

Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil

Guilherme Kangussu Donagemma⁽¹⁾, Pedro Luiz de Freitas⁽¹⁾, Fabiano de Carvalho Balieiro⁽¹⁾, Ademir Fontana⁽¹⁾, Silvio Túlio Spera⁽²⁾, José Francisco Lumbrreras⁽¹⁾, João Herbert Moreira Viana⁽³⁾, José Coelho de Araújo Filho⁽⁴⁾, Flávia Cristina dos Santos⁽³⁾, Manoel Ricardo de Albuquerque⁽³⁾, Manuel Cláudio Motta Macedo⁽⁵⁾, Paulo Cesar Teixeira⁽¹⁾, André Julio Amaral⁽⁴⁾, Elisandra Bortolon⁽⁶⁾ e Leandro Bortolon⁽⁶⁾

⁽¹⁾Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico, nº 1.024, Jardim Botânico, CEP 22460-000 Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail: guilherme.donagemma@embrapa.br, pedro.freitas@embrapa.br, fabiano.balieiro@embrapa.br, ademir.fontana@embrapa.br, jose.f.lumbrreras@embrapa.br, paulo.c.teixeira@embrapa.br ⁽²⁾Embrapa Agrossilvipastoril, Rodovia dos Pioneiros MT-222, Km 2,5, Zona Rural, CEP 78550-970 Sinop, MT, Brasil. E-mail: silvio.spera@embrapa.br ⁽³⁾Embrapa Milho e Sorgo, Rodovia MG-424, Km 45, CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG, Brasil. E-mail: joao.herbert@embrapa.br, flavia.santos@embrapa.br, manoel.ricardo@embrapa.br ⁽⁴⁾Embrapa Solos, Unidade de Execução de Pesquisas de Recife, Rua Antônio Falcão, nº 402, Boa Viagem, CEP 51020-240 Recife, PE, Brasil. E-mail: jose.coelho@embrapa.br, andre.amaral@embrapa.br ⁽⁵⁾Embrapa Gado de Corte, Avenida Rádio Maia, nº 830, Zona Rural, CEP 79106-550 Campo Grande, MS, Brasil. E-mail: manoel.macedo@embrapa.br ⁽⁶⁾Embrapa Pesca e Aquicultura, Prolongamento Quadra 104 Sul, Avenida LO1, nº 34, Conjunto 4, 1º e 2º Pavimentos, Plano Diretor Sul, CEP 77020-020 Palmas, TO, Brasil. E-mail: elisandra.bortolon@embrapa.br, leandro.bortolon@embrapa.br

Resumo – Os solos leves ocupam cerca de 8% do território brasileiro e são especialmente expressivos na nova e na última fronteira agrícola do país: a região de Matopiba, nos estados do Maranhão, do Tocantins, do Piauí e da Bahia, onde representam 20% da área. Esses solos enquadram-se nas classes texturais areia e areia franca ou francoarenosa, até a profundidade de 0,75 m ou mais, e são representados principalmente pelos Neossolos Quartzarênicos e, em parte, por Latossolos e Argissolos. O entendimento do funcionamento desses solos depende do estabelecimento de critérios distintivos sobre: dinâmica da matéria orgânica; teor e mineralogia da fração argila; teores de areia grossa e de areia total, em relação aos de areia fina; diâmetro médio da fração areia; e capacidade de retenção de água. Esses critérios podem contribuir para o zoneamento e para o manejo conservacionista e da fertilidade dos solos leves, bem como para estimativa de seu potencial agrícola. Sistemas integrados de produção, como os de integração lavoura-pecuária e lavoura-pecuária-floresta, além do plantio direto com rotação de culturas, dos plantios florestais mistos com espécies leguminosas, e do uso de adubos verdes e cultivos de cobertura, são relevantes para o manejo adequado desses solos. O objetivo deste artigo de revisão foi caracterizar os solos leves e apontar os principais desafios em relação a seu potencial agrícola, a seu manejo e conservação e sua fertilidade, frente à expansão e à consolidação da nova fronteira agrícola.

Termos para indexação: aptidão agrícola, manejo e conservação, manejo da fertilidade do solo, Neossolo Quartzarênico, solos arenosos, solos frágeis.

Introdução

Os solos leves constituem 8% do território nacional. No bioma Cerrado, 15% são representados por Neossolos Quartzarênicos, enquanto na região de Matopiba, nos estados do Maranhão, do Tocantins, do Piauí e da Bahia, considerada como a última grande fronteira agrícola do país, eles representam 20% do território e são constituídos principalmente por Neossolos e, parcialmente, por Latossolos e Argissolos (Spera et al., 1999; Santos et al., 2011; Lumbrreras et al., 2015).

No passado, os solos de textura leve eram de pouca relevância para a agricultura, mesmo quando presentes em áreas favoráveis à mecanização, face a suas

limitações de manejo, como: deficiência em fertilidade, alta susceptibilidade à erosão e à contaminação das águas subterrâneas, e deficiência hídrica quando em sequeiro (Ramalho Filho & Beek, 1995). Além disso, esses solos também são mais suscetíveis à degradação e à perda da capacidade produtiva, quando comparados aos de textura mais fina, em condições ambientais semelhantes.

Atualmente, no entanto, a agropecuária nacional tem-se estabelecido nesses solos, em razão dos avanços nos sistemas de produção e nas práticas agrícolas. Para isso, entretanto, sistemas adaptados a cada região devem ser considerados, com destaque para o sistema plantio direto (SPD) e os sistemas integrados de produção, como o de integração lavoura-pecuária

(ILP), o de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e o agroflorestal clássico (SAF) (Kluthcouski et al., 2003; Landers et al., 2006; Macedo, 2009; Vilela et al., 2011; Balbino et al., 2012).

Os solos leves, de forma geral, são bastante homogêneos quanto à vulnerabilidade à degradação, ao seu potencial de uso agrícola, e à sua capacidade de produção; contudo, há variações expressivas em seus atributos físico-hídricos e químicos. Os seguintes critérios podem ser utilizados para diferenciar esses solos: dinâmica da matéria orgânica, teor e mineralogia da fração argila, teores de areia grossa e de areia total em relação aos de areia fina, diâmetro médio da fração areia, capacidade de retenção de água e, conseqüentemente, capacidade de água disponível para as plantas. O estabelecimento desses critérios permitirá uma classificação mais pormenorizada dos solos e uma melhor avaliação do seu potencial agrícola, além da elaboração de zoneamentos mais adequados ao planejamento de uso e à gestão sustentável dos recursos naturais, como solo, água e biodiversidade.

O objetivo deste artigo de revisão foi caracterizar os solos leves e apontar os principais desafios em relação a seu potencial agrícola e a seu manejo de conservação e de fertilidade, frente à expansão e à consolidação da nova fronteira agrícola.

Caracterização dos solos leves

Esses solos enquadram-se nas classes texturais de areia e areia franca, ou francoarenosa, até a profundidade de 0,75 m, ou mais. Quanto à composição granulométrica, o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) faz distinção, no primeiro nível categórico, principalmente entre Neossolos Quartzarênicos e Latossolos e Argissolos (Santos et al., 2013a).

Nesse contexto, os Neossolos Quartzarênicos sobressaem-se no SiBCS, e apresentam textura arenosa – ou seja, classes texturais areia ou areia franca – em todos os horizontes, até a profundidade de 1,50 m da superfície do solo, ou até o contato lítico. Outros solos de importância agrônômica apresentam espessos horizontes de textura leve, tais como os psamíticos (Latosolos e Neossolos Flúvicos), os arênicos e os espessarênicos (Argissolos, Luvisolos, Planossolos e Plintossolos), e os êndicos e os espessos (Planossolos).

Os solos de textura leve são expressivos no território brasileiro, onde os Neossolos Quartzarênicos perfazem 49,6 milhões de hectares, isto é, 5,82% do País (Spera et al., 1999; Santos et al., 2011), e cobrem 15% da área do Cerrado. Na região do Matopiba, ao se excluir as áreas ocupadas por unidades de conservação da natureza e terras indígenas, os Neossolos Quartzarênicos ocorrem em 6,8 milhões de hectares (11,05%), e os Latossolos e os Argissolos de textura leve, em 5,8 milhões de hectares (9,45%) (Lumbreras et al., 2015).

A Figura 1 apresenta a ocorrência geográfica dos Neossolos Quartzarênicos, com destaque para o bioma Cerrado e para a região do Matopiba. Não estão apresentados os outros solos de textura leve, os quais normalmente ocorrem em associação com os Neossolos Quartzarênicos, como os Latossolos psamíticos e os Argissolos de textura arenosa/média. A Tabela 1 apresenta o ambiente de formação do solo e a geologia correspondente, expressa no material de origem dos solos de textura leve distribuídos nos diferentes ambientes do território nacional (Tabela 1).

Solos leves, com textura geralmente arenosa, são caracterizados, predominantemente, pela estrutura fraca, pequena granular ou por grãos simples, a qual confere grande friabilidade a esses solos e facilita o trabalho com máquinas e equipamentos. Entretanto, esses solos são altamente susceptíveis à erosão, em razão da baixa coesão entre os grãos e da baixa estabilidade de agregados (Fidalski, 1997; Vale Junior et al., 2009; Scopel et al., 2012). Características importantes, como retenção de água e permeabilidade, estão estreitamente associadas à textura do solo e à mineralogia da fração argila. Os Latossolos gibbsíticos, por exemplo, mesmo com alto teor de argila, apresentam maior permeabilidade, macroporosidade e estabilidade de agregados que os Latossolos caulíníticos (Ferreira et al., 1999).

Assim, ao se considerar a natureza das frações que compõem as classes com maior participação da fração areia, assume-se, de forma genérica, que os solos arenosos apresentam baixa retenção de água e elevada permeabilidade (Or & Wraith, 2002).

A relação entre textura e retenção de água está ligada ao teor de argila e a fatores como empacotamento, forma e orientação dos grãos no solo. Isso é indicativo de que o aumento do potencial de retenção de água ocorre a partir da redução do tamanho de poros.

Em materiais arenosos homogêneos, com estreita distribuição de tamanho de partículas, o tamanho dos poros depende do tamanho das partículas, de modo que a redução destas leva à redução do tamanho de poros e ao incremento das forças de retenção de água. Segundo Bybordi (1973), valores de condutividade hidráulica saturada (K_s) variam em mais de 20 vezes, na comparação entre areias grossas (12 mesh, com abertura de 1,68 mm) e areias

finas (60 mesh, com abertura de 0,25 mm). Dessa maneira, mesmo nos casos de materiais constituídos exclusivamente pela fração areia, a mudança do tamanho dos grãos já implicaria alteração no seu comportamento físico-hídrico. Além disso, essa redução também aumentaria a superfície específica, e ampliaria as forças de contato e a interação sólido/líquido no solo, com reflexos na retenção de água e no fluxo de solutos.



