

ANÁLISE TEMPORAL DA VARIAÇÃO DA TEXTURA E NUTRIENTES DO SOLO PROVOCADA PELO USO DO GLIFOSATO
TEMPORAL ANALYSIS OF SOIL TEXTURE AND SOIL NUTRIENTS VARIATION CAUSED BY GLYPHOSATE

Alessandra Roberta Pedroso da Silva¹

Jeferson Rodrigues Nunes²

Jonatas Kenji Onishi³

Renan Donizete Fernandes de Mattos⁴

Liliane Moreira Nery⁵

Darllan Collins da Cunha e Silva⁶

Vanessa Cezar Simonetti⁷

Resumo: Um dos maiores problemas enfrentados na agricultura está relacionado as espécies de plantas invasoras em áreas com potencial produtivo. Assim, a busca por melhorias na produção agrícola levou à utilização de herbicidas que podem alterar a qualidade físico-química do solo. Este estudo teve como objetivo analisar as alterações dos atributos físico-químicos do solo, relacionados à classe textural e nutrientes, antes e após a aplicação do herbicida glifosato. Para isso, foi delimitada uma área de 600 m² onde foram coletadas amostras de solo para análises físico-químicas antes e após as aplicações do herbicida glifosato, e comparando se a classes texturais, assim como os nutrientes do solo, sofreram alterações após a aplicação do herbicida. Os parâmetros físicos relacionados às classes texturais do solo evidenciaram que a maior alteração foi encontrada na fração de areia grossa, com um coeficiente de variação (CV) de 70,7%, seguido do silte, com 35,5%, enquanto a argila e a areia fina apresentaram coeficientes de variação de 14,9% e 9,5%, respectivamente. Quanto aos parâmetros químicos relacionados aos nutrientes do solo, o Zn foi o elemento que apresentou o maior coeficiente de variação, com 48,4%, seguido do Fe com 26,0%. Portanto, os resultados obtidos no estudo sugerem que as maiores interferências foram decorrentes da exposição do solo por conta da

¹ Bacharel em Engenharia Ambiental, Universidade de Sorocaba (Uniso), Sorocaba, São Paulo, E-mail: alerobertaa@gmail.com.

² Bacharel em Engenharia Ambiental, Universidade de Sorocaba (Uniso), Sorocaba, São Paulo, E-mail: jefersonrnunes@gmail.com.

³ Bacharel em Engenharia Ambiental, Universidade de Sorocaba (Uniso), Sorocaba, São Paulo, E-mail: jonatasonishi@gmail.com.

⁴ Bacharel em Engenharia Ambiental, Universidade de Sorocaba (Uniso), Sorocaba, São Paulo, E-mail: renandfmattos@hotmail.com.

⁵ Mestranda em Biotecnologia e Monitoramento Ambiental, Universidade Federal de São Carlos (Ufscar), Sorocaba, São Paulo, E-mail: lilianemoreiranery@gmail.com.

⁶ Doutor em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de Registro, São Paulo, E-mail: darllan.collins@unesp.br.

⁷ Doutoranda em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, São Paulo, E-mail: va_simonetti@hotmail.com.

decomposição e extinção da vegetação protetora, bem como dos possíveis arrastes de partículas provenientes do solo desprotegido, do que, necessariamente, pelos compostos relacionados a aplicação do herbicida no solo.

Palavras-chave: Fertilidade. Granulometria. Herbicida. Manejo do solo. Análises físico-químicas.

Abstract: One of the biggest problems faced in agriculture is related to invasive plant species in areas with productive potential. Thus, the search for improvements in agricultural production led to the use of herbicides that can change the physicochemical quality of the soil. This study aimed to analyze changes in physicochemical soil attributes related to textural class and nutrients before and after the application of the herbicide glyphosate. For this, an area of 600 m² was delimited where soil samples were collected for physicochemical analysis before and after the applications of the herbicide glyphosate, and comparing whether the textural classes, as well as the soil nutrients, changed the application of the herbicide. The physical parameters related to the soil textural classes showed that the greatest change was found in the coarse sand fraction, with a coefficient of variation (CV) of 70.7%, followed by silt, with 35.5%, while clay and the fine sand presented coefficients of variation of 14.9% and 9.5%, respectively. As for chemical parameters related to soil nutrients, Zn was the element that presented the highest coefficient of variation, with 48.4%, followed by Fe with 26.0%. Therefore, the results obtained in the study suggest that the greatest interferences were due to soil exposure due to the decomposition and extinction of protective vegetation, as well as the possible entrainment of particles from the unprotected soil, then, necessarily, by the compounds related to the application of the herbicide in the soil.

Keywords: Fertility. Granulometry. Herbicide. Soil management. Physico-chemical analysis.

1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico das últimas décadas e, conseqüentemente, a busca constante por melhorias na qualidade e no aumento produtivo na agricultura levaram os pequenos e grandes produtores rurais a buscarem métodos que minimizassem a mão de obra aplicada em todas as etapas da produção, desde a manutenção, limpeza, bem como o controle de ervas daninhas na lavoura (OLIVEIRA et al., 2007; TEIXEIRA et al., 2009; OCTAVIANO, 2010).

