob cultivo comercial de café. A área localizada no topo da paisagem é recoberta por Cambissolo Háplico Tb distrófico latossólico; a outra, no terço médio, é recoberta por Latossolo Vermelho Distrófico. Em cada área foram amostradas as profundidades de 0-0,05 e 0,75-0,80 m, nas posições linha e entrelinha do cafeeiro, totalizando oito situações. Em todas as situações o sistema de manejo conservacionista assegurou boa qualidade física, particularmente na linha da cultura, nas duas classes de solos estudadas, tendo em vista o fato de o limite superior e inferior do intervalo hídrico ótimo (IHO) ser dado pela capacidade de campo e ponto de murcha permanente, respectivamente, o que foi confirmado pelos valores de macroporosidade, microporosidade, volume total de poros, densidade do solo e resistência do solo à penetração.

Termos de indexação - IHO; Cafeicultura; Sistema conservacionista; Qualidade física do solo.

Title: PHYSICAL QUALITY AND LEAST LIMITING WATER RANGE IN LATOSOL AND CAMBISOL CULTIVATED WITH COFFEE UNDER A CONSERVATIONIST SYSTEM

Abstract - Coffee farmers of the Physiographic Area of the Upper San Francisco River, MG, Brazil, have been adopting a new cultivation system, considered conservationist, whose effects on the physical quality of the soil are still being studied. The objective of this work was to study the physical quality of a Latosol and a Cambisol located in contiguous areas under commercial cultivation of coffee. The area located on the top of the landscape and that represents a transition area, is covered again by latossolic dystrophic Tb Haplic Cambisol (Inceptsol); the other located in the medium third is covered by a Red Latosol (Oxisol). In each area the depths of 0.03 and 0.80 m were sampled, in the row and interrow positions of the coffee plant, totaling eight situations. In all of the situations the conservationist management system assured good physical quality, particularly in the culture row, in the two soil classes studied, keeping in mind the superior and inferior limit of the least limiting water range (LLWR) given by the field capacity and permanent withering point, respectively, that was confirmed by the macroporosity, microporosity, total pore volume, soil density and soil penetration resistance parameters.

Index terms: LLWR; Coffee culture; Conservacionist System; Soil physical quality.

INTRODUÇÃO

O bom desenvolvimento das culturas agrícolas em diferentes sistemas de cultivo tem estreita relação com a qualidade física do solo. Assim, as condições físicas do solo consideradas ótimas para o crescimento radicular das plantas resultam de complexas interações entre resistência do solo à penetração, aeração e suprimento de água (Lapen et al., 2004). Para uma mesma condição, espécies exigentes estarão sujeitas a estresses de ordem física, enquanto outras espécies mais rústicas poderão não encontrar limitações (Olibone et al., 2010; Williams & Weil, 2004).

Sistemas de cultivo conservacionistas, com mobilização mínima do solo, quando bem manejados, podem contribuir para a qualidade física do solo, pois nestes sistemas há tempo suficiente para o desenvolvimento da estrutura do solo e formação de bioporos, que são caminhos preferenciais para o crescimento das raízes (Severiano et al., 2010; Jimenez et al., 2008).

Na cafeicultura, o emprego de boas práticas de manejo do solo já não é uma preocupação apenas da Ciência do Solo, sendo, inclusive, uma exigência para certificação do café (BSCA, 2005; Minas, 2009). Neste contexto destaca-se um sistema de manejo inovador que vem sendo praticado na região fisiográfica do Alto São Francisco, o qual tem merecido atenção por contemplar boas práticas de conservação do solo e da água.

Neste sistema, a presença de cultura de cobertura na entrelinha (*Brachiaria sp.*) assegura melhor proteção permanente ao solo, além de fornecer elevado aporte de matéria orgânica em superfície. Outro destaque do sistema é o menor tráfego de máquinas, que resulta em menor compactação do solo (Araujo Junior et al., 2008), pois na

lavoura formada as operações de tratos culturais são realizadas com tração animal.

Destaca-se que, no Alto São Francisco, assim como em boa parte da região do Cerrado, as precipitações são insuficientes ou mal distribuídas no decorrer do ano, o que justifica a recomendação de irrigação na cafeicultura mais tecnificada (Fernandes et al., 2000; Karasawa et al., 2002). O agravante é que falta água para irrigação em muitas propriedades e, dessa forma, a adoção de sistemas de cultivo capazes de mitigar o déficit hídrico pela preservação ou melhorias da qualidade física do solo torna-se imperativa.

Considerando a importância dos atributos físicos na dinâmica da água foi determinado o intervalo hídrico ótimo em um Latossolo Vermelho Distroférico e um Latossolo Vermelho-Amarelo Câmbico cultivados com cafeeiro e sob sistema conservacionista e de manejo intensivo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no município de São Roque de Minas, região fisiográfica do Alto São Francisco, estado de Minas Gerais. O clima da região é do tipo Cwa, segundo classificação de Köppen, com precipitação média anual de 1.344 mm e estação seca bem definida nos meses de maio a setembro. A temperatura média anual é de 20,7°C, a umidade relativa média é de 60% e a altitude média de 900 m (Menegasse et al., 2002).

