



**SOLOS
FRÁGEIS**

**CARACTERIZAÇÃO, MANEJO E
SUSTENTABILIDADE**

Selma Simões de Castro

Luis Carlos Hernani

Editores Técnicos



Embrapa

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Solos
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

SOLOS FRÁGEIS: CARACTERIZAÇÃO, MANEJO E SUSTENTABILIDADE

Selma Simões de Castro
Luís Carlos Hernani
Editores Técnicos

Embrapa
Brasília, DF
2015

Capítulo 2

Comportamento de nutrientes em solos frágeis sob cultivo de cana-de-açúcar na região de Mineiros, GO

Fernando Ernesto Ucker; Alfredo Borges De-Campos;
Daniel Vidal Pérez; Luís Carlos Hernani;
José Ronaldo de Macedo; Adoildo da Silva Melo

Introdução

Áreas cultivadas com cana-de-açúcar têm se expandido na região do Bioma Cerrado nos últimos anos (CASTRO et al., 2010). Nesse bioma, ocorre área significativa com solos de texturas média e arenosa, os quais, quando não são muito bem manejados, tendem a sofrer perdas significativas em seus atributos físicos, químicos e biológicos, com diminuição de sua qualidade e capacidade produtiva. Sabe-se que o cultivo contínuo e o preparo do solo para o plantio podem provocar diversas alterações nas propriedades físicas e químicas do solo (CERRI et al., 1991; GOVES et al., 1994), e isso pode estar ocorrendo nos solos dessa região, que estão sendo cultivados com cana-de-açúcar.

O termo “solo frágil” tem sido empregado no Brasil para designar grupos de solos com alto potencial ou forte risco de degradação, associada principalmente à ação antrópica (ALBUQUERQUE et al., 2011). De acordo com essa definição, Neossolos Quartzarênicos (RQ) são considerados solos frágeis por apresentarem baixa capacidade de retenção de água e fornecimento

de nutrientes para as plantas, além de elevada erodibilidade (ZUO et al., 2008). De acordo com Sousa et al. (2006), os Neossolos Quartzarênicos são originados de substratos arenosos, apresentando textura areia ou areia franca ao longo de pelo menos 2 metros de profundidade, com quantidade de argila menor que 15%. Com isso, naturalmente, os RQ apresentam baixa capacidade de agregação de partículas, alta lixiviação de nutrientes e rápida decomposição de matéria orgânica (CORREIA et al., 2004).

No Estado de Goiás, esse tipo de solo também está sendo utilizado para o plantio de cana-de-açúcar. Embora se saiba que os RQ são solos frágeis e que aspectos gerais relativos a sua dinâmica podem ser previstos, ainda não se conhece os efeitos que o manejo da cultura da cana-de-açúcar pode provocar no transporte de nutrientes ao longo do perfil desses solos. Por exemplo, a aplicação contínua de nutrientes a partir da fertilização utilizada nessa cultura pode exceder a capacidade de adsorção dos nutrientes pelos solos e plantas, tornando-os potenciais fontes poluidoras de solos e águas (CUNHA et al., 1981; GLOEDEN et al., 1991; LYRA et al., 2003; MEURER et al., 2000; SILVA et al., 2007). Outros nutrientes, como Zn e Cu, quando aplicados ao solo, podem se tornar potenciais fontes de contaminação dos ecossistemas terrestres e aquáticos (HEEBINK; HASSETT, 2001; KAMON; KATSUMI, 1999). Também há implicações econômicas decorrentes da perda de nutrientes no perfil dos solos frágeis que devem ser consideradas nesse novo ciclo de expansão do cultivo da cana-de-açúcar no Cerrado.

Portanto, o uso dos Neossolos Quartzarênicos para fins agrícolas sem a adoção de técnicas de manejo adequadas pode aumentar o risco de contaminação do lençol freático por nutrientes e diminuir a sua disponibilidade para as plantas, incorrendo, assim, em danos ambientais e econômicos.

Embora relevante sob o ponto de vista do manejo de solo, o tema da movimentação de nutrientes em solos frágeis sob cultivo com cana-de-açúcar ainda é pouco explorado. O objetivo deste trabalho foi determinar o comportamento de alguns nutrientes em perfil de Neossolo Quartzarênico sob vegetação nativa de Cerrado e comparar os resultados com áreas de Neossolo Quartzarênico e de Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média sob cultivo de cana-de-açúcar.

Área de estudo

O estudo foi realizado em parte da área de uma propriedade rural localizada no Município de Mineiros, GO, nas coordenadas 17°47'31.15''S e 53°00'10.04''O (Figura 1a). A área estudada assenta-se sobre rochas areníticas pertencentes à Formação Botucatu. O relevo é caracterizado por colinas médias com declividade <10° e os solos dominantes são Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média e Neossolo Quartzarênico.

O clima, classificado de acordo com Köppen, é Tropical Chuvoso (Aw), com seis meses de período chuvoso (novembro a abril) e seis meses sem quantidades expressivas de precipitação (maio a outubro). Dados pluviométricos foram coletados na área de estudo e indicaram que a precipitação hídrica média local no ano de 2012 foi de 1.266 mm e a temperatura média foi de 28,5 °C.

Os dois tipos de solos encontram-se com uso de cana-de-açúcar e há uma área de preservação com vegetação de Cerrado no Neossolo Quartzarênico (Figura 1b).