Com o advento da Revolução Verde, na década de 70, e os pacotes tecnológicos que possuíam como premissa o aumento da produtividade agrícola, foram introduzidos produtos, como a classe de herbicidas glifosato, que por se tratar de um produto sistêmico e não-seletivo, se tornaria o método mais eficaz para o controle tanto de ervas daninhas perenes quanto anuais (ALBERGONI; PELAEZ, 2007; VERA et al., 2012).

O glifosato é um herbicida capaz de controlar plantas monocotiledôneas e dicotiledôneas, o mecanismo de ação deste herbicida é por meio da inibição da 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS), ou seja, ele faz com que

o crescimento da planta pare de imediato assim que aplicado, esse processo ocorre, pois as moléculas inibem a atividade da EPSPS, enzima presente na rota de biossíntese dos aminoácidos fenilalanina, tirosina e triptofano (STEINRÜCKEN; AMRHEIN, 1980). Em alguns microrganismos, a atuação do glifosato está relacionada à sensibilidade destas enzimas (VERA et al., 2012).

Toda a praticidade e eficiência do uso do glifosato podem trazer ao solo alterações em sua microbiota, tendo em vista que em um solo saudável encontram-se diversos tipos de micro-organismos que são responsáveis pela decomposição/mineralização da matéria orgânica, bem como ciclagem de nutrientes (MORAES; ROSSI, 2010; GODOY et al., 2013).

Estudos revelam que o glifosato pode causar impacto à microbiota do solo (ZILLI et al., 2008); no entanto, seu efeito vai depender de sua ecotoxicidade (VIDAL et al., 2014), concentração nos compartimentos do solo, dose aplicada (BRIGHENTI et al., 2011) e condições do meio (MORAES; ROSSI, 2010). Os impactos ao solo podem ser classificados de diversas maneiras: locais, regionais ou globais, indireto ou direto, permanentes, cíclicos e temporários, imediatos, de médio ou longo prazo (RABELLO et al., 2015).

O tempo de permanência do herbicida no ambiente depende de vários fatores, do transporte de solutos e a dinâmica de fluxo hídrico, além da sua taxa de degradação, que está relacionada à atividade microbiológica, da capacidade de sorção do solo, da recalcitrância do herbicida e a biodisponibilidade (COUTINHO; MAZO, 2005; SERRA et al., 2011; VERA et al., 2012; VIDAL et al., 2014).

Quando aplicado, as ervas daninhas absorvem parte do glifosato e a outra parte é absorvida pelo solo. A parte que é absorvida pelas plantas alvos, irá atingir o solo somente quando estas plantas chegarem a fase de matéria seca e for decomposta pelos organismos que se alimentam de compostos inorgânicos e orgânicos, os chamados organismos heterotróficos (RABELLO et al., 2015).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi analisar as alterações dos atributos físico-químicos do solo, relacionados à classe textural e nutrientes, antes e após a aplicação do herbicida glifosato.

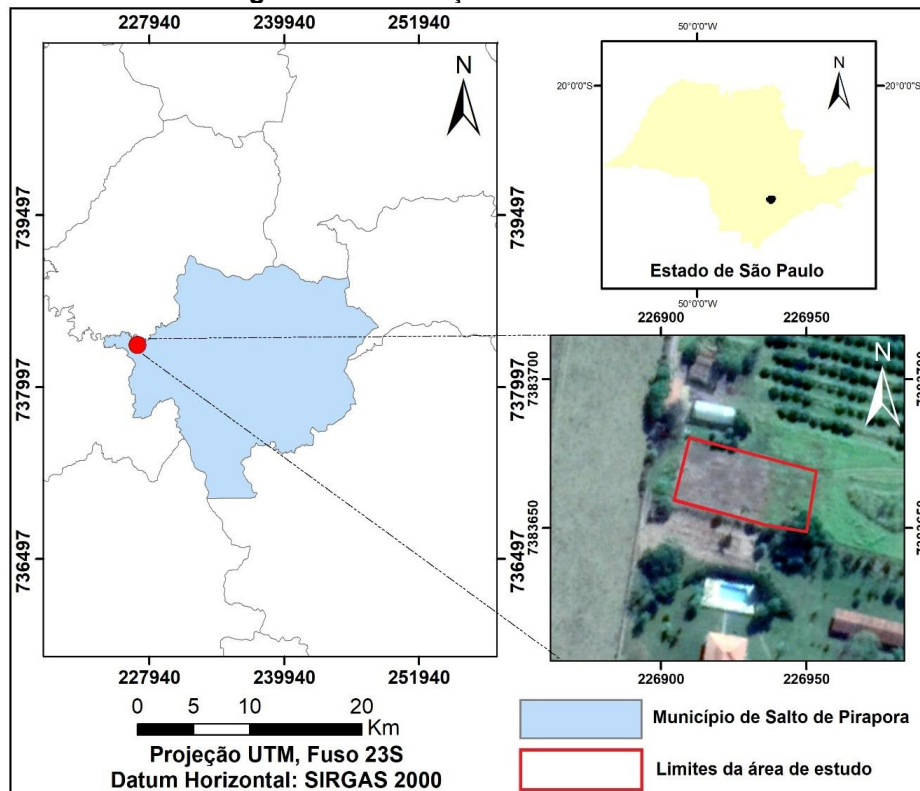
2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A área de estudo está localizada em uma propriedade no município de Salto de Pirapora (SP), nas coordenadas geográficas 23°38'04" latitude sul e 47°40'36" longitude oeste, a uma altitude de 813 m. O clima da região é pertencente ao domínio de clima Subtropical (Cwa), de acordo com a classificação de Köppen-Geiser, com uma temperatura média em torno de 22,5° C. De acordo com Silva et al. (2018), o município de Salto de Pirapora apresenta 110,9 km² de cobertura vegetal arbórea, sendo 38,78% na zona rural, e 0,72% na zona urbana, com predomínio de fragmentos do Bioma da Mata Atlântica e Cerrado.