Foram estudadas duas áreas contíguas sob cafeeiros, cultivar Catucaí Amarelo Multilínea, com idade de quatro anos, recobertas por Cambissolo Háplico Tb distrófico latossólico (CXbd) e Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) (Embrapa, 2006), localizadas no topo e no

terço médio da rampa, respectivamente. Algumas características destes solos são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1. Classes de solo (Classe), horizontes do solo (H), profundidade dos horizontes, granulometria e densidade de partículas (Dp).

Classe	H.	Profundidade m	Granulometria			Dp Mg m ⁻³
			Areia	Silte g kg ⁻¹	Argila	
CXbd	A	0-0,2	140	130	730	2,45
	Bw	0,50-0,85	140	160	700	2,67
LVd	A	0-0,22	170	90	740	2,56
	Bw	0,65-1,23	150	80	770	2,59

A implantação e o manejo da lavoura foram idênticos para as duas classes de solo. No preparo, fez-se o revolvimento do solo com grade e arado de disco e aplicação do calcário e de gesso em área total, segundo recomendação para o estado de Minas Gerais (Alvarez et al., 1999). Esta foi a única mobilização do solo.

O sistema de manejo adotado nas áreas se diferenciou do sistema convencional de produção do cafeeiro em vários aspectos. Para o plantio, o sulco foi preparado com 0,5 m de largura e 0,6 m de profundidade, ao qual foram incorporados adubos, corretivos e resíduos vegetais da superfície. Após o preparo do sulco, foi implantada uma linha de *Brachiaria* sp. na entrelinha do cafeeiro. O plantio foi realizado no início do mês de novembro. Após o plantio, foram aplicados 28 t ha⁻¹ de gesso agrícola, em superfície, na linha da cultura. Na sequência fez-se a amontoa de terra ao longo da linha do cafeeiro, recobrando o gesso com uma camada de 0,3 m com solo misturado a resíduos vegetais fornecidos pela braquiária cultivada nas entrelinhas.

O stand médio adotado foi de 5.333 plantas por hectare. O manejo da braquiária, no primeiro ano, foi realizado com roçadora tratorizada. Os demais tratamentos culturais e a roçada do mato, a partir do segundo ano, foram realizados com o uso de tração animal. A avaliação do estado nutricional das plantas e o manejo das adubações foram feitos baseados em análise foliar periódica.

Para a realização das análises deste estudo foram amostrados os horizontes A e B de cada solo na posição linha e entrelinha da cultura, constituindo oito situações (Quadro 2).

Quadro 2. Apresentação das oito situações de estudo.

Solo	Prof (m)	Posição	
		Linha	Entrelinha
CXbd	0-0,05	Situação 1	Situação 2
	0,75-0,80	Situação 3	Situação 4
LVd	0-0,05	Situação 5	Situação 6
	0,75-0,80	Situação 7	Situação 8

Para a coleta das amostras com estrutura preservada foram abertas três trincheiras, constituindo repetições em cada classe de solo. As amostras foram coletadas em anéis volumétricos (0,064 m de diâmetro por 0,025 m de altura), sendo, então, saturadas por capilaridade a partir da base. Para a determinação da curva de retenção, as 21 amostras de cada situação de estudo foram distribuídas em sete potenciais matriciais, com três repetições.

Foram adotados os seguintes potenciais matriciais: -4, -6 e -10 kPa, na unidade de sucção; -33, -100, -500 e -1500 kPa nos aparelhos extratores de Richards, segundo Embrapa (1997). Após atingir o equilíbrio hídrico em cada potencial, as amostras foram pesadas e nelas determinada a resistência do solo à penetração, conforme Tormena et al. (1998). Para isso foi empregado um penetrógrafo

digital de bancada da marca Marconi, modelo MA 933, dotado com ponteira de cone circular reto, de 45° e 3,84 mm de diâmetro, e velocidade constante de 100 mm min⁻¹. Após determinação da resistência do solo à penetração, as amostras foram secas em estufa a ±105°C, por 24 horas, para a determinação da densidade do solo (Ds) e do conteúdo volumétrico de água do solo (θ).

Para a determinação do intervalo hídrico ótimo (IHO), foram descritas matematicamente a curva de retenção de água (CRA) e a curva de resistência do solo à penetração (CRS). A CRA foi expressa pela relação entre θ e Ψ , conforme Ross *et al.* (1991). A densidade do solo (Ds) foi incorporada a este modelo, seguindo o procedimento descrito por Leão *et al.* (2006) (Equação 1).

$$\theta = a \Psi^b Ds^c \quad 1$$

em que θ : conteúdo volumétrico de água no solo (m³ m⁻³); Ψ : potencial da água no solo (MPa); Ds: densidade do Solo (Mg m⁻³) e a , b , c : são os coeficientes obtidos no ajuste dos dados à equação 1.