Figura 1. Ocorrência de Neossolos Quartzarênicos no Brasil, com destaque para o bioma Cerrado e a região dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (Matopiba). Fonte: Santos et al. (2011).

Nos casos de materiais com maior heterogeneidade de tamanho de partículas, o tamanho efetivo de poros pode ser reduzido pelo efeito da ocupação dos espaços vazios entre grãos maiores por partículas menores (fenômeno de empacotamento); com isso, é possível a ocorrência de determinadas distribuições do tamanho de partículas que propiciem a compactação do solo e minimizem seu espaço poroso. Riva (2010) observaram que uma proporção com cerca de 30% de partículas pequenas favorecem o empacotamento. Diante dessas observações, a avaliação do teor de areia grossa em relação ao de areia fina (AG/AF), bem como de areia total em relação ao de areia fina (AT/AF), pode ser indicadora desse comportamento de

ajuste e, também, da retenção de água. Quanto mais heterogêneo em termos de tamanho de partículas for o solo, maior será a possibilidade de reajustes. Valores mais próximos de 1,00 na relação AG/AF indicam que não há predominância pronunciada de um teor sobre o outro. Exemplos dessa situação estão listados na Tabela 2, como no Latossolo Vermelho em Guaraí, no Tocantins, e no Neossolo Quartzarênico em Campo Verde, em Mato Grosso.

Além desses critérios acerca do teor relativo das partículas no solo, o diâmetro médio da fração areia também pode auxiliar na identificação de diferenças entre os solos leves, o que permitiria a classificação

Tabela 1. Ambiente de ocorrência de solos leves, bem como a geologia associada a estes.

Ambiente de ocorrência	Geologia	Referência
Oeste da Bahia	Arenito Urucuia, sedimentos arenoquartzosos do Holoceno ou, ainda, sedimentos de origem eólica do Quaternário, e material argilo-arenoso e arenoso da formação Vazantes	Levantamento... (1976); Levantamento... (1977); Freitas et al. (2014)
Noroeste e Norte de Minas Gerais	Sedimentos arenoquartzosos do Terciário/Quaternário, e arenitos Areado, Urucuia e Mata da Corda	Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (1981)
Alto Paranaíba, em Minas Gerais	Coberturas detriticas, arenitos Areado e Bauru, formações Paraopeba, Paranoá, Três Marias e Mata da Corda, e grupos São Bento e Canastra	Motta et al. (2004)
Norte de Minas Gerais	Sedimentos arenoquartzosos do Terciário/Quaternário, arenito Urucuia, e formações Paraopeba e Três Marias	Levantamento... (1979)
Triângulo Mineiro	Arenito do grupo Bauru	Levantamento... (1982)
Campos dos Parecis, em Mato Grosso	Arenitos das formações Utiriti e Salto do Céu, do grupo Parecis	Oliveira (2011); Camargo (2011); IBGE (2012)
Alto Araguaia, em Mato Grosso	Grupo Aquidauana do supergrupo Tubarão	Oliveira (2011); Camargo (2011); IBGE (2012)
Chapada dos Guimarães, em Mato Grosso	Formação Marília	Oliveira (2011); Camargo (2011); IBGE (2012)
Zona de Sedimentação dos rios São Francisco e Parnaíba, no Tocantins	Sedimentos	IBGE (2007)
Região da Campanha do Rio Grande do Sul	Bacia sedimentar fanerozoica e formações Botucatu, Guará, Sanga do Cabral, Pirambóia e Rio do Rastro	Brasil (1973); Klamt (1994); Streck et al. (2008)
Região dos Tabuleiros Costeiros, na bacia sedimentar Jatobá-Tucano e nas chapadas do Sul do Maranhão e do Leste do Piauí	Rochas graníticas	Silva et al. (1993)
Noroeste e Norte do Paraná	Arenito Caiuá	Levantamento... (1984); IBGE (1987); Fasolo et al. (1988); Carvalho (1994)
Sudoeste Goiano	Arenitos Botucatu e Pirambóia, e basalto da formação Serra Geral	Projeto RadamBrasil (1981); Guerra (1989); Moraes (2014)
Bioma Amazônia – Acre, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima, Mato Grosso e Tocantins	Arenitos diversos, sedimentos arenoquartzosos do Terciário/Quaternário	IBGE (2012)
Centro-Leste, Noroeste e Oeste de São Paulo	Arenitos Botucatu, Caiuá e Bauru	Moniz & Carvalho (1973); Salomão (1994); Oliveira et al. (1999)
Mato Grosso do Sul	Arenitos Caiuá; Bauru; Botucatu; e Aquidauana	Brasil (1971); Theodorovicz & Theodorovicz (2010)

mais pormenorizada desses solos, bem como sua distinção entre e dentro de classes de solos.

Uma das principais implicações práticas da textura do solo está ligada a sua relação com a retenção de água. River & Shipp (1972), ao trabalhar com solos leves de classes correspondentes a Chernossolo e Neossolo Quartzarênico, constataram que a quantidade de água disponível, varia significativamente conforme os teores de areia muito fina e de silte, de 6 a 600 kPa. Costa et al. (2013) relataram, para Neossolos Quartzarênicos em Santa Catarina, teores de areia fina de 681 a 783 g kg⁻¹. Já Fidalski et al. (2013), ao estudar a relação das frações de areia com a retenção de água em solos das formações Paranaíba e Caiuá do Paraná, observaram: menor retenção de água; textura mais grosseira, na ordem de 681 g kg⁻¹ de areia grossa; e poros maiores, na ordem de 546 g kg⁻¹ de areia grossa, em solos do arenito Caiuá. Foram registrados valores de capacidade de campo de 0,14 m³ m⁻³, para o arenito Caiuá, e de 0,22 m³ m⁻³ para o arenito Paranaíba, independentemente do uso e da profundidade do solo, o que implica em menor risco de deficiência hídrica e perda de produtividade para este último.

Silva et al. (2006) analisaram diferenças na curva característica de retenção de água em Neossolos Quartzarênicos, em comparação a Latossolos, na região do Cerrado, e verificaram maior conteúdo de água em solos com o dobro de argila ou associado à presença

de areia fina. Ribeiro et al. (2007) obtiveram valores de condutividade hidráulica diferenciada de 11,99 cm h⁻¹, para Latossolo Vermelho-Amarelo psamítico, com 21,4% de areia muito fina, e de 42,1 cm h⁻¹, para Neossolo Quartzarênico, com 7,9% de areia muito fina.

Observou-se, também, que, quanto mais heterogêneos forem os solos em relação ao tamanho de partículas, maior será sua susceptibilidade ao selamento superficial e à compactação. Por exemplo, maiores teor de areia fina (27%) e muito fina (36%), na camada de 0,0–0,2 m, em Neossolos Quartzarênicos, no Rio Grande do Sul, favorecem a formação de selamento superficial (Scopel et al., 2012). Além disso, alguns solos leves, sobretudo com textura média e predomínio de caulinita na fração argila, apresentam maior coesão que outros oxidícos e, conseqüentemente, consistência dura a extremamente dura quando secos e friável quando úmidos (Fontana et al., 2016), comportamento semelhante ao encontrado nos sedimentos Barreiras (Moreau 2001; Lima et al., 2006; Giarola et al., 2009).

A densidade de solos arenosos varia de 1,4 a 1,9 g cm⁻³, o que reflete a ocorrência de maior empacotamento em materiais arenosos; neste caso, o valor de 1,85 g cm⁻³ é crítico para o desenvolvimento de raízes (Skopp, 2002). Apesar disso, esses valores não indicam, necessariamente, limitação ao desenvolvimento radicular, pois esses solos são, em geral, friáveis quando úmidos.

Tabela 2. Variação dos teores de areia grossa e areia fina, e de suas relações, em Latossolos de textura média e Neossolos Quartzarênicos de regiões produtoras de grãos, fibras e eucalipto (*Eucalyptus* spp.).

Município, Estado	Solo	Horizonte e profundidade (cm)	Areia grossa ----- (g kg ⁻¹) -----	Areia fina	Areia grossa/ Areia fina	Areia total/ Areia fina
Chapada gaúcha, MG	LVA	A ₁ (0–10)	358–620	215–519	0,60–2,81	1,60–3,71
Chapada gaúcha, MG	LVA	Bw ₂ (101–146)	232–517	235–523	0,47–2,11	1,47–2,66
Chapada gaúcha, MG	RQ	A ₁ (0–9)	326–380	549–625	0,56–0,59	1,52–1,69
Chapada gaúcha, MG	RQ	C ₂ (108–150)	301–443	489–631	0,48–0,91	1,29–1,91
Guaraí, TO	LV	A ₁ (0–10)	437–473	394–439	1,00–1,20	2,0–2,20
Guaraí, TO	LV	Bw ₂ (113–160)	338–358	418–442	0,76–0,86	1,72–1,86
Guaraí, TO	RQ	A ₁ (0–10)	364–705	202–555	0,57–3,49	1,66–2,55
Guaraí, TO	RQ	C ₂ (117–156)	303–705	128–555	0,56–6,38	1,56–7,38
Campo Verde, MT	LV	A ₁ (0–13)	289–605	308–615	0,47–1,96	1,47–2,96
Campo Verde, MT	LV	Bw ₂ (128–161)	262–578	333–606	0,43–1,74	1,43–2,74
Campo Verde, MT	RQ	A ₁ (0–18)	416–579	925–948	0,82–1,66	1,82–2,66
Campo Verde, MT	RQ	C ₂ (115–147)	452–493	400–458	0,99–1,21	1,99–2,21

LVA, Latossolo Vermelho-Amarelo; RQ, Neossolo Quartzarênico; LV, Latossolo Vermelho; AG, areia grossa, de 2,00–0,21 mm; AF, areia fina, de 0,21–0,053 mm; e AT, areia total, de 2,00–0,053 mm.

Abrahão et al. (1998) constataram maior resistência à penetração com o incremento no teor de areia fina e na heterogeneidade da forma dos grãos, que possibilitam arranjo mais compacto das partículas. Isso porque, em alguns casos, o solo úmido é friável; mas quando seco, ele apresenta-se endurecido.

A caracterização química de Neossolos Quartzarênicos e Latossolos de textura média, considerados aqui como solos leves, está apresentada na Tabela 3, na qual observa-se ampla variação nos atributos: carbono orgânico, alumínio trocável, capacidade de troca catiônica (CTC) e pH. Além disso, baixos teores de P assimilável, K⁺ disponível e Ca²⁺, Mg²⁺ trocáveis são relatados, o que confere limitações de natureza química do solo. Entretanto, a menor capacidade tampão desses solos, tanto para o pH quanto para o P disponível, pode ser considerada uma vantagem para seu uso agrícola, em comparação aos solos argilosos e muito argilosos, que apresentam elevada capacidade de adsorção de P (Novais et al., 2007) e demandam maior quantidade de calcário para a correção da acidez.