O município está inserido em uma zona com elevada aptidão agrícola, por essa razão, a área selecionada para o teste prático (Figura 1) foi escolhida devido seu histórico de pastagem, e por não ter sido utilizada anteriormente para práticas agrícolas, evitando, assim, qualquer interferência decorrente da aplicação de herbicidas.

Figura 1 - Localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

2.2 Etapas das Aplicações de Glifosato

O teste prático consistiu na aplicação do herbicida a cada 45 dias, por um período de cinco meses. Para o teste foi utilizado um produto comercial, glifosato potássico, concentrado solúvel, com uma dosagem de 10 mL de glifosato para cada litro de água (dosagem recomendada pelo fabricante).

Para a aplicação do herbicida foi utilizado um pulverizador costal manual Jacto-PJH20, com capacidade de 20 L, sendo que o equipamento exerce uma pressão de trabalho de 100 psi (6.8 bar), bem como o EPI adequado para o manuseio e aplicação de agrotóxicos, composto por macacão de PVC, luvas de borracha, bota de borracha, óculos de proteção e máscara semifacial, fabricados pela 3M.

No dia de cada aplicação foram coletados dados de temperatura e umidade do ar. Esses dados foram levantados segundo o Climatempo (2018). O dia da primeira aplicação foi 24 de março de 2018, às 12:04; no referido dia foram registradas a temperatura de 30°C e umidade de 87%, para a aplicação foram necessários 18 litros de calda, a segunda aplicação foi dia 08 de maio de 2018 às 7:17; a temperatura no momento da aplicação era de 18 °C, com umidade de 86%, na segunda aplicação foram necessários 17 litros de calda. A terceira aplicação foi realizada no dia 22 de junho de 2018, às 7:45; no momento da aplicação a temperatura era de 12°C, com umidade de 97%, sendo necessários 17 litros de calda. A quarta aplicação foi realizada no dia 8 de agosto de 2018 às 15:58, com temperatura registrada de 22°C no momento da aplicação, sendo necessários 16 litros de calda.

Com o auxílio de um equipamento *Global Position System* (GPS), da marca Garmim modelo 60CSx, foi delimitada a área para realização dos testes. Antes da aplicação, a área foi isolada para impedir o acesso de pessoas não autorizadas e o comprometimento dos testes.

2.3 Coleta dos Solos

As coletas de solos foram realizadas em duas campanhas, sendo a primeira no dia 24 de março de 2018, antecedendo da primeira aplicação do

glifosato, de modo a obter um parâmetro inicial da qualidade do solo como um background. Para tanto, as amostras foram recolhidas a uma profundidade de 0-20 cm, utilizando um trado tipo sonda confeccionado em aço inox.

A segunda coleta foi realizada no dia 21 de agosto de 2018, após cinco meses as aplicações de glifosato, onde as amostras coletadas foram novamente encaminhadas para análise em laboratório especializado.

Para que os testes pudessem ser realizados foi utilizada uma área de 600 m² disponível na propriedade, onde as amostras foram estrategicamente recolhidas a cada dois metros, totalizando 150 amostras compostas. Após, as amostras foram homogeneizadas e encaminhados 500 g de solo de cada campanha para um laboratório especializado em análises de solo (CELQA - Análises Técnicas Ltda).

Para realizar a análise textural, foram separadas as frações de areia fina (0,05 - 0,2 mm), areia grossa (0,2 - 2 mm), silte (0,002 - 0,05 mm) e argila (< 0,002 mm), segundo o método do densímetro determinado pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) (CAMARGO et al., 2009). De posse dos valores obtidos para cada classe textural foi realizada a classificação textural simplificada do solo, de acordo com a Embrapa (2011).

A matéria orgânica do solo (MO), bem como os macro e micronutrientes, como o fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), Magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), alumínio (Al), enxofre (S-SO₄), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) foram estimados segundo os métodos de análise química, mineralógica e física de solos contidos no Boletim Técnico 106 do Instituto Agrônomo de Campinas – IAC (CAMARGO et al., 2009).

Para comparação dos resultados entre as duas campanhas foi utilizada estatística descritiva, com análise da média (\bar{X}), desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante o período das aplicações foi possível observar visualmente as alterações provocadas pelo uso do glifosato nas plantas de forma gradativa (Figura 2).

Figura 2 - Evolução temporal dos efeitos do Glifosato na área de estudo.



Legenda: **A)** Área isolada e ocorrência da primeira coleta de solo e aplicação do herbicida. **B)** Área durante a segunda aplicação do herbicida. **C)** Terceira aplicação do herbicida. **D)** Realização da segunda coleta de solo após as aplicações do herbicida.

Fonte: Acervo fotográfico dos autores.

Na primeira coleta e primeira aplicação (Figura 4A), é possível observar uma pastagem saudável, com braquiárias recobrendo o solo. Enquanto na Figura 4(B), respectiva à segunda aplicação, verificou-se os primeiros efeitos do glifosato com a diminuição das ervas daninhas, porém o herbicida não eliminou a cobertura vegetal da área.