Os valores de força gerados pelo penetrógrafo foram obtidos em kgf e convertidos para resistência à penetração (RP) em MPa, considerando a área da ponteira, utilizando a Equação 2, conforme procedimentos descritos abaixo:

$$P(Pa) = \frac{F(N)}{A(m^2)} \therefore RP \equiv P \quad 2$$

em que P é pressão em PA; F é força em N; RP é a resistência à penetração às raízes (Pa) e A é a área da ponteira em m², representada por um cone circular reto, com ângulo de 45° e 0,00192 m de raio.

Para obter F(N), empregou-se a Equação 3:

$$F(N) = F(kgf) * g \quad 3$$

em que $F(kgf)$ é o valor de resistência dada pelo aparelho, em kgf e g é a aceleração da gravidade.

A área do cone circular reto, de 45° (A), foi obtida pela Equação 4, a seguir.

$$A(m^2) = \pi.r.g \quad 4$$

sendo o valor de π igual a 3,1415926; r é o raio da ponteira, em m e g a geratriz calculada do cone, em m.

A geratriz (g) é dada pela relação representada na Equação 5

$$\cos(45^\circ) = r / g \quad 5$$

em que g é a geratriz calculada do cone, em m e r é o raio da ponteira, em m.

Desenvolvendo-se as Equações 4 e 5, para as dimensões da ponteira empregadas neste trabalho, têm-se as Equações 6 e 7.

$$\cos(45^\circ) = \frac{r}{g} \rightarrow g = \frac{0,00192}{0,7071} \therefore g(m) = 0,002715 \quad 6$$

$$A(m^2) = \pi.0,00192 \times 0,002715 \therefore A(m^2) = 0,00001637$$

7

Assim, para converter os valores de força em kgf, para resistência à penetração em MPa, considerando a área da ponteira obtida na Equação 7, tem-se (Equação 8 e 9):

$$RP(Pa) = \frac{F(kgf) * 9,806648 * 1}{0,00001637 * 10^6} \quad 8$$

Logo,

$$RP(MPa) = F(kgf) * 0,5990226 \quad 9$$

Os dados de resistência à penetração foram ajustados em função do conteúdo de água e da densidade do solo, utilizando a função não linear proposta por Busscher (1990), descrita na equação 10:

$$RP = d \theta^e Ds^f \quad 10$$

em que RP: resistência do solo à penetração (MPa); Ds: densidade do solo (Mg m^{-3}) e d, e, f são os coeficientes obtidos no ajuste dos dados à equação 2.

Para a determinação de θ para uma $RP=3$ MPa (θ_{RP}), conforme indicação de Ehlers et al. (1983), foi utilizada a equação 9, reescrita conforme a equação 11:

$$\theta_{RP} = \left[\left(\frac{RP}{d \cdot Ds^f} \right)^{\frac{1}{e}} \right] \quad 11$$

O IHO foi determinado adotando-se os procedimentos descritos por Silva et al. (1994) e Tormena et al. (1998). Os valores críticos de umidade associados com o potencial mátrico, a resistência do solo à penetração e a porosidade de aeração foram, respectivamente: a capacidade de campo (θ_{CC}), ou conteúdo de água estimado no potencial de -6 kPa; o ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) ou conteúdo de água no potencial de -1.500 kPa (Savage et al., 1996) e o conteúdo de água do solo em que a porosidade de aeração (θ_{PA}) é de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Grable & Siemer, 1968). Para a RP, foi adotado o valor crítico de 3,0 MPa (Zou et al., 2000; Ehlers et al.; 1983; Tormena et al., 2007), por se tratar de uma espécie perene, arbustiva e solo manejado sem revolvimento. Os valores de θ_{CC} e θ_{PMP} foram obtidos nos potenciais de -6 e -1.500 kPa, respectivamente, utilizando a CRA e os valores do teor de água em que a RP (θ_{RP}) atinge o valor crítico de 3 MPa foram obtidos por meio da curva de retenção de água pelo solo (CRS). O valor de θ_{PA} foi obtido pela expressão $[(1-Ds/Dp)-0,1]$. Considerou-se o valor médio de densidade

de partículas, do horizonte referente à camada de estudo, obtido conforme Embrapa (1997).

Na determinação dos limites superiores do IHO, considerou-se o θ_{CC} ou aquele em que a θ_{PA} é considerada adequada ao desenvolvimento da cultura. Os limites inferiores foram considerados o θ_{PMP} ou aquele correspondente à θ_{RP} limitante ao desenvolvimento das plantas, segundo critérios propostos por Silva et al. (1994).

A análise de variância dos dados de macro e microporosidade, volume total de poros (VTP), densidade do solo (Ds) e resistência à penetração (RP) foi feita utilizando-se o modelo de delineamento inteiramente casualizado, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), empregando o software SISVAR 2.0 (Ferreira, 2000).