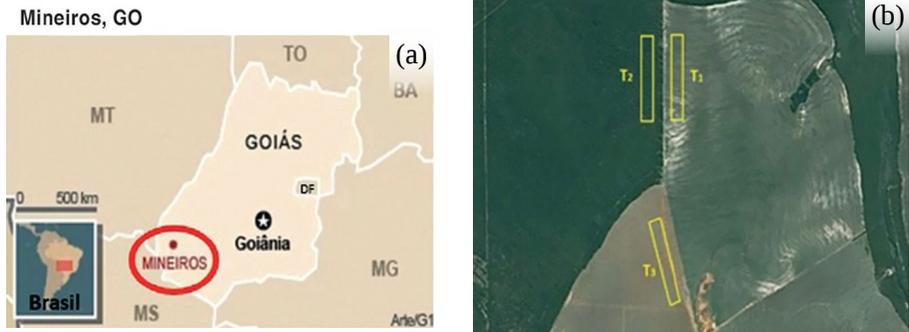


Figura 1. (a) Localização do Município de Mineiros; (b) Vista da área de estudo, com as faixas: T1 = Neossolo Quartzarênico com o cultivo de cana-de-açúcar; T2 = Neossolo Quartzarênico sob vegetação de Cerrado; e T3 = Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média com cultivo de cana-de-açúcar.

Métodos

Como tratamentos, foram consideradas duas faixas adjacentes de um Neossolo Quartzarênico dispostas ao longo do comprimento de rampa, sendo uma com vegetação nativa de Cerrado (RQ Cerrado) e outra com cultivo tradicional de cana-de-açúcar (RQ Lavoura). Em cada uma das faixas, foi estabelecido um transecto com dez pontos (T_1 e T_2) georreferenciados no sentido da vertente e espaçados em 30 m entre si. Em outra área sob Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média e cultivada com cana (LV Lavoura), repetiu-se a coleta de amostras em semelhante transecto (T_3) disposto ao longo do comprimento de rampa (Figura 1b).

Amostras compostas foram coletadas, nas três áreas estudadas, com trado holandês nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 100-120 e 160-180 cm. Após a coleta, as amostras, devidamente identificadas, foram encaminhadas para análise no Laboratório da Embrapa Solos. Foram realizadas coletas em duas épocas, sendo a primeira em novembro de 2011, ou seja, no início da estação chuvosa, e a segunda, em abril de 2012, período correspondente ao final da estação chuvosa da região de estudo.

Em laboratório, as amostras foram submetidas às análises granulométrica (fração argila), de pH (em água), de carbono orgânico (Tabela 1) e para determinação dos elementos cobre (Cu), zinco (Zn), ferro (Fe), fósforo (P) e alumínio (Al), conforme Claessen (1997) e Silva (2009). Cu, Zn e Fe foram extraídos com solução Mehlich 1 e relação solo:extrator de 1:5, e suas concentrações foram determinadas por espectrometria de absorção atômica. O fósforo disponível para plantas foi determinado por método colorimétrico, e o alumínio, por titulação alcalimétrica.

Seguindo os mesmos procedimentos, também foram determinados o pH em água, a saturação por bases (V%) e a capacidade de troca de cátions (CTC) para amostras obtidas nas profundidades 0-10, 10-20 e 0-20 cm.

Tabela 1. Atributos de amostras das profundidades 0-20, 20-40, 40-60, 100-120 e 160-180 cm de Latossolo Vermelho-Amarelo e Neossolo Quartzarênico cultivados com cana-de-açúcar e de Neossolo Quartzarênico sob cerrado.

Camada (cm)	Lavoura						Cerrado		
	Latossolo			Neossolo			Neossolo		
	Fração Argila (%)	pH	C ¹ (g/kg)	Fração Argila (%)	pH	C (g/kg)	Fração Argila (%)	pH	C (g/kg)
0-20	9,4	5,9	5,1	6,6	6,3	5,2	6,4	4,5	6,0
20-40	10,2	5,6	3,1	7,4	5,7	3,3	6,4	4,4	3,6
40-60	12,2	5,1	2,6	7,2	5,2	2,5	6,8	4,5	2,9
100-120	15,2	5,1	1,9	10,4	4,9	1,3	8,6	5,2	1,8
160-180	16,4	5,0	1,5	10,6	5,0	2,4	8,2	5,3	1,2

¹C: Carbono orgânico.

Foram comparados os efeitos de manejo do solo (RQ Lavoura x RQ Cerrado), o tipo de solo sob um mesmo manejo (Neossolo Quartzarênico x Latossolo Vermelho-Amarelo) e a época de amostragem (novembro/2011 x abril/2012). As médias foram comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de significância de 1% e 5%. Também foram estabelecidas correlações entre os atributos carbono orgânico, pH, V% e a CTC.

Comportamento de nutrientes em solos frágeis

Comparação entre épocas de amostragem

Os valores das concentrações dos nutrientes analisados nas épocas de amostragem (novembro de 2011 e abril de 2012) estão apresentados na Tabela 2. Os elementos avaliados apresentaram comportamento semelhante, com maiores concentrações na camada 0-20 cm e menores teores em camadas mais profundas, com destaque para o fósforo disponível na camada superior dos solos cultivados com cana-de-açúcar. O teor de Al refletiu práticas adequadas de correção de acidez dos solos sob cultivado, sem apresentar diferenças significativas entre as épocas de amostragem.

Para os elementos que mostraram diferença significativa entre as épocas de coleta (Cu, Fe, Zn e P), observa-se que, com exceção do fósforo, houve tendência de decréscimo nos valores de concentração entre as amostragens realizadas em novembro/2011 (após o período seco) e as de abril/2012 (após o período chuvoso). Isso é um indicativo de que os elementos Cu e Zn no RQ Cerrado, e Cu, Zn e P no RQ Lavoura e no LV Lavoura podem ter se translocado no perfil do solo para camadas mais profundas durante o período chuvoso, fato que não pode ser devidamente comprovado neste trabalho. Isso pode ser explicado pelos baixos teores e qualidade de argila presentes nos solos estudados. Ressalta-se, ainda, que o Neossolo Quartzarênico apresenta teores de argila muito baixos (Tabela 1), o que diminui a capacidade de retenção de nutrientes e pode favorecer o transporte de elementos químicos ao longo do perfil.