Com relação a terceira aplicação (Figura 4C), não foi observada a presença significativa de vegetação, restando apenas a cobertura morta em cima do solo. Na Figura 4(D), data da segunda coleta das amostras de solo é possível notar um cenário mais degradado com relação às outras Figuras (A, B

e C), sendo encontrado um solo recoberto com matéria orgânica proveniente da vegetação morta pelo uso do glifosato.

Na Tabela 1, podemos analisar de forma comparativa os resultados das amostras de solo coletadas.

Tabela 1 – Classificação textural do solo (em g.Kg⁻¹) da área de estudo.

Campanhas	Areia grossa (em g.Kg ⁻¹)	Areia fina (em g.Kg ⁻¹)	Silte (em g.Kg ⁻¹)	Argila (em g.Kg ⁻¹)
C1	129,0	397,0	139,0	335,0
C2	43,0	454,0	232,0	271,0
\bar{x}	86,0	425,5	185,5	303,0
DP	60,8	40,3	65,8	45,3
CV	70,7	9,5	35,5	14,9

Legenda: C1 = Campanha 1; C2 = Campanha 2; \bar{x} = média; DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de Variação.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Conforme observado na Tabela 1, a maior alteração ocorreu na fração de areia grossa, que apresentou 129,0 g.Kg⁻¹ na primeira campanha (C1), representando um percentual de 12,9% dentre as frações granulométricas estimadas na primeira campanha, enquanto a C2 obteve 43 g.Kg⁻¹, com apenas 4,3% das frações da segunda campanha, portanto, a classe textural representada pela areia grossa obteve o maior coeficiente de variação, com 70,7%, e um DP igual 60,8, enquanto o valor médio encontrado para as duas campanhas foi de 86,0 g.Kg⁻¹. O elevado coeficiente de variação obtido para a areia grossa é sugestivo da extinção da vegetação protetora do solo diante do uso do herbicida, propiciando, de acordo com Pereira et al. (2016), tanto a erosão laminar quanto a erosão linear. Portanto, essas erosões podem resultar no alto índice de carreamento das partículas de solo na camada superficial estudada.

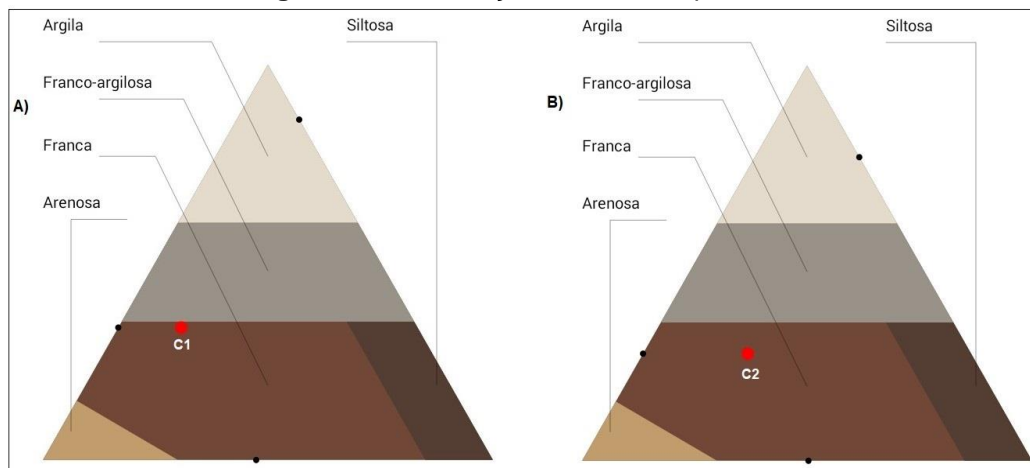
A fração de areia fina apresentou 397,0 g Kg⁻¹ na primeira campanha, representando 39,7% da frações, enquanto a C2 obteve 454,0 g.Kg⁻¹, com 45,4%, portanto, a classe pertencente à areia fina obteve as maiores frações dentre as classes texturais, enquanto o coeficiente de variação entre as duas campanhas foi o menor, com 9,5%, o DP foi de 40,3 e o valor médio entre as campanhas foi de 425,5 g.Kg⁻¹. Enquanto, o silte apresentou 139,0 g.Kg⁻¹, representando 13,9% dentre as classes texturais na C1, enquanto na C2 o valor obtido foi de 232,0 g.Kg⁻¹ (23,2%), com um coeficiente de variação igual a 35,5%, e um DP igual a 65,8, sendo o maior dentre as classes texturais, já que o valor médio das campanhas foi de 185,5 g.Kg⁻¹. Já a argila obteve 335,0

g.Kg^{-1} na C1, correspondendo a 33,5% das classes texturais da primeira campanha, enquanto a C2 obteve $271,0 \text{ g.Kg}^{-1}$, com 27,1% das classes da respectiva campanha. O CV da fração argila foi de 14,9%, o DP foi igual a 45,3 e o valor médio das campanhas foi de $303,0 \text{ g.Kg}^{-1}$.