Para a variável Ds, foi estimado o intervalo de confiança (IC), para uma amostra aleatória de tamanho 21 em cada situação de estudo, com $t_{n-1, g.l.; \alpha/2}$, em que n é o tamanho da amostra; alpha é o nível de significância adotado e o IC é dado pela média amostral $\pm t_{calculado} * \text{RAIZ}(\text{variância})$. Os ajustes das equações das CRA e CRS foram feitos pelo procedimento de modelos não lineares, usando o software R 2.10.1 (RDCT, 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparando-se a camada de superior (0 a 0,05 m) com a camada de subsuperfície (0,75 a 0,80 m) observam-se diferenças significativas em todos os resultados de macro e microporosidade, na linha como na entrelinha nos dois solos analisados (Quadro 3).

Tomando como referência a camada subsuperficial, por considerar que a mesma não sofre influência do preparo ou do tráfego do maquinário, para LVd, a macroporosidade foi maior e a

microporosidade menor nesta camada, independente de a amostragem ter sido feita na linha ou entrelinha. Isto é reflexo da estrutura granular visualmente observada nesta camada do solo, o que faz com que o mesmo apresente um comportamento semelhante a uma esponja (Ferreira et al., 1999). Para o CXbd, isto só foi observado na entrelinha da cultura.

Quadro 3. Comparação de médias de porosidade de um Cambissolo Haplico Tb distrófico latossólico (CXbd) e um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) cultivado com cafeeiros.

Solo	Prof. (m)	Porosidade (m ³ m ⁻³)					
		Macro		Micro		VTP	
		L ¹	EL	L	EL	L	EL
CXbd	0,05	0,23Aa	0,17Bb	0,37Bb	0,41Aa	0,60Aa	0,58Bb
	0,8	0,20Ba	0,22Aa	0,41Aa	0,40Ba	0,61Aa	0,62Aa
LVd	0,05	0,26Ba	0,22Bb	0,39Ab	0,43Aa	0,63Ba	0,65Aa
	0,8	0,32Aa	0,25Ab	0,36Bb	0,41Ba	0,68Aa	0,66Ab

* Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, para um mesmo solo, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

¹ Posição de amostragem, sendo L na linha e EL na entrelinha dos cafeeiros.

Para o LVd, o efeito do tráfego de máquinas na superfície e na entrelinha (Fidalski et al.,2010) e a estrutura porosa, após quatro anos e meio da abertura do sulco na linha, justificam a maior macroporosidade e menor microporosidade na linha. Ao contrário, para o CXbd, que apresenta estrutura em blocos, os efeitos do preparo do sulco ainda estão presentes, quatro anos e meio após o preparo. Isto é relevante por destacar a natureza mineralógica e estrutural de cada solo e demonstrar a necessidade ou não da abertura dos sulcos com o objetivo de aliviar a estrutura do mesmo.

Foi verificada diferença significativa para VTP (Quadro 3) nas posições linha e entrelinha, apenas na camada de 0-0,05 m do CXbd e na camada de 0,75-0,80 m do LVd. No primeiro solo, o maior VTP na linha reafirma a importância do sulco de plantio. O mesmo foi observado para a Ds, embora, em todas as situações do LVd, os valores foram menores que 1 (Quadro 4).

Para a variável RP, foi verificada diferença significativa apenas na camada de 0,80 m do LVd, reforçando o que foi comentado quanto à diferença observada para Ds (Quadro 5).

Quadro 4. Comparação de médias de densidade do solo (Ds) e resistência do solo à penetração (RP) de um Cambissolo Háplico Tb distrófico latossólico (CXbd) e um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) cultivado com cafeeiros.

Prof. (m)	Ds (Mg m ⁻³)		RP (MPa)	
	L ¹	EL	L	EL
Cambissolo Háplico Tb distrófico latossólico				
0-0,05	0,97Bb	1,02Aa	0,83Aa	0,81Ba
0,75-0,8	1,00Aa	1,04Aa	0,92Aa	1,13Aa
Latossolo Vermelho distrófico				
0-0,05	0,89Aa	0,90Aa	0,62Aa	0,77Aa
0,75-0,8	0,82Bb	0,89Aa	0,70Ab	0,99Aa

* Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, para um mesmo solo, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

¹ Posição de amostragem, sendo L na linha e EL na entrelinha dos cafeeiros.

Os modelos adotados para o ajuste da curva de retenção de água do solo e resistência do solo à penetração (RP) foram significativos pelo teste F ($p < 0,01$), para todas as situações estudadas (Quadro 5). As equações ajustadas explicaram acima de 80% da variabilidade do conteúdo de água e acima de 85% da variabilidade da RP (Quadro 5), considerado satisfatório (Tormena et al., 2007; Blainski et al., 2010).

O conteúdo de água e a RP foram negativamente correlacionados com o potencial matricial e positivamente correlacionados com a densidade do solo, dado o sinal negativo dos parâmetros b e e , e positivo dos parâmetros c e f , de cada equação (Quadro 5), assim como verificado por Blainski et al. (2010).

Quadro 5. Equações da curva de retenção de água no solo ($\theta=a \psi^b Ds^c$) e da curva de resistência do solo à penetração ($RP=d \theta^e Ds^f$). θ é conteúdo de água no solo ($m^3 m^{-3}$), ψ é o potencial matricial de água no solo (kPa), Ds é a densidade do solo ($Mg m^{-3}$) e RP é a resistência do solo à penetração (MPa).