As tendências de variação nas concentrações observadas para esses elementos foram coerentes com o tipo de uso do solo, visto que, no período de novembro a abril, a cultura da cana-de-açúcar estava em fase de crescimento vegetativo e a vegetação do cerrado, em fase de rebrota. Adorna et al. (2013), ao avaliarem a aplicação de micronutrientes com e sem adubação de torta de filtro, observaram tendência semelhante de decréscimo no teor de micronutrientes no perfil de Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho; contudo, esses autores não estudaram diferentes épocas de amostragem. Sendo assim, no caso em estudo, as diferenças encontradas entre as épocas de avaliação são atribuídas à extração realizada pela planta e ao fluxo hídrico vertical durante o período das chuvas.

O P apresentou comportamento distinto dos demais elementos avaliados para os solos sob cultivo com cana-de-açúcar. Observa-se aumento dos teores após o período chuvoso, especialmente para as camadas 20-40 cm e 40-60 cm. O enriquecimento em P dessas camadas após a estação chuvosa também é um indicativo de mobilidade desse elemento no perfil do solo. As maiores concentrações na camada de 0-20 cm nos solos sob cultivo agrícola estão associadas às aplicações de fertilizantes fosfatados.

De modo geral, as maiores concentrações de nutrientes observadas na camada de 0-20 cm do RQ Cerrado (Tabela 2) podem ser explicadas pela

decomposição de material orgânico da vegetação de cerrado e sua incorporação no solo. Segundo Rodrigues et al. (2003), a decomposição da matéria orgânica proveniente, principalmente, das folhas, permite o retorno ao solo dos nutrientes absorvidos pela planta que não sofreram lixiviação, mantendo a funcionalidade do sistema. Ainda segundo os autores, a velocidade da ciclagem está ligada às condições físico-químicas do solo, as quais refletem, principalmente, o clima. Durante a estação chuvosa, as condições para crescimento da comunidade de micro-organismos decompositores de substratos orgânicos melhoram, favorecendo a decomposição e a transferência de nutrientes para o solo.

Tabela 2. Valores médios das concentrações dos nutrientes nos dez pontos de amostragem, avaliados em cinco profundidades dos Neossolos Quartzarênicos, sob cerrado e com cultivo de cana-de-açúcar, e do Latossolo Vermelho-Amarelo, cultivado com cana-de-açúcar, em duas épocas (novembro de 2011 e abril de 2012) em Mineiros, GO.

Neossolo Quartzarênico sob cerrado															
AT ¹	0-20 cm		20-40 cm		40-60 cm		100-120 cm		160-180 cm						
	1 ²	2 ³	1	2	1	2	1	2	1	2					
Cu	0,14	0,13	ns	0,04	**	0,09	0,03	**	0,06	0,02	**	0,06	0,02	**	
Fe	56,65	75,41	ns	44,36	30,50	* ⁴	25,57	21,91	ns	12,91	12,03	ns	8,65	7,64	ns
Zn	0,17	0,21	ns	0,10	0,05	**	0,08	0,02	**	0,07	0,03	**	0,10	0,03	ns
Al	0,61	0,59	ns	0,44	0,33	ns	0,35	0,31	ns	0,19	0,21	ns	0,16	0,12	ns
P	1,30	3,23	ns	0,80	1,17	ns	0,55	0,63	ns	0,27	0,34	ns	0,25	0,30	ns

Neossolo Quartzarênico sob cultivo de cana-de-açúcar															
AT ¹	0-20 cm		20-40 cm		40-60 cm		100-120 cm		160-180 cm						
	1 ²	2 ³	1	2	1	2	1	2	1	2					
Cu	0,49	0,54	ns	0,15	0,12	ns	0,08	0,05	*	0,04	0,03	**	0,04	0,02	*
Fe	24,70	26,67	ns	35,33	21,09	**	25,4	18,9	*	10,2	8,83	ns	6,71	6,04	ns
Zn	0,57	0,50	ns	0,12	0,11	ns	0,07	0,04	**	0,05	0,04	ns	0,05	0,11	ns
Al	0,00	0,06	ns	0,08	0,04	ns	0,25	0,12	**	0,20	0,10	**	0,10	0,04	*
P	10,92	12,33	ns	1,78	6,23	*	0,52	1,39	*	0,15	0,73	ns	0,23	0,85	ns

Continua...

Tabela 2. Continuação.

		Latosolo sob cultivo de cana-de-açúcar													
AT1	0-20 cm		20-40 cm		40-60 cm		100-120 cm		160-180 cm						
	1 ²	2 ³	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2			
Cu	0,95	1,04	ns	0,16	0,15	ns	0,12	0,08	**	0,09	0,06	*	0,08	0,05	**
Fe	23,8	22,3	ns	18,8	17,9	ns	13,76	10,9	*	5,02	5,26	ns	3,81	3,69	ns
Zn	1,30	1,5	ns	0,12	0,15	ns	0,07	0,06	ns	0,05	0,06	ns	0,05	0,06	ns
Al	0,09	0,02	ns	0,11	0,07	ns	0,19	0,14	ns	0,14	0,06	ns	0,06	0,01	ns
P	12,9	12,9	ns	0,80	1,56	*	0,29	0,75	**	0,22	0,66	**	0,24	0,63	**

¹ AT: Atributos – Cu: cobre (mg/dm³); Fe: ferro (mg/dm³); Zn: zinco (mg/dm³); Al: alumínio (cmolc/dm³) e P: fósforo (mg/dm³);

² 1: Amostragem em novembro de 2011;

³ 2: Amostragem em abril de 2012;

⁴ ns, * e **: diferença não significativa, significativa a 5%, e significativa a 1%, respectivamente, pelo Teste Tukey.