Potencial agrícola dos solos leves

Áreas de solos leves têm sido atualmente incorporadas ao processo produtivo de grãos, fibras, materiais energéticos, cana-de-açúcar (*Saccharum*

officinarum L.), silvicultura e pastagens cultivadas. A aptidão agrícola desses solos, de acordo com Ramalho Filho & Beek (1995), é regular, restrita ou inapta para lavouras anuais e perenes não irrigadas, em condições adequadas de drenagem, clima e relevo sob manejo pouco desenvolvido (nível tecnológico intermediário) e desenvolvido (nível tecnológico alto).

Os solos leves, quando mecanizados e com a aplicação de fertilizantes e outros insumos, têm proporcionado altas produtividades de soja [*Glycine max* (L.) Merr.], milho (*Zea mays* L.) e algodão (*Gossypium hirsutum* L.), entre outras, além de maior facilidade nas operações de manejo (Santos et al., 2008). Contudo, mesmo favoráveis à mecanização, esses solos apresentam limitações em fertilidade, relacionadas à reserva de nutrientes e ao pH, por exemplo, bem como susceptibilidade à erosão e baixa capacidade de água disponível (CAD), que são condicionantes da aptidão agrícola em sequeiro (Ramalho Filho & Beek, 1995).

A evolução da agropecuária brasileira tem apresentado novos modelos de produção, ao incorporar os princípios da agricultura conservacionista, como SPD, ILP, ILPF e SAF, que possibilitam o uso sustentável da terra e permitem o uso eficiente dos recursos locais disponíveis (Kluthcouski et al., 2003; Landers et al., 2006; Macedo, 2009; Vilela et al., 2011; Balbino et al., 2012).

Tabela 3. Atributos químicos de Latossolos de textura média e Neossolos Quartzarênicos sob vegetação natural (Cerrado), em regiões produtoras de grãos, fibras e pastagem⁽¹⁾.

Município, Estado	Solo	Horizonte e profundidade (cm)	pH em água	Al ³⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	K ⁺	P assimilável (mg kg ⁻¹)	C orgânico (g kg ⁻¹)	CTC (cmol _c kg ⁻¹)
				----- (cmol _c kg ⁻¹) -----					
Chapada gaúcha, MG	LVA	A ₁ (0–10)	4,4–4,9	0,2–0,7	0,1–0,6	0,02–0,04	≤1	4,4–9,8	4,0–5,6
Chapada gaúcha, MG	LVA	Bw ₂ (101–146)	4,3–5,2	0,0–0,2	0,1–0,5	≤0,01	≤1	0,9–1,6	0,9–2,2
Chapada gaúcha, MG	RQ	A ₁ (0–9)	4,5–4,9	0,5–1,0	0,1–0,3	0,03–0,04	1–2	5,7–11,8	5,2–6,2
Chapada gaúcha, MG	RQ	C ₂ (108–150)	5,0–5,3	0,1–2,0	0,1–0,3	0,01–0,06	≤1	0,7–1,1	0,9–2,0
Guaraí, TO	LV	A ₁ (0–10)	4,2–4,8	0,6–0,9	0,5–0,6	0,02–0,04	≤1	5,9–10,4	4,3–6,5
Guaraí, TO	LV	Bw ₂ (113–160)	5,3–5,4	0,1–0,3	0,03–0,06	≤0,01	≤1	1,3–1,3	1,6–4,2
Guaraí, TO	RQ	A ₁ (0–10)	4,0–4,9	0,1–0,6	0,1–0,6	0,01–0,02	1–2	1,7–8,0	0,9–3,9
Guaraí, TO	RQ	C ₂ (117–156)	4,6–5,7	0,0–0,1	0,1–0,4	0,01–0,01	≤1	0,1–1,2	0,3–1,2
Campo Verde, MT	LV	A ₁ (0–13)	4,2–5,2	0,4–0,7	0,1–0,6	0,02–0,07	1–2	5,8–12,1	3,7–8,1
Campo Verde, MT	LV	Bw ₂ (128–161)	4,9–5,5	0,0–0,1	≤0,1	≤0,01	≤1	1,1–1,3	1,1–1,9
Campo Verde, MT	RQ	A ₁ (0–18)	4,1–4,5	0,4–0,6	≤0,1	0,01–0,03	≤1	2,9–7,1	2,1–3,9
Campo Verde, MT	RQ	C ₂ (115–147)	5,0–5,1	0,1–0,1	≤0,1	0,0	≤1	0,9–1,0	0,9–1,1

LVA, Latossolo Vermelho-Amarelo; RQ, Neossolo Quartzarênico; LV, Latossolo Vermelho; e CTC, capacidade de troca catiônica do solo.

Para avaliações mais específicas e detalhadas do potencial agrícola de solos leves, nos seus locais de ocorrência, devem ser considerados: clima, ou seja, distribuição e volume da chuva; textura, que inclui o valor absoluto das frações e as relações entre os componentes da fração areia; mineralogia da fração argila; dinâmica da matéria orgânica; sistemas produtivos; e características das culturas.

Uso e manejo de solos leves

A seguir serão apresentados alguns exemplos do uso e do manejo sustentáveis de solos leves, tais como: pastagens cultivadas, florestas plantadas, cana-de-açúcar, e produção de grãos e fibras.

Pastagens cultivadas

Dos 180 milhões de hectares ocupados por pastagens no Brasil, 120 milhões são de pastagens cultivadas (IBGE, 2007). Pastagens com algum grau de degradação estão presentes em todas as regiões do País, incluindo as áreas de fronteira agrícola (Dias-Filho, 2014).

Apesar disso, em solos leves, as pastagens são fundamentais para controlar a erosão, pois melhoram os teores de matéria orgânica decorrente do “turnover” radicular e promovem associações micorrízicas que favorecem a estabilização da estrutura do solo. Sistemas mistos de ILP e ILPF – caracterizados tanto pela diversificação e rotação de atividades agrícolas quanto pela sucessão e pela consorciação de gramíneas forrageiras com grãos, fibras e espécies florestais – a recuperação e reforma de pastagens com diferentes estágios de degradação (Vilela et al., 2011).

O uso de sistemas de ILP e ILPF tem proporcionado benefícios para a manutenção da qualidade do solo e o sequestro de C (Carvalho et al., 2010; Salton et al., 2011), mas ainda são necessários mais estudos sobre o comportamento de solos leves sob pastagens cultivadas.

A Embrapa tem proposto variações de sistemas mistos de lavoura-pecuária, como os sistemas Barreirão (Kluthcouski et al., 1991), Santa Fé (Kluthcouski & Aidar, 2003), Santa Brígida (Oliveira et al., 2010) e São Mateus (Salton et al., 2013), e desenvolve sistemas que incluem a exploração florestal (Balbino et al., 2011). Muitas áreas do Brasil, com solos de textura média,

têm potencial para se beneficiar desses sistemas ou similares.

Observou-se, por exemplo, que a pecuária no sistema ILP, com pastejo rotacionado em Argissolo de textura arenosa/média, no Rio Grande do Sul, preserva a qualidade do solo e constitui um sistema sustentável para solos leves (Lanzanova et al., 2007).

O uso de ILP em Latossolo Amarelo psamítico, em Correntina, no Oeste da Bahia, não comprometeu a qualidade física do solo, com a adoção safrinha de boi, onde o gado permanece na entressafra (Marchão et al., 2009). Além disso, permitiu maior rentabilidade da área do que quando ela foi utilizada somente com grãos. Portanto, nesse caso, a ILP é uma forma sustentável e econômica de produção de grãos para a região, que pode promover maior aproveitamento de nutrientes e menor custo da adubação, uma vez que a liberação de nutrientes via palhada supre boa parte da demanda por nutrientes das plantas, além de proteger o solo contra a erosão (Santos et al., 2014).

Na região de Alegrete, no Rio Grande do Sul, o sistema silvo-pastoril, com eucalipto (*Eucalyptus* spp.) e ovinos, em solos de textura leve, melhorou a qualidade do solo, quando comparado a solos com pastagem, e também aumentou a rentabilidade e a sustentabilidade em comparação à pecuária extensiva (Flores et al., 2010). Já Sales et al. (2010), ao avaliar ILP, plantio direto de grãos e pastagens no Cerrado, em Neossolo Quartzarênico de Mineiros, em Goiás, ressaltaram a importância da manutenção da cobertura vegetal para evitar a erosão e preservar a qualidade do solo.

A utilização de *Urochloa ruziziensis* (R.Germ. & C.M.Evrard) Morrone & Zuloaga (Syn. *Brachiaria ruziziensis*) aumentou expressivamente na região do Cerrado, principalmente em SPD e nos sistemas integrados (ILP, ILPF e integração pecuária-floresta), com destaque para a produção de milho em consórcio (Vilela et al., 2011). Isso tem despertado o interesse dos produtores em novamente utilizar essa gramínea também como forragem (Vilela et al., 2011). O uso de gramíneas, especialmente de braquiárias, tem sido chave para a viabilidade dos sistemas de produção de grãos e fibras, e para a sustentabilidade da agropecuária em solos leves, sobretudo em Neossolos Quartzarênicos e Latossolos psamíticos, em áreas onde a precipitação e a distribuição de chuvas não sejam limitantes para o cultivo em sequeiro.

Florestas plantadas

A essência florestal mais plantada no Brasil é *Eucalyptus* spp., que ocupa cerca de 5 milhões de hectares (Anuário..., 2013), boa parte em solos leves.

Uma vez que a disponibilidade de água tem sido apontada como fator determinante ao crescimento do eucalipto no País (Reis et al., 1985; Stape et al., 2004; Souza et al., 2006; Balieiro et al., 2008a; Stape et al., 2010), altas produtividades podem ser esperadas em solos leves, em áreas com boa incidência e distribuição de chuvas. Stape et al. (2004) observaram que, na Bahia, as altas taxas o uso eficiente dos solos (2 a 35% de argila) cultivados com eucalipto está associado a regiões com baixo déficit de saturação de vapor no ar com menor estresse hídrico.

Outras espécies tem ganhado destaque em regiões de solos leves. Em Mato Grosso, por exemplo, Shimizu et al. (2007) relataram que a teca (*Tectona grandis* L.f.) e a seringueira [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.] estão entre as mais plantadas no estado, em que representam 33 e 31% da área florestal plantada, respectivamente. De acordo com os autores, o eucalipto – *Eucalyptus urophylla* S.T.Blake, *E. camaldulensis* Dehnh., *E. grandis* W.Hill, *E. pellita* F.Muell., *Corymbia* (ex-*Eucalyptus*) *citriodora* (Hook.) K.D.Hill & L.A.S.Johnson, e híbridos urograndis (*E. urophylla* x *E. grandis*) e urocam (*E. urophylla* x *E. camaldulensis*) – e a seringueira são as espécies florestais mais plantadas em Neossolos Quartzarênicos. Nos solos leves daquele estudo, a produção de madeira de eucalipto variou de 7 a 22 m³ ha⁻¹, enquanto, em solos de textura mais argilosa, ela variou de 13 a 26 m³ ha⁻¹. Já em em Campo Verde, MT, solos leves cultivados com a espécie *Corymbia citriodora*, tida como tolerante ao estresse hídrico, sem adubação e correção do solo, não possibilitaram valores de rendimento de madeira superiores aos 20 m³ ha⁻¹.

