

Características químicas de um Argissolo e a produção de milho verde nos Tabuleiros Costeiros sergipanos

Fernanda Cristina Caparelli Oliveira¹, Alceu Pedrotti¹, Ana Gabriela Soares Felix¹, João Lucas Santos Souza¹, Francisco Sandro Rodrigues Holanda¹, Arisvaldo Vieira Mello Junior²

¹ Universidade Federal de Sergipe, Centro de Ciências Agrárias Aplicadas, Departamento de Engenharia Agrônômica, Av. Marechal Rondon, s/no., Bairro Rosa Elze, Campus de São Cristóvão, CEP 49.100-000, São Cristóvão – Se., Brasil. E-mail: nandacaparelli@gmail.com; alceupedrotti@gmail.com; gabrielasfelix@hotmail.com; agro-lucas@hotmail.com; efholanda@infonet.com.br

² Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Av. Prof. Almeida Prado, 83, PHD, Prédio Eng. Civil, Cidade Universitária, CEP: 05.508-900 - São Paulo, SP., Brasil. E-mail: arimellojr@gmail.com

RESUMO

Com o objetivo de avaliar as alterações dos atributos químicos de um Argissolo submetido ao cultivo de milho verde, foram estudados três sistemas de manejo de solo (cultivo convencional, mínimo e plantio direto) combinados com o cultivo de culturas antecessoras (milheto, crotalária, guandu e girassol). O experimento foi instalado nos Tabuleiros Costeiros Sergipanos (10°55'S; 37°11'O) em um Argissolo Vermelho Amarelo, sendo conduzido por 15 anos. Adotou-se o delineamento experimental em faixas (sistema de manejo), onde subparcelas (culturas antecessoras) foram aleatorizadas dentro de cada faixa em três repetições. A produtividade do milho verde e os atributos químicos do solo (0-10 e 11-20 cm) foram determinados. O sistema de cultivo convencional (SCC) apresentou o menor teor de Ca²⁺, Mg²⁺ e matéria orgânica do solo (MOS) e o plantio direto (SPD) a maior produtividade da cultura. O cultivo de guandu ou crotalária resultaram no maior teor de MOS. Exceto no SPD, as culturas antecessoras não alteraram as características químicas do solo e a produtividade do milho. Pela análise de componentes principais, o teor de MOS e a produtividade do milho são responsáveis pela maior diferença entre os sistemas de cultivo de milho.

Palavras-chave: cultivo mínimo; plantas de cobertura; plantio direto; solos tropicais; *Zea mays* L.

Chemical characteristics of Ultisols and the corn yield at Costal Plains of Sergipe, Brazil

ABSTRACT

Three soil management systems (conventional tillage, reduced tillage and no-tillage) combined with predecessor crops cultivation (millet, sunhemp, pigeon pea, sunflower) were studied to evaluate alterations in soil chemical properties of corn cultivated Ultisols. The experiment was set up at the Coastal Plains of Sergipe State (10°55'S; 37°11'W) in a yellow-red Argissol and it has been conducted over the last 15 years. Strip-block experimental design (management) was adopted, where subplots (predecessor crops) were randomized, with three replicates, in each strip-block. Corn yield and soil chemical attributes (0-10 and 11-20 cm) were evaluated. Conventional tillage system (CTS) showed the lowest Ca²⁺, Mg²⁺ and soil organic matter (SOM) content and no-tillage (NTS) the highest corn productivity. Pigeon pea and sunhemp cultivation resulted on the highest SOM content. Predecessor crops did not alter soil chemical characteristics and corn yield, except for NTS. Through principal component analysis, SOM content and corn yield are responsible for the greater differences among corn cropping systems.

Key words: reduced tillage; cover crops; no-tillage; tropical soils; *Zea mays* L.

Introdução

O milho (*Zea mays* L.) é uma das principais culturas do Estado de Sergipe, compreendendo uma área plantada de 175.000 ha com produtividade média de 3 t ha⁻¹ (IBGE, 2016). No Estado, o manejo incorreto do solo, tem gerado um cenário de erosão, declínio da estrutura e perda da fertilidade natural dos solos cultivados. Como consequência, aumenta-se a dependência dos produtores por fertilizantes, o que onera os custos de produção e diminui a sustentabilidade desse sistema de produção.

Nesse contexto, a agricultura conservacionista deve ser a estratégia de uso sustentável dessas terras agricultáveis em longo prazo. A adoção de práticas conservacionistas busca aumentar a qualidade física do solo (estrutura e taxa de infiltração de água), elevar a concentração de matéria orgânica do solo (MOS), reduzir do processo de erosão e melhorar as propriedades biológicas do solo (Lal, 2015).