Teor de fósforo ao longo da vertente

As variações no teor de P nas duas épocas de amostragem (novembro/2011 e abril/2012) e em três pontos georreferenciados, localizados na cota mais elevada (P1), no intermédio (P5) e na parte mais baixa da vertente (P10), estão na Figura 2. Observa-se comportamento semelhante para o P quando se compara o mesmo tipo de manejo do solo, ou seja: tanto o RQ Lavoura como o LV Lavoura apresentam concentrações mais elevadas nas primeiras camadas quando comparados ao RQ Cerrado, refletindo exatamente o uso diferenciado do solo. Quando os diferentes pontos ao longo da vertente são comparados a solos com o mesmo tipo de manejo, verifica-se que há algumas diferenças importantes ocorrendo no ponto 5 (situado em posição intermediária na vertente). Após o período de chuvas, os teores de P nessa região da vertente tendem a ser maiores desde a superfície e até 60 cm de profundidade no RQ Lavoura em comparação com o LV Lavoura. Esses resultados sugerem que pode estar havendo, no RQ Lavoura, tanto a movimentação de P de áreas mais elevadas do terreno para áreas localizadas em cotas mais baixas (diferença de teores de uma mesma camada entre P1 e P5) por escoamento superficial, como a movimentação em profundidade por percolação, evidenciada em relação ao LV Lavoura.

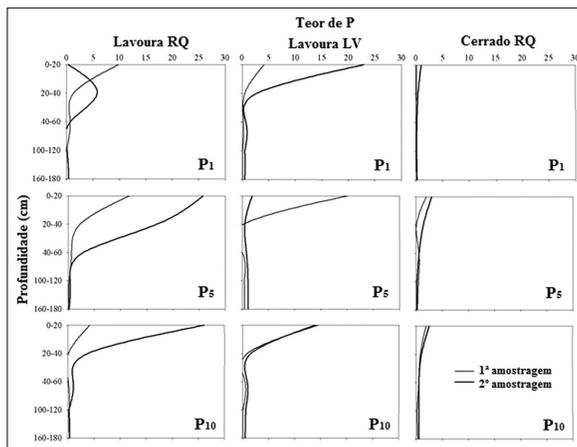


Figura 2. Teor de fósforo (P) nos pontos georreferenciados de amostragem 1 (P1), 5 (P5) e 10 (P10) de cada tratamento para as profundidades de 0 até 180 cm e para as épocas de amostragem (novembro de 2011 e abril de 2012). Mineiros, GO.

Esses resultados são corroborados por Duiker e Beegle (2006), que atribuem a distribuição do P no solo a diversos fatores, entre eles o tipo de solo e o sistema de cultivo. Por outro lado, Nunes et al. (2008) afirmam que, no cultivo da cana-de-açúcar, o P, geralmente, encontra-se limitado à camada de 0-20 cm, sendo que, dentro dessa camada, o manejo passa a afetar profundamente a distribuição do nutriente. Os resultados aqui apresentados indicam que a afirmação desses últimos autores nem sempre será verdadeira, pois o P pode estar distribuído em camadas mais profundas, dependendo do tipo de solo e da posição no relevo considerados.

Efeito do manejo no Neossolo Quartzarênico

A Tabela 3 apresenta as médias dos valores de nutrientes na primeira e na segunda amostragem (novembro de 2011 e abril de 2012, respectivamente) das diferentes camadas de Neossolo Quartzarênico cultivado com cana-de-açúcar e sob cerrado.

Na primeira amostragem, para os elementos Cu na camada de 0-20 cm e P na de até 40 cm, as concentrações em RQ Lavoura foram bem superiores às encontradas em RQ Cerrado, refletindo a adubação da cana, tendência não observada nas camadas inferiores. Segundo Panou-Filothou et al. (2001), adições frequentes de Cu nas camadas superficiais do solo podem aumentar a quantidade de formas solúveis desse elemento, potencializando a toxidez às plantas e favorecendo uma possível contaminação do lençol freático em caso de movimentação vertical. Aparentemente, tal movimentação não está ocorrendo no caso em estudo, uma vez que não se observou diferença significativa na concentração de Cu entre os dois tipos de manejo nas profundidades do solo abaixo de 20 cm. Surpreendentemente, a concentração de Zn foi maior no RQ Cerrado até a profundidade de 60 cm. Esse é um resultado interessante que necessita de maior investigação, já que não pode ser explicado por este estudo.

Tabela 3. Valores médios de nutrientes em cinco camadas de Neossolo Quartzarênico com cultivo de cana-de-açúcar e com fitofisionomia do Cerrado – em novembro de 2011 e abril de 2012. Mineiros/GO.

Novembro de 2011															
AT ¹	0-20 cm		20-40 cm		40-60 cm		100-120 cm		160-180 cm		Cer	Cer			
	Lav ²	Cer ³	Lav	Cer	Lav	Cer	Lav	Cer	Lav	Cer					
Cu	0,49	0,14	*	0,15	0,10	ns	0,08	0,09	ns	0,04	0,06	*	0,04	0,06	ns
Fe	24,7	56,6	*	35,3	44,3	ns	25,4	25,5	ns	10,2	12,9	ns	6,71	8,65	**
Zn	0,00	0,61	*	0,08	0,44	**	0,25	0,35	**	0,20	0,19	ns	0,10	0,16	*
Al	0,57	0,17	*	0,12	0,10	ns	0,07	0,08	ns	0,05	0,07	*	0,05	0,10	ns
P	10,9	1,30	**	1,78	0,80	*	0,52	0,55	ns	0,15	0,27	**	0,23	0,25	ns
Abril de 2012															
AT ¹	0-20 cm		20-40 cm		40-60 cm		100-120 cm		160-180 cm		Cer	Cer			
	Lav ²	Cer ³	Lav	Cer	Lav	Cer	Lav	Cer	Lav	Cer					
Cu	0,54	0,13	*	0,12	0,04	ns	0,05	0,03	ns	0,03	0,02	ns	0,02	0,02	ns
Fe	26,67	75,41	**	21,09	30,50	*	18,99	21,91	*	8,83	12,03	**	6,04	7,64	ns
Zn	0,50	0,21	**	0,11	0,05	ns	0,04	0,02	**	0,04	0,03	ns	0,11	0,03	ns
Al	0,06	0,59	**	0,04	0,33	**	0,12	0,31	**	0,10	0,21	**	0,04	0,12	**
P	12,33	3,23	*	6,23	1,17	*	1,39	0,63	ns	0,73	0,34	ns	0,85	0,30	ns

