

Manejo da adubação em sistema de plantio direto nos atributos químicos, físicos e biológicos de um Latossolo Vermelho cultivado com milho

Amanda Silveira Reis^{1*}; Ana Maria Conte e Castro²; Leopoldo Sussumu Matsumoto²; Luiz Carlos Reis²; Pedro Francisco da Silveira Reis²

¹Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Estadual de Maringá – PR.

²Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes - PR

*reisamanda89@gmail.com

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo em relação à adubação, em sistema de plantio direto na cultura do milho. Realizou-se o experimento na Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes/PR, utilizando a cultura do milho em LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, em 2015. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com sete tratamentos, sendo T1: sem adubação, T2: aplicação de NPK à lanço, T3: aplicação de NPK na linha, T4: NP à lanço e K na linha, T5: NP na linha e K à lanço, T6: NK à lanço e P na linha e T7: NK na linha e K à lanço, com 4 repetições. Foram avaliados os teores de pH, M.O., P, K, Ca, Mg, H+Al, SB e CTC, a densidade do solo, macro, microporosidade e porosidade total. Para as análises microbiológicas do solo foram determinados o carbono da biomassa microbiana, a respiração basal e os quocientes metabólicos e microbianos. Os resultados permitiram concluir que em relação aos atributos químicos e biológicos o tratamento NP lanço + K linha apresentou maior quantidade de M.O., V%, carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS), enquanto o tratamento utilizando NP linha + K lanço proporcionou melhoria nas propriedades físicas.

Palavras-chave: Atributos do solo; fertilidade do solo; *Zea mays*.

Fertilization management of no-tillage on chemical, physical and biological attributes of a Rhodic Hapludox cultivated with mayze

Abstract: The objective of this work was to evaluate the chemical, physical and microbiological attributes of the soil in relation to fertilization in the no-tillage system in corn crop. The experiment was conducted at the experimental farm in Prof. Dr. Eduardo Meneghel Rando, of the State University of Northern Parana, Campus Luiz Meneghel in Rhodic Hapludox, in the city of Bandeirantes/PR, using the corn crop, established in 2015. The experimental design was a randomized block with seven treatments and T1: without fertilization, T2: application of NPK to haul, T3: NPK application on the line, T4: NP to haul and K on the line, T5: NP and K on the line to haul, T6: NK to haul and P on the line and T7: NK and K on the line to haul, with four repetitions. The plots consisted of 6 corn rows, 6 m long by 4.5 m wide resulting in 27 m², considering how useful area of 4-axis and desipping one meter from each end of the plot. The values of pH, M.O., P, K, Ca, Mg, H + Al, SB and CTC were evaluated in the chemical analysis. For the physical analyzes, the soil density, macro and microporosity and total porosity and stability of aggregates was also evaluated. For the microbiological analyzes the carbon of the microbial biomass, the basal respiration and the metabolic and microbial quotients were determined. The results allowed to conclude that in relation to the chemical and biological attributes the treatment NP la + K li presented higher amounts of M.O., V% and carbon from soil microbial biomass (CBMS), while NP li + K la provided improvement in physical properties.

Key – words: Soil attributes; Soil fertility; *Zea mays*.

Introdução

O milho é classificado taxonomicamente como *Zea mays* L. subespécie *mays*, pertencente à família Poacea (PATERNIANI e CAMPOS, 1999). Por ser uma planta de grande adaptabilidade pode ser encontrada em climas tropicais, subtropicais e temperados, e coloca o Brasil entre os três maiores produtores mundiais dessa cultura. Devido sua importância como um dos cereais mais produzidos mundialmente, estudos sobre as possibilidades de melhorar o

cultivo desse grão são necessários, e pesquisas envolvendo o manejo de adubação vem crescendo a fim de proporcionarem melhorias ao sistema de cultivo (MONTEIRO *et al.*, 2009).

O milho é grande consumidor e exportador de nitrogênio (N), mas em contrapartida é reciclador de cálcio (Ca) e potássio (K), por isso o plantio do milho em um sistema de rotação e/ou sucessão é muito eficaz pois ocasiona aumento direto nos teores de potássio, aumenta o acúmulo de nitrogênio e retém no sistema cálcio e magnésio, beneficiando a próxima cultura a ser plantada. Nesse sentido, é importante para promover a ciclagem de nutrientes e melhorar os teores de matéria orgânica (JANDREY *et al.*, 2018).