Os teores de Areia Grossa (Tabela 1) da segunda amostra decresceram 66,7% aproximadamente em relação a primeira amostra, enquanto a Areia Fina da segunda amostra aumentou 14,4% em relação a primeira amostra coletada. Os teores da segunda amostra de Silte aumentaram 66,9% enquanto os teores de Argila diminuíram 19,1% em relação a primeira amostra.

De posse dos valores obtidos na Tabela 1 foi realizada a classificação textural simplificada do solo a partir do diagrama triangular simplificado, segundo a Embrapa (2011) (Figura 3).

Figura 3 - Classificação Textural Simplificada.



Fonte: Elaborado pelos autores através de dados obtidos em Embrapa (2011).

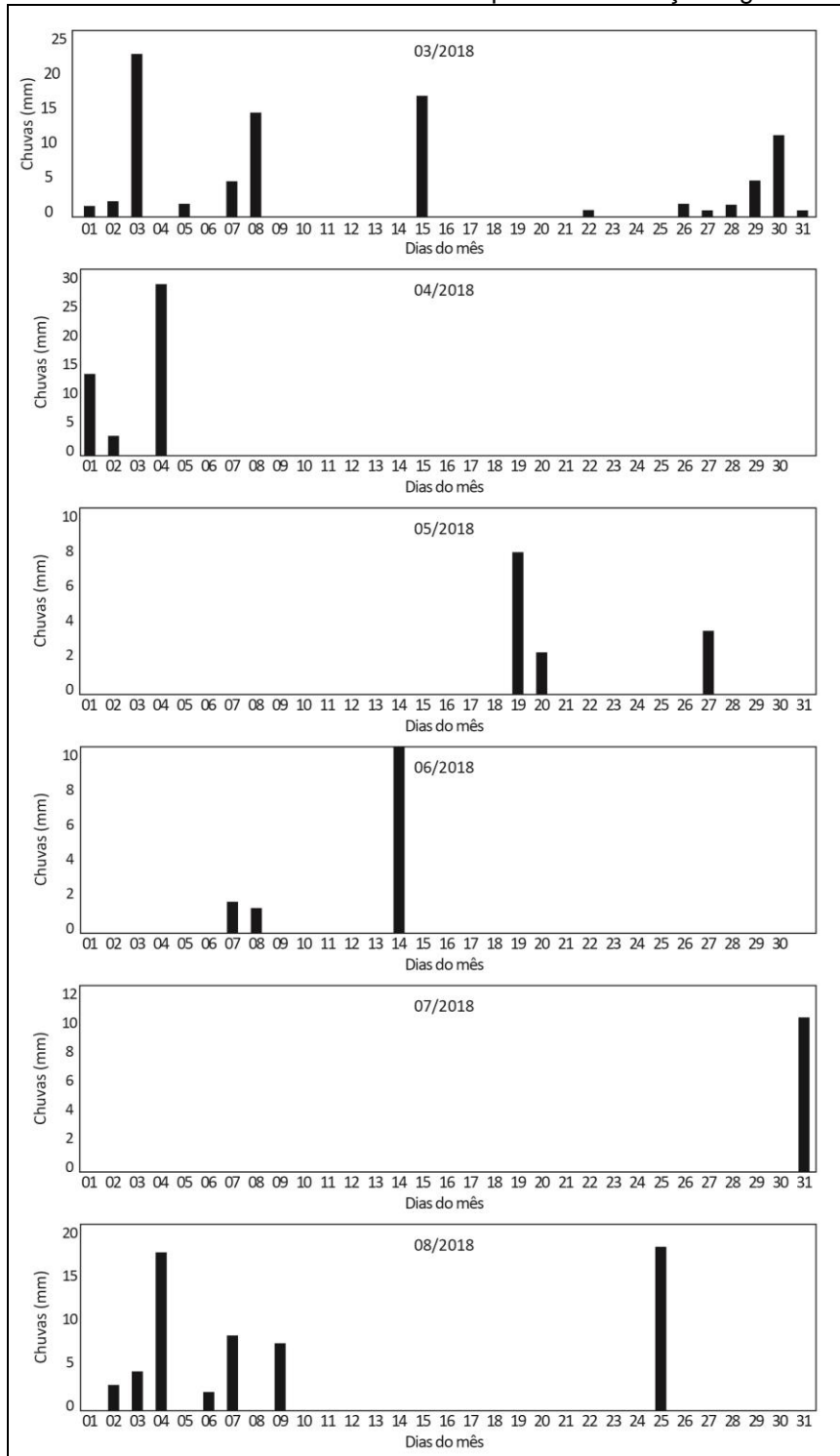
A Figura 3(A) e (B) apresenta a classificação textural simplificada do solo, sendo possível observar uma alteração na fração de areia na C2 Figura 3(B). Essas alterações físicas podem ser atribuídas aos efeitos indiretos do uso do glifosato, no entanto, não houve uma alteração significativa na estrutura do solo, sendo para ambas as coletas, o solo classificado como Franco-arenoso.

Essas alterações são sugestivas do carreamento das partículas de areia pelos eventos de chuvas ocorridos no período de estudo, uma vez que os impactos do uso do glifosato na vegetação deixaram o solo exposto a possíveis processos erosivos na camada superficial. Estudos realizados por Batista et al. (2021) estimaram o fator de erosividade da chuva para o Vale do Ribeira, no

interior do estado de São Paulo, sendo um dos fatores contemplados na Equação Universal da Perda de Solos (EUPS), e evidenciaram que a erosão provocada pelas chuvas aumenta consideravelmente de acordo com as características da cobertura do solo.