¹ AT: Atributos – Cu: cobre (mg/dm³); Fe: ferro (mg/dm³); Zn: zinco (mg/dm³); Al: alumínio (cmolc/dm³) e P: fósforo (mg/dm³);² Lav: Neossolo Quartzarênico com cultivo da cana-de-açúcar;³ Cer: Neossolo Quartzarênico sob cerrado.

Na segunda amostragem, ressalta-se o aumento do teor de Fe chegando até 75,41 mg/dm³ no RQ Cerrado. De acordo com Raij et al. (1996), esses valores encontrados no RQ Cerrado podem ser considerados altos. Observa-se, também, que, na segunda amostragem, o teor de Zn foi maior para o RQ Lavoura em relação ao RQ Cerrado, indicando que, ao longo do período chuvoso, Zn foi adicionado ao solo sob lavoura. Por outro lado, o teor de Al foi maior para o RQ Lavoura em relação ao RQ Cerrado, consequência de ações de correção de acidez que, no RQ Lavoura, insolubilizou o Al e incrementou o pH, conforme se observa na Tabela 1. Comparando-se o Neossolo sob cultivo de cana-de-açúcar e sob Cerrado (Tabela 3), constata-se que os teores significativamente mais elevados de P ocorreram nas camadas de 0-20 e 20-40 cm no RQ Lavoura e estão associados à adubação da cultura da cana. Nessa profundidade, o fósforo ainda pode ser assimilado pelas raízes da planta da cana, diminuindo o risco de contaminação de águas subsuperficiais por P nas condições em que o estudo foi realizado. Embora não se observe, nas camadas mais profundas do que 40 cm, diferenças significativas para o P entre os tipos de manejo quando se compara os dados obtidos para os tratamentos da primeira com a segunda amostragem, percebe-se um comportamento interessante. Após o período seco (amostragem de novembro de 2011), os teores médios de P no RQ Lavoura tenderam a ser menores do que no RQ Cerrado para as três camadas mais profundas estudadas, havendo, inclusive, diferença significativa na profundidade de 100-120cm. Mas, após as chuvas (amostragem de abril de 2012), o teor de P no RQ Lavoura tende, em média, a ser mais elevado (chegando a ser duas vezes maior) do que no RQ Cerrado, para todas as camadas mais profundas do que 40 cm. Embora não haja confirmação estatística, pode-se inferir que há possibilidade de estar havendo um processo de percolação desse elemento para camadas mais profundas, com risco de contaminação de lençol freático e eutrofização de mananciais, fato que merece estudos mais aprofundados.

Oliveira et al. (2001) concordam que o manejo tem se tornado um dos principais fatores que interferem na produtividade dos sistemas atuais de cultivo, sendo comum o desbalanceamento nutricional do solo, principalmente dos micronutrientes. Comparando-se o Neossolo com cultivo da cana e o Neossolo com Cerrado, é notório e já esperado o aumento de alguns elementos no primeiro tipo de manejo do solo (Cu, Zn e P), visto que o cultivo da cana-de-açúcar necessita de aporte nutricional para obtenção de produtividade e rentabilidade aceitáveis.

Comparação entre diferentes tipos de solos sob o mesmo manejo

Ao se comparar o mesmo cultivo (cana-de-açúcar) em Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média, observa-se tendência parecida nesses solos, principalmente a partir da profundidade 20-40 cm (Tabela 4). Há exceção quanto ao Fe disponível, cuja concentração aumenta em profundidade para o RQ Lavoura. Entretanto, não ficou claro, tendo em vista os dados obtidos neste trabalho, qual a real causa desse comportamento do Fe disponível em profundidade, visto que condições de solubilização desse elemento em meio redutor não devem ter ocorrido no RQ Lavoura, que é bastante permeável e poroso.

Os teores de P disponível diferiram entre os solos cultivados, como pode ser observado na Tabela 4. Os valores das concentrações de fósforo para a profundidade 20-40 cm foram maiores para o RQ Lavoura e as diferenças foram ainda maiores na segunda coleta, ou seja, após a estação chuvosa. Esse dado reforça a hipótese de que o P sofreu transporte ao longo do perfil do RQ Lavoura, migrando das camadas superiores para as camadas inferiores do solo. Também sugere que essa migração depende ou, pelo menos, é influenciada pelo tipo de solo. Neste estudo, solos com textura arenosa (RQ Lavoura) tendem a facilitar mais o transporte de P do que solos com teores de argila mais elevados, como o LV Lavoura. Isso pode estar relacionado à disponibilidade de cargas positivas no solo capazes de reter P na forma de fosfato, as quais devem ser maiores no LV Lavoura devido à presença de minerais na fração argila. Assim, o Neossolo favoreceu o transporte de P ao longo do perfil em relação ao Latossolo.