A sustentabilidade das florestas plantadas em solos leves pode ser incrementada pelo manejo de resíduos da cultura ou pelo estabelecimento de plantios mistos, que favoreçam interações como fixação biológica de N₂, ciclagem de nutrientes ou mudanças de alocação do C. A produção de biomassa do eucalipto e a qualidade do solo têm relação direta com a massa de resíduos deixada na colheita (Chaer & Tótola, 2007; Laclau et al., 2010). Da mesma forma, sistemas mistos (com inclusão de espécies associadas

às bactérias diazotróficas) são capazes de aumentar a produção líquida de biomassa dos sítios florestais e, ao mesmo tempo, de intensificar as interações ecológicas entre as espécies (Forrester et al., 2006; Coelho et al., 2007; Balieiro et al., 2008b; Laclau et al., 2008; Rachid et al., 2015); contudo, a escolha da espécie e o arranjo do sistema de produção devem ser bem planejados.

Plantios mistos de eucalipto, em solos de textura média a arenosa, com leguminosa arbórea fixadora de N₂, como, por exemplo, *Acacia mangium* Willd., têm favorecido a oferta de N (especialmente nitrato), os índices de diversidade e equidade microbiana do solo, os estoques de C do solo e a produção de madeira (Balieiro et al., 2008b; Rachid et al., 2013, 2015; Santos et al., 2016). Esses benefícios possivelmente estão relacionados à contribuição da fixação biológica de N₂ possibilitada pela *A. mangium*. Mais recentemente, Paula (2015) apontou esses mesmo benefícios em Latossolo de textura média, em São Paulo.

Em relação às respostas à fertilização, a cultura de eucalipto normalmente responde pouco a doses elevadas, quando comparadas à disponibilidade de água em solos leves, com teor de areia entre 91 e 94%; porém, em sítios adubados, a resposta é 48% superior que nos não adubados (Silva et al., 2013). Quanto à fertilização, esses autores destacam que o parcelamento de N e K representa ganhos adicionais em produtividade, e minimiza as perdas por lixiviação desses nutrientes.

Cana-de-açúcar

A expansão da cultura de cana-de-açúcar na região Centro-Sul tem ocorrido pela incorporação de solos leves, antes ocupados com pastagens ou com culturas anuais ou perenes (Manzatto et al., 2009; Gauder et al., 2011), ao processo produtivo. Nessas regiões, devido ao relevo favorável, o plantio e a colheita são mecanizados; no entanto, o conjunto formado por colhedora e transbordo trafega até cinco vezes mais do que o sistema convencional com queima e colheita manual (Roque et al., 2010), o que provoca compactação e perdas da qualidade física dos solos (Luca et al., 2008). A adoção de sistemas conservacionistas, com plantio direto e ausência da queima dos resíduos culturais, promove a melhoria das condições físico-hídricas do solo, as quais condicionam, de forma conjunta com o

clima e o potencial genético da cultura, a produtividade e a longevidade da cultura (Carvalho et al., 2012).

Perdas de nutrientes por lixiviação em canaviais têm sido objeto de estudos no Brasil, principalmente no Estado de São Paulo. Dos fatores determinantes às perdas por lixiviação, podem-se citar: a fase de desenvolvimento da cultura, as doses e a solubilidade dos fertilizantes, e a distribuição das chuvas na região (Oliveira et al., 2001; Cantarella et al., 2007; Ghiberto et al., 2011). A Tabela 4 ilustra a drenagem e as perdas de nitrato, nitrato e amônio em canavial do Município de Pirassununga, em São Paulo, em Latossolo de textura argilo-franco-arenosa, com teor médio de areia de 680 g kg⁻¹, na camada de 0–1,00 m. As perdas de N em solos leves não foram significativas, em razão do fertilizante aplicado na cultura; entretanto, constatou-se baixa taxa de aproveitamento do N.

Para Vitti (2003) e Cantarella et al. (2007), parte considerável do N aplicado permanece no solo e tem potencial efeito residual para a rebrota seguinte, mas também pode ser perdido por lixiviação. Ao se considerar as fontes de N comumente usadas na cultura – ureia, nitrato, sulfato de amônio e soluções como uran e aquamônia – constata-se que elas apresentam elevada solubilidade. Dessa forma, mais estudos são necessários nesses solos para melhorar a eficiência agrônômica do N para a cultura da cana, especialmente quanto a doses, fontes e modo de aplicação do adubo nitrogenado.

Recentemente, Ucker et al. (2015) constataram aumento nos teores de P, em profundidade, em lavouras de cana-de-açúcar, comparadas a áreas sob vegetação nativa; este comportamento foi mais acentuado em Neossolo Quartzarênico que em Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média. Embora diversos fatores possam controlar a dinâmica do P nesses solos, o fato é que o manejo dos adubos, de outros insumos e da matéria orgânica deve incrementar a eficiência de uso do nutriente pelas plantas, e evitar sua perda superficial ou em profundidade.

O plantio de culturas anuais, como soja, amendoim (*Arachis hypogaea* L.), girassol (*Helianthus annuus* L.), milho ou crotalária (*Crotalaria juncea* L.), na reforma de canaviais, tem sido apontado como uma oportunidade de melhorar a qualidade química e estrutural do solo, com aumento na retenção e na infiltração de água no solo (Duarte Junior & Coelho, 2008; Silva et al., 2012). Contudo, mais estudos são necessários em solos leves submetidos a variações climáticas, para que os efeitos fitotécnicos desses cultivos sobre o solo e sobre a cultura da cana-de-açúcar sejam incrementados.

Ao se considerar as contribuições da fixação biológica de N₂ para a cana-de-açúcar (Urquiaga et al., 1992; Boddey et al., 2003), além dos efeitos positivos da inoculação de bactérias diazotróficas endofíticas sobre o crescimento dessa cultura (Schultz et al., 2014), pode-se concluir que o balanço energético da

Tabela 4. Precipitação, água drenada e fluxo de nitrogênio em diferentes períodos da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*)⁽¹⁾.

Período	Precipitação ----- (mm) -----	Drenagem -----	N lixiviado (kg ha ⁻¹)				
			N total	N-NO ₂ ⁻	N-NO ₃ ⁻	N-N-NH ₄ ⁺	¹⁵ N fertilizante
24/8–30/11	191	0,1 (0,7)	0,0 (0,0)	0,000	0,014	0,001	0,004
1/12–14/12	61	-0,1 (0,0)	0,0 (0,0)	0,000	-0,006	-0,001	-0,002
15/12–8/1	326	-22,3 (11,4)	-0,4 (0,4)	-0,010	-0,226	-0,155	-0,043
9/1–31/1	19	0,9 (1,1)	0,0 (0,0)	0,000	-0,001	-0,006	0,000
1/2–20/2	297	-49,4 (32,4)	-0,6 (0,3)	-0,087	-0,162	-0,354	-0,010
21/2–18/3	92	-4,1 (1,1)	0,0 (0,0)	-0,005	-0,007	-0,035	-0,001
19/3–29/3	131	-9,6 (12,2)	-0,1 (0,0)	-0,011	-0,023	-0,028	-0,001
30/3–31/5	58	-4,7 (2,0)	0,0 (0,0)	-0,010	-0,011	-0,027	-0,001
Total	1.175	-91,0 (60,9)	-1,1 (0,7)	-0,123	-0,422	-0,605	-0,054

⁽¹⁾O número apresentado para cada período representa a média de quatro repetições e seus respectivos desvios-padrão (entre parênteses), enquanto o número apresentado na linha de total refere-se à soma de cada período e seus respectivos desvios-padrão, em que os números positivos indicam ganho e os negativos, perdas de água e nitrogênio até a profundidade de 90 cm. No experimento, foram utilizados 120 kg ha⁻¹ de N, 120 de K₂O e de P₂O₅, e 2 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico. Fonte: Ghiberto et al. (2011).

cultura tem potencial de ser aumentado ainda mais nesses solos (Macedo et al., 2008).

A ausência da queima da palhada e a sua manutenção sobre o solo devem garantir a proteção do solo contra as adversidades decorrentes da temperatura elevada do solo, além de manter a umidade e a matéria orgânica do solo em níveis favoráveis à agregação e à atividade microbiana.

Grãos e fibras

A produção de grãos tem sido expandida em solos leves, sobretudo nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, e no Oeste da Bahia. Nesta última região, por exemplo, ocorreram profundas modificações no uso da terra de 1985 a 2000. Segundo Batistella & Valladares (2009), em 1985, as fazendas modernas – grandes propriedades, na maioria, irrigadas ou não, produtoras de soja, algodão, milho e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), caracterizadas por uso intensivo de tecnologia e fertilizantes, e por elevadas produtividades – ocupavam 631.175 ha. Essa área, no entanto, atingiu 1.605.762 ha, em 2000. Áreas irrigadas da região passaram de 17.554 ha para 109.883 ha, no mesmo período. Da mesma forma, propriedades tidas como tradicionais – com práticas de manejo tradicionais, mão de obra familiar, tamanho da propriedade reduzido e distribuição mais dispersa – passaram de 1.000.000 ha na região, ainda que seu crescimento não tenha sido tão intenso quanto o das fazendas irrigadas (28 vs. 526%).

Outra região com presença significativa de solos leves que tem passado por alterações significativas do meio físico é a região do Matopiba, que se refere a uma área de cerca de 73 milhões de hectares, que abrange todo o Estado do Tocantins e parte dos demais estados,

isto é, Maranhão, Piauí e Bahia (Lumbreras et al., 2015). Na última década, a região foi impulsionada pela expansão da atividade agrícola, que esteve relacionada à ampliação da infraestrutura viária, logística e energética, o que viabilizou o surgimento de polos de expansão da fronteira agrícola. Em 2010, a região produzia 2,3 milhões de toneladas de grãos, enquanto, na safra de 2015, são estimados 10 milhões (Lumbreras et al., 2015).

Muitas dessas terras são constituídas por solos leves, cujo preço, por ocasião da abertura dessas fronteiras agrícolas, viabilizou a expansão da pecuária extensiva, antes caracterizada pelo baixo investimento em tecnologia de produção (Carvalho, 2006). No entanto, investimento elevado tem sido feito em lavouras implantadas em solos leves, já que seus níveis de produtividade podem ser tão altos quanto os de solos mais pesados, com textura mais argilosa. Santos et al. (2008), a partir de dados de 28 talhões comerciais de soja nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, registraram produtividades médias da cultura de 3.090 kg ha⁻¹ de grãos, com valores de até 4.200 kg ha⁻¹. Os solos desses talhões apresentavam textura com teores de argila variável, de 30 a 150 g kg⁻¹.