Outro benefício que essa cultura traz é a interferência positiva nas propriedades físicas do solo, adicionando material orgânico sobre sua superfície, mantendo o espaço poroso, a estabilidade dos agregados, a taxa de infiltração de água e maior retenção de água. Além disso, proporciona proteção do solo ao impacto da chuva que podem causar desagregação das partículas, garantindo que a estrutura do solo seja preservada (EMBRAPA, 2009).

Atualmente, o uso de fertilizantes é um dos fatores que representa maior custo para o produtor, e segundo alguns pesquisadores, ao ser aplicado à lanço e antecipada se torna uma alternativa viável na questão econômica, já que proporciona um menor tempo nas paradas para o abastecimento da semeadora, reduzindo os custos operacionais (PAVINATTO e CERETTA, 2004). Esse método surgiu devido o sistema convencional resultar em decréscimo de produtividade, devido a necessidade de aplicação de grandes quantidades de adubo no momento da semeadura e atrasar essa etapa (GUARESHI *et al.*, 2008).

É sabido que o sistema de plantio direto tem como premissa o uso de espécies de cobertura do solo e que resulta em benefícios às propriedades químicas, físicas e biológicas do mesmo além de melhorar a eficiência do uso de nutrientes pelas plantas (MACHADO *et al.*, 2014). Porém, fertilizantes aplicados à lanço e na linha apresentam respostas diferentes nesse sistema, devido o não revolvimento do solo. Para o Nitrogênio e o Potássio, a aplicação à lanço não traz tanta controvérsia entre pesquisadores, mas para o fósforo as opiniões divergem pois existem muitas variáveis que podem interferir, como tipo de solo, quantidade de chuva, teores de ferro e alumínio no solo, entre outros.

Collier *et al.* (2008) obteve uma maior produtividade de milho com P aplicado à lanço que no sulco, num Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com menos de 30% de argila. Tal fato foi atribuído ao maior tempo de contato do P com os coloides na adubação em sulco, elevando o processo de fixação do elemento e diminuindo sua disponibilidade para a planta, consequentemente reduzindo produtividade. Já Prado *et al.* (2001), encontrou maior

produtividade em P aplicado no sulco do plantio, porém nesse estudo o teor de argila se encontrava em 66%, muito maior que o estudo anterior, levando a interpretação de que ocorreu perda desse nutriente por adsorção ao ser aplicado à lanço. Para Guareshi *et al.* (2008), quando à pouca cobertura vegetal aumenta o contato do fertilizante com o solo e com o calcário, e por consequência sua fixação também aumenta, tornando o P menos solúvel. Segundo Castoldi *et al.* (2012), para a adubação fosfatada, de modo geral há resultados positivos para aplicação à lanço quando em condições de solo com teores de fósforo disponível elevado, necessitando apenas de adubação de manutenção.

A análise dos atributos físicos do solo é um indicador importante da sustentabilidade nos diferentes tipos de uso das terras. A porosidade do solo e a relação entre macro e microporosidade são fatores importantes para avaliação da influência da textura e da estrutura do solo na disponibilidade de água, ar e nutrientes (SALUME *et al.*, 2013).

Quanto à microbiologia do solo, a biomassa microbiana do solo (BMS) é responsável pela decomposição e mineralização dos resíduos vegetais e animais do solo, representando importante indicador ecológico. O conhecimento da dinâmica da BMS pode auxiliar os estudos que visam à conservação da matéria orgânica do solo e ao melhor aproveitamento do material orgânico adicionado ao sistema. É de suma importância que se disponha de indicadores de sustentabilidade, que indiquem a quantidade e o grau de conservação de um dado sistema (DE-POLLI e GUERRA, 2008).

A hipótese é que a adubação, aplicada à lanço ou em sulco, podem alterar as propriedades do solo. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo em relação à adubação, em sistema de plantio direto em Latossolo Vermelho na cultura do milho.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido na fazenda experimental da Universidade Estadual do Norte do Paraná – Campus Luiz Meneghel, no município de Bandeirantes/PR (50° 29' 44" a 50° 09' 43" W e 23° 17' 5" a 23° 00' 59" S), altitude média de 440 metros, e precipitações médias anuais de 1.300 mm, média de 30 mm no mês mais seco e geadas menos frequentes (REIS, REIS e SAAB, 2009).