Pesquisa realizada nas proximidades da área de estudo em Neossolo Quartzarênico sob pastagem também reporta aumento nas concentrações de P disponível até a profundidade de 60 cm e associa os altos teores encontrados à presença de matéria orgânica relacionada à fitomassa das raízes da pastagem (PESSOA-DE-SOUSA et al., 2015). Esses resultados corroboram o que foi encontrado no presente estudo quanto à profundidade em que se encontram as maiores concentrações de P. Entretanto, não encontramos correlação entre os teores de carbono orgânico e o aumento da concentração de P em profundidade. Tanto o RQ como o LV, quando cultivados, mostraram tendência semelhante de variação nos teores de carbono orgânico (Tabela 1), mas o mesmo não ocorreu para as variações nos teores de P. É provável que outras variáveis não investigadas neste estudo, talvez de natureza física, tenham controlado a mobilidade do P no perfil do RQ Lavoura.

Tabela 4. Valores médios de nutrientes para um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo de textura média, ambos com cultivo de cana-de-açúcar, avaliados em novembro de 2011 e abril de 2012. Mineiros/GO.

Novembro de 2011															
AT ¹	0-20 cm		20-40 cm		40-60 cm		100-120 cm		160-180 cm		LV	RQ			
	RQ ²	LV ³	RQ	LV	RQ	LV	RQ	LV	RQ	LV					
Cu	0,49	0,95	0,15	0,16	0,08	0,12	ns	0,04	0,09	**	0,04	0,08	**		
Fe	24,7	23,8	ns	18,8	**	25,4	13,7	**	10,2	5,02	**	6,71	3,81	**	
Zn	0,00	0,09	*	0,08	0,11	ns	0,25	0,19	ns	0,20	0,14	ns	0,10	0,06	ns
Al	0,57	1,30	*	0,12	0,12	ns	0,07	0,07	ns	0,05	0,05	ns	0,05	0,05	ns
P	10,9	12,9	ns	1,78	0,80	*	0,52	0,29	ns	0,15	0,22	ns	0,23	0,24	ns
Abril de 2012															
AT ¹	0-20 cm		20-40 cm		40-60 cm		100-120 cm		160-180 cm		LV	RQ			
	RQ	LV	RQ	LV	RQ	LV	RQ	LV	RQ	LV					
Cu	0,54	1,04	ns	0,12	0,15	ns	0,05	0,08	**	0,03	0,06	**	0,02	0,05	**
Fe	26,6	22,3	ns	21,0	17,9	ns	18,9	10,9	**	8,83	5,26	**	6,04	3,69	**
Zn	0,50	1,54	**	0,11	0,15	ns	0,04	0,06	ns	0,04	0,06	ns	0,11	0,06	ns
Al	0,06	0,02	ns	0,04	0,07	ns	0,12	0,14	ns	0,10	0,06	ns	0,04	0,01	ns
P	12,3	12,9	ns	6,23	1,56	*	1,39	0,75	ns	0,73	0,66	ns	0,85	0,63	ns

¹AT: Atributos – Cu: cobre (mg/dm³); Fe: ferro (mg/dm³); Zn: zinco (mg/dm³); Al: alumínio (cmolc/dm³) e P: fósforo (mg/dm³);

²RQ: Neossolo Quartzarênico com cultivo de cana-de-açúcar;

³LV: Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média com cultivo de cana-de-açúcar.

A matéria orgânica presente nas camadas superficiais também pode ter retido os elementos estudados, explicando, assim, as maiores concentrações de Zn e Cu no LV Lavoura (Tabela 1). Franzluebbbers e Hans (1996) reportam que as maiores acumulações de Zn ocorreram na profundidade de 0-10 cm devido à presença da matéria orgânica, corroborando, assim os resultados obtidos neste estudo.

Correlações da saturação por bases (V%), pH (em água), matéria orgânica e capacidade de troca catiônica (CTC)

A Figura 3 mostra a relação entre pH em água e a porcentagem de saturação por bases (V%) das amostras superficiais (0-10 cm, 10-20 cm e 0-20 cm) coletadas em Mineiros, GO. A equação ajustada é linear, sendo que 85% da variação dos valores de pH são explicados pelos valores de V%. O modelo linear encontrado (Tabela 5) está de acordo com resultados encontrados por Sousa et al. (1989), também em solos do Bioma Cerrado. Nesse contexto, vale a pena enfatizar a necessidade de estudos regionais para evitar problemas do uso de dados e correlações generalizadas. Para aqueles estados que usam a saturação por bases como parâmetro para recomendação de calagem, a Tabela 5 indica que, para um mesmo valor de V%, no caso de 50%, os valores de pH diferiram, razoavelmente, entre as equações. E é bem sabido o efeito do pH na absorção de nutrientes pelas plantas (RAIJ, 1981; SANCHEZ, 1981).

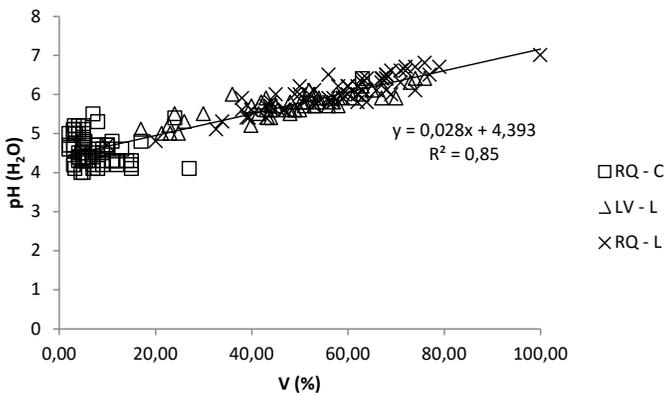


Figura 3. Relação entre a saturação por bases (V%) e pH (em água) para 190 amostras das camadas 0-10 cm, 10-20 cm e 0-20 cm do Município de Mineiros, GO. RQ-C: RQ Cerrado; RQ-L: RQ Lavoura; e LV-L: LV Lavoura.

Tabela 5. Alguns resultados de regressão linear entre pH em água (Y) e saturação por bases, ou V% (X), para solos do Brasil, incluindo os do estudo atual.

Coefficiente angular	Coefficiente linear	Fonte	pH a 50% ¹	Origem
0,031	4,288	Catani e Gallo (1955)	5,8	85 amostras de horizonte A – solos de São Paulo
0,023	4,43	Castro et al. (1972)	5,6	158 amostras de horizonte A e B – solos de vários Estados
0,037	3,345	Kiehl (1979)	5,2	Amostra de horizonte B textural – solos de São Paulo
0,029	3,973	Kiehl (1979)	5,4	Amostra de horizonte B latossólico – solos de São Paulo
0,025	4,5	Raij (1981)	5,7	Geral
0,023	4,387	Nascimento (1989)	5,5	140 amostras de horizonte A – Latossolo Vermelho-Amarelo de vários Estados
0,026	3,65	Nachtigall e Vahl (1989)	4,9	44 amostras da camada arável – solos do Rio Grande do Sul
0,030	4,50	Sousa et al. (1989)	6,0	65 amostras da camada arável – solos do Cerrado
0,028	4,393	Resultados deste trabalho (Ucker et al.)	5,8	190 amostras de camadas 0-10, 10-20 cm – Neossolos Quartzarênicos e Latossolo Vermelho-Amarelo de Goiás

¹ Corresponde ao pH calculado pelas diversas equações considerando V% = 50.

A contribuição da matéria orgânica no incremento da capacidade de troca catiônica (CTC) em solos tropicais é bem conhecida (BOHN et al., 1985) em função da baixa CTC dos argilominerais encontrados na assembleia mineralógica desses solos, a exemplo da caulinita e dos oxi-hidróxidos de ferro e alumínio (COCHRANE et al., 1985). As amostras superficiais (0-10 cm, 10-20 cm, 0-20 cm) da região de Mineiros, GO, quando analisadas em conjunto (Figura 4), mostram uma correlação muito baixa. No entanto, ao separar por classe de solo e, principalmente, por tipo de uso do solo, fica claro que os dados derivados da coleta no Cerrado propriamente dito demonstram, nitidamente, a correlação esperada. Ao contrário, os dados coletados em solo cultivado, independentemente do tipo de solo, são os que não apresentam tal correlação. É provável que isso esteja relacionado ao fato de que o manejo agrícola do solo, mesmo o conservacionista, baixe a concentração de matéria orgânica (SYERS, 1997) e, conseqüentemente, também diminua sua contribuição para a CTC, o que torna a correlação menos significativa. Esse é o caso do presente trabalho.

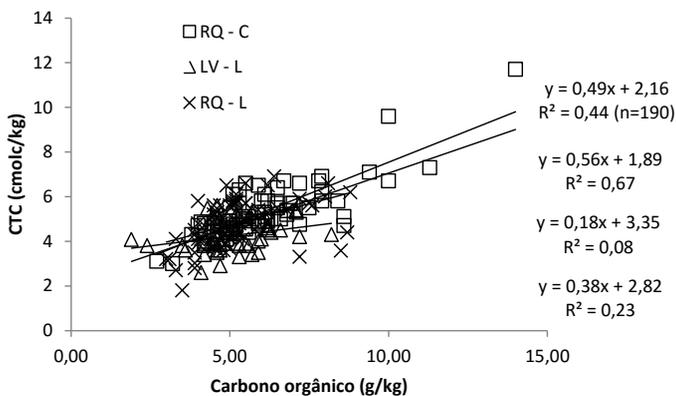


Figura 4. Relação entre a CTC e o carbono orgânico para 190 amostras superficiais coletadas em Mineiros, GO.

Considerações finais

O tipo de manejo do solo altera suas características químicas, especialmente as concentrações de elementos químicos associados à fertilização, como P, Zn e Cu.

O fenômeno de transporte de nutrientes pode ocorrer ao longo do perfil de Neossolos Quartzarênicos e Latossolos cultivados com cana-de-açúcar. Isso é evidente para o elemento P, que, no presente estudo, apresentou maior aumento de sua concentração em profundidade para o Neossolo Quartzarênico sob lavoura, o que indica movimentação desse elemento ao longo do perfil do solo.

Os efeitos da adubação prolongada da cultura da cana-de-açúcar em solos frágeis do Cerrado devem ser mais bem avaliados, visto que quantidades de nutrientes não aproveitados pelas raízes dessa cultura podem ser translocadas ao longo do perfil ou serem carregadas pela enxurrada, se concentrando em regiões que os tornem indisponíveis para as plantas.

Referências

- ADORNA, J. C.; CRUSCIOL, C. A. C.; ROSSATO, O. B. Fertilization with filter cake and micronutrients in plant cane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, p. 649-657, 2013.
- ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, J. A.; GATIBONI, L. C.; ELTZ, F. L. F. Atividades agrícolas de produção em solos frágeis no Sul do Brasil. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. v. 7, p. 367-403.
- BOHN, H. L.; MCNEAL, B. L.; O'CONNOR, G. A. **Soil chemistry**. New York: J. Wiley & Sons, 1985. 329 p.
- CASTRO, A. F. de; BARRETO, W. de O.; ANASTÁCIO, M. de L. A. Correlação entre pH e saturação de bases de alguns solos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 7, p. 9-17, 1972.
- CASTRO, S. S.; ABDALA, K.; APARECIDA SILVA, A.; BORGES, V. A expansão da cana-de-açúcar no Cerrado e no Estado de Goiás: elementos para uma análise espacial do processo. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 30, p. 171-191, 2010.

- CATANI, R. A.; GALLO, J. R. Avaliação da exigência de calcário dos solos do Estado de São Paulo mediante correlação entre pH e a porcentagem de saturação de bases. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 30, p. 49-60, 1955.
- CERRI, C. C.; FELLER, C.; CHAUVEL, A. Evolução das principais propriedades de um Latossolo Vermelho Escuro após desmatamento e cultivo por 12 e 50 anos com cana-de-açúcar. **Chaier ORSTOM. Série Pédologie**, v. 26, n. 1, p. 37-50, 1991.
- CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPQ, 1997. 212 p.
- COCHRANE, T. T.; SANCHEZ, L. G.; PORRAS, J. A.; AZEVEDO, L. G. de; GARVER, C. L. **Land in tropical America**. Cali: CIAT; Planaltina: Embrapa-CPAC, 1985. 146 p. v. 1.
- CORREIA, J. R.; REATTO, A.; SPERA, S. T. Solo e suas relações com o uso e o manejo. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Org.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p. 29-61.
- CUNHA, R. C. A.; COSTA, A. C. S.; MASET FILHO, B.; CASARINI, D. C. P. Effects of irrigation with vinasse and dynamics of its constituents in the soil: I - physical and chemical aspects. **Water Science et Technology**, v. 19, n. 8, p. 155-165, 1981.
- DUIKER, S. W.; BEEGLE, D. B. Soil fertility distributions in long-term no-till. **Soil and Tillage Research**, v. 88, p. 30-41, 2006.
- FRANZLUEBBERS, S.; HANS, F. M. Soil-profile distribution of primary and secondary plant available nutrients under conventional and no tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 39, p. 229-39, 1996.
- GLOEDEN, E.; CUNHA, R. C. A.; FRACCAROLI, M. J. B.; CLEARY, R. W. The behaviour of vinasse constituents in the unsaturated and saturated zones in the Botucatu aquifer recharge area. **Water Science et Technology**, v. 24, n. 11, p. 147-157, 1991.
- GOVES, G.; VANDAELE, K.; DESMET, P.; CAVALCANTI, A. C.; PESSOA, S. C. P.; SILVEIRA, C. O. The role of tillage in soil redistribution on hillslopes. **European Journal of Soil Science**, v. 45, p. 469-478, 1994.
- HEEBINK, L. V.; HASSETT, D. J. Coal fly ash trace elements mobility in soil stabilization. In: INTERNATIONAL ASH UTILIZATION SYMPOSIUM, 2001, Kentucky, **Proceedings...** Kentucky: Centre for Applied Energy Research: University of Kentucky, 2001. Paper n. 64.
- KAMON, M.; KATSUMI, T. Evaluating environmental impact on stabilised soil containing heavy metal. In: ASIAN REGIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING, 11., 1999, Seoul. **Proceedings...** Balkema, 1999. p. 469-472.

- KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia**. São Paulo: Ceres, 1979. 264 p.
- LYRA, M. R. C. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A. Topossequência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 525-532, 2003.
- MEURER, E. J.; BISSANI, C. A.; SELBACH, P. A. Poluentes do solo e do ambiente. In: MEURER, E. J. (Org.). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Genesis, 2000. v. 1, p. 151-168.
- NACHTIGALL, G. R.; VAHL, L. C. Parâmetros relacionados à acidez em solos da região Sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 13, n. 2, p. 139-143, 1989.
- NASCIMENTO, R. A. de M. **Correlação entre o valor ki e outras variáveis em latossolos**. 1989. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí.
- NUNES, R. S.; SOUSA, D. M. G.; GOEDERT, W. J.; SOARES, J. R. R. Impacto dos sistemas de plantio direto e preparo convencional nas interações entre matéria orgânica e fertilidade do solo. In: SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO, 9.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL SAVANAS TROPICAIS, Brasília, DF. **Anais...** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. 1 CD-ROM.
- OLIVEIRA, I. P. de; KLUTHCOUSKI, J.; SANTOS, R. S. M; FANCELLI, A. L.; NETO, D. D.; FARIA, C. D. Concentrações residuais de cobre, ferro, manganês e zinco em latossolo roxo eutrófico sob diferentes tipos de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 31, n. 2, p. 97-103, 2001.
- PANOU-FILOTHEOU, H.; BOSABALIDIS, A. M.; KARATAGLIS, S. Effects of copper toxicity on leaves of oregano (*Origanum vulgare* subsp. *hirtum*). **Annals of Botany**, v. 88, p. 207-214, 2001.
- PESSOA-DE-SOUZA, M. A.; ALMEIDA, R. T. S.; NEVES, C. M. N.; CASTRO, J. P. V.; CASTRO, S. S. Comportamento químico de Neossolos Quartzarênicos em Mineiros, Sudoeste Goiano. **Geociências**, Rio Claro, SP, v. 34, p. 335-347, 2015.
- RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: POTAFOS, 1981. 142 p.
- RAIJ, V. B. van; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. 285 p. (IAC. Boletim técnico, 100).
- RODRIGUES, A. C. G.; BARROS, N. F.; SANTO S, M. L. Decomposição e liberação de nutrientes do folheto de espécies florestais nativas em plantios puros e mistos no Sudeste da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 1021-1031, 2003.

SÁNCHEZ, P. A. **Suelos del trópico**: características y manejo. San José: IICA, 1981. 634 p.

SILVA, F. C. da (Ed.) **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627 p.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 108-114, 2007.

SOUSA, D. M. G. de; MIRANDA, L. N. de; LOBATO, E.; CASTRO, L. H. R. Métodos para determinar as necessidades de calagem em solos de cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 13, n. 2, p. 193-198, 1989.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SILVA, C. A.; BUZZETTI, S. Alterações nas frações do carbono em um neossolo quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 3, p. 305-311, 2006.

SYERS, J. K. Managing soils for long-term productivity. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 352, p. 1011-1021, 1997.

ZUO, X.; ZHAO, H.; ZHAO, X.; ZHANG, T.; GUO, Y.; WANG, S.; DRAKE, S. Spatial pattern and heterogeneity of soil properties in sand dunes under grazing and restoration in Horqin Sandy Land, Northern China. **Soil and Tillage Research**, v. 99, p. 202-212, 2008.