Historicamente, a adoção de práticas conservacionistas foi mais intensa na região Sul e nas áreas de Cerrado do Centro-Oeste brasileiro (Conceição et al., 2014). Entre as práticas conservacionistas do solo, predominantemente adotadas, estão o sistema de plantio direto (SPD) e o cultivo mínimo do solo (SCM). A adoção do SPD tem gerado resultados positivos na produtividade da cultura do milho, seja pelo aumento do número de plantas (Kappes et al., 2013) ou pela maior eficiência de produção de espigas por planta (Pedrotti et al., 2013). Similarmente, a combinação de culturas antecessoras e do não revolvimento do solo, pode também promover melhorias significativas nos atributos químicos e físicos do solo. Como consequência do plantio de culturas antecessoras ao cultivo do milho, pode-se esperar uma maior proteção contra processos erosivos na região dos Tabuleiros Costeiros, onde a perda acumulada de solo, quando sem cobertura, pode chegar a 5,8 kg m⁻² s⁻¹ (Tartari et al., 2012).

Se por um lado, as culturas antecessoras (ou em sucessão), que apresentam uma elevada produção de fitomassa com alta relação carbono:nitrogênio (C/N) e um processo de decomposição relativamente lento, podem ser interessantes para a cobertura dos solos tropicais (Calvo et al., 2010), por outro lado, a utilização de plantas leguminosas podem aumentar a sustentabilidade dos sistemas de produção. As leguminosas apresentam uma baixa relação C/N, o que facilita o processo de decomposição quando a biomassa é aportada ao solo, favorecendo a ciclagem de nutrientes, principalmente N e potássio (K) (Ferrari Neto et al., 2011) e a formação da MOS (Cotrufo et al., 2013). Assim, faz-se necessário a busca por espécies que atendam as necessidades mais limitantes dos produtores dentro do cenário edafoclimático em que ele se encontra.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adoção de sistemas de manejo do solo consorciados ao cultivo de culturas antecessoras sobre os teores de macronutrientes e MOS e na produtividade do milho verde em um Argissolo dos Tabuleiros Costeiros sergipanos.

Material e Métodos

O experimento foi implantado no “Campus Rural” - fazenda experimental da Universidade Federal de Sergipe (10°55’S e

37°11’O), no ano de 2001. Os resultados apresentados neste trabalho se referem ao 15° ano de cultivo. O solo do local é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, derivado de sedimentos do grupo Barreiras (Embrapa, 1999). Os horizontes presentes no perfil deste solo são: A (0 - 27 cm) e Bt (28-77cm), com textura arenosa (areia - 82 g kg⁻¹, silte - 13 g kg⁻¹ e argila - 5 g kg⁻¹) e franco argilosa (areia - 15 g kg⁻¹, silte - 25 g kg⁻¹ e argila - 60 g kg⁻¹), respectivamente. O clima da região é classificado de acordo com Köppen como As², caracterizado como tropical chuvoso com verão seco e pluviometria em torno de 1200 mm anuais, com chuvas concentradas (70%) entre os meses de abril a setembro (Alvares et al., 2013).

Adotou-se o delineamento experimental em faixas, onde três sistemas de preparo do solo foram implantados: o sistema de cultivo convencional (SCC), mínimo (SCM) e o plantio direto (SPD). Neste experimento, quatro plantas antecessoras ao cultivo do milho (BM 3061 da Biomatrix - variedade de duplo propósito: espigas de milho e matéria verde para forragem) foram aleatorizadas dentro de cada faixa, em três repetições. Quatro culturas antecessoras foram avaliadas: crotalária (*Crotalaria juncea*), guandu (*Cajanus cajan*), girassol (*Helianthus annuus*) e milheto (*Pennisetum americanum*). Cada faixa possuía 830 m², sendo dividida em 12 parcelas com área de 60 m², espaçadas entre si a cada 1 m, para receber as plantas antecessoras.

As plantas antecessoras foram, anualmente, semeadas (espaçamento médio de 0,5 m na linha e 0,2 m na entrelinha) entre os meses de janeiro a abril. Para a adubação de plantio das culturas antecessoras, foram utilizados 60 kg ha⁻¹ de ureia (45% de N), 80 kg ha⁻¹ de superfosfato simples (19% P₂O₅) e 70 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (59% de K₂O). As plantas antecessoras permaneceram aproximadamente 90 dias em campo, sendo então cortadas e aportadas ao solo.

Em seguida, cada faixa experimental foi, anualmente, preparada de acordo com o sistema de manejo a ser avaliado. Para o SCC, utilizou-se a sequência grade niveladora (atuação média até 10 cm), arado de discos (atuação média até 30 cm) e grade niveladora. No SCM, utilizou-se grade niveladora leve fechada (atuação média até 8 cm) e no SPD, após o 1° ano de condução do experimento, nenhum implemento de preparo do solo foi utilizado. No SPD, as plantas daninhas foram controladas por capina manual associada ao uso de herbicidas de ação total (antes da semeadura - *Glyphosate*) ou seletivo (após semeadura do milho - *Nicosulfuron*).