Solo	Posição	Profundidade (m)	Equações***	R ²
CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO ($\theta=a \psi^b Ds^c$)				
CXbd	Linha	0,05	$\theta=0,4096\psi^{-0,0479} Ds^{0,4453}$	0,97
		0,80	$\theta=0,4307\psi^{-0,0429} Ds^{0,7973}$	0,80
	Entrelinha	0,05	$\theta=0,4467\psi^{-0,0488} Ds^{0,6344}$	0,90
		0,80	$\theta=0,4372\psi^{-0,0466} Ds^{0,2603}$	0,92
LVd	Linha	0,05	$\theta=0,4909\psi^{-0,0796} Ds^{0,6512}$	0,93
		0,80	$\theta=0,4595\psi^{-0,0796} Ds^{0,4806}$	0,93
	Entrelinha	0,05	$\theta=0,5336\psi^{-0,0860} Ds^{0,6689}$	0,98
		0,80	$\theta=0,5072\psi^{-0,0642} Ds^{0,9277}$	0,84
CURVA DE RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO ($RP = d \theta^e Ds^f$)				
CXbd	Linha	0,05	$RP=0,0664 \theta^{-2,1648} Ds^{7,6463}$	0,99
		0,80	$RP=0,0105 \theta^{-4,2984} Ds^{4,4351}$	0,99

Continuação...				
	Entrelinha	0,05	$RP=0,0049 \theta^{-4,8536} D_s^{7,6119}$	0,93
		0,80	$RP=0,0128 \theta^{-4,3314} D_s^{2,6697}$	0,85
LVd	Linha	0,05	$RP=0,1378 \theta^{-2,0130} D_s^{6,9251}$	0,97
		0,80	$RP=0,0474 \theta^{-2,9180} D_s^{4,5867}$	0,97
	Entrelinha	0,05	$RP=0,0323 \theta^{-3,2622} D_s^{3,4214}$	0,98
		0,80	$RP=0,0080 \theta^{-5,3577} D_s^{9,3913}$	0,98

*** Todos os modelos de curva de retenção de água e resistência do solo à penetração foram significativos ($p < 0,001$) pelo teste F.

O intervalo hídrico ótimo determinado com os valores extremos de densidade do solo, obtidos das amostras utilizadas, expõe a amplitude do IHO nestes valores de densidade. Isso é de grande importância para permitir visualizar as alterações do IHO, em função da densidade, antecipando os possíveis efeitos de aumentar ou diminuir a densidade.

Condições ótimas de IHO, no limite inferior de Ds e de IHO nulo, no limite superior de Ds, podem corresponder a valores isolados de Ds dentro da área amostrada, o que tem sua importância, como já mencionado.

A estimativa do intervalo de confiança (IC) para Ds das amostras empregadas no IHO permite visualizar o IHO pontual, para o momento da coleta, expondo os valores extremos de densidade e as consequências de atingi-los. O IC delimita a faixa de Ds, representativa do real presente no campo. O IC para Ds, para as oito situações estudadas neste trabalho, apresenta limite inferior e superior estreito, com amplitude muito inferior à amplitude total (Quadro 6). Isso permite visualizar o IHO representativo de pelo menos 95% da área estudada.

Quadro 6. Intervalo de confiança ($p < 0,05$) da densidade do solo nas situações estudadas.

Solo	Profundidade (m)	Intervalo de confiança	
		Linha inferior - superior	Entrelinha inferior - superior
CXbd	0-0,05	0,92 - 1,02	0,99 - 1,05
	0,75-0,8	1,03 - 1,06	0,98 - 1,02
LVd	0-0,05	0,86 - 0,91	0,87 - 0,93
	0,75-0,8	0,80 - 0,84	0,87 - 0,92

A pequena amplitude dos valores de densidade do solo na camada superficial do solo, particularmente na entrelinha da cultura, reflete a importância da cobertura proporcionada pela braquiária bem manejada. Os valores de θ_{cc} e θ_{pmp} aumentaram com a D_s (Figura 1 e 2), em todas as situações estudadas, corroborando os resultados de Leão et al. (2004), Tormena et al. (2007) e Blainski et al. (2009), em solos de diferentes mineralogias e classes texturais. Neste caso, isso deve estar relacionado ao aumento de microporos que retêm água em potenciais matriciais inferiores a -1.500 kPa, dado que se observa um paralelismo entre as linhas de θ_{cc} e θ_{pmp} e apenas um pequeno aumento real da capacidade de água disponível do solo.

Os valores de θ_{RP} necessários para manter a $RP \leq 3,0$ MPa aumentam com o aumento da D_s (Figura 1 e 2), pois o aumento no conteúdo de água do solo (θ) pode compensar a maior fricção ou coesão entre as partículas e ou agregados da matriz (Tormena et al., 2007).

A θ_{pA} decresce com o aumento da D_s (Figura 1 e 2), em decorrência da redução da macroporosidade, contudo, foi assegurada a adequada difusão de gases em todas as situações estudadas, considerando o intervalo de confiança das amostras, discordando do observado por Leão et al. (2004) e Blainski et al. (2009), em solos de mesma classe.