Em Campo Verde, em Mato Grosso, verificou-se elevada produtividade de soja e milho em solos leves (Dias et al., 2010), exceto quando houve ocorrência de veranico ou ataque de nematoides (Tabela 5). No entanto, produtores da região relataram rendimentos de milho de segunda safra que variaram de 5.110 a 6.000 kg ha⁻¹, nesses solos, menores que os de até 8.400 kg ha⁻¹ observados em solos de textura mais argilosa.

De acordo com Galbieri et al. (2014), no Estado de Mato Grosso, a produtividade de algodão não difere entre solos argilosos e de textura média.

Tabela 5. Produção de grãos de soja (*Glycine max*) e milho (*Zea mays*) em solos de textura leve, nas safras 2012/2013 e 2013/2014, em Campo Verde, MT.

Classe de solo ⁽¹⁾	Safra	Produção	Observações
RQ	2012/2013	1.050 kg ha ⁻¹ de grãos de soja	Estiagem e nematoide
RQ	2013/2014	2.880 kg ha ⁻¹ de grãos de soja	Sem estiagem
RQ	2013/2014	3.480 kg ha ⁻¹ de grãos de soja	Sem estiagem
LV psamítico	2013/2014	1.370 a 3.300 kg ha ⁻¹ de grãos de soja	Os menores rendimentos se devem a 18 dias de veranico na fase de formação de grãos
LV psamítico	2013/2014	3.480 kg ha ⁻¹ de grãos de soja e 7.320 kg ha ⁻¹ de grãos de milho	Sem estiagem

⁽¹⁾RQ, Neossolo Quartzarênico; e LV, Latossolo Vermelho.

Silva et al. (1994) avaliaram lavouras de soja, cultivadas de 1 a 5 anos, sobre Neossolos Quartzarênicos e Latossolos Vermelho-Amarelos de textura média e argilosa, para entender as relações entre matéria orgânica e CTC. Os autores verificaram que a queda no teor de matéria orgânica foi concomitante à queda da CTC, a pH 7,0, e ao tempo de cultivo. Além disso, os Neossolos apresentaram maior amplitude de decréscimo, com variação de 2,38 cmol_c kg⁻¹, que corresponde a um decréscimo de 61% no valor inicial da CTC, enquanto nos Latossolos a redução foi de 1,52 cmol_c kg⁻¹, correspondente a 29% da CTC.

Assim, o poder tampão e a resiliência dos solos leves dependerão do manejo adotado no sistema de produção. Portanto, é necessário que se preserve, ou mesmo incremente, os teores de matéria orgânica do solo, por meio de maior aporte de biomassa, mínimo revolvimento do solo, ausência de excessos no uso de insumos externos e aumento da diversidade dos sistemas de produção.

Sistemas integrados de produção, com destaque para ILP, têm sido adotados com sucesso em diferentes fazendas produtoras de grãos e fibras, por meio da utilização de gramíneas forrageiras como plantas de cobertura do solo em SPD, em que o componente animal é uma alternativa interessante na entressafra (Vilela et al., 2008).

Manejo da fertilidade de solos leves

A calagem em solos leves é bastante benéfica porque neutraliza o alumínio tóxico, ao elevar o pH do solo, e disponibiliza cálcio e magnésio às plantas. Entretanto, a dose deve ser cuidadosamente recomendada, uma vez que essa técnica pode favorecer a mineralização da matéria orgânica, a redução da disponibilidade de micronutrientes e o aumento da dispersão da argila.

Uma prática comum, adotada por técnicos e produtores rurais que trabalham em solos leves, é a aplicação de doses de calcário acima de 6 Mg ha⁻¹, que podem chegar até mais de 10 Mg ha⁻¹. A razão para isso, de acordo com os próprios produtores, é que, se aplicada a dose de 2 Mg ha⁻¹, recomendada de acordo com as fórmulas existentes nos manuais de recomendação de corretivos e fertilizantes (Raij et al., 1996; Ribeiro et al., 1999), a produtividade das culturas será muito baixa; portanto, eles consideram necessárias doses mais elevadas, principalmente quando o objetivo é preparar o terreno para culturas mais exigentes, como

a do algodão. Essa percepção, no entanto, pode ser explicada pela baixa reatividade do calcário nesses solos, em razão do baixo teor de alumínio e do baixo poder tampão do solo, e por possíveis perdas de cátions em profundidade, pela lixiviação. Nesse sentido, constata-se ainda uma escassez de trabalhos sobre calagem em solos leves, ao se considerar a intensa e crescente incorporação destes ao processo produtivo.

Lima (1993) já havia mostrado a necessidade de se aplicar maiores doses de calcário que as indicadas nos manuais de recomendação para solos leves, obtidas por meio do método da neutralização do Al e da elevação dos teores de Ca e Mg, e também pelo método da saturação por bases. Freitas et al. (2004) relataram risco de dispersão de argila com o uso de doses elevadas de calcário, em sistema de manejo convencional, em solos leves, no Oeste Baiano. Nessa direção, Ferreira & Carvalho (2005), em trabalho com calagem e adubação de algodão, em solos da Bahia e de Goiás, também observaram dispersão de argila ocasionada pela calagem.

Quanto ao uso do gesso, Maria et al. (1993) constataram maiores perdas de Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ em solo de textura média do que em solo argiloso. Ramos et al. (2006), ao estudar o efeito de corretivos e condicionadores de solo sobre Neossolo Quartzarênico, verificaram que o gesso aumenta a disponibilidade de cálcio em todas as profundidades.

Quanto ao manejo da adubação fosfatada, deve-se destacar a baixa adsorção do P em solos arenosos (Novais et al., 2007). Isso representa uma vantagem, em comparação a solos mais argilosos, ao se considerar a limitação deste nutriente nos solos tropicais e intemperizados. Nesse sentido, Bedin et al. (2003) avaliaram a produção de soja com diferentes fertilizantes fosfatados, em diferentes texturas de solo. De acordo com os autores, o Neossolo Quartzarênico e o Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média apresentaram maiores valores de fósforo na solução do solo que o Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso. Além disso, o aumento no fator capacidade de P no solo, na sequência Neossolo Quartzarênico < Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média < Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso, restringiu a absorção e contribuiu para maior eficiência de utilização do nutriente, o que nivelou os efeitos das diferentes fontes de P avaliadas, sobre o crescimento e a produção da soja.

As perdas de nutrientes em solos leves, especialmente as de N e K, podem contaminar águas subterrâneas, como observado em colunas de Latossolos de textura média (Donagemma et al., 2008; Werle et al., 2008), e em campo, em Neossolo Regolítico (Galvão et al., 2008). Desse modo, esses nutrientes devem ser manejados com cautela, com uso de boas práticas conservacionistas, como cobertura do solo e rotação de culturas.

A movimentação desses nutrientes no solo é destacada no Oeste Baiano, onde há uso intenso de fertilizantes potássicos. Nesse ambiente, é comum encontrar teores de potássio disponível acima de 50 mg dm⁻³, em profundidades superiores a 1,8 m, na qual há pouca chance de recuperação pelas culturas nos sistemas de produção predominantes na região. Em estudo de longo prazo, realizado entre 2006–2013 (Toniêto et al., 2010; Polidoro & Teixeira, 2013), em sistema de produção com soja/milho em rotação, avaliou-se a aplicação da dose de potássio recomendada em superfície – isto é, a lanço, antecipada ou não ao plantio – em substituição à aplicação da dose no sulco de plantio. Constatou-se que a forma de aplicação de KCl nas lavouras de grãos poderia ser alterada para a aplicação a lanço de toda a dose, antes do plantio. Com esse manejo, a eficiência agrônômica e econômica de KCl foi aumentada de forma significativa, principalmente para a cultura do milho. Esse trabalho mostrou, ainda, que a lixiviação de K foi praticamente nula, pois os teores na camada de 0,40–0,60 m foram praticamente iguais ao do tratamento controle, sem aplicação de potássio. Assim, ao contrário de outros trabalhos na literatura, que recomendam a aplicação parcelada de K, esse trabalho demonstrou que a aplicação da dose total do nutriente pode ser feita já no plantio, sem que ocorram perdas significativas por lixiviação. Ressalta-se, ainda, que as chuvas na região são mal distribuídas e que seu volume é menor do que o característico para o Cerrado, o que diminui o potencial de lixiviação.

Desafios para a caracterização, para avaliação do potencial agrícola e para o manejo de solos leves

Embora o comportamento dos solos leves seja bastante homogêneo, quanto à susceptibilidade à degradação e à produtividade agrícola, há carência de informações sobre os critérios que possam distinguir

seus atributos físico-hídricos e químicos. Entre os principais desafios, estão:

1. A carência de critérios para uma classificação mais pormenorizada desses solos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, tais como: dinâmica da matéria orgânica, teor e mineralogia da fração argila, teores de areia grossa e de areia total em relação ao de areia fina, diâmetro médio da fração areia, capacidade de retenção de água e, conseqüentemente, capacidade de água disponível para as plantas.

2. O estabelecimento de pesquisas sobre o manejo da fertilidade, a aplicação e a dosagem de calagem, gesso e fertilizantes, bem como a adoção de programas apoiados nesses estudos, ao se considerar a cultura e as variações de solo e clima.

3. A implantação de sistemas de produção que consistem em novos arranjos e combinações de espécies, que devem ser testados e incentivados em razão dos benefícios relacionados à produtividade e à melhoria na qualidade do solo.

4. O incentivo de programas de transferência e tecnologia de uso e manejo de solos leves, que incluam: plantios mistos com leguminosas arbóreas em detrimento ao monocultivo de espécies florestais; culturas de cobertura para grãos e fibras e na reforma de canaviais; sucessão de gramíneas e leguminosas forrageiras integradas à produção de grãos, como na safrinha de boi, na integração lavoura-pecuária e na integração lavoura-pecuária-floresta; utilização de gramíneas forrageiras, em especial de braquiárias, em rotação com ou em sucessão a lavouras de grãos e fibras.

5. O desenvolvimento de materiais genéticos mais tolerantes ao estresse hídrico e a temperaturas elevadas, como estratégia para o uso agrícola desses solos em um quadro de mudança climática global.

6. O desenvolvimento de materiais genéticos que apresentem baixa demanda hídrica e nutricional, assim como alta resistência a pragas e doenças, para propiciar baixos inputs em água, fertilizantes e agrotóxicos, o que evitaria a contaminação de recursos hídricos superficiais e subsuperficiais.