A semeadura do milho foi realizada com espaçamento médio de 0,2 m na linha e 0,8 m na entrelinha. A adubação de plantio consistiu na dose de 120 kg ha⁻¹ de ureia (45% de N), parcelados entre a semeadura e 30 dias posteriores à germinação das plântulas, 90 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo (19% de P₂O₅) e 110 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (59% de K₂O) (Sobral et al., 2007).

Após a colheita do milho, foram coletadas amostras simples de solo na linha de semeadura do milho, em seis a oito pontos por parcela nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Essas amostras foram homogeneizadas para compor uma amostra composta por parcela. Em seguida, as amostras compostas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de 2 mm (TFSA).

Foram determinados, conforme EMBRAPA (1997), os valores de pH em água; fósforo (P) e potássio (K) extraídos com a solução Mehlich-1, sendo o P determinado por colorimetria e K por fotometria de chama; cálcio (Ca) e magnésio (Mg) determinados por espectroscopia de absorção atômica e a MOS por oxidação via úmida. Nas seis linhas centrais de cada parcela, foram determinados o número de plantas de milho, número de espigas comerciais e peso das espigas comerciais.

Os dados foram avaliados quanto à normalidade e transformados, quando necessário. Em seguida, foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos desdobradas e comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade com o auxílio do software SISVAR (Ferreira, 2003). As características químicas do solo e produtividade do milho foram analisadas por meio da Análise de Componentes Principais (PCA) com o auxílio do software Statgraphs®.

Resultados e Discussão

Tanto manejo do solo quanto a adoção de culturas antecessoras alteraram significativamente a maioria das características químicas do solo, com exceção de Ca e Mg (Tabela 1). Entre todos os parâmetros químicos avaliados, os teores de P e MOS foram influenciados por todos os fatores avaliados ($p \leq 0,05$), sendo significativa a interação entre manejo do solo, planta antecessora e profundidade.

Alterações no pH do solo ocorreram principalmente no SPD, onde observou-se um menor pH (4,7) na camada mais superficial do que na camada de 10-20 cm (4,9) (Tabela 2). Além disso, solos com girassol, quando mantidos sob SPD, apresentaram maior pH na camada 0-10 cm que aqueles com milho e o maior pH, entre todas as plantas antecessoras, na camada 10-20 cm ($p \leq 0,05$). O C orgânico dissolvido no solo tem a capacidade de complexar o Al^{3+} na solução do solo, resultando na elevação do pH do solo (Alleoni et al., 2009).

Tabela 1. Resumo da análise de variância dos atributos químicos de um Argissolo, camadas 0-10 e 10-20 cm, submetido a três tipos de manejo de solo e quatro plantas antecessoras ao cultivo do milho.

Fonte de variação	pH	P	K	Ca	Mg	MOS	F _{calculado}
							Manejo Solo (MS)
Cultura antecessora (PI)	5,27**	2,36	6,31**	0,37	1,37	8,10**	
MS x PI	1,21	4,15	4,19**	2,26°	1,76	12,50**	
Profundidade (Prof)	2,46	1,45	51,69**	2,48	6,67**	291,43**	
MS x Prof	1,37	10,71**	34,48**	3,13°	4,87**	54,22**	
PI x Prof	0,20	4,47**	0,45	2,21	1,16	0,36	
MS x PI x Prof	0,59	6,15**	2,25°	0,88	1,49	2,73**	

Diferenças significativas a 5 e 10% de probabilidade pelo teste de Tukey são representadas por ** e °, respectivamente

Assim, era esperado que a maior produção de biomassa do milho em relação ao girassol (dados não apresentados), resultasse no maior pH do solo. Entretanto, as variações no pH podem também ser decorrentes do consumo de nutrientes por cada cultura como, por exemplo, consequência da alta demanda nutricional do girassol por K (Uchôa et al., 2011) ou pela capacidade de exsudação de ácidos orgânicos pelas raízes das plantas (Moreti et al., 2007).

Como esperado, houve uma tendência de redução dos teores de macronutrientes e MOS com o revolvimento do solo (Tabela 2). Contudo, os maiores teores de K foram observados no SCC. O K presente no tecido vegetal é um elemento não estrutural podendo ser facilmente lixiviado dos tecidos vegetais. Assim, era esperado maior teor de K na camada ou tratamento que continha a maior quantidade de resíduos vegetais, como no SPD. Entretanto, pouca diferença nos teores de K entre SPD e SCC também foram descritos por Calegari et al. (2013). De fato, a diferença na quantidade de resíduo presente sobre o solo (Tabela 2), pode explicar a estratificação do teor de K entre as camadas 0-10 e 10-20 cm no SPD.