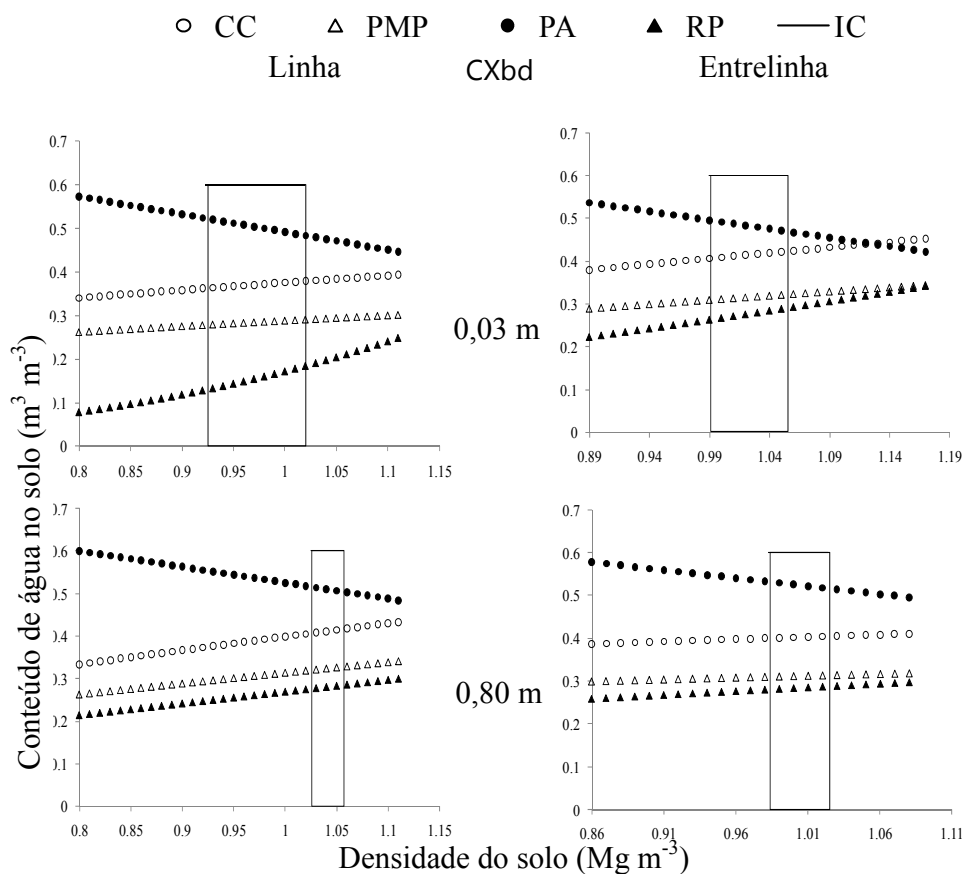


Figura 1. Variação do conteúdo de água (θ) com a densidade do solo para as situações de estudo do LVd, nos níveis críticos de capacidade de campo (θ_{CC}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), porosidade de aeração de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (θ_{PA}) e resistência do solo à penetração de $3,0 \text{ MPa}$ (θ_{RP}). Área entre as duas linhas internas correspondem ao intervalo hídrico ótimo (IHO) destes locais.

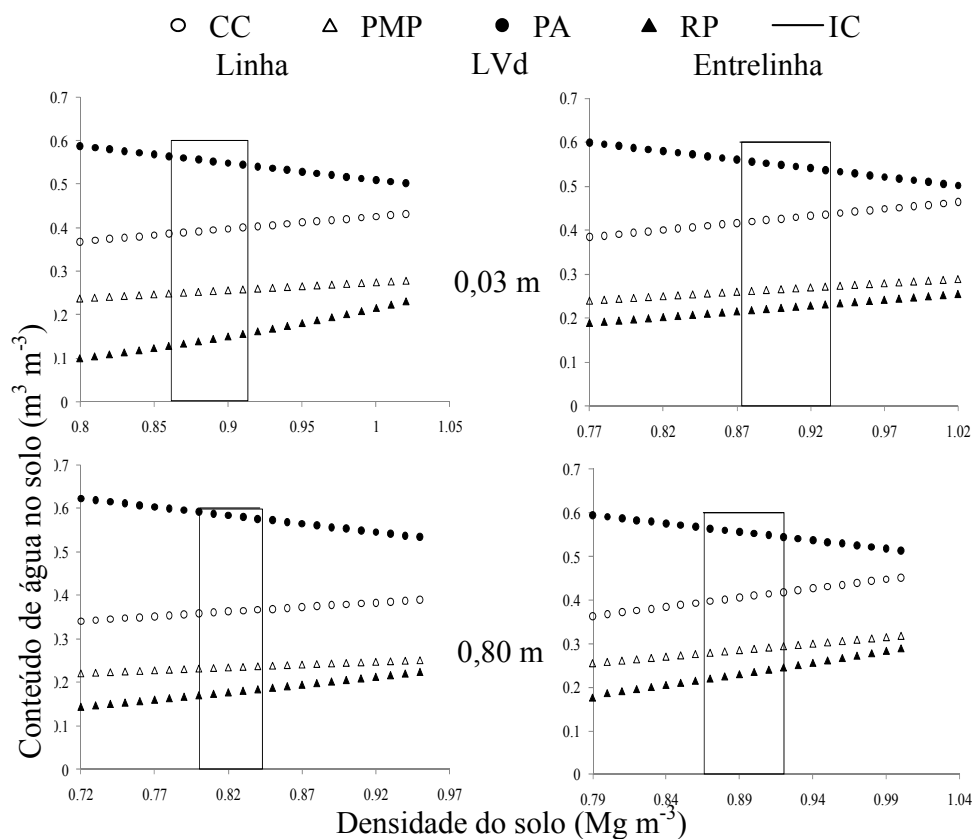


Figura 2. Variação do conteúdo de água (θ) com a densidade do solo para as situações de estudo do LVd, nos níveis críticos de capacidade de campo (θ_{CC}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), porosidade de aeração de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (θ_{PA}) e resistência do solo à penetração de $3,0 \text{ MPa}$ (θ_{RP}). Áreas entre as duas linhas internas correspondem ao intervalo hídrico ótimo (IHO).

Para todas as situações estudadas, os limites inferior e superior do IHO são dados pelo θ_{cc} e θ_{pmp} , para a faixa de Ds correspondente ao IC ($p > 0,95$). Resultado semelhante foi observado por Araújo et al. (2004), em área de mata nativa de um LVd. Esta condição observada de IHO igual à água disponível é indicadora de solo com qualidade física adequada ao crescimento das plantas. Neste caso, toda a água entre θ_{cc} e θ_{pmp} pode ser utilizada pela planta sem restrições físicas para as raízes, o que potencializa a capacidade do sistema em mitigar o déficit hídrico.

Os resultados de IHO obtidos nos solos estudados abonam o sistema, que assegura a boa qualidade física do solo. Na entrelinha, destaca-se a importância de ações promotoras da qualidade física, como o uso de tração animal que reduz as operações motomecanizadas e menor pressão no solo, e a presença de cultura de cobertura na entrelinha, que assegura elevado aporte de matéria orgânica em superfície e no perfil.

Na linha, a manutenção da boa qualidade física do solo está relacionada à abertura do sulco de plantio associado à incorporação de adubos e resíduos orgânicos da superfície, além das elevadas doses de gesso que supostamente atuam na floculação e agregação, imprescindíveis para a manutenção da boa estrutura, refletida nos valores de macroporosidade (Quadro 3).

Considerando, ainda, que a aplicação do gesso agrícola assegura a eliminação de barreira química por Al^{3+} no subsolo (Sobral et al., 2009), salienta-se que, no momento da coleta das amostras e descrição morfológica do perfil, observou-se um grande número de raízes em profundidade abaixo de 2 m. Baseados em observações de campo de outros autores, de que em lavouras manejadas com o sistema

convencional em áreas de Latossolos, em média, o sistema radicular do café está presente até 0,8 m de profundidade (Rena & Guimarães, 2000), sugere-se que é de grande relevância a observação acima, tendo em vista que o aumento da profundidade explorada pelas raízes, passando de 0,8 para 2,0 m, indica mais água disponível para as lavouras sob o sistema conservacionista (Libardi, 2000), enfatizando o potencial do sistema em mitigar déficit hídrico.

A boa qualidade física do solo indicada pela análise do IHO nas áreas estudadas é refletida no bom aspecto visual do cafeeiro e nas elevadas produtividades obtidas nestas áreas (Quadro 6), bem superiores à média observada no estado de Minas Gerais, que é de 28,6 sacas/hectare (CONAB, 2009).

Quadro 6. Produtividade de lavouras cafeeiras sob sistema conservacionista, com diferentes idades, classes de solos e local, na região do Alto São Francisco MG.

Fazenda	Classe/idade da lavoura ¹	Implantação ² ano	2008	2009	2010
			Sacac ³		
Curimba	LVAc _{3,5}	2005	50	51	44
Curimba	LVD _{3,5}	2005	45	49	44

¹CXbd – Cambissolo Háplico Tb distrófico; LVD - Latossolo Vermelho distrófico. Idade da lavoura no início do estudo; ²Plantio nos meses de outubro e novembro. ³sacas de 60 kg beneficiada.

CONCLUSÕES

1. Os dois solos, sob o sistema conservacionista e de manejo intensivo, apresentaram boa qualidade física, indicada pelo intervalo hídrico ótimo.

2. O intervalo hídrico ótimo distinguiu o Cambissolo Háplico latossolico como o mais susceptível à perda da qualidade física em relação ao Latossolo Vermelho Distrófico.
3. O sistema apresenta potencial mitigador do déficit hídrico e de aumento de produtividade para a cafeicultura da região do Alto São Francisco.

LITERATURA CITADA

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.

ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A. e SILVA, A. P.. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 28:337-345, 2004.

ARAUJO-JUNIOR, C. F.; DIAS JUNIOR, M. de 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. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 32:23-32, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CAFÉS ESPECIAIS - BSCA. **Lista de verificação sistemas de gestão sócio-ambiental**. Anexo RA 0552.04, ver. 01. 2005.

BLAINSKI, E.; GONÇALVES, A. C. A.; TORMENA, C. A.; FOLEGATTI, M.S V.; GUIMARÃES, R. M. L. Intervalo hídrico ótimo num nitossolo vermelho distroférico irrigado. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 33:273-281, 2009.

BUSSCHER, W.J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, MI, 33:519-524, 1990.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/>>. Acesso em: 30 out. 2009.

EHLERS, W.; KÖPKE, U.; HESSE, F. & BÖHM, W. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. Soil Till Res, Madison, 3:261-275, 1983.

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.

FERNANDES, A.L.T.; SANTINATO, R.; LESSI, R.; YAMADA, A.; SILVA, V.A. Deficiência hídrica e uso de granulados em lavoura cafeeira irrigada por gotejamento. R. Bras. Eng. Agric. Ambiental, 4:376-381, 2000.

FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) 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.; CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região sudeste do Brasil. Rev. Bras. Ciênc. Solo, 23:507-514, 1999.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; SILVA, Á. P. da. Least limiting water range and physical quality of soil under groundcover management systems in citrus. Scientia Agricola, Piracicaba, 67:448-453, 2010.

GRABLE, A.R.; SIEMER, E.G. Effects of bulk density aggregate size and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 32:180-186, 1968.

JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G.; ARAÚJO FILHO, J. V. ASSIS, R. L.; PIRES, F. R.; SILVA, G. P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. *R. Bras. Eng. Agric. Ambiental*, 12:116–121, 2008.

KARASAWA, S.; FARIA, M.A. de; GUIMARÃES, R.J. Resposta do cafeeiro cv. Topázio MG-1190 submetido a diferentes épocas de irrigação. *R. Bras. Eng. Agric. Ambiental*, 6:28-34, 2002.

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V. P. B. Least limiting water range: A potential indicator of changes in near-surface soil physical quality after the conversion of Brazilian Savanna into pasture. *Soil & Tillage Research*, Madson, 88:279-285, 2006.

LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; MACEDO, M.C.M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V.P.B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 28:415-423, 2004.

LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. Piracicaba, O Autor, 2000. 509p.

MINAS GERAIS. **Certifica minas café - regulamento geral**. 8ª revisão, Belo Horizonte, 11/12/2009.

<http://intranet.ima.mg.gov.br/nova/gec/outros_documentos/Cafê/Regulamento%20certificaminascafe-versao8.pdf>. Acesso em: 21 fev 2011.

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, 16:1-19, 2002.

OLIBONE, D.; ENCIDE-OLIBONE, A. P.; ROSOLEM, C. A. Least limiting water range and crop yields as affected by crop rotations and tillage. *Soil Use and Management*, 26:485–493, 2010.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M. M.; DIAS JÚNIOR, M. S.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. L. Resistência mecânica do solo à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 25:521–529, 2001.

RDCT - R DEVELOPMENT CORE TEAM. *R: A Language and Environment Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2009.

RENA, A.B.; GUIMARÃES, P.T.G. **Sistema radicular do cafeeiro: estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam**. Belo Horizonte: Epamig, 2000. 80p

ROSS, P.J.; WILLIAMS, J. & BRISTOW, K.L. Equations for extending water-retention curves to drynees. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, Madison, 55:923-927, 1991.

SAVAGE, M.J., RITCHIE, J.T, BLAND, W.L & DUGAS, W.A. lower limit of soil water available. *Agronomy Journal*, Madson, 88:651-844, 1996.

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*, 28:654-665, 2008.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C. ; DIAS JUNIOR, M. S. ; Costa, K.A.P. ; CASTRO, M. B. ; Magalhães, E.N. . Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim-tifton 85. *R. Bras. Eng. Agric. Ambiental*, 14:39–45, 2010.

SILVA, A. P.; KAY, B. D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 61-877-883, 1997.

SILVA, S. R.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; PEREIRA, P. R. G. Eficiência nutricional de potássio e crescimento de eucalipto influenciados pela compactação do solo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 26:1001-1010, 2002.

SOBRAL, L. F.; CINTRA, F. L. D.; SMYTH, J. T. Lime and gypsum to improve root depth of orange crop in an Ultisol of the Coastal Tablelands. *R. Bras. Eng. Agric. Ambiental*, 13:836-839, 2009.

TORMENA, C.A.; ARAÚJO, M.A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J.M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um latossolo vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 31:211-219, 2007.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. & LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 22:573-581, 1998.

Williams, S. M.; Weil, R. R.. Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v.68, n.4 1403–1409, jul./ago. 2004

ZOU, C.; SANDS, R.; BUCHAN, G.; HUDSON; I. Least limiting water range: a potential indicator of physical quality of forest soils. *Australian Journal of Soil Research*, Collingwood, 38:947-958, 2000.