Diante da significância da chuva e do seu potencial erosivo, os dados de chuvas durante o período de estudo foram levantados das estações de monitoramento climáticas e seus valores foram dispostos na Figura 4.

Figura 4 - Dados de chuvas obtidos durante o período de março a agosto de 2018.



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2018).

Os valores apresentados na Figura 4 indicam a incidência de chuvas na região de Salto de Pirapora no período em que o estudo foi realizado. As

aplicações de herbicida tiveram início no dia 24 de março; nesse sentido, os períodos que apresentaram dias consecutivos de chuvas foram no final do mês março e no início do mês de agosto, sendo registradas precipitações entre 1 mm e 17 mm, com o maior valor para o mês de abril, com 27 mm, já no mês de julho foram registrados apenas 10 mm.

Os processos erosivos constatados na área de estudo são sugestivos da elevada precipitação ocorrida durante o período de estudo, uma vez que a chuva é considerada o agente principal responsável pela remoção da camada do solo desprovida de vegetação (BATISTA et al., 2021).

Em regiões tropicais, a erosão hídrica é a mais comum, esse processo ocorre em razão do impacto das águas pluviais com o solo desprovido de cobertura vegetal (SIMONETTI et al., 2018). Nesse sentido, o escoamento hídrico superficial após a precipitação carrega as partículas para outra área, modificando assim as características físicas do solo, podendo, ainda, contaminar os corpos hídricos presentes no entorno (SILVA et al., 2016; SIMONETTI; SILVA; ROSA, 2019).

O processo erosivo observado no estudo pode ter sido agravado por conta da decomposição das raízes das plantas presentes na área, uma vez que as raízes das plantas auxiliam na reestruturação do solo e na formação de poros, deixando o solo menos compactado e propício aos processos de carreamento das partículas (MEIRA; SABONARO; SILVA, 2016; PEREIRA et al., 2016; SILVA et al., 2020). Os atributos químicos do solo analisados no estudo foram dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados dos atributos químicos do solo.

Parâmetros	Unidade	C1	C2	Média	DP	CV (%)
pH	CaCl ₂	4,1	4,1	4,1	0	0,0
M.O ⁽¹⁾	g dm ⁻³	21	23	22	1	4,5
P	mg dm ⁻³	7	8	7,5	0,5	6,7
K	mmolc dm ⁻³	3,4	5,2	4,3	0,9	20,9
Ca	mmolc dm ⁻³	14	12	13	1	7,7
Mg	mmolc dm ⁻³	6	5	5,5	0,5	9,1
H+(Al) ⁽²⁾	mmolc dm ⁻³	111	112	111,5	0,5	0,4
Al	mmolc dm ⁻³	10	12	11	1	9,1
S-SO ₄	mg dm ⁻³	8	7	7,5	0,5	6,7
SB ⁽³⁾	mmolc dm ⁻³	23	22	22,5	0,5	2,2
CTC ⁽⁴⁾	mmolc dm ⁻³	134	134	134	0	0,0
V ⁽⁵⁾	%	17	17	17	0	0,0
m ⁽⁶⁾	%	30	35	32,5	2,5	7,7
Cu	mg dm ⁻³	2,2	2,7	2,4	0,2	10,2
Fe	mg dm ⁻³	160	94	127	33	26,0
Mn	mg dm ⁻³	6,1	8,8	7,4	1,3	18,1
Zn	mg dm ⁻³	0,8	2,3	1,5	0,7	48,4

Legenda: (1) M.O = matéria orgânica; (2) H+(Al) = acidez potencial; (3) SB = soma de bases; (4) CTC = capacidade de troca de cátions; (5) V% = saturação por bases; (6) m% = saturação por alumínio.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir da Tabela 2 é possível observar que os solos da área de estudo apresentam elevada acidez, com valores de pH igual a 4,2 tanto para a C1 quanto para a C2. De modo geral, os solos tropicais apresentam um pH baixo, o que pode favorecer à toxidez das plantas por alumínio (MACEDO et al., 2011).

Estudos realizados por Coutinho e Mazo (2005) revelaram que o glifosato, quando em pH < 2 apresenta uma carga positiva, o que favorece sua adsorção com a matéria orgânica e a argila contidas no solo, que apresentam carga negativa. No entanto, em pH > 2,6 o herbicida possui carga zero, e à medida que esse valor aumenta, mais negativas as cargas vão se tornando. Os resultados das frações de argila e matéria orgânica analisadas neste estudo corroboram com os autores, sendo que na primeira campanha, as frações de argila apresentaram um coeficiente de variação (CV) de 14,9% em relação à segunda campanha, enquanto a matéria orgânica apresentou um CV de 4,5%.

Portanto, com a redução da argila, houve um decréscimo da complexação da argila com a M.O.

Os valores da soma de base (SB) (Tabela 2) variaram entre 22 a 23 mmolc dm^{-3} , sendo considerados teores baixos, resultando, conseqüentemente, em uma baixa saturação por bases (V%) com 17% para ambas as campanhas C1 e C2. Nesse sentido, os baixos valores do atributo relacionado à saturação por bases é um indicativo de baixa fertilidade em todo o perfil, visto que a maior parte da capacidade de troca de cátions (CTC) que apresentou valores de 134 mmolc dm^{-3} em ambas as campanhas está ocupada pelo alumínio (Al), com 10 e 12 mmolc dm^{-3} para a C1 e C2, respectivamente.