Em relação aos teores de P disponível, a adoção de sistemas conservacionistas (SCM ou SPD) melhorou a distribuição deste nutriente no perfil do solo, sendo similares os teores entre as camadas 0-10 e 10-20 cm (Tabela 2). Ademais, os teores de P na camada 10-20 cm eram maiores nos sistemas conservacionistas do que no SCC. A melhor distribuição de P nos primeiros 20 cm do solo mantido sob SPD pode estar associada ao aumento da mobilidade deste elemento, facilitada pela maior continuidade de macroporos nesse sistema de manejo (Martínez et al., 2016). A continuidade de macroporos também pode explicar o maior teor de P da camada 10-20 cm no SPD do que no SCC. Ao mesmo tempo, o maior teor de P disponível na camada superficial dos sistemas conservacionistas pode ser resultado da aplicação superficial do nutriente e do não revolvimento do solo, o que evita a exposição à novos sítios de adsorção de P (Tiecher et al., 2012).

Como esperado, o não revolvimento do solo aumentou os teores de MOS. Entretanto, esse efeito foi observado apenas na camada mais superficial (0-10 cm) do solo (Tabela 2), não havendo diferença significativa na camada 10-20 cm causada pela adoção dos diferentes sistemas de manejo do solo. Uma vez que os microorganismos, responsáveis pela decomposição da MOS, são extremamente eficazes em decompor o C orgânico do solo (Dungait et al., 2012), o maior contato do solo com os resíduos, como no SCC, favorece o aumento da decomposição do C aportado. Assim, devido à baixa capacidade dos solos arenosos em proteger a MOS, a estabilização do C dos resíduos no solo do presente estudo mantido sob SCC foi menor do que

Tabela 2. Atributos químicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo influenciados pela adoção de diferentes sistemas de manejo do solo.

Manejo do solo	Camada cm	pH	P		K ⁺		Ca ²⁺		Mg ²⁺		MOS		
			(mg dm ⁻³)	(dag kg ⁻¹)	(dag kg ⁻¹)								
SCC	0-10	4,6	aA	29,6	bA	59,3	aA	0,4	bA	0,1	bA	0,6	bA
	10-20	4,6	bA	22,9	bB	38,1	abB	0,4	aA	0,1	aA	0,5	aA
SCM	0-10	4,4	aA	35,5	aA	39,1	cA	0,5	abA	0,1	bA	1,3	aA
	10-20	4,4	bA	37,0	aA	43,3	aA	0,5	aA	0,1	aA	0,6	aB
SPD	0-10	4,7	aB	34,9	aA	45,7	bA	0,6	aA	0,2	aA	1,2	aA
	10-20	4,9	aA	37,0	aA	33,8	bB	0,4	aB	0,1	aB	0,5	aB

SCC - cultivo convencional; SCM - cultivo mínimo; SPD - plantio direto. Na coluna: letra minúscula compara os diferentes manejos em cada camada do solo e letra maiúscula as diferentes camadas dentro do mesmo manejo por meio do Teste Tukey a 5% de probabilidade.

quando mantido sob SPD. Ao mesmo tempo, a aração no SCC promove a quebra dos agregados solo, expondo o C que estava protegido no interior dos agregados, o que também pode ter aumentado as perdas nos teores de MOS.

A adoção do SPD ou do SCM resultou em diferenças nos teores de MOS entre as camadas 0-10 e 10-20 cm. Sabe-se que a manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo em SPD, por longos períodos, tem efeitos positivos tanto nas características físicas, como estrutura e porosidade do solo, assim como nas características químicas. A cobertura do solo por resíduos vegetais e a ausência do revolvimento do solo pode favorecer a formação de microagregados no interior dos macroagregados do solo, aumentando assim a estabilização do C no solo (Six & Paustian, 2014). Vale ressaltar que em solos arenosos, a proteção química da MOS é limitada pelo baixo teor de argila desses solos e, assim, aumenta-se a importância da proteção do C no interior dos agregados para o acúmulo da MOS, especialmente nas camadas superficiais.

Entre os sistemas de manejo do solo, no SPD, principalmente na camada 0-10 cm, observou-se que a adoção de culturas antecessoras resultou nas maiores alterações das características químicas do solo (Tabela 3). O cultivo do girassol resultou no maior pH e teor de Ca^{2+} e Mg^{2+} , porém no menor teor de K^+ quando comparado ao cultivo de crotalária ou guandu.

Entre os nutrientes, o K é um dos nutrientes absorvido em maiores quantidades pela cultura milho, apresentando relação direta e positiva com o número de grãos em espiga e com a massa individual de grãos (Vieira et al., 2016). Assim, vale ressaltar que, embora as parcelas com girassol tenham apresentado os maiores teores de Ca e Mg, o cultivo de girassol pode reduzir a produtividade do milho verde.

De maneira geral, as maiores diferenças entre sistemas conservacionistas e o convencional foram observadas nas camadas superficiais (Tabela 4). Solos sob SCM apresentaram

maiores teores de MOS na camada 0-10 cm do que solos sob SPD (Tabela 4). Entretanto, esse efeito foi apenas significativo quando se adotou como culturas antecessoras a crotalária e o guandu. O mesmo não foi observado para solos com milho ou girassol.