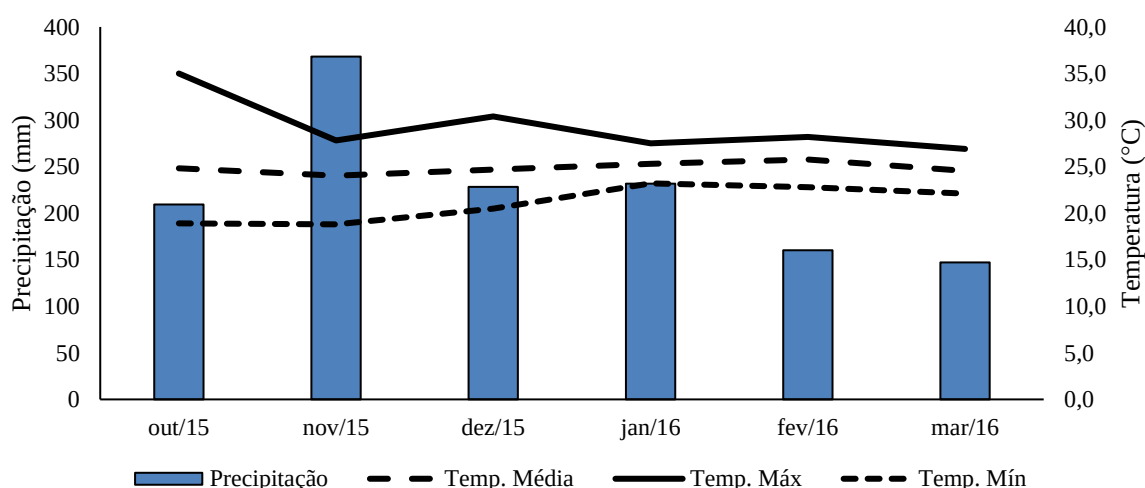
Antes da implementação do experimento foi coletado solo em três profundidades, 0-10, 10-20 e 20-40 cm para fins de análise química de rotina e granulométrica (Tabela 1) e o solo da área é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico (EMBRAPA, 2013)

Tabela 1 - Análise química e granulométrica do Latossolo Vermelho Eutroférico do local do experimento - Bandeirantes/PR (2015).

Prof. (cm)	M.O. g kg ⁻¹	pH CaCl ₂	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V
							cmol _c dm ⁻³				(%)
0-10	24,2	4,6	9,4	0,65	4,8	1,4	0,2	5,91	6,8	12,8	53,7
10-20	21,5	4,5	6,6	0,28	4,6	1,6	0,3	6,61	6,5	13,1	49,5
20-40	13,4	5,0	3,5	0,10	4,2	1,4	0,2	4,42	5,7	10,1	56,4
Textura (0-20 cm) (g kg ⁻¹)											
Areia				Silte				Argila			
86				234				680			

Os valores médios de precipitação pluviométrica, temperaturas médias, máximas e mínimas mensais da região durante o período do experimento estão demonstrados na Figura 1.

Figura 1 - Valores médios mensais de precipitação pluviométrica, temperaturas médias, máximas e mínimas no período compreendido entre out/2015 à mar/2016. Fonte: Estação Agrometeorológica – UENP – Campus Luiz Meneghel, Bandeirantes/PR.



O híbrido utilizado foi 30F53HR Pioneer e o período experimental a campo foi de outubro de 2015 até março de 2016. O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados com 7 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos utilizados foram: T1 (Sem adubação), T2 (aplicação de NPK à lanço), T3 (aplicação de NPK na linha), T4 (NP à lanço e K na linha), T5 (NP na linha e K à lanço), T6 (NK à lanço e P na linha) e T7 (NK na linha e P à lanço), com 4 repetições.

Os tratamentos foram realizados com aplicação na semeadura de 20 kg ha⁻¹ de N, 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 40 kg ha⁻¹ de K₂O, tendo como fonte de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente, os fertilizantes uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio. Para

adubação em cobertura aplicou-se 90 kg ha⁻¹ N, parcelado em duas aplicações, no momento em que a cultura estava com seis e oito folhas totalmente desdobradas.

Após a colheita foram coletadas amostras do solo, de 0-20 cm e 20-40 cm para a realização das análises de química, física e microbiológicas, onde realizou-se análise química completa, sendo determinado: pH (em CaCl₂), M.O. (g kg⁻¹), P (mg dm⁻³), K, Ca, Mg, H+Al, SB, CTC_{total} (cmol_c dm⁻³). Foram realizadas as análises de densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade, pelo método do anel volumétrico determinados na mesa de tensão.

Para as análises microbiológicas, foram coletadas três amostras simples da profundidade de 0 a 10 cm onde foram homogeneizadas para constituírem uma amostra composta para cada parcela totalizando vinte oito amostras e peneiradas em malha de 2 mm.

O carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS) foi determinado pelo método proposto por Vance *et al.* (1987), pela fumigação das amostras de solo com adição de clorofórmio. As amostras de solo de cada uma das áreas foram separadas e pesadas (20 g) em duplicatas, sendo uma para fumigação e outra para não fumigação.

A atividade respiratória da biomassa microbiana, ou respiração basal do solo (RBS) foi avaliada pela quantificação do CO₂ liberado durante a incubação do solo em sistema fechado, onde o CO₂ é capturado em solução de NaOH (Hidróxido de sódio) a 0,05 mol L⁻¹ e posteriormente titulado com HCl (ácido clorídrico) (ISERMEYER, 1952).

A determinação do carbono orgânico total (COT) aconteceu em combustão da matéria orgânica via úmida, com uso de 0,5g de amostra, segundo Walkley e Black (1934), sem aquecimento externo em chapa. A partir da relação entre o CBM e o conteúdo de matéria orgânica foi determinado o quociente microbiano (qMIC). A transformação dos valores de matéria orgânica para carbono orgânico foi feita pela relação M.O. = 1,724 x C.O. (SILVA *et al.*, 2009).

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando-se o programa estatístico SASM-Agri e as médias foram comparadas pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Propriedades químicas do solo

Na Tabela 2 estão apresentadas as variáveis que foram significativas nas profundidades de amostragem de 0-20 e/ou 20-40 cm, em função da aplicação dos adubos NPK.

Tabela 2 - Matéria orgânica, fósforo, magnésio, saturação por base, acidez potencial e soma de bases trocáveis do solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm em função da aplicação dos adubos NPK na cultura do milho em sistema de plantio direto - Bandeirantes/PR (2016).

Prof. (cm)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	CV	F
	M.O. (g kg ⁻¹)							(%)	
0-20	20,48	19,47	18,47	20,48	22,16	22,49	21,15	14,9	ns
20-40	15,44 ab	15,11 ab	16,12 ab	13,09 b	19,47 a	16,79 ab	16,12 ab	21,1	*
	P (mg dm ⁻³)								
0-20	15,51	10,01	18,47	12,30	14,84	13,01	10,94	41,79	ns
20-40	4,48 b	4,55 ab	4,60 ab	4,60 ab	5,67 ab	6,24 a	5,38 ab	20,07	*
	Mg (cmol _c dm ⁻³)								
0-20	1,33	1,08	1,20	1,00	1,13	1,25	1,13	22,31	ns
20-40	0,95 b	1,03 b	0,70 b	0,88 b	1,65 a	0,98 b	0,95 b	39,86	*
	V%								
0-20	50,59 ab	48,62 ab	48,65 ab	44,95 b	52,68 a	53,30 a	49,08 ab	7,63	*
20-40	58,86	57,06	58,90	60,67	61,23	59,86	58,20	5,54	ns
	H + Al (cmol _c dm ⁻³)								
0-20	4,12 ab	4,33 ab	4,40 ab	4,73 a	4,11 ab	3,98 b	4,31 ab	9,22	*
20-40	2,89	3,11	2,75	2,65	3,00	3,00	3,24	14,71	ns
	SB (cmol _c dm ⁻³)								
0-20	4,23 ab	4,10 ab	4,17 ab	3,85 b	4,57 a	4,53 a	4,15 ab	7,62	*
20-40	4,20 ab	4,14 ab	3,94 b	4,16 ab	4,71 a	4,48 ab	4,42 ab	9,36	*

* = significativo a 5% pelo teste de Duncan. ns = não significativo. Letras iguais não diferem pelo Teste de Duncan a 5% de probabilidade. T1 (sem adubação); T2 (NPK a lanço); T3 (NPK na linha); T4 (NP la + K li); T5 (NP li + K la); T6 (NK la + P li); T7 (NK li + P la).

Tanto o teor de matéria orgânica (M.O.) do solo como os teores de macronutrientes não apresentaram diferença estatísticas significativa em superfície. Já na subsuperficial, para M.O. e Mg, apenas os tratamentos T4 (NP la + K li) e T5 (NP li + K la) apresentaram diferença significativa. Para Mg, o tratamento 5 apresentou a maior quantidade e praticamente a mesma quando comparado à análise química inicial, podendo estar associado ao teor de M.O. encontrada nesse tratamento na mesma profundidade, favorecida pela melhoria das condições de fertilidade do solo (PAULETTI *et al.*, 2005).

Os teores de P foi maior quanto mais superficial foi a amostra, concentração essa também observado por diversos autores (HOWARD, ESSINGTON e LOGAN, 2002; PAULETTI *et al.*,

2005) e ocorre pela falta de revolvimento do solo (PAULETTI *et al.*, 2009), além de maior adsorção do nutriente com a argila (PRADO *et al.*, 2001).

Para o K não houve diferença significativa em nenhuma das profundidades, aliás, o solo apresentou menor teor desse nutriente quando comparado com a análise química inicial. Esse fato pode ser relacionado à extração desse nutriente pelo milho, visto que o K é um dos nutrientes extraído em maior quantidade pela cultura, segundo Coelho (2006). Além disso, parte do K aplicado pode ter sido lixiviado, devido ao elevado volume de chuva observado durante a condução do experimento, como pode ser observado nos dados apresentados pela Figura 1.

Os tratamentos que apresentaram maior saturação por bases (V%) são os mesmos que obtiveram maior quantidade de M.O. (T5 e T6) indicando que esse fator contribuiu para a fertilidade do solo, pois apresentou V% maior que 50% sendo considerado um solo fértil (EMBRAPA, 2010). Lembrando que na análise inicial se obteve o pH entre 4,6 – 5,0, sendo considerada acidez alta, o que pode ter influenciado nos resultados obtidos.

Segundo Pauletti *et al.* (2009), ao avaliar os atributos químicos de um Latossolo em função da estratégia de adubação com rotação de culturas, não ocorre modificações na distribuição da maioria dos atributos de fertilidade, em até seis anos após a adoção de diferentes estratégias de aplicação ou da ausência da adubação.

Propriedades físicas do solo

A análise dos atributos físicos do solo é um indicador importante da sustentabilidade nos diferentes tipos de uso da terra. A densidade do solo, porosidade do solo e a relação entre macroporosidade e microporosidade são fatores importantes para avaliação da influência da textura e da estrutura do solo na disponibilidade de água (SALUME *et al.*, 2013), de nutrientes e, consequentemente, de produtividade das culturas.

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados da análise física. Para a Ds, o tratamento 4 apresentou o menor valor (1,07 Mg m⁻³), porém igual estatisticamente aos tratamentos 1; 2; 3; 5 e 6.

Segundo Kiehl (1979), essa propriedade tem grande influência na produtividade da cultura, sendo que o menor valor da densidade (1,07 m³ m⁻³) está associado à maior produtividade, apresentando coerência nesse estudo (Figura 2). Ressalta-se ainda que em todos os manejos a Ds foi inferior a 1,23 m³ m⁻³ enfatizando que esses valores são considerados bons segundo Reichert *et al.* (2009) onde não há impedimentos físicos ao crescimento radicular e consequentemente ao desenvolvimento da cultura.

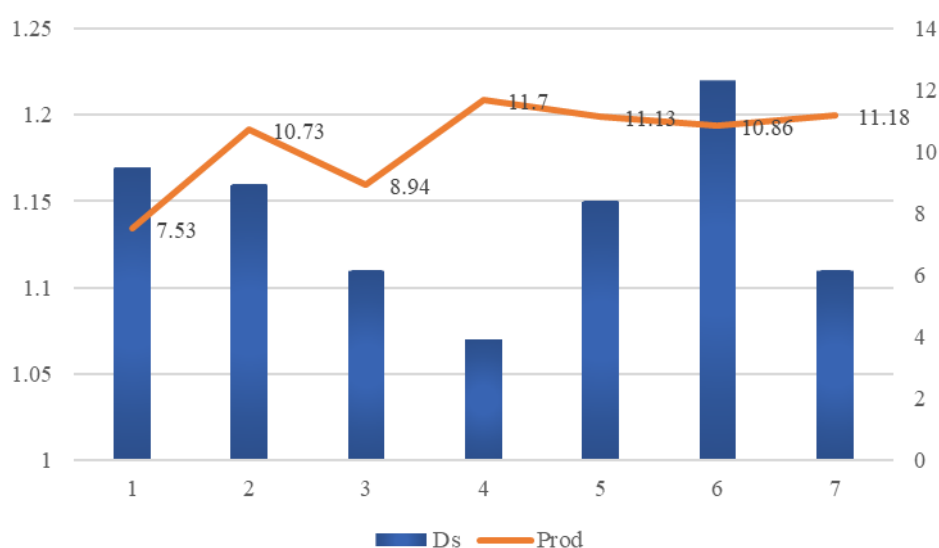
Tabela 3 - Densidade de solo (Ds) e porosidade total (Pt) em função dos modos de aplicação dos adubos NPK, em LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico cultivado com milho. Bandeirantes/PR. (2016).

Tratamento	Ds (Mg m ⁻³)	Pt (m ³ m ⁻³)
Sem adubação	1,17 ab	0,54 ab
NPK ⁽¹⁾ lanço	1,16 ab	0,54 ab
NPK linha	1,11 ab	0,54 ab
NP la + K li	1,07 b	0,53 b
NP li + K La	1,15 ab	0,56 a
NK la + P li	1,22 a	0,54 ab
NK li + P La	1,11 ab	0,55 ab
CV (%)	7,43	3,6
F	*	*

⁽¹⁾ NPK = nitrogênio, fósforo e potássio; la = a lanço; li = na linha

⁽²⁾ Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. * = significativo a 5% pelo teste de Duncan. ns = não significativo a 5% pelo teste de Duncan.

Figura 2 - Comparação da densidade do solo (Ds) em função da produtividade (Prod).



Todas as variáveis condicionantes da estrutura do solo, incluindo textura e matéria orgânica, influenciarão nos valores da porosidade total, que deve variar entre 0,30 e 0,70 m³ m⁻³, segundo Ferreira (2010) sendo um atributo muito influenciado pelo uso e manejo do solo.

Propriedades microbiológicas do solo

Com relação às propriedades microbiológicas do solo, não é suficiente basear-se em um único fator para representar a real qualidade microbiológica do solo, pois a interação entre eles

ocorre de maneira complexa. Um indicador que se encaixa nas três vertentes da ciência do solo é a matéria orgânica, pois seus benefícios e funções não são restritos apenas a um tipo de atributo, além de ser um indicador de qualidade do solo devido sua importância na formação e manutenção das funções do solo, principalmente naqueles considerados intemperizados, como é o caso dos Latossolos (PRIMO, MENEZES e SILVA, 2011).

Alguns trabalhos têm demonstrado que em áreas de plantio direto apresenta o aumento da biomassa microbiana, demonstrando a importância da utilização de matéria orgânica para a manutenção da atividade microbiana (MATSUOKA, MENDES e LOUREIRO, 2003). A relação entre o carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS) e as taxas liberadas de CO₂ via respiração basal do solo (RBS), através da atividade metabólica, são capazes de gerar dados mostrando a tendência de estresses causados por distúrbios, estes níveis gerados através do quociente metabólico (qCO_2) (ANDERSON e DOMSCH, 1989).

Na Tabela 4 foi analisada separadamente a testemunha com os tratamentos NPK a lanço e NPK na linha.

Tabela 4 - Comparação dos atributos microbiológicos entre a testemunha, NPK aplicado a lanço e NPK aplicado na linha.

Tratamentos ⁽¹⁾	COT g Kg ⁻¹	CBMS mg C Kg solo ⁻¹	$qMIC$ (%)	RBS mg C-CO ₂ Kg ⁻¹ h ⁻¹	qCO_2 RBS/CBMS
Sem Adub.	10,13 a ⁽²⁾	165,73 b	1,68 a	0,26 b	1,59 c
NPK la	11,28 a	176,53 b	1,58 a	0,44 b	2,48 b
NPK li	11,28 a	212,67 a	1,93 a	0,72 a	3,41 a
CV (%)	9,91	8,3	14,34	23,35	19,3
F	ns	*	ns	*	*

⁽¹⁾ Sem Adub.= sem adubação; NPK = nitrogênio, fósforo e potássio; la = a lanço; li = na linha

⁽²⁾ Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. *= significativo a 5% pelo teste de Duncan. ns = não significativo a 5% pelo teste de Duncan.

Apesar da matéria orgânica não ter apresentado diferença estatística significativa, pode-se observar que entre os tratamentos NPK la e NPK li, os componentes CBMS, RBS e qCO_2 apresentaram diferenças significativas, efeito positivo para a CBMS, pois segundo Berthrong, Buckley e Drinkwater (2013), quanto maior o conteúdo da biomassa microbiana maior será a capacidade de estocagem e ciclagem de nutrientes. Pode-se aferir que os adubos aplicados na linha se apresentaram menos nocivos aos microrganismos do solo.

Deve-se salientar que a alta taxa de respiração pode ser interpretada como uma característica desejável, visto que a decomposição dos resíduos orgânicos irá disponibilizar nutrientes para as plantas. Altos níveis de respiração podem indicar tanto um distúrbio como uma alta taxa de produtividade do ecossistema. O fato do qCO_2 ter apresentado valores maiores

indica que naquele tratamento houve um maior estresse metabólico, isso deve-se ao fato da respiração também ter sido maior (ROSCOE, MERCANTE e SALTON, 2006).

Na Tabela 5 foram analisados todos os tratamentos, não apresentando diferença significativa apenas para o carbono orgânico total (COT).

Tabela 5 - Atributos microbiológicos em diferentes aplicações de nitrogênio, fósforo e potássio. Bandeirantes/PR (2016).

Tratamentos ⁽¹⁾	COT g kg ⁻¹	CBMS mg C Kg solo ⁻¹	qMIC (%)	RBS mg C-CO ₂ Kg ⁻¹ h ⁻¹	qCO ₂ RBS/CBMS
Sem Adub.	10,13 a ⁽²⁾	165,73 bc	1,69 abc	0,26 c	1,59 c
NPK lanço	11,28 a	176,53 abc	1,59 bc	0,44 bc	2,48 abc
NPK linha	11,28 a	212,67 ab	1,94 ab	0,72 a	3,41 ab
NP la + K li	11,28 a	139,42 c	1,24 c	0,51 abc	3,78 a
NP li + K la	9,73 a	219,59 a	2,26 a	0,36 bc	1,67 c
NK la + P li	10,10 a	198,50 ab	1,99 ab	0,38 bc	1,92 bc
NK li + P la	11,70 a	202,25 ab	1,74 abc	0,57 ab	2,88 abc
CV	12,22	11,39	14,21	24,49	27,73
F	ns	*	*	*	*

⁽¹⁾ Sem Adub.= sem adubação; NPK = nitrogênio, fósforo e potássio; la = a lanço; li = na linha

⁽²⁾ Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. *= significativo a 5% pelo teste de Duncan. ns = não significativo a 5% pelo teste de Duncan.

Houve diferenças significativas entre as características avaliadas apenas para os tratamentos NP la + K li e NP li + K la.

A combinação de NP aplicado na linha e o K a lanço apresentou maior valor para CBMS e qMIC, e menor para RBS e qCO₂. A determinação do carbono da biomassa microbiana do solo funciona como indicador de quantidade de microrganismos presente no solo (DE-POLLI e GUERRA, 2008) e a menor taxa de qCO₂ nesse tratamento indica que houve menor estresse metabólico e consequentemente menor desequilíbrio do solo.

A atuação da matéria orgânica no fornecimento de carbono e energia aos microrganismos determina o acúmulo ou perda de material orgânico, o qual é representado pela relação entre carbono microbiano e carbono orgânico total (CBMS/COT), denominado de quociente microbiano (qMIC) (GARCIA e COUTO, 1997). Segundo Baretta *et al.* (2005), o valor 2,2% é considerado como sendo o nível em que o solo apresenta equilíbrio, e que valores maiores e menores indicam acúmulo ou perda de C, respectivamente. Ou seja, no tratamento NP li + K la, além de apresentar uma maior quantidade de CBMS, pode ser considerado um solo em equilíbrio.

Conclusões

Dois tratamentos se destacaram dos demais em relação aos atributos avaliados nesse estudo. O tratamento NP la + K li apresentou melhor qualidade nos atributos físicos, enquanto que o tratamento NP li + K la apresentou maior qualidade do solo nos atributos químicos e microbiológicos. Se faz necessário um estudo em uma escala de tempo maior para afirmar o real efeito dos tratamentos no solo.

Referências

- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Determination of ecophysiological maintenance requirements of soil microorganisms in dormant stage. **Biology and Fertility of Soils**, v. 11, p. 81-89, 1989.
- BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; FIGUEIREDO, S. R.; KLAUBERG, O. FILHO. Efeito do monocultivo de Pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no Planalto Sul Catarinense. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 29, p.715-724, 2005.
- BERTHRONG, S. T.; BUCKLEY, D. H.; DRINKWATER, L. E. Agricultural management and labile carbon additions affect soil microbial community structure and interact with carbon and nitrogen cycling. **Microbial Ecology**, v. 66, p. 158–170, 2013.
- CASTOLDI, G.; FREIBERGER, M. B.; CASTOLDI, G.; COSTA, C. H. M. Manejo da adubação em sistema plantio direto. **Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 6, n. 1, p. 65, 2012.
- COELHO, A. M. **Nutrição e adubação do milho**. (Circular Técnica,78). Sete Lagoas, Embrapa Milho e Sorgo, p. 10, 2006.
- COLLIER, L. S.; CORREIA, M. A. R.; RAMOS, L. N.; PRADO, R. M.; FLORES, R. A.; NUNES, T. V. Adubação fosfatada no sulco e em faixas sob palhada de leguminosa e produtividade de milho em plantio direto no Tocantins. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, n. 2, p. 109-116, mar/abr, 2008.
- DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. Carbono, nitrogênio e fosforo na biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, p. 263-276, 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Brasília, DF: Embrapa Solos, p. 627, 2009.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para regiões tropicais**. Embrapa Campinas. 2010. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/31004/1/BPD-8.pdf>>. Acesso em: 31 jan. 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 2013.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: **Física do Solo**. Jong von Lier, Q. (ed). Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa. 1ª Edição, 2010.

GARCIA, R.; COUTO, L. Silvopastoral systems: emergent technology of sustainability. In: GOMIDE, J.A. (Ed.) Simpósio internacional de produção animal em pastejo, **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 281-302, 1997.

HOWARD, D. D.; ESSINGTON, M. E.; LOGAN, J. Long-term broadcast and banded phosphorus fertilization of corn produced using two tillage systems. **Agronomy Journal**, v. 94, p. 51-56, 2002.

ISERMEYER, H. Eine einfache methode zur bestimmung der bodenatmung und der karbonate im boden. **Z. Pflanzenernäh Bodenk**, v. 56, p. 26-38, 1952.

JANDREY, D.; TISOT, B.; MADALUZ, J. C. **5 motivos para incluir milho na rotação de culturas visando a sustentabilidade da soja**. 2018. Disponível em: <http://www.pioneersementes.com.br/blog/Documents/Rota%C3%A7%C3%A3oDeCulturas.pdf>. Acesso em: 28 de setembro de 2019.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia. Relação solo – planta**. São Paulo: Editora CERES. 1979.

MACHADO, L.V.; RANGEL, O. J. P.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, R. V.; FERRARI, J. L. Fertilidade e compartimentos da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Coffee Science**, v. 9, p. 289-299, 2014.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. R. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 27, p. 425-433, 2003.

MONTEIRO, J. E. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**, p. 546, 2009.

PAULETTI, V.; LIMA, M.R.; BARCIK, C.; BITTENCOURT, A. Evolução nos atributos químicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes métodos de preparo do solo. **Sciencia Agricola**, v. 6, p. 9-14, 2005.

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V.; SERRAT, B. M.; FAVARETTO, N.; ANJOS, A. Atributos químicos de um Latossolo Bruno sob sistema de plantio direto em função da estratégia de adubação e do método de amostragem de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 581-590, 2009.

PATERNIANI, E.; CAMPOS, M. S. Melhoramento do milho. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, p. 817, 1999.

PAVINATTO, P. S.; CERETTA, C. A. Fósforo e potássio na sucessão trigo/milho: épocas e formas de aplicação. **Ciência Rural**, v. 34, n. 6, nov-dez, 2004.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; ROQUE, C. G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 83-90, 2001.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v. 7, n. 5, p. 1-13, 2011.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree of compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v. 102, p. 242-254, 2009.

REIS, L. C., REIS, T. E. S., SAAB, O. J. G. A. Diagnóstico das áreas de preservação permanente das microbacias hidrográficas do município de Bandeirantes. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 3, 2009.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. Biomassa microbiana do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, p.163-198, 2006.

SALUME, J. A.; ROBERTO, C. E. O.; VALENTIM, S. B.; BURAK, D. L.; RUIZ, H. A.; PASSOS, R. R. Planejamento amostral da porosidade do solo em relevo ondulado sob cafeeiro Conilon. In: XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Florianópolis, 2013. **Resumos expandidos...** Florianópolis: SBSC e EPAGRI, 2013.

SILVA, F.C.; ABREU, M.F.; PÉREZ, D.V.; EIRA, P.A.; ABREU, C.A.; van RAIJ, B.; GIANELLO, C.; COELHO, A.M.; TEDESCO, M.J.; SILVA, C.A.; CANTARELLA, H.; BARRETO, W.O. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes: Métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 627, 2009.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. Na extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p. 703-707, 1987.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, p. 29-38, 1934.