7. O estudo de práticas mecânicas e vegetativas de melhoria da qualidade do solo e controle da erosão, em face à intensificação do uso de equipamentos pesados e da ocorrência de chuvas concentradas, que podem acelerar o processo de degradação desses solos.

Agradecimentos

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, projetos no. 05.13.25.009.00.00, 02.11.99.007.00.00) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, no. 478003/2013-7), pelo apoio financeiro.

Referências

- ABRAHÃO, W.A.P.; COSTA, L.M.; MELLO, J.W.V.; NEVES, J.C.L. Distribuição de frequência de tamanho da fração areia e compactidade relativa de solos desenvolvidos de sedimentos do grupo geológico Barreiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.1-9, 1998. DOI: 10.1590/S0100-06831998000100001.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO ABRAF 2013: ano base 2012. Brasília: Abraf, 2013. 148p.
- BALBINO, L.C.; BARCELLOS, A. de O.; STONE, L.F. (Ed.). **Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta**. Brasília: Embrapa, 2011. 130p.
- BALBINO, L.C.; KICHEL, A.N.; BUNGENSTAB, D.J.; ALMEIDA, R.G. de. Sistemas de integração: o que são, suas vantagens e limitações. In: BUNGENSTAB, D.J. (Ed.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável**. 2.ed. Brasília: Embrapa, 2012. p.11-18.
- BALIEIRO, F. de C.; OLIVEIRA, W.C.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. dos; PICOLLO, M. de C.; JACCOUD, C.F. Fertilidade e carbono do solo e uso da água pelo eucalipto numa topossequência em Seropédica, RJ. **Revista Árvore**, v.32, p.153-162, 2008a.
- BALIEIRO, F. de C.; PEREIRA, M.G.; ALVES, B.J.R.; RESENDE, A.S. de; FRANCO, A.A. Soil carbon and nitrogen in pasture soil reforested with eucalyptus and guachapele. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1253-1260, 2008b. DOI: 10.1590/S0100-06832008000300033.
- BATISTELLA, M.; VALLADARES, G.S. Farming expansion and land degradation in Western Bahia, Brazil. **Biota Neotropica**, v.9, p.61-76, 2009.
- BEDIN, I.; FURTINI NETO, A.E.; RESENDE, A.V.; FAQUIN, V.; TOKURA, A.M.; SANTOS, J.Z.L. Fertilizantes fosfatados e produção de soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.639-646, 2003.
- BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; REIS, V. Endophytic nitrogen fixation in sugarcane: present knowledge and future applications. **Plant and Soil**, v.252, p.139-149, 2003. DOI: 10.1023/A:1024152126541.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do sul do Estado de Mato Grosso**. Rio de Janeiro, 1971. 839p. (Boletim Técnico, 18).
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. 431p. (Boletim técnico, 30).
- BYBORDI, M. Infiltration of water into nonuniform soils. In: HADAS, A.; SWARTZENDRUBER, D.; RIJTEMA, P.E.; FUCHS, M.; YARON, B. (Ed.). **Physical aspects of soil water and salts in ecosystems**. New York: Springer-Verlag, 1973. p.91-95. (Ecological Studies, 4). DOI: 10.1007/978-3-642-65523-4_10.
- CAMARGO, L. (Org.). **Atlas de Mato Grosso: abordagem socioeconômico-ecológica**. Cuiabá: Entrelinhas, 2011.
- CANTARELLA, H.; TREELIN, P.C.O.; VITTI, A.C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, A.C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI, 2007. p.355-412.
- CARVALHO, A.P. de. Solos do arenito Caiuá. In: PEREIRA, V. de P.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da. **Solos altamente suscetíveis à erosão**. Jaboticabal: Unesp, 1994. p.39-50.
- CARVALHO, J.L.N. **Conversão do Cerrado para fins agrícolas na Amazônia e seus impactos no solo e no ambiente**. 2006. 95p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- CARVALHO, J.L.N.; BRAUNBECK, O.A.; CHAGAS, M.F. **Implantação do plantio direto de cana-de-açúcar: base para a sustentabilidade do canavial**. Campinas: Laboratório Nacional de Ciência Tecnologia do Bioetanol, 2012. Disponível em: <https://abccapacitacao.files.wordpress.com/2012/11/cana_de_acucar_estudo-de-viabilidade-economica-abc_31out2012.pdf>. Acesso em: 30 maio 2016.
- CARVALHO, P.C. de F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A. de; SOUZA, E.D. de; SULC, R.M.; LANG, C.R.; FLORES, J.P.C.; LOPES, M.L.T.; SILVA, J.L.S. da; CONTE, O.; WESP, C. de L.; LEVIEN, R.; FONTANELI, R.S.; BAYER, C. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.88, p.259-273, 2010. DOI: 10.1007/s10705-010-9360-x.
- CHAER, G.M.; TÓTOLA, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1381-1396, 2007.
- COELHO, S.R. de F.; GONÇALVES, J.L. de M.; MELLO, S.L. de M.; MOREIRA, R.M.; SILVA, E.V. da; LACLAU, J.-P. Crescimento, nutrição e fixação biológica de nitrogênio em plantios mistos de eucalipto e leguminosas arbóreas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.759-768, 2007. DOI: 10.1590/S0100-204X2007000600001.
- COSTA, A. da; ALBUQUERQUE, J.A.; COSTA, A. da; PÉRTILE, P.; SILVA, R.F. da. Water retention and availability in soils of the state of Santa Catarina-Brazil: effect of textural classes, soil classes and lithology. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1535-1548, 2013. DOI: 10.1590/S0100-06832013000600010.
- DIAS, W.P.; GARCIA, A.; SILVA, J.F.V.; CARNEIRO, G.E. de S. **Nematóides em soja: identificação e controle**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 8p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 76).

- DIAS-FILHO, M.B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 402).
- DONAGEMMA, G.K.; RUIZ, H.A.; ALVAREZ V., H.; FERREIRA, P.A.; CANTARUTTI, R.B.; SILVA, A.T. da; FIGUEIREDO, G.C. Distribuição do amônio, nitrato, potássio e fósforo em colunas de latossolos fertirrigadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2493-2504, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000600026.
- DUARTE JUNIOR, J.B.; COELHO, F.C. Adubos verdes e seus efeitos no rendimento da cana-de-açúcar em sistema de plantio direto. **Bragantia**, v.67, p.723-732, 2008. DOI: 10.1590/S0006-87052008000300022.
- FASOLO, P.J.; CARDOSO, A.; CARVALHO, A.P.; HOCHMÜLLER, D.P.; RAUEN, M.J.; PÖTTER, R.O. **Erosão: inventário de áreas críticas no Noroeste do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1988. 20p. (IAPAR. Boletim técnico, 23).
- FERREIRA, G.B.; CARVALHO, M. da C.S. **Adubação do algodoeiro no Cerrado: com resultados de pesquisa em Goiás e Bahia**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. 71p. (Embrapa Algodão. Documentos, 138).
- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.515-524, 1999.
- FIDALSKI, J. Diagnóstico de manejo e conservação do solo e da água na região Noroeste do Paraná. **Revista Unimar**, v.19, p.845-851, 1997.
- FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.; ALVES, S.J.; AULER, P.A.M. Influência das frações de areia na retenção e disponibilidade de água em solos das Formações Caiuá e Paranavai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.613-621, 2013. DOI: 10.1590/S0100-06832013000300007.
- FLORES, C.A.; RIBASKI, J.; MATTE, V.L. **Sistema agrossilvipastoril na região sudoeste do estado do Rio Grande do Sul**. 2010. Disponível em: <www.infobibos.com/Artigos/2010_4/SistemaAgroSilvoPastoril/index.htm>. Acesso em: 23 dez. 2010.
- FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G.; BALIEIRO, F.C.; MOURA, T.P.A.; MENEZES, A.R.; SANTANA, C.I. Característica e atributos de latossolos sob diferentes usos em Luis Eduardo Magalhães, Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, p.1457-1465, 2016.
- FORRESTER, D.I.; COWIE, A.L.; BAUHUS, J.; WOOD, J.T.; FORRESTER, R.I. Effects of changing the supply of nitrogen and phosphorus on growth and interactions between *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii* in a pot trial. **Plant and Soil**, v.280, p.267-277, 2006. DOI: 10.1007/s11104-005-3228-x.
- FREITAS, P.L. de; BERNARDI, A.C. de C.; MANZATTO, C.V.; RAMOS, D.P.; DOWITCH, I.; LANDERS, J.N. **Comportamento físico-químico dos solos de textura arenosa e média do Oeste Baiano**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 7p. (Embrapa Solos. Comunicado técnico, 27).
- FREITAS, P.L. de; POLIDORO, J.C.; SANTOS, H.G.; PRADO, R.B.; CALDERANO, S.B.; GREGORIS, G.; MANZZATTO, C.V.; DOWITCH, I.; BERNARDI, A.C. de C. Identificação e caracterização físico-química de latossolos de textura arenosa e média da região oeste da Bahia. **Cadernos de Geociências**, v.11, p.82-92, 2014.
- FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Segundo plano de desenvolvimento integrado do Noroeste mineiro: recursos naturais**. Belo Horizonte, 1981. 359p. (CETEC. Publicações técnicas, 2).
- GALBIERI, R.; SILVA, J.F.V.; ASMUS, G.L.A.; VAZ, C.M.P.; LAMAS, F.M.; CRESTANA, S.; TORRES, E.D.; FARIAS, A.; FALEIRO, V. de O.; CHITARRA, L.G.; RODRIGUES, S.M.M.; STAUT, L.A.; MATOS, E.S.; SPERA, S.T.; DRUCK, S.; MAGALHÃES, C.A.S.; OLIVEIRA, A.A.E. de; TACHINARDI, R.; FANAN, S.; RIBEIRO, N.R.; SANTOS, T.F.S. Áreas de produção de algodão em Mato Grosso: nematóides, murcha de fusarium, sistemas de cultivo, fertilidade e física de solo. Primavera do Leste: IMAMT, 2014. 16p. (Circular técnica IMAMT, 8).
- GALVÃO, S.R. da S.; SALCEDO, I.H.; OLIVEIRA, F.F. de. Acumulação de nutrientes em solos arenosos adubados com esterco bovino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.99-105, 2008. DOI: 10.1590/S0100-204X2008000100013.
- GAUDER, M.; GRAEFF-HÖNNINGER, S.; CLAUPEIN, W. The impact of a growing bioethanol industry on food production in Brazil. **Applied Energy**, v.88, p.672-679, 2011. DOI: 10.1016/j.apenergy.2010.08.020.
- GHERBERTO, P.J.; LIBARDI, P.L.; BRITO, A. dos S.; TRIVELIN, P.C.O. Nitrogen fertilizer leaching in an Oxisol cultivated with sugarcane. **Scientia Agricola**, v.68, p.86-93, 2011. DOI: 10.1590/S0103-90162011000100013.
- GIAROLA, N.F.B.; LIMA, H.V. de; ROMERO, R.E.; BRINATTI, A.M.; SILVA, A.P. da. Mineralogia e cristalografia da fração argila de horizontes coesos de solos nos tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.33-40, 2009. DOI: 10.1590/S0100-06832009000100004.
- GUERRA, A.J.T. (Coord.). **Um estudo do meio físico com fins de aplicação ao planejamento do uso agrícola da terra no sudoeste de Goiás**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 212p.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2006: resultados preliminares**. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/49/agro_2006_resultados_preliminares.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2016.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Região Sul: censos econômicos. **Sinopse preliminar do Censo Agropecuário**, Rio de Janeiro, v.4, p.3-39, 1987.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Solos da Amazônia Legal**. 2012. Disponível em: <http://www.visualizador.inde.gov.br>. Acesso em: 15 ago. 2014.
- KLAMT, E. Solos arenosos da região da Campanha do Rio Grande do Sul. In: PEREIRA, V. de P.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da. (Ed.). **Solos altamente suscetíveis à erosão**. Jaboticabal: FCAV-UNESP/SBCS, 1994. p.19-37.

- KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Implantação, condução e resultados obtidos com o sistema Santa Fé. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.407-442.
- KLUTHCOUSKI, J.; PACHECO, A.R.; TEIXEIRA, S.M.; OLIVEIRA, E.T. de. **Renovação de pastagens do cerrado com arroz**: I. Sistema Barreirão. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1991. 20p. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 33).
- KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 570p.
- LACLAU, J.-P.; BOULLIET, J.-P.; GONÇALVES, J.L.M.; SILVA, E.V.; JOURDAN, C.; CUNHA, M.C.S.; MOREIRA, M.R.; SAINT-ANDRÉ, L.; MAQUÈRE, V.; NOUVELLON, Y.; RANGER, J. Mixed-species plantations of *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis* in Brazil: 1. Growth dynamics and aboveground net primary production. **Forest Ecology and Management**, v.255, p.3905-3917, 2008. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.10.049.
- LACLAU, J.-P.; LEVILLAIN, J.; DELEPORTE, P.; NZILA, J. de D.; BOUILLET, J.-P.; SAINT ANDRÉ, L.; VERSINI, A.; MARESCHAL, L.; NOUVELLON, Y.; M'BOU, A.T.; RANGER, J. Organic residue mass at planting is an excellent predictor of tree growth in *Eucalyptus* plantations established on a sandy tropical soil. **Forest Ecology and Management**, v.260, p.2148-2159, 2010. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.09.007.
- LANDERS, J.N.; FREITAS, P.L. de; BODDEY, R. Potential for mitigation of deforestation and negative off-farm impacts with conservation agriculture employing zero tillage farming in the Brazilian Cerrado. In: MISTRY, J.; BERARDI, A. (Ed.). **Savannas and dry forests: linking people with nature**. Ashgate: Aldershot, 2006. p.241-264.
- LANZANOVA, M.E.; NICOLOSO, R. da S.; LOVATO, T.; ELTZ, F.L.F.; AMADO, T.J.C.; REINERT, D.J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1131-1140, 2007. DOI: 10.1590/S0100-06832007000500028.
- LEVANTAMENTO de reconhecimento de média intensidade e aptidão agrícola dos solos do Triângulo Mineiro. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1982. 526p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim de pesquisa, 1).
- LEVANTAMENTO de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná. Londrina: EMBRAPA-SNLCS: SUDESUL: IAPAR, 1984. 2v. (EMBRAPA. Boletim técnico, 27; IAPAR. Boletim técnico, 16).
- LEVANTAMENTO exploratório – reconhecimento de solos da margem direita do Rio São Francisco Estado da Bahia. Recife: EMBRAPA-SNLCS, 1977. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim técnico, 52; SUDENE-DRN, Série Recursos de Solos, 10).
- LEVANTAMENTO exploratório – reconhecimento de solos da margem esquerda do Rio São Francisco Estado da Bahia. Recife: EMBRAPA-SNLCS, 1976. 404p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim técnico, 38; SUDENE-DRN. Série Recursos de Solos, 7).
- LEVANTAMENTO exploratório – reconhecimento de solos do Norte de Minas Gerais: área de atuação da SUDENE. Recife: EMBRAPA-SNLCS: SUDENE, DRN, 1979. 407p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim técnico, 60; SUDENE-DRN. Recursos de Solos, 12).
- LIMA, H.V.; SILVA, A.P.; SANTOS, M.C.; COOPER, M.; ROMERO, R.E. Micromorphology and image analysis of a hardsetting Ultisol (Argissolo) in the state of Ceará (Brazil). **Geoderma**, v.132, p.416-426, 2006. DOI: 10.1016/j.geoderma.2005.06.006.
- LIMA, M.R. de. **Dinâmica de nutrientes em função da calagem de solos arenosos**. 1993. 112p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- LUCA, E.F. de; FELLER, C.; CERRI, C.C.; BARTHÈS, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D.C.; MANECHINI, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.789-800, 2008.
- LUMBRERAS, J.F.; CARVALHO FILHO, A. de; MOTTA, P.E.F. da; BARROS, A.H.C.; AGLIO, M.L.D.; DART, R. de O.; SILVEIRA, H.L.F. da; QUARTAROLI, C.F.; ALMEIDA, R.E.M. de; FREITAS, P.L. de. **Aptidão agrícola das terras do MATOPIBA**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2015. 48p. il. color. (Embrapa Solos. Documentos, 179).
- MACEDO, I.C.; SEABRA, J.E.A.; SILVA, J.E.A.R. Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020. **Biomass and Bioenergy**, v.32, p.582-595, 2008. DOI: 10.1016/j.biombioe.2007.12.006.
- MACEDO, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.133-146, 2009. DOI: 10.1590/S1516-35982009001300015.
- MANZATTO, C.V.; ASSAD, E.D.; BACCA, J.F.M.; ZARONI, M.J.; PEREIRA, S.E.M. (Org.). **Zonamento agroecológico da cana-de-açúcar: expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 55p. (Embrapa Solos. Documentos, 110).
- MAQUÈRE, V.; LACLAU, J.-P.; GONÇALVES, J.L.M.; PICCOLO, M.C.; KRUSHE, A.V.; RANGER, J. Influence of fertilizer inputs on the chemistry of soil solutions in eucalypt plantations established on Brazilian sandy soils. In: WORKSHOP ON MANAGEMENT OF TROPICAL SANDY SOIL FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE, 27., 2005, Khon Kaen. **A holistic approach for sustainable development of problem soils in the tropics**: proceedings. Khon Kaen: International Union of Soil Science, 2005. p.466-471.
- MARCHÃO, R.L.; VILELA, L.; PALUDO, A.L.; GUIMARÃES JUNIOR, R. **Impacto do pisoteio animal na compactação do solo sob integração lavoura-pecuária no Oeste Baiano**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009. 6p. (Embrapa Cerrados. Comunicado técnico, 163).
- MARIA, I.C. de; ROSSETO, R.; AMBROSANO, E.J.; CASTRO, O.M. de. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio no movimento de cátions em colunas de solo. **Scientia Agricola**, v.50, p.97-98, 1993. DOI: 10.1590/S0103-90161993000100013.
- MONIZ, A.C.; CARVALHO, A. Sequência de evolução de solos derivados do arenito Bauru e de rochas básicas da região noroeste do estado de São Paulo. **Bragantia**, v.32, p.309-335, 1973.

- MORAES, J.M. (Org.). **Geodiversidade do estado de Goiás e do Distrito Federal**. Goiânia: CPRM, 2014. 131p. Programa Geologia do Brasil. Levantamento de geodiversidade.
- MOREAU, A.M.S. dos S. **Gênese, mineralogia e micromorfologia de horizontes coeso, fragipã e duripã em solos do Tabuleiro Costeiro do Sul da Bahia**. 2001. 138p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- MOTTA, P.E.F. da; BARUQUI, A.M.; SANTOS, H.G. dos. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da região do Alto Paranaíba, Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 238p. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 44).
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-550.
- OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; MORAES, S.O. Lixiviação de nitrato em um Latossolo Amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v.58, p.171-180, 2001. DOI: 10.1590/S0103-90162001000100026.
- OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M. & CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida**. Campinas, Instituto Agronômico/EMBRAPA- Solos. Campinas. 1999. 64p. Mapas (1:500.000).
- OLIVEIRA, P. de; KLUTHCOUSKI, J.; FAVARIN J.L.; SANTOS, D. de C. **Sistema Santa Brígida – Tecnologia Embrapa: consorciação de milho com leguminosas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2010. 16p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular técnica, 88).
- OLIVEIRA, V.A. de. (Coord.). **Levantamento de reconhecimento de alta intensidade dos solos de duas áreas dotadas de solos arenosos no estado de Mato Grosso: áreas piloto I e II**. Cuiabá: SEPLAN-MT, 2011. 232p.
- OR, D.; WRAITH, J.M. Soil water content and water potential relationships. In: WARRICK, A.W. (Ed.). **Soil physics companion**. Boca Raton: CRC Press, 2002. p.49-84.
- PAULA, R.R. **Processos de transferência de N em curto e longo prazo em plantios mistos de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium***. 2015. 142p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- POLIDORO, J.C.; TEIXEIRA, P.C. Adubação potássica em solos arenosos. In: **APOIO AO USO BALANCEADO DE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA**, 2013, Piracicaba. 10 anos de parceria IPI e Embrapa. Piracicaba: IPI, 2013. p.39-40.
- PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SD.22 Goiás: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: IBGE, 1981. 636p. (Levantamento de Recursos Naturais, 25).
- RACHID, C.T.C.C.; BALIEIRO, F.C.; FONSECA, E.S.; PEIXOTO, R.S.; CHAER, G.M.; TIEDJE, J.M.; ROSADO, A.S. **Intercropped silviculture systems, a key to achieving soil fungal community management in *Eucalyptus* plantations**. PLoS ONE, v.10, p.e0118515, 2015. DOI: 10.1371/journal.pone.0118515.
- RACHID, C.T.C.C.; BALIEIRO, F.C.; PEIXOTO, R.S.; PINHEIRO, Y.A.S.; PICCOLO, M.C.; CHAER, G.M.; ROSADO, A.S. Mixed plantations can promote microbial integration and soil nitrate increases with changes in the N cycling genes. **Soil Biology and Biochemistry**, v.66, p.146-153, 2013. DOI: 10.1016/j.soilbio.2013.07.005.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. (IAC. Boletim Técnico, 100).
- RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3.ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65p.
- RAMOS, L.A.; NOLLA, A.; KORNDORFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. de. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.849-857, 2006. DOI: 10.1590/S0100-06832006000500011.
- REIS, M. das G.F.; KIMMINS, J.P.; REZENDE, G.C. de; BARROS, N.F. de. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no Cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, v.9, p.149-162, 1985.
- RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V., V.H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.
- RIBEIRO, K.D.; MENEZES, S.M.; MESQUITA, M. da G.B. de F.; SAMPAIO, F. de M.T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, p.1167-1175, 2007. DOI: 10.1590/S1413-70542007000400033.
- RIVA, R.D.D. **Efeito das propriedades físicas dos grãos da fração de areia de solos arenosos e de agentes de cimentação no comportamento de sistemas empacotados**. 2010. 180p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- RIVERS, E.D.; SHIPP, R.F. Available water capacity of sandy and gravelly North Dakota soils. **Soil Science**, v.113, p.74-80, 1972.
- ROQUE, A.A. de O.; SOUZA, Z.M. de; BARBOSA, R.S.; SOUZA, G.S. de. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.744-750, 2010. DOI: 10.1590/S0100-204X2010000700016.
- SALES, L.E. de O.; CARNEIRO, M.A.C.; SEVERIANO, E. da C.; OLIVEIRA, G.C. de; FERREIRA, M.M. Qualidade física de Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes usos agrícolas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, p.667-674, 2010. DOI: 10.1590/S1413-70542010000300020.
- SALOMÃO, F.X.T. Solos do Arenito Bauru. In: PEREIRA, V.P.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. **Solos altamente suscetíveis à erosão**. Jaboticabal, FCAVJ-UNESP/SBCS. 1994. p.51-68.
- SALTON, J.C.; KICHEL, A.N.; ARANTES, M.; KRUKER, J.M.; ZIMMER, A.H.; MERCANTE, F.M.; ALMEIDA, R.G. de. **Sistema São Mateus: sistema de integração lavoura-pecuária para a região do Bolsão Sul-Mato-Grossense**. Dourados: Embrapa

- Agropecuária Oeste, 2013. 6p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado técnico, 186).
- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1349-1356, 2011. DOI: 10.1590/S0100-204X2011001000031.
- SANTOS, F.C. dos; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. de; VILELA, L.; FERREIRA, G.B.; CARVALHO, M.C.S.; VIANA, J.H.M. Decomposição e liberação de macronutrientes da palhada do milho e braquiária, sob integração lavoura-pecuária no Cerrado baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1855-1861, 2014. DOI: 10.1590/S0100-06832014000600020.
- SANTOS, F.C. dos; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; FOLONI, J.M.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. de; KER, J.C. Produtividade e aspectos nutricionais de plantas de soja cultivadas em solos de Cerrado com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2015-2025, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000500023.
- SANTOS, F.M.; BALIEIRO, F. de C.; ATAÍDE, D.H. dos S.; DINIZ, A.R.; CHAER, G.M. Dynamics of aboveground biomass accumulation in monospecific and mixed-species plantations of *Eucalyptus* and *Acacia* on a Brazilian sandy soil. **Forest Ecology and Management**, v.363, p.86-97, 2016. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.12.028.
- SANTOS, H.G. dos; CARVALHO JUNIOR, W. de; DART, R. de O.; AGLIO, M.L.D.; SOUSA, J.S. de; PARES, J.G.; FONTANA, A.; MARTINS, A.L. da S.; OLIVEIRA, A.P. de. **O novo mapa de solos do Brasil**: legenda atualizada. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 67p. (Embrapa Solos. Documentos, 130).
- SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. de; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. de. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013a. 353p.
- SANTOS, R.D. dos; LEMOS, R.C. de; SANTOS, H.G. dos; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. dos; SHIMIZU, S.H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6.ed. rev. e ampl. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013b. 100p.
- SCHULTZ, N.; SILVA, J.A. da; SOUSA, J.S.; MONTEIRO, R.C.; OLIVEIRA, R.P.; CHAVES, V.A.; PEREIRA, W.; SILVA, M.F. da; BALDANI, J.I.; BODDEY, R.M.; REIS, V.M.; URQUIAGA, S. Inoculation of sugarcane with diazotrophic bacteria. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.407-414, 2014. DOI: 10.1590/S0100-06832014000200005.
- SCOPEL, I.; SUERTEGARAY, D.M.A.; SOUZA, M.S.; PEIXINHO, D.M.; FERREIRA D.M. Neossolos Quartzarênicos órticos das áreas de areais do sudoeste do Rio Grande do Sul: características físicas e morfológicas. In: SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P. da; GUASSELLI, L.A. (Org.). **Arenização**: natureza socializada. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura: Imprensa Livre, 2012. p.489-528.
- SHIMIZU, J.Y.; KLEIN, H.; OLIVEIRA, J.R.V. de. **Diagnóstico das plantações florestais em Mato Grosso**: 2007. Cuiabá: Central de Texto, 2007. 64p.
- SILVA, E.M. da; LIMA, J.E.F.W.; AZEVEDO, J.A. de; RODRIGUES, L.N. Valores de tensão na determinação da curva de retenção de água de solos do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.323-330, 2006. DOI: 10.1590/S0100-204X2006000200018.
- SILVA, F.B.R. e; RICHÉ, G.R.; TONNEAU, J.P.; SOUZA NETO, N.C. de; BRITO, L.T. de L.; CORREIA, R.C.; CAVALCANTI, A.C.; SILVA, F.H.B.B. da; SILVA, A.B. da; ARAÚJO FILHO, J.C. de; LEITE, A.P. **Zoneamento Agroecológico do Nordeste**: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA; Recife: CNPS, Coordenadoria Regional Nordeste, 1993. 2v. (EMBRAPA-CPATSA. Documentos, 80).
- SILVA, F.C. da; MARCHIORI, L.F.S.; FREITAS, P.L. de; FARIAS, J.R.B. SILVA, C.J. da. Zoneamento de áreas de reforma de cana para a produção de biocombustíveis a partir da soja na região Centro-Sul. **Revista ALCOOLbrás**, n.138, p.63-68, 2012.
- SILVA, J.E. da; LEMAINSKI, J.; RESCK, D.V.S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.541-547, 1994.
- SILVA, P.H.M. da; POGGIANI, F.; LIBARDI, P.L.; GONÇALVES, A.N. Fertilizer management of eucalypt plantations on sandy soil in Brazil: initial growth and nutrient cycling. **Forest Ecology and Management**, v.301, p.67-78, 2013. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.10.033.
- SIX, J.; FELLER, C.; DENEK, K.; OGLE, S.M.; SA, J.C. de M.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils: effects of no-tillage. **Agronomie**, v.22, p.755-775, 2002. DOI: 10.1051/agro:2002043.
- SKOPP, J.M. Physical properties of primary particles. In: WARRICK, A.W. (Ed.). **Soil physics companion**. Boca Raton: CRC Press, 2002. p.1-16.
- SOUTO, J.J.P. **Deserto, uma ameaça?** Estudos dos núcleos de desertificação na fronteira sudoeste do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1984. 169p.
- SOUZA, M.J.H. de; RIBEIRO, A.; LEITE, H.G.; LEITE, F.P.; MINUZZI, R.B. Disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da Bacia do Rio Doce. **Revista Árvore**, v.30, p.399-410, 2006. DOI: 10.1590/S0100-67622006000300010.
- SPERA, S.T.; REATTO, A.; MARTINS, E. de S.; CORREIA, J.R.; CUNHA, T.J.F. **Solos areno-quartzosos no Cerrado**: problemas, características e limitação ao uso. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. (Embrapa Cerrados. Documentos, 7).
- STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.193, p.17-31, 2004. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.01.020.
- STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G.; FONSECA, S.; LOOS, R.A.; TAKAHASHI, E.N.; SILVA, C.R.; SILVA, S.R.; HAKAMADA, R.E.; FERREIRA, J.M. de A.; LIMA, A.M.N.; GAVA, J.L.; LEITE, F.P.; ANDRADE, H.B.; ALVES, J.M.; SILVA, G.G.C.; AZEVEDO, M.R. The Brazil eucalyptus potential productivity project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and**

- Management**, v.259, p.1684-1694, 2010. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.01.012.
- STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C. do; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. rev. e ampl. Porto Alegre: UFRGS: Emater/RS-Ascar, 2008. 222p.
- THEODOROVIZ, A.M. de G.; THEODOROVIZ, O. (Org). **Geodiversidade do Estado de Mato Grosso do Sul**: Programa Geologia do Brasil: levantamento da geodiversidade. São Paulo: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2010. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/Geodiversidade_MS.pdf>. Acesso em: 8 out. 2016.
- TONIÊTO, T.A.P.; KUFFEL, D.; FRANCO, G.C.; NAUMOV, A.; DORWICH, BENITES, V.M.; POLIDORO, J.C. Manejo da Adubação Potássica em solo de textura média no oeste da Bahia na rotação das culturas do milho e da soja em sistema de plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 29., 2010, Guarapari, ES. **Anais...** Guarapari, ES: FertBio, 2010.
- UCKER, F.E.; DE-CAMPOS, A.B.; PÉREZ, D.V.; HERNANI, L.C.; MACEDO, J.R. de; MELO, A. da S. Comportamento de nutrientes em solos frágeis sob cultivo de cana-de-açúcar na região de Mineiros, GO. In: CASTRO, S.S. de; HERNANI, L.C. (Ed.). **Solos frágeis**: caracterização, manejo e sustentabilidade. Brasília: Embrapa, 2015. p.185-206.
- URQUIAGA, S.; CRUZ, K.H.; BODDEY, R.M. Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: nitrogen-15 and nitrogen balance estimates. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.105-114, 1992. DOI: 10.2136/sssaj1992.03615995005600010017x.
- VALE JÚNIOR, J.F. do; BARROS, L. da S.; SOUZA, M.I.L. de; UCHOA, S.C.P. Erodibilidade e suscetibilidade à erosão dos solos de cerrado com plantio de *Acacia mangium* em Roraima. **Revista Agro@ambiente On-line**, v.3, p.1-8, 2009. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v3i1.253.
- VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G.B.; MACEDO, M.C.M.; MARCHÃO, R.L.; GUIMARAES JUNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G.A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1127-1138, 2011.
- VILELA, L.; MARTHA JÚNIOR, G.B.; MARCHÃO, R.L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; BARIONI, L.G.; BARCELLOS, A. de O. Integração lavoura-pecuária. In: FALEIRO, F.G.; FARIAS NETO, A.L. de (Ed.). **Savanas**: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Planaltina: Embrapa Cerrados; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p.930-962.
- VITTI, A.C. **Adubação nitrogenada da cana-de-açúcar (soqueira) colhida mecanicamente sem a queima prévia**: manejo e efeito na produtividade. 2003. 114p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- WERLE, R.; GARCIA, R.A.; ROSOLEM, C.A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2297-2305, 2008.

Recebido em 8 de setembro de 2015 e aprovado em 15 de junho de 2016