O zinco (Zn) nas plantas atua na constituição de determinadas enzimas, estando envolvido diretamente com o metabolismo do nitrogênio (N), ou seja, o Zn participa diretamente dos processos de fotossíntese, respiração, controle hormonal e na síntese de proteínas e aminoácidos. Sendo assim, um nutriente de extrema importância para a sobrevivência das plantas (TEIXEIRA et al., 2005).

Na análise de solo realizada após as aplicações, o Zn indicou uma variação de 48,4% com relação as amostras coletadas antes das aplicações de glifosato. O incremento de Zn no solo é sugestivo da ausência da vegetação que absorvia parte do zinco presente no solo para sua nutrição.

Estudos realizados por Serra et al. (2011) avaliaram a influência do glifosato na eficiência nutricional em uma espécie de soja resistente ao herbicida. Entre os parâmetros químicos analisados pelos autores estavam os Zn, Mn, Cu e Fe. De modo geral, foi identificado um decréscimo da produção de massa seca e número de nodos das plantas. Os autores sugerem que esses resultados podem ser provenientes da redução da fotossíntese diante da aplicação do glifosato.

Os parâmetros referentes ao Fe apresentaram uma variação de 22%, com uma diminuição de 66 mg dm^{-3} da primeira para a segunda amostra. Com o perecimento das plantas o solo ficou desprotegido e propenso a sofrer os efeitos da lixiviação proveniente das chuvas que ocorreram no período dos testes. Nesse sentido, esse processo de lixiviação é responsável pelo

transporte dos nutrientes da camada superficial do solo para camadas mais profundas, onde as amostras coletadas de 0-20 cm não atingiram.

De modo geral, as alterações nos parâmetros químicos do solo são sugestivas da lixiviação ocasionada pelos episódios de precipitação local. No entanto, são necessários estudos que contemplem uma maior diversidade de solos, visto que as particularidades destes podem afetar de diferentes maneiras a dinâmica dos atributos analisados. Também são recomendados estudos com intervalos maiores de tempo, contemplando as diferentes sazonalidades que podem influenciar amplamente nas características dos solos de clima tropical.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados das análises de solo realizadas antes e depois das aplicações de glifosato não foram constatadas alterações significativas nos atributos químicos do solo da área de estudo. No entanto, os parâmetros referentes ao Fe, Zn bem como os parâmetros físicos relacionados à textura do solo apresentaram as alterações mais significativas.

Essas alterações físicas são sugestivas da extinção da vegetação protetora da camada superficial do solo, por conta da decomposição da cobertura vegetal. Desta forma, o solo ficou propenso aos impactos causados por processos erosivos provenientes das chuvas que ocorreram durante o período do estudo.

Quanto às alterações dos atributos químicos do solo, estas podem ser resultantes da ausência de vegetação que é essencial para a manutenção do ciclo e equilíbrio dos nutrientes no solo. Por fim, conclui-se que o uso do glifosato potássico não apresentou alterações significativas quanto à qualidade nutricional do solo.

REFERÊNCIAS

ALBERGONI, L.; PELAEZ, V. Da Revolução Verde à agrobiotecnologia: ruptura ou continuidade de paradigmas?. **Revista de Economia**, v. 33, n. 1, p. 31-53, 2007. Doi: <http://dx.doi.org/10.5380/re.v33i1.8546>.

BATISTA, R. A. W.; NERY, L. M.; MATUS, G. N.; SIMONETTI, V. C.; SILVA, D. C. C. Estimativa do fator de erosividade do solo da região do Vale do Ribeira Paulista, Brasil. **Formação (Online)**, v. 28, n. 53, 2021. Doi: <https://doi.org/10.33081/formacao.v28i53.8015>

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas, Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 2009. (Boletim técnico, 106, Edição revista e atualizada).

COUTINHO, C. F. B.; MAZO, L. H. Complexos metálicos com o herbicida glifosato: revisão. **Química Nova**, v. 28, n. 6, p. 1038, 2005.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análises de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2011. p. 230.

GODOY, S. G.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. B.; COBUCCI, T.; LACERDA, M. C. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo impactado por cultivos sucessivos de arroz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 12, p. 1278-1285, 2013.

MACEDO, F. L.; PEDRA, W. N.; SILVA, S. A.; BARRETO, M. C. V.; SILVA-MANN, R. Efeito do alumínio em plantas de Pinhão-Manso (*Jatropha curcas* L.), cultivadas em solução nutritiva. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 1, p. 157-163, 2011.

MEIRA, R. T.; SABONARO, D. Z.; SILVA, D. C. C. Elaboração de mapa de adequabilidade ambiental de uma pequena propriedade rural no município de São Miguel Arcanjo/SP, utilizando técnicas de geoprocessamento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 77-84, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-41520201600100133687>.

MORAES, P. V. D.; ROSSI, P. Comportamento ambiental do glifosato. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 9, n. 3, p. 22-35, 2010. Doi: <https://doi.org/10.18188/sap.v9i3.5258>

OCTAVIANO, C. Muito além da tecnologia: os impactos da Revolução Verde. **ComCiência**, n. 120, 2010.

OLIVEIRA, E. D.; SILVA, F. M.; SOUZA, Z. M.; FIGUEIRADO, C. A. P. Influência da colheita mecanizada na produção cafeeira. **Ciência Rural**, v. 37, n. 5, p. 1466-1470. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000500041>.

PEREIRA, A. P.; FINCO, D.; NORA, T. J.; OMIZZOLLO, R.; SORDI, A.; KLEIN, C. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 4, p. 120-129, 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.19084/RCA17065>.

PEREIRA, S. L.; RODRIGUES, A. M.; JORGE, M. C. O.; GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A. Processos hidro-erosivos em solos degradados em relevo de baixa declividade. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 2, p. 299-316, 2016. Doi: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v17i2.877>.

RABELLO, W. S.; MONNERAT, P. H.; CAMPANHARO, M.; RIBEIRO, G.; VASCONCELOS JUNIOR, J. F. S. Produção de massa seca e teores de nutrientes do feijoeiro comum submetido à deriva de *glyphosate* em duas classes de solo. **Revista Ceres**, v. 62, n. 4, p. 384-391, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562040008>.

SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; CANDIDO, A. C. S.; DIAS, A. C. R.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Influência do glifosato na eficiência nutricional do nitrogênio, manganês, ferro, cobre e zinco em soja resistente ao glifosato. **Ciência Rural**, v. 41, n. 1, p. 77-84, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011000100013>

STEINRÜCKEN, H. C.; AMRHEIN, N. The herbicide glyphosate is a potent inhibitor of 5-enolpyruvyl shikimic acid-2-phosphate synthetase. **Biochemistry and Biophysical Research Commun**, v. 94, p. 1207-1212, 1980. Doi: [https://doi.org/10.1016/0006-291x\(80\)90547-1](https://doi.org/10.1016/0006-291x(80)90547-1).

SILVA, D. C. C.; SALES, J. C. A.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; LOURENÇO, R. W. Caracterização morfométrica e suas implicações no acúmulo de sedimentos em reservatórios: o caso da Represa Hedberg, Iperó/SP. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 36, p. 225-247, 2016. Doi: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v36i0.42324>.

SILVA, D. M.; GRANDINE, G.; SIMONETTI, V. C.; SILVA, D. C. C. Análise espacial da cobertura vegetal no centro urbano do município de Salto de Pirapora (SP). **Caminhos de Geografia**, v. 19, n. 68, p. 361-371, 2018. Doi: <https://doi.org/10.14393/RCG196824>

SILVA, D. C. C.; SALES, J. C. A.; SIMONETTI, V. C.; LOURENÇO, R. W. Análise espacial do custo de reposição de nutrientes do solo em uma bacia hidrográfica. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 1, p. 189-212, 2020. Doi: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2020v13n1p189-212>

SIMONETTI, V. C.; SILVA, D. C. C.; OLIVEIRA, R. A.; SABONARO, D. Z.; ROSA, A. H. Análise da suscetibilidade do solo a processos erosivos do Parque Natural Municipal Corredores de Biodiversidade (PNMCBIO) de Sorocaba (SP). **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 44, p. 169-180, 2018. Doi: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v44i0.48838>.

SIMONETTI, V. C.; FRASCARELI, D.; GONTIJO, E. S.; MELO, D. S.; FRIESE, K., SILVA, D. C.; ROSA, A. H. Water quality indices as a tool for evaluating water quality and effects of land use in a tropical catchment. **International Journal of River Basin Management**, p. 1-12, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1080/15715124.2019.1672706>

TEIXEIRA, I. R.; BORÉM, A.; ARAÚJO, G. A. A.; ANDRADE, M. J. B. Teores de nutrientes e qualidade fisiológica de sementes de feijão em resposta à adubação foliar com manganês e zinco. **Bragantia**, v. 64, n. 1, p. 83-88, 2005. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052005000100009>.

TEIXEIRA, S. S.; MACHADO, A. L. T.; REIS, A. V.; OLDONI, A. Caracterização da produção agroecológica do sul do Rio Grande do Sul e sua relação com a mecanização agrícola. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 1, p. 162-171, 2009. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162009000100016>.

VERA, M. S.; DI FIORI, E.; LAGOMARSINO, L.; SINISTRO, R.; ESCARAY, R.; IUMMATO, M. M.; JUÁREZ, A.; MOLINA, M. C. R.; TELL, G.; PIZARRO, H. Direct and indirect effects of the glyphosate formulation Glifosato Atanor® on freshwater microbial communities. **Ecotoxicology**, v. 21, n. 7, p. 1805-1816, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10646-012-0915-2>.

VIDAL, R. A.; PAGNONCELLI JÚNIOR, F.; FIPKE, M. V.; QUEIROZ, A. R. S.; BITTENCOURT, H. V. H.; TREZZI, M. M, Fatores ambientais que afetam a eficácia de glifosato: Síntese do conhecimento. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 24, p. 43-52, 2014.

ZILLI, J. E.; BOTELHO, G. R.; NEVES, M. C. P.; RUMJANEK, N. G. Efeito de glyphosate e imazaquin na comunidade bacteriana do rizoplano de soja (*Glycine max (L.) Merrill*) e em características microbiológicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 633-642, 2008. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000200018>.

Enviado em: 15/06/2020

Aceito em: 07/06/2021

Editor Chefe: Prof. Dr. Everaldo dos Santos