A diferença na estabilização do C pode estar relacionada com a relação C/N dos resíduos vegetais aportados ao solo. Espécies leguminosas, como crotalária e guandu, apresentam baixa relação C/N, contrariamente ao observado para o resíduo do milho. A melhor qualidade (baixa relação C/N) do resíduo aportado ao solo tem relação positiva com a taxa de decomposição do material. Assim, no SCM pode-se ter aumentado a entrada de C no solo, pelo favorecimento do processo de decomposição, e o resíduo de melhor qualidade, possivelmente, favoreceu a formação de produtos microbianos, levando ao acúmulo de MOS neste sistema (Cotrufo, 2013). Contudo, espera-se que as diferenças observadas entre o SPD e SCM sejam perdidas após a decomposição dos resíduos mantidos sob SPD.

Em relação à produtividade do milho (Figura 1), as culturas antecessoras não alteraram o número de plantas de milho, independente do manejo de solo utilizado ($p > 0,05$). Por outro lado, o plantio de crotalária resultou, em todos os sistemas de manejo do solo, no maior número de espigas e, quando em SPD, essa cultura antecessora também levou ao maior peso das espigas. No SCM, não foi observada diferença significativa no peso das espigas comerciais quando crotalária ou guandu foram cultivadas, porém elas resultaram em maiores produtividades do que quando o SCM estava associado ao milho ou girassol.

O plantio de leguminosas em consórcio com o cultivo de culturas comerciais é uma prática que tem se desenvolvido em diversas regiões do Brasil. Contudo, controversas são encontradas quando se tenta definir a melhor combinação entre cultura antecessora e comercial (Ceccon et al., 2013;

Tabela 3. Atributos químicos (valores médios \pm desvio padrão) na camada 0-10 cm de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido ao SPD associado com culturas antecessoras.

Cultura antecessora	pH	P (mg dm^{-3})	K		Ca ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)		Mg		MOS (dag kg^{-1})		
			a	b	a	b	a	b	a	b	
Girassol	5,2 ($\pm 0,4$)	a	32,3 (± 0)	a	36 (± 4)	b	0,8 ($\pm 0,2$)	a	0,27 ($\pm 0,1$)	a	1,25 ($\pm 0,05$)
Milheto	4,4 ($\pm 0,8$)	b	32,8 (± 12)	a	49 (± 5)	ab	0,6 ($\pm 0,4$)	b	0,20 ($\pm 0,1$)	ab	1,35 ($\pm 0,06$)
Crotalária	4,6 ($\pm 0,2$)	ab	35,7 ($\pm 3,7$)	a	49 (± 1)	a	0,4 ($\pm 0,3$)	b	0,13 ($\pm 0,06$)	b	1,18 (± 0)
Guandu	4,6 ($\pm 0,2$)	ab	38,9 ($\pm 3,9$)	a	49 (± 1)	a	0,40 (± 0)	b	0,10 (± 0)	b	1,18 ($\pm 0,11$)

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$)

Tabela 4. Teor de matéria orgânica do solo (MOS) e de fósforo disponível (P) em diferentes sistemas de manejos e culturas antecessoras ao cultivo de milho em Argissolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros sergipano.

Manejo do solo	Cultura antecessora	MOS (dag kg^{-1})				P (mg dm^{-3})			
		0-10 cm		10-20 cm		0-10 cm		10-20 cm	
SCC	Girassol	0,65	cA	0,54	aA	32,9	aA	32,7	bA
	Milheto	0,54	bA	0,54	aA	27,1	aAB	17,0	bB
	Crotalária	0,54	cA	0,44	bA	24,3	cB	23,5	bB
	Guandu	0,65	cA	0,60	bA	34,0	aA	18,4	bB
SCM	Girassol	0,97	bC	0,39	aB	35,0	aB	41,1	aA
	Milheto	1,29	aB	0,60	aB	34,2	aB	38,8	aAB
	Crotalária	1,41	aAB	0,54	abB	43,5	aA	32,7	aB
	Guandu	1,58	aA	0,92	aA	29,4	bB	35,4	aAB
SPD	Girassol	1,24	aA	0,54	aAB	32,3	aA	35,8	abA
	Milheto	1,35	aA	0,44	aB	32,8	aA	40,7	aA
	Crotalária	1,18	bA	0,75	aA	35,7	bA	37,2	aA
	Guandu	1,18	bA	0,44	bB	38,9	aA	34,4	aA

Na coluna: letra minúscula compara efeito de manejo na cultura e letra maiúscula compara efeito de cultura em cada manejo; letra diferente significa diferença estatística pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Na linha: valor em negrito significa diferença estatística ($p < 0,05$), entre as camadas.

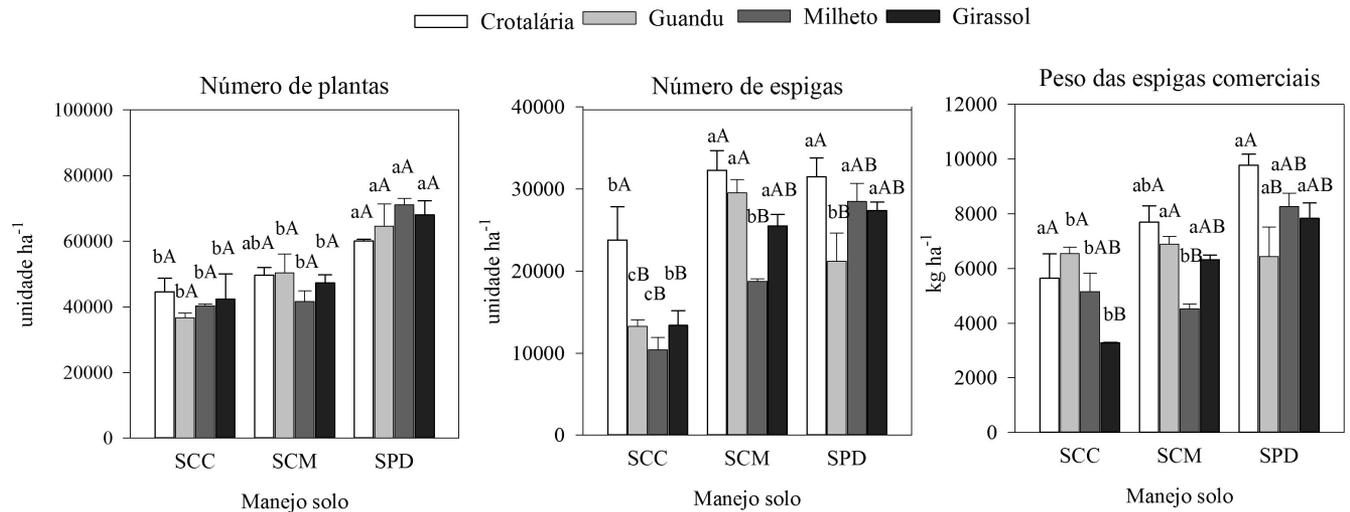


Figura 1. Produtividade do milho submetido à diferentes sistema de manejo de solo e culturas antecessoras. Letra minúscula compara efeito do manejo do solo e maiúscula o efeito da cultura antecessora dentro do mesmo manejo.

Pedrotti et al., 2013), possivelmente em razão da interação os diversos fatores que interferem nesta relação. Crotalária e guandu são espécies leguminosas que entre outros benefícios de seu uso como cultura antecessora, neste experimento, foram responsáveis pelos maiores teores de C dos solos sob SPD. O incremento no teor de MOS pode ser uma possível explicação para a maior produtividade do milho nos solos com crotalária. De fato, em solos degradados ou com baixa fertilidade natural, a combinação da adubação mineral com incrementos nos teores de MOS deve ser a estratégia para garantir a produtividade do milho a longo prazo (Güereña et al., 2016).

Adicionalmente, independente da cultura antecessora utilizada, o SPD resultou no maior número de plantas e, quando associado ao cultivo de crotalária e milheto, no maior peso de espigas comerciais. Em relação ao número de espigas, SCM e SPD resultaram em valores similares, porém significativamente maiores que no SCC. Esses resultados podem estar relacionados às melhorias na qualidade dos solos mantidos sob sistemas conservacionistas, sejam elas física ou química. Vale ressaltar que, nas condições edafoclimáticas avaliadas, sistemas que favorecem o incremento na qualidade física do solo, podendo levar ao maior armazenamento de água e de sua distribuição no perfil do solo, geram um cenário favorável ao desenvolvimento fisiológico do milho. Um aumento na oferta de água no solo poderia diminuir a competitividade durante a germinação do milho, resultando no maior número de plantas germinadas. Ao mesmo tempo, o maior armazenamento de água no solo provavelmente reduziu as condições de estresse durante a formação e desenvolvimento das espigas, o que favoreceu o incremento da produtividade da cultura.

Os primeiros dois eixos da PCA com as características químicas do solo explicaram 60,8% da variabilidade dos dados (Figura 2). O primeiro eixo da PCA se correlacionou positivamente com os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ e com o pH do solo. Por sua vez, o segundo eixo da PCA se correlacionou positivamente com os teores de MOS e P disponível. O teor de MOS separou os dados em dois grupos, onde o SCC agrupou-se na parte inferior do gráfico de PCA e o SCM e SPD na parte superior do gráfico. Da mesma forma, a MOS diferenciou a

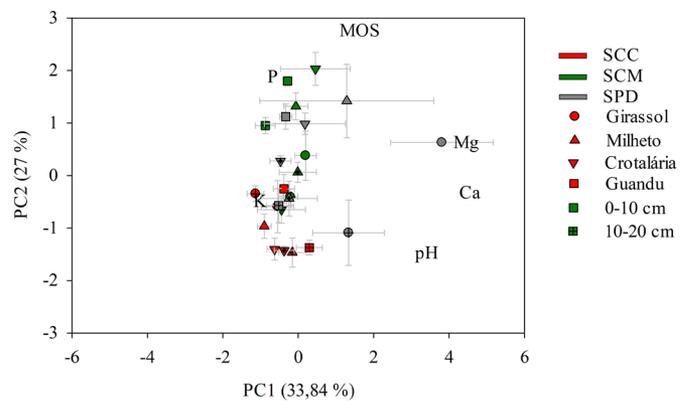


Figura 2. Análise de componentes principais das características químicas do Argissolo mantido sob cultivo convencional (SCC), cultivo mínimo (SCM) e plântio direto (SPD) combinados com diferentes culturas antecessoras e avaliadas em duas profundidades do solo. Número em parêntese indica a porcentagem do total da variação dos dados explicado por cada eixo da PCA.

camada 0-10 cm da camada 10-20 cm do SPD e do SCM, porém o mesmo não foi observado para o SCC. Os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ foram responsáveis pela maior diferença da camada 0-10 cm do solo com girassol sob SPD quando comparado com os demais tratamentos.

Os primeiros dois eixos da PCA das características químicas da camada 0-10 cm e dos dados de produtividade explicaram 62,2% da variação dos dados (Figura 3). O teor de MOS e a produtividade separaram fortemente o SCC dos outros sistemas de manejo. Essas mesmas variáveis separaram, porém mais suavemente, o SPD do SCM.

Como discutido anteriormente, os dados da PCA confirmam que as maiores diferenças entre os sistemas de cultivo de milho avaliados são principalmente causadas pelo teor de MOS, como consequência do sistema de manejo de solo adotado, e pelas diferenças na produtividade de milho, a qual pode estar diretamente relacionada às alterações no teor de C no solo. Ademais, foi possível observar o efeito secundário das plantas de cobertura, em relação à manejo do solo, na dinâmica dos atributos químicos do solo.

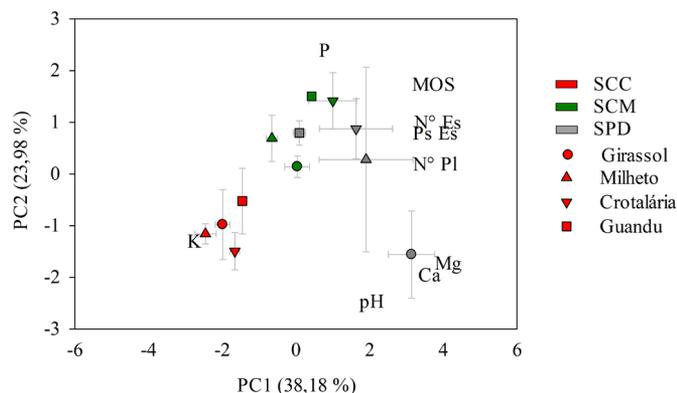


Figura 3. Análise de componentes principais das características químicas da camada superficial (0-10 cm) do Argissolo mantido sob cultivo convencional (SCC), cultivo mínimo (SCM) ou plantio direto (SPD) e dos dados de produtividade do cultivo do milho: número de plantas (N° Pl), número de espigas (N° Es) e peso das espigas (Ps Es). Número em parêntese indica a porcentagem do total da variação dos dados explicado por cada eixo da PCA.

Conclusões

Sistemas conservacionistas são responsáveis pelo aumento da fertilidade do solo, especialmente em relação às bases trocáveis e ao teor de MOS.

As espécies leguminosas favorecem incrementos nos teores de MOS enquanto o girassol, especialmente quando no sistema de plantio direto, incrementa os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e reduz a acidez dos solos. A maior produtividade do milho é observada quando se utiliza a crotalária como cultura antecessora em SPD.

A MOS e a produtividade do milho são responsáveis pelas maiores diferenças entre os sistemas de cultivo de milho e as plantas antecessoras possuem efeito secundário sobre os atributos químicos do solo.

Literatura Citada

- Alleoni, L. R. F.; Cambri, M. A.; Caires, E. F.; Garbuio, F. J. Acidity and Aluminum speciation as affect by surface liming in tropical no-till soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 74, n. 3, p. 1010-1017, 2009. <https://doi.org/10.2136/sssaj2009.0254>.
- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 1 dez. 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Calegari, A.; Tiecher, T.; Hargrove, W. L.; Ralisch, R.; Tessier, D.; de Tourdonnet, S.; Guimarães, M. F.; Santos, D. R. Long-term effect of different soil management systems and winter crops on soil acidity and vertical distribution of nutrients in a Brazilian Oxisol. *Soil and Tillage Research*, v. 133, p. 32-39, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.05.009>.
- Calvo, C. L.; Foloni, J. S. S.; Brancalhão, S. R. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milheto e sorgo em três épocas de corte. *Bragantia*, v. 69, n. 1, p. 77-86, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000100011>.

Ceccon, G.; Staut, L. A.; Sagrilo, E.; Machado, L. A. Z.; Nunes, D. P.; Alves, V. B. Legumes and forage species sole or intercropped with corn in soybean-corn succession in midwestern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, n. 1, p. 204-212, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000100021>.

Conceição, P. C.; Bayer, C.; Dieckow, J.; Santos, D. C. Fracionamento físico da matéria orgânica e índice de manejo de carbono de um Argissolo submetido a sistemas conservacionistas de manejo. *Ciência Rural*, v. 44, n. 5, p. 794-800, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014005000004>.

Cotrufo, M. F.; Wallenstein, M. D.; Boot, C. M.; Deneff, K.; Paul, E. The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter? *Global Change Biology*, v. 19, n. 4, p. 988-995, abr. 2013. <https://doi.org/10.1111/gcb.12113>.

Dungait, J. A. J.; Hopkins, D. W.; Gregory, A. S.; Whitmore, A. P. Soil organic matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance. *Global Change Biology*, v. 18, n. 6, p. 1781-1796, 13 jun. 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02665.x>.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos. Rio de Janeiro: Embrapa, 1999. 412p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212p.

Ferrari Neto, J.; Crusciol, C. A. C.; Soratto, R. P.; Costa, C. H. M. Plantas de cobertura, manejo da palhada e produtividade da mamoeira no sistema de plantio direto. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n.4, p. 978-985, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000400021>.

Ferreira, D.F. SISVAR versão 4.2. Lavras, DEX/UFLA, 2003. 79p.

Güereña, D. T.; Kimetu, J.; Riha, S.; Neufeldt, H.; Lehmann, J. Maize productivity dynamics in response to mineral nutrient additions and legacy organic soil inputs of contrasting quality. *Field Crops Research*, v. 188, p. 113-120, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.12.017>.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Produção agrícola estadual. <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/sergipe>. 20 Nov. 2012

Kappes, C.; Arf, O.; Andrade, J. A. C. Coberturas vegetais, manejo do solo, doses de nitrogênio e seus efeitos na nutrição mineral e nos atributos agrônômicos do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, n. 5, p. 1322-1333, out. 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000500021>.

Lal, R. Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 70, n. 3, p. 55A-62A, 2015. <https://doi.org/10.2489/jswc.70.3.55a>.

Martínez, I.; Chervet, A.; Weisskopf, P.; Struny, W. G.; Etana, A.; Steller, M.; Forkman, J.; Keller, T. Two decades of no-till in the Oberacker long-term field experiment: Part I. Crop yield, soil organic carbon and nutrient distribution in the soil profile. *Soil and Tillage Research*, v. 163, p. 141-151, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.05.021>.

- Moreti, D.; Alves, M. C.; Valério Filho, W. V.; Carvalho, M. P. Atributos químicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 1, p. 167-175, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000100017>.
- Pedrotti, A.; Aciole, F. M. S.; Silva, T. O., Araújo, E. M.; Santos, D.; Mello Júnior, A. V. Manejo do solo e de culturas de antecessão sobre a produtividade do milho em experimento de longa duração. *Magistra*, v. 25, n.3-4, p. 220-227, 2013. <https://www2.ufrb.edu.br/magistra/documentos/category/61?download=344>. 02 Jan. 2017.
- Six, J.; Paustian, K. Aggregate-associated soil organic matter as an ecosystem property and a measurement tool. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 68, p. A4-A9, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.06.014>.
- Sobral, L. F.; Viegas, P. R. A.; Siqueira, O. J. W.; Anjos, J. L.; Barreto, M. C.; Gomes, J. B. V. (Eds.). *Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes no Estado de Sergipe*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007. 251p.
- Tartari, D. T., Nunes, M. C. M; Santos, F. A. S.; Faria Júnior, C. A.; Serafim, M. E. Perda de solo e água por erosão hídrica em Argissolo sob diferentes densidades de cobertura vegetal. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 7, n. 3, p. 85-93, 2012. <http://aba-agroecologia.org.br/revistas/index.php/rbagroecologia/article/view/12720/8816>. 12 Jan. 2017.
- Tiecher, T.; Santos, D. R.; Kaminski, J.; Calegari, A. Forms of inorganic phosphorus in soil under different long term soil tillage systems and winter crops. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 1, p. 271-282, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000100028>.
- Uchôa, S. C. P.; Ivanoff, M. E. A; Alves, J. M. A.; Sediyaama, T.; Martins, S. A. Adubação de potássio em cobertura nos componentes de produção de cultivares de girassol. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, p. 8-15, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000100002>.
- Vieira, R. C. B.; Fontoura, S. M. V.; Bayer, C.; Moraes, R. P.; Carneil, E. Potassium Fertilization for Long Term No-Till Crop Rotation in the Central-Southern Region of Paraná, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.40, e0150193, 2016. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20150193>.