

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Efeito de diferentes larguras de mata ciliar na interceptação de sedimentos
provenientes das áreas agrícolas do entorno**

Isabela Mello da Silva

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em
Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de
Plantas

**Piracicaba
2021**

Isabela Mello da Silva
Engenheira Agrônoma

**Efeito de diferentes larguras de mata ciliar na interceptação de sedimentos
provenientes das áreas agrícolas do entorno**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **MIGUEL COOPER**

Tese apresentada para obtenção do título Doutora em
Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de
Plantas

Piracicaba
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Silva, Isabela Mello da

Efeito de diferentes larguras de mata ciliar na interceptação de sedimentos provenientes das áreas agrícolas do entorno / Isabela Mello da Silva. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2021.

155 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Erosão do solo 2. Sedimentação 3. Área de preservação permanente I.
Título

AGRADECIMENTOS

Agradeço incondicionalmente à minha família, meus pais Paulo e Elzanira Moreira, irmãos Ludmila e Vinicius Mello e cunhados Charlyne Paz e Lucas Dias pelo amor, pelo apoio e incentivo, sem os quais nada disso seria possível.

Ao professor e orientador Miguel Cooper pelas instruções, esclarecimentos e todo o suporte.

Agradeço a todos os envolvidos que iniciaram esta pesquisa antes de mim em trabalhos de campo e laboratório especialmente à Raquel Boschi e Matheus Ortega.

Aos meus amigos que levarei pra vida Hermano Melo, Douglas Viana, Aline Martini, Gustavo Valani, Samuel de Paula, Amanda Duim, Danilo Romero e Elves Barreto pelos eventuais auxílios e principalmente pela amizade, convívio diário, apoio, companheirismo e inúmeros momentos de descontração.

À Juliana Costa pela confiança, amizade, amparo e toda a solicitude em me ouvir sempre que foi necessário.

Aos amigos de outras vidas Dhely, Cacá, Carol, Fred, Jecino, Alba, Carlos e Cecília por me acompanharem durante esta etapa da vida e por me servirem de inspiração.

Aos técnicos do laboratório Chiquinho e Sonia Moraes pelo auxílio. Obrigada Soninha pela amizade e pelas conversas.

Ao motorista Dorival Grisotto e estagiário Felipe Gomes pela parceria durante as viagens de campo.

Ao Programa de Pós Graduação em Solos e Nutrição de Plantas.

À todos os integrantes do grupo Cooper Trupe.

Às usinas São Manoel e São João por conceder o espaço destinado à esta pesquisa.

À coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
1. INTRODUÇÃO	7
Referências	10
2. O PROCESSO EROSIVO E A DINÂMICA DE SEDIMENTOS EM MATA CILIARES	15
RESUMO	15
ABSTRACT	15
2.1. Introdução	16
2.2. Material e métodos	17
2.3. Resultados	22
2.4. Discussão	80
2.5. Conclusão	87
Referências	88
3. CARACTERIZAÇÃO E PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE SEDIMENTOS EM ÁREA DE MATA CILIAR	93
RESUMO	93
ABSTRACT	93
3.1. INTRODUÇÃO	94
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	95
3.3. RESULTADOS	101
3.4. DISCUSSÃO	138
3.5. CONCLUSÃO	144
Referências	145
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	149
APÊNDICES	151

RESUMO

Efeito de diferentes larguras de mata ciliar na interceptação de sedimentos das áreas agrícolas do entorno

A expansão das áreas agrícolas associado a ausência de práticas conservacionistas contribuem para a ocorrência de processos erosivos. Um dos principais agentes erosivos é a água da chuva, sendo este dependente da intensidade das chuvas e do manejo do solo. Uma das formas de minimizar os impactos ambientais ocasionados pela erosão é pela presença das matas ciliares. A mata ciliar exerce função de corredor ecológico, proteção contra erosão e filtro de poluentes, sendo reconhecida pela legislação como Área de Preservação Permanente (APP) de supressão proibida e proteção e recuperação obrigatória com base no tamanho do curso d'água. O objetivo desta pesquisa foi analisar o processo erosivo e a taxa de deposição de sedimentos em diferentes larguras de mata ciliar (15 e 30 m), visando fundamentar as discussões acerca da largura mais adequada para as matas ciliares a fim de garantir a retenção de sedimentos em áreas agrícolas. Realizou-se análises exploratória e visual por meio de tradagens e abertura de trincheiras em duas áreas com texturas contrastantes, posteriormente análise morfológica nas trincheiras e coleta de amostras para análises químicas, físicas, micromorfométricas e micromorfológicas. Realizou-se o monitoramento do processo erosivo observado à montante da mata ciliar a partir da instalação de pinos na borda da mata e em seu interior. Determinou-se a velocidade de sedimentação por meio de tradagens até o alcance do horizonte A enterrado que foi identificado pela morfologia. Concomitante a isso, determinou-se a intensidade, frequência e distribuição das chuvas. O padrão de chuvas observados especialmente os eventos extremos ocasionaram as maiores erosões e acúmulos de sedimentos. A distribuição dos sedimentos revelou a ocorrência de deposição em mais de um evento erosivo. A caracterização da distribuição dos sedimentos apontou a ocorrência de diferentes ciclos de sedimentação na USM o que resultou em diferentes padrões de deposição laminar, de baixa energia e com estratificações uniformes. A deposição de sedimentos ocorreu por toda a área de avaliação da mata com 15 e 30 m do primeiro ao último pino localizado ao final da mata, principalmente nas localidades que continham voçorocas, voçorocas efêmeras e sulcos erosivos, indicando que o alcance do sedimento ultrapassa a largura da mata ciliar sobretudo nas áreas arenosas. As matas ciliares com larguras estabelecidas pela legislação não foram eficazes em interceptar os sedimentos oriundos das áreas agrícolas.

Palavras-chave: Erosão do solo, Sedimentação, Área de preservação permanente

ABSTRACT

Effect of different riparian forest widths in intercepting sediments from surrounding agricultural areas

The expansion of agricultural areas associated with the absence of conservation practices contributes to the occurrence of erosional processes. One of the main agents of erosion is rainwater, which depend upon both the rainfall intensity and soil management. One approach to minimize the environmental impacts caused by erosion is to maintain riparian forests. The riparian forest acts as an wildlife corridor, provides protection against erosion and filters pollutants, it is recognized by law as a Permanent Preservation Area (APP), in which suppression is prohibited, and protection and recovery is mandatory, based on the watercourse width. The objective of this research was to analyze the erosional process and the sediment deposition rate in different widths of riparian forest (15 and 30 m) in order to support the discussions about the most suitable width for riparian forests to guarantee sediment retention in agricultural areas. Exploratory and visual analyzes were carried out in the soil by means of auger sampling and soil pits in two areas with contrasting textures, with further morphological analysis in the pits and sampling the soil for chemical, physical, micromorphometric and micromorphological analysis. The monitoring of erosional process in the riparian forest was carried out through the installation of erosion pins around and within the forest. The sedimentation rate was determined by means of auger sampling until reaching the buried A horizon, which was identified by its morphology. Simultaneously, the intensity, frequency and distribution of rainfall were determined. The rainfall patterns observed during extreme events caused the greatest erosion and sediment accumulation. The sediment distribution revealed that deposition occurred in more than one erosional event. The characterization of the sediment distribution indicated the occurrence of different sedimentation cycles in the USM, which resulted in different patterns of laminar deposition, of low energy and with uniform stratifications. Sediment deposition occurred throughout the forest assessment area with 15 and 30 m from the first to the last pin located at the end of the forest, mainly in locations that contained gullies, ephemeral gullies and erosive ridges, indicating that the sediment reach exceeds the riparian forest width especially in sandy areas. The riparian forests with widths established by the legislation were not effective in intercepting sediments from agricultural areas.

Keywords: Soil erosion, Sedimentation, Permanent preservation area

1. INTRODUÇÃO

As matas ciliares são florestas localizadas nas proximidades dos cursos d'água e asseguram forte atuação sobre a qualidade da água nas bacias hidrográficas (Valera et al., 2019). São classificadas como áreas de preservação permanente devido a sua função ecossistêmica já estabelecida na redução da carga de nutrientes e sedimentos, pela sua arborização ribeirinha quando usado como um componente da área agrícola (Newbold et al., 2010). Dentre as suas funções agem como filtros, corredores ecológicos e atuam na regulação dos fluxos superficiais (Gumiere et al., 2013; Oliveira et al., 2010; Pires et al., 2009) além de proteger os cursos d'água adjacentes na redução da erosão e interceptação de sedimentos oriundos das áreas agrícolas, onde as alterações físicas e químicas do solo pelo manejo e pelo uso de fertilizantes são frequentes (Salemi et al., 2016).

Estudos apontam a relação entre a largura das matas ciliares e a sua efetividade em reter sedimentos (Gumiere et al., 2011). A retenção dos sedimentos nas matas e a sua função em filtrar os sedimentos oriundos do escoamento superficial dependem da disposição hidrológica dos cursos d'água, dos cordões vegetativos, das áreas agrícolas do entorno, do declive do terreno e do escoamento da água (Novoa et al., 2018).

No Brasil a manutenção e recuperação dessas áreas são obrigatórias e protegidas por Lei (Código Florestal Brasileiro), e a sua largura é definida com base na largura do curso d'água objetivando assegurar a sua conservação. No entanto tem-se discutido a efetividade dessas medidas na definição da extensão das áreas de mata ciliar. Ao avaliar a distribuição de sedimentos depositados em floresta ripária, Momoli et al. (2007) verificaram que 30 m de largura não foram suficientes para reter todo o sedimento. Em estudos de estimativa da produção de sedimentos oriundos de processos erosivos, Momoli e Cooper, (2016) observaram camadas espessas de sedimentos que comprometem a função ecológica da mata ciliar. Sparovek et al. (2002) reiteram que o processo de decisão da largura é quantitativo e que diferentes larguras possam ser necessárias de acordo com as condições locais. Se faz necessário portanto avaliar as características específicas de cada bacia hidrográfica para a definição da largura mínima das matas ciliares (Santos e Sparovek, 2011).

As alterações na área da mata ciliar podem ocasionar mudanças na sua função de interceptação e também nas propriedades hidráulicas do solo possibilitando a ocorrência de erosão com grande aporte de sedimentos (Puntenney-Desmond et al., 2020). Outro fator que contribui para o aumento da sedimentação é a erosividade da chuva, visto que a precipitação é um importante agente erosivo, o impacto das gotas de chuva provoca aumento na quantidade

de partículas desprendidas, transportadas e depositadas (Panagos et al., 2015). Os eventos extremos de precipitação sobretudo os de alta intensidade e curta duração costumam ser os mais erosivos (Liu et al., 2018).

A consequência desse acúmulo de sedimentos ocasionados pela erosão é a contaminação dos cursos d'água, afetando a biota aquática, o assoreamento dos rios e com isso o aumento da turbidez da água, entre outras consequências (Bovi et al., 2017; Vigiak et al., 2016; Boardman, 2015; Santos e Sparovek, 2011; Nunes e Cassol, 2011). Dessa forma, a previsibilidade e análise da erosão do solo é altamente significativo para o monitoramento da erosão do solo e deposição de sedimentos (Liu et al., 2018).

Os atributos do solo que afetam o processo de erosão são a textura, estrutura, teor de matéria orgânica, e as condições hidráulicas do solo. As características dos sedimentos, especialmente quanto ao seu tamanho, dependem da energia do processo erosivo e dos atributos do solo, influenciando diretamente a sua dinâmica e transporte (Wu et al., 2020). As diferenças nas características dos sedimentos irão variar de acordo com o processo erosivo atuante que irá determinar o processo de separação do solo em diferentes frações erodidas e a maneira como essas frações são transportadas pelo fluxo (Ding e Huang, 2017) contribuindo para uma percepção sobre o mecanismo de transporte do sedimento e a seletividade desses sedimentos durante o processo de erosão (Zhang et al., 2020).

A dispersão das partículas de argila ou a ruptura dos agregados contribuem para o aumento do escoamento superficial e o potencial de erosão do solo (Parwada e Van Tol, 2017). No entanto, algumas pesquisas revelaram maior quantidade de sedimento erodido em forma de agregados e não unicamente em partículas primárias (Phillips e Walling, 1999; Martínez-Mena et al., 1999; Hao et al., 2016). A avaliação dos sedimentos sob condição de chuva natural é importante pois mostra a situação real sobre a dinâmica e o tamanho das partículas que compõem o sedimento considerando-se que a intensidade da chuva, duração e o diâmetro da gota pode ser alterado a qualquer momento (Hao et al., 2016).

A velocidade de sedimentação está associado a distribuição do tamanho de partículas e a sua capacidade em ser transportado a longas ou curtas distâncias (Grangeon et al., 2014). Em estudos sobre as características da distribuição espacial da erosão e deposição de sedimentos, os pesquisadores observaram forte relação entre a granulometria dos solos estudados com a intensidade da erosão na distribuição e variação espaço-temporal da concentração e deposição de sedimentos e destacam a importância de se avaliar a intensidade e duração da chuva, o tipo de solo e de erosão em pesquisas sobre erosão do solo (Quan et al., 2020).

A variação espacial do sedimento também está relacionada à classificação das partículas quanto ao tamanho analisados estatisticamente seguindo os parâmetros Falk e Ward (1957) podendo ser usados para compreender o padrão de transporte e deposição dos sedimentos, que inclui também os padrões de energia e a velocidade de sedimentação (McLaren e Bowles, 1985; Plomaritis et al., 2008). Ao avaliar a velocidade de sedimentação e suas características, Rose et al. (2015) ressaltam que o sedimento transportado é bastante influenciado pelas condições hidráulicas do solo como tensão de cisalhamento e energia de fluxo, e que em muitos casos o sedimento não é proveniente do material de origem local e isso está relacionado ao tamanho da bacia hidrográfica e da proximidade das fontes de sedimentos. Quando a velocidade de sedimentação, Xiao et al. (2015) verificaram um padrão de distribuição heterogêneo dos sedimentos e uma redução gradativa da velocidade de sedimentação à medida que a energia cinética da gota da chuva aumentava.

Outro fator que influencia o processo erosivo é o arranjo poroso do solo especialmente quanto ao tamanho, a forma e a continuidade dos poros por desempenharem a função de infiltrar e reter a água da chuva, entre outras funções, conseqüentemente contribuem para a regulação da erosão do solo (Hao et al., 2020). O manejo e uso do solo influenciam diretamente a rede de poros, os usos agrícolas prejudicam o sistema poroso enquanto os solos sob floresta desempenham melhoram a porosidade especialmente pelo aumento de macroporos através da biota do solo (Dlapa et al., 2020). A erosão ocorre pelo fluxo de água em elevada velocidade na superfície do solo causando a tensão de cisalhamento, este por sua vez está relacionado ao volume de poros, a textura e ao grau de compactação (Van Damme, 2020).

Um parâmetro sedimentológico pouco utilizado é a micromorfologia que auxilia na compreensão da forma e do ambiente deposicional (Bovi et al., 2017) e também no padrão de distribuição dos sedimentos, que pode ocorrer através de um fluxo de água de alta energia e turbulento ocasionando um padrão de deposição desigual e irregular ou um fluxo de baixa energia e laminar resultando em um padrão deposicional uniforme e regular (Momoli et al., 2007).

Perante o exposto, a presente pesquisa baseia-se nas seguintes hipóteses: 1) as áreas de mata ciliar restauradas a 5, 6 e 12 anos são áreas de acúmulo de sedimentos oriundos de processos erosivos; 2) a ocorrência de processos erosivos concentrados à montante da mata ciliar aumenta a deposição de sedimentos e interfere no padrão de deposição (laminar ou turbulento) dentro da mata ciliar; 3) a retenção de sedimentos aumenta com o aumento da largura da mata ciliar; 4) a definição de uma largura de mata ciliar com base na largura do curso d'água não é a maneira mais adequada para garantir a retenção de sedimentos.

Neste contexto, o objetivo geral é analisar o processo erosivo e a taxa de deposição de sedimentos visando fundamentar as discussões acerca da largura mais adequada para as matas ciliares a fim de garantir a retenção de sedimentos em áreas agrícolas.

E os objetivos específicos são: 1) avaliar a dinâmica do processo erosivo nas áreas agrícolas e mata ciliar de restauração implantada a 5, 6 e 12 anos atrás; 2) caracterizar a distribuição e espessura dos sedimentos transportados das áreas agrícolas e depositados na mata ciliar; 3) Caracterizar a morfologia e granulometria dos sedimentos na mata ciliar.

Para a obtenção das respostas dos seguintes questionamentos, esta pesquisa foi dividida em dois capítulos.

Capítulo 2: aborda a origem e a dinâmica da deposição de sedimentos nas matas ciliares;

Capítulo 3: aborda o processo de sedimentação em área de mata ciliar através de análises de parâmetros sedimentológicos.

REFERÊNCIAS

- Boardman, J., 2015. Extreme rainfall and its impact on cultivated landscape with particular reference to Britain. *Earth Surf Process Landf.* 40, 2121-2130. <http://doi:10.1002/esp.3792>
- Bovi, R.C., Silva, L.F.S., Zenero, M.D.O., Carvalho, C.C., Cooper, M., 2017. Sediment morphology, distribution and recent transport dynamics in a reforested fragment. *R Bras Ci Solo.* 41, 1-16. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20160454>
- Ding, W., Huang, C., 2017. Effects of soil surface roughness on interrill erosion processes and sediment particle size distribution. *Geomorphology.* 295, 801-810. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.08.033>
- Dlapa, P., Hriník, D., Hrabovsky, A., Simkovic, I., Zarnovican, H., Sekucia, F., Kollar, J., 2020. The impact of land-use on the hierarchical pore size distribution and water retention properties in loamy soils. *Water.* 12, 339. doi:10.3390/w12020339
- Folk, R.L., Ward, W.C., 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *J Sediment Res.* 27.
- Grangeon, T., Droppo, I.G., Legout, C., Esteves, M., 2014. From soil aggregates to riverine flocs: a laboratory experiment assessing the respective effects of soil type and flow shear stress on particles characteristics. *Hydrol Process.* 28, 4141-4155. doi: 10.1002/hyp.9929
- Gumiere, S.J., Le Bissonais, Y., Raclot, D., Cheviron, B., 2011. Vegetated filter effects on sedimentological connectivity of agricultural catchments in erosion modelling: A review. *Earth Surf. Process. Landforms.* 36, 3-19. doi: 10.1002/esp.2042

- Gumiere, S.J., Rousseau, A.N., Hallema, D.W., Isabelle, P.E., 2013. Development of VFDM: a riparian vegetated filter dimensioning model for agricultural watersheds. *Can Water Resour J.* 38, (3), 169-184. <http://dx.doi.org/10.1080/07011784.2013.830372>
- Hao, Y., Yang, Y., Liu, B., Liu, Y., Gao, X., Guo, Q., 2016. Size characteristics of sediments eroded from three soils in China under natural rainfall. *J Soils Sediments.* 16, 2153-2165. doi 10.1007/s11368-016-1424-3
- Hao, H.X., Wei, Y.J., Cao, D.N., Guo, Z.L., Shi, Z.H., 2020. Vegetation restoration and fine roots promote soil infiltrability in heavy textured soils. *Soil Till Res.* 198, 104542. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104542>
- Liu, S., Huang, S., Xie, Y., Leng, G., Huang, Q., Wang, L., Xue, Q., 2018. Spatial-temporal changes of rainfall erosivity in the loess plateau, China: changing patterns, causes and implications. *Catena.* 166, 279-289. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.04.015>
- Martínez-Mena, M., Alvarez Rogel, J., Albaladejo, J., Castillo, V.M., 1999. Influence of vegetal cover on sediment particle size distribution in natural rainfall conditions in a semiarid environment. *Catena.* 38, 175–190. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(99\)00073-9](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00073-9)
- McLaren, P., Bowles, D., 1985. The effects of sediment transport on grain-size distributions. *J Sediment Petrol.* 55, (4) 457-470.
- Momoli, R.S., Cooper, M., Castilho, S.C.P., 2007. Sediment morphology and distribution in a restored riparian forest. *Sci Agric.* 64 (5), 486-494. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162007000500006>
- Momoli, R.S., Cooper, M., 2016. Erosão hídrica em solos cultivados e sob mata ciliar. *Pesqui Agropecu Bras.* 51, 1295-1305. <http://doi:10.1590/s0100-204x2016000900029>.
- Newbold, J.D., Herbert, S., Sweeney, B.W., Kiry, P., Alberts, S.J., 2010. Water quality functions of a 15 year old riparian forest buffer system. *J Am Water Resour As.* 46, 299-310. doi: 10.1111/j.1752-1688.2010.00421.x
- Novoa, J., Chokmani, K., Lhissou, R., 2018. A novel index for assessment of riparian strip efficiency in agricultural landscapes using high spatial resolution satellite imagery. *Sci Total Environ.* 664, 1439-1451. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.069>
- Nunes, M.C.M., Cassol, E.A., 2011. Produção de sedimentos pela erosão em entressulcos três Latossolos do Rio Grande do Sul. *R Bras Eng Agric Ambiental.* 15 (6), 541-547. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000600001>
- Oliveira, C.A., Kiemann, H.J., Correchel, V., Santos, F.C.V., 2010. Avaliação da retenção de sedimentos pela vegetação ripária pela caracterização morfológica e físico-química do solo.

- Rev Bras Eng Agríc Ambient. 14, 1281-1287. <http://doi://10.1590/S1415-43662010001200005>
- Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., Tadic, M.P., Michaelides, S., Hrabalíková, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymaszewicz, A., Domitrescu, A., Begueria, S., Alewell, C., 2015. Rainfall erosivity in Europe. *Sci Total Environ.* 515, 801-814. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.008>
- Parwada, C., Van Tol, J., 2017. Soil properties influencing erodibility of soils in the Ntabelanga area, Eastern Cape Province, South Africa. *Acta Agr Scand B-S P.* 67, 67-76. <http://dx.doi.org/10.1080/09064710.2016.1220614>
- Phillips, J.M., Walling, D.E., 1999. The particle size characteristics of finegrained channel deposits in the River Exe Basin, Devon, UK. *Hydrol Proc.* 13, 1–19. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(199901\)13:1<1::AID-HYP674>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(199901)13:1<1::AID-HYP674>3.0.CO;2-C)
- Pires, L.F., Bacchi, O.O.S., Correchel, V., Reichardt, C., Filipe, J., 2009. Riparian forest potential to retain sediment and carbon evaluated by the ¹³⁷Cs fallout and carbon isotopic ratio techniques. *An Acad Bras Cienc.* 81 (2), 271-279. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652009000200013>
- Plomaritis, T.A., Paphitis, D., Colins, M., 2008. The use of grain size trend analysis in macrotidal areas with breakwaters: Implications of settling velocity and spatial sampling density. *Mar Geo.* 253, 132-148. doi:10.1016/j.margeo.2008.05.003
- Puntenney-Desmond, K.C., Bladon, K.D., Silins, U., 2020. Runoff and sediment production from harvested hillslopes and the riparian area during high intensity rainfall events. *J Hydrol.* 582, 124452. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124452>
- Quan, X., He, J., Cai, Q., Sun, L., Li, X., Wang, S., 2020. Soil erosion and deposition characteristics of slope surfaces for two loess soils using indoor simulated rainfall experimente. *Soil Till Res.* 204, 104714. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104714>
- Rose, C.W., Shellberg, J.G., Brooks, A.P., 2015. Modelling suspended sediment concentration and load in a transport-limited alluvial gully in northern Queensland, Australia. *Earth Surf Process Landforms.* 40, 1291-1303. doi: 10.1002/esp.3720
- Salemi, L.F., Lins, S.R.M., Ravagnani, E.C., Magioli, M., Martinez, M.G., Guerra, F., Vidas, N.B., Fransozi, A., Ferraz, S.F.B., Martinelli, L.A., 2016. Past and present land use influences on tropical riparian zones: an isotopic assessment with implications for riparian forest width determination. *Biota Neotrop.* 16, e20150133. <http://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2015-0133>

- Santos, D.S., Sparovek, G., 2011. Retenção de sedimentos removidos de área de lavoura pela mata ciliar, em Goiatuba (GO). *R Bras Ci Solo*. 35, 1811-1818. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000500035>
- Sparovek, G., Raniere, S.B.L., Gassner, A., De Maria, I.C., Schnug, E., Santos, R.F., Joubert, A., 2002. A conceptual framework for the definition of the optimal width of riparian forests. *Agr Ecosyst Environ*. 90, 169-175. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00195-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00195-5)
- Valera, C.A., Pissara, T.C.T., Martin Filho, M.V., Valle Júnior, R.F., Oliveira, C.F., Moura, J.P., Fernandes, L.F.S., Pacheco, F.A.L., 2019. The buffer capacity of riparian vegetation to control water quality in anthropogenic catchments from a legally protected area: a critical view over the brazilian new forest code. *Water*. 11, 549. doi:10.3390/w11030549
- Van Damme, M., 2020. Detachment of dilatant soil due to high hydraulic shear stresses explained. *J Hydraul Res*. 1814-2079. <https://doi.org/10.1080/00221686.2020.1714758>
- Vigiak, O., Malagó, A., Bouraoui, F., Grizzetti, B., Weissteiner, C.J., Pastori, M., 2016. Impact of current riparian land on sediment retention in the Danube River Basin. Sustainability of water quality and ecology. 8, 30-48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.swaqe.2016.08.001>
- Xiao, L., Hu, Y., Greenwood, P., Kuhn, N.J., 2015. A combined raindrop aggregate destruction test-settling tube (RADT-ST) approach to identify the settling velocity of Sediment. *Hydrology*. 2, 176-192. doi:10.3390/hydrology2040176
- Wu, X., Wei, Y., Cai, C., Yuan, Z., Liao, Y., Li, D., 2020. Effects of erosion-induced land degradation on effective sediment size characteristics in sheet erosion. *Catena*. 195, 104843. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104843>
- Zhang, P., Yao, W., Liu, G., Xiao, P., Sun, W., 2020. Experimental study of sediment transport processes and size selectivity of eroded sediment on steep Pisha sandstone slopes. *Geomorphology*. 363, 107211. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107211>

2. O PROCESSO EROSIVO E A DINÂMICA DE SEDIMENTOS EM MATA CILIARES

RESUMO

A expansão das áreas agrícolas e a carência de práticas conservacionistas associado às chuvas favorecem o aumento do processo erosivo podendo ocasionar diversos impactos ambientais. Diante disso, objetivou-se compreender a origem e a dinâmica da deposição dos sedimentos encontrados em mata ciliares com entorno agrícolas. Foram selecionadas duas áreas com solos de texturas contrastantes para a investigação da sedimentação. O monitoramento do processo de deposição nas mata ciliares, que possuíam largura variável de 15 e 30 m, foi realizado por meio da instalação de pinos de erosão na borda da mata ciliar e no seu interior. Para avaliar a velocidade de sedimentação realizou-se tradagens ao lado de cada pino em uma das áreas até alcançar o topo do horizonte A enterrado que foi identificado pela morfologia. Concomitante a isso, mediu-se a intensidade, frequência e distribuição das chuvas, bem como a ocorrência de eventos extremos e a dinâmica do lençol freático na mata ciliar através de piezômetros. O padrão de chuvas observados especialmente os eventos extremos ocasionaram as maiores erosões e acúmulos de sedimentos. Nas matas ciliares que se desenvolvem sobre o solo arenoso, a distribuição espaço-temporal dos sedimentos no interior da mata é laminar uniforme e de baixa intensidade. Nestas áreas arenosas, observaram-se processos erosivos lineares, por meio da formação de voçorocas efêmeras, atravessando a mata ciliar. Na mata ciliar desenvolvida no solo argiloso não foi observado erosão aparente, mas as medições realizadas nos pinos constataram variações do nível do solo indicando que a erosão no local é laminar, uniforme e de baixa intensidade. A velocidade de sedimentação demonstrou haver uma tendência de aumento ao longo dos anos podendo ocasionar assoreamento dos cursos d'água.

Palavras-chave: Deposição; Chuvas extremas; Erosão do solo; Tamanho de partícula

ABSTRACT

The expansion of agricultural areas and the lack of conservation practices associated with rainfall favor the increase of erosion process, which may cause several environmental impacts. Therefore, this research aimed to understand the origin and the dynamics of the deposition of sediments found in riparian forests next to agricultural areas. Two areas with soils of contrasting textures were selected to investigate sedimentation. The monitoring of erosional process was carried out in the riparian forest, which had a variable width of 15 and 30 m from pins set around and within the forest. In order to evaluate the sedimentation rate, soil sampling was performed next to each pin in one of the areas down to the buried A horizon, which was identified by its morphology. Simultaneously, the intensity, frequency and distribution of rainfall were determined, as well as the occurrence of extreme events and the dynamics of the water table under the riparian forest by using piezometers. The rainfall pattern observed during extreme events caused the greatest erosion and accumulation of sediments. In one of the areas where the soil is sandy, the spatio-temporal distribution of sediments within the forest is uniform and low-intensity laminar, differently from the area where the soil is clayey, as no apparent erosion was observed, although variations in the soil level through

measurements, indicating that sheet erosion occurs in the place, uniform and of low intensity. The sedimentation rate has shown an increasing trend over the years, which may cause aggradation in the water courses.

Keywords: Deposition; Extreme rainfall; Soil erosion; Particle size

2.1. Introdução

A erosão do solo é um processo ativo afetado por fatores como topografia, tipo de solo e vegetação (Morgan, 2005). Em ambientes tropicais, como no Brasil, o principal agente erosivo é a água da chuva, sendo seu poder erosivo dependente da intensidade das chuvas e do manejo do solo. O impacto da gota da chuva desprende e desloca as partículas de solo de forma direta por meio das gotas ou indireta pelo escoamento superficial (Efthimiou et al., 2016).

A expansão das áreas agrícolas e a ausência de práticas conservacionistas contribuem para o aumento dos processos erosivos (Momoli et al., 2012), que aliados a eventos extremos provocam a erosão hídrica, sobretudo quando o solo está exposto diretamente ao impacto da gota da chuva ocasionando o aumento das taxas de sedimentos. A intensidade, frequência e duração das chuvas estão fortemente associados ao acúmulo e transporte de sedimentos, e com o avanço das alterações climáticas e ambientais, há uma forte mudança nos padrões de distribuição das chuvas, intensificando o processo erosivo e dificultando o seu controle (Duan et al., 2020).

Uma das maneiras de minimizar o fluxo de sedimentos oriundos do processo erosivo é pela presença das matas ciliares que funcionam como filtros, corredores ecológicos e atuam na regulação dos fluxos superficiais de água (Gumiere et al., 2013; Magalhães e Pimentel, 2013; Oliveira et al., 2010; Pires et al., 2009). Os sedimentos que se depositam no interior da mata podem ser caracterizados através de análises físicas, químicas e morfológicas (Santos e Sparovek, 2011). Uma das formas de caracterizar esses sedimentos é através da granulometria e organização das partículas depositadas, aliado aos índices pluviométricos, fornecendo informações quanto a velocidade de sedimentação, distribuição e transporte das partículas (Bovi et al., 2017).

A identificação dos impactos causados pela erosão e sedimentação no interior das matas ciliares e oriundas das áreas agrícolas do entorno, podem auxiliar na discussão a respeito da largura mínima de matas ciliares localizadas nas margens dos cursos d'água, no intuito de mitigar os efeitos da erosão/sedimentação (Sparovek et al., 2002; Collins et al., 2010; Santos e

Sparovek, 2011; Momoli e Cooper, 2016), funcionando como filtro de sedimentos e contaminantes.

O objetivo do presente estudo foi compreender a origem e a dinâmica de deposição dos sedimentos encontrados em matas ciliares com entorno agrícola.

2.2. Material e métodos

2.2.1. Caracterização da área de estudo

Foram selecionadas duas áreas localizadas em áreas de floresta estacional semidecidual inseridas em paisagens canavieiras do estado de São Paulo. A vegetação das duas áreas está em processo de restauração. A primeira em área de estudo esta localizada na Usina São João (USJ) (USJ1 latitude 22 22 56.15"s e longitude 47 26 24.12"o) (USJ2 latitude 22 23 11.21"s e longitude 47 24 54 85"o), no município de Araras – SP, e a segunda na Usina São Manoel (USM) (latitude 22 36 46,75"s e longitude 48 27 36 63"o), no município de São Manuel – SP. Ambas localidades apresentam clima do tipo Cwa pela classificação de Köppen sendo que a temperatura média anual é de aproximadamente 21°C apresentando a média máxima de 28°C e mínima de 15°C. A precipitação total média anual é de aproximadamente 1400 mm, com período chuvoso compreendido entre os meses de novembro e fevereiro e o período mais seco entre os meses de junho a agosto. O relevo das áreas é do tipo suave ondulado (Santos et al., 2013), sendo que na USJ a declividade é de, aproximadamente, 4% e na USM de, aproximadamente, 6%.

2.2.2. Atividades no campo e métodos analíticos

Para a definição das áreas experimentais, foram realizadas análises exploratórias visuais com tradagens para identificação dos locais com indícios de descontinuidade do tipo de solo e/ou concentração de deposição de sedimentos que eram identificados pelas diferenças morfológicas entre as camadas e horizontes do solo, sendo a cor uma das características principais de identificação.

Com base na análise exploratória das áreas foram determinados os locais para a abertura das trincheiras. Sendo assim, inicialmente, foram abertas 4 trincheiras em cada uma das áreas (USJ e USM), do local mais alto da topossequência até a mata ciliar (T1=topo, T2=meia encosta, T3=final da encosta e T4=mata).

Na USM foram abertas mais duas trincheiras para exploração da sedimentação no interior da mata, constatada na T4. As duas trincheiras adicionais foram nomeadas de T5 e T6 (T1=topo, T2=meia encosta, T3=final da encosta, T4=mata, T5=mata 2 e T6=mata 3).

No interior das trincheiras foram coletadas amostras para as análises química e física para posterior descrição morfológica do solo (Lemos e Santos, 2002) e classificação dos solos de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação (Santos et al., 2013).

As faixas de mata ciliar foram restauradas e possuem largura variável contendo 15 e 30 m em duas condições de solos distintos. Na área da USJ foram definidas duas áreas principais para a instalação dos pinos: USJ1 e USJ2 com repetições em cada área. A floresta da USJ1 foi implantada em 2014 e na USJ2 a floresta foi implantada em 2015. Na USM a floresta foi implantada em 2008. Os processos erosivos observados à montante da mata ciliar foram georreferenciados e monitorados para avaliação de sua influência sobre o aporte e deposição de sedimentos dentro da mata ciliar, a partir da instalação de pinos, na borda da mata e em seu interior. Os pinos são compostos de hastes de ferro galvanizadas com 0,7 m de comprimento graduadas a cada 0,10 m, estes foram georreferenciados e parcialmente enterrados no solo para medição mensal da deposição/erosão do solo. O monitoramento da erosão e sedimentação nas áreas ocorreu durante 39 meses (2016 a 2020). Considera-se a instalação inicial dos pinos como nível zero do solo ($h=0$) no tempo zero ($t=0$). Para avaliação dos resultados foram construídas figuras nas quais a coordenada geográfica de cada pino está representada por uma circunferência. As cores e o tamanho da circunferência apontam a ocorrência de erosão ou sedimentação e o nível de cada medição, respectivamente. A cor amarela foi definida para caracterizar a deposição de sedimentos nas áreas, isto é aumento do nível do solo, e quanto maior o tamanho da circunferência maior o acúmulo de sedimentos que equivalem aos valores positivos a partir do nível do solo $h=0$ no tempo $t=0$. A cor vermelha significa erosão, isto é redução do nível da superfície do solo, quanto maior o tamanho da circunferência maior é a erosão nas áreas, e são expressos pelos valores negativos a partir do nível do solo $h=0$ no tempo $t=0$.

2.2.2.1. Usina São João (USJ)

Verificou-se que no limite entre a mata ciliar e o carreador na USJ são construídas barreiras de terra para contenção de água da chuva e vinhaça que é aplicada no canavial. Nessas barreiras foram observados pontos de ruptura em virtude do acúmulo de água e sedimentos. Estas rupturas são pontos de entrada na mata ciliar de enxurrada vindo do canavial e do

carreador. Sendo assim, optou-se por instalar os pinos nessas aberturas para monitorar a aporte de sedimentos nesses locais.

Na USJ1 foram selecionados dois pontos para instalação das parcelas com uma distância de 15 m entre os pinos da borda da mata ciliar até a última estaca no seu interior denominadas área 1.1 e área 1.2, e também foram selecionados duas repetições com uma distância de 10 m entre os pinos da borda da mata ciliar até a última estaca no seu interior denominadas área 1.4 e área 1.5. Na USJ2 foram selecionados três pontos para a instalação das parcelas com uma distância de 15 m entre os pinos da borda da mata ciliar até a última estaca no seu interior denominadas área 2.1 referente à área adjacente a floresta composto por vegetação do tipo capim brachiária, área 2.2 e área 2.3 referente às áreas de reflorestamento (Fig. 1).

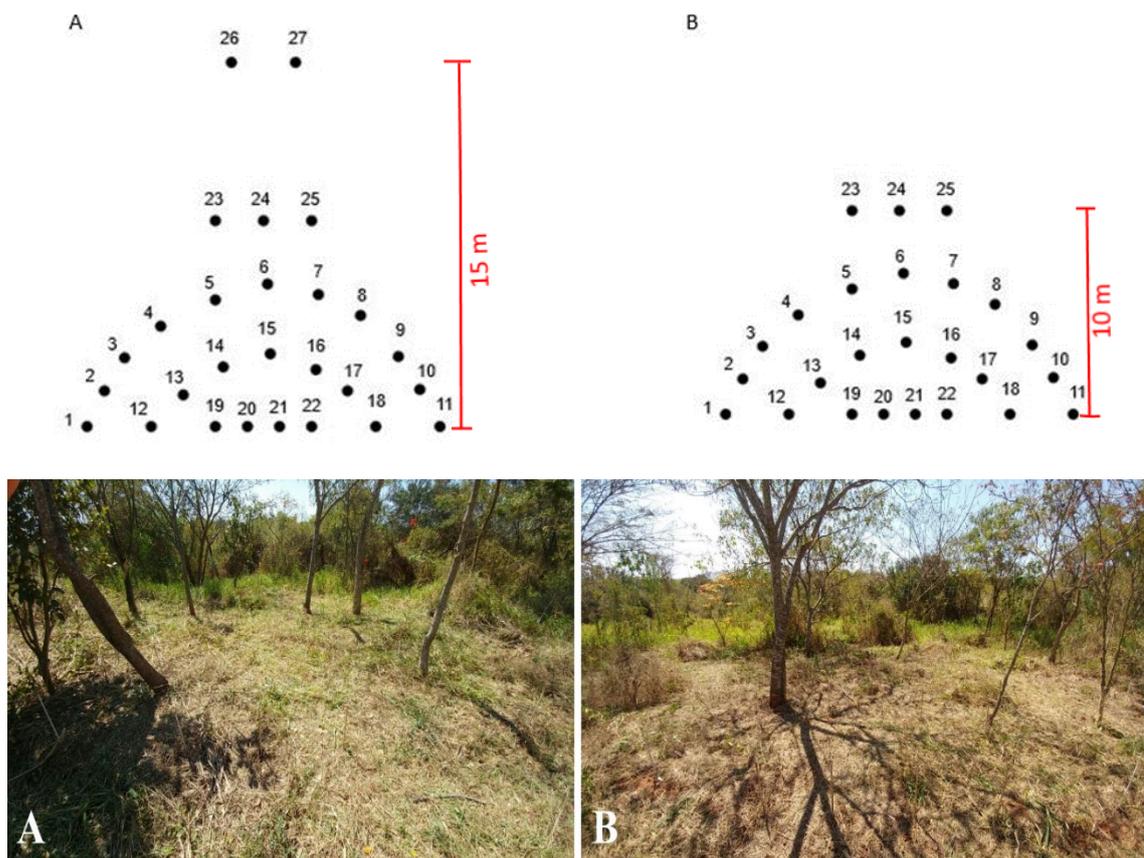


Figura 1. Configuração dos pinos no interior da mata ciliar. A – USJ1 e USJ2 com 15 m e B – Repetições das parcelas na USJ1 com 10 m.

2.2.2.2. Usina São Manoel (USM)

A configuração dos pinos no interior da mata seguiu o percurso das erosões situadas no local para o acompanhamento da sua ampliação e/ou do acúmulo de sedimentos com uma distância de 15 m e 30 m entre os pinos da borda da mata ciliar até a última estaca no seu interior. Estes locais foram denominados como floresta 1a, floresta 1b e floresta 2. Adjacente às erosões situadas no local foram instalados pinos na configuração de malhas sendo estas denominadas malha 1 (ao lado esquerdo) e malha 2 (ao lado direito) (Fig. 2).



Figura 2. Configuração dos pinos no interior da mata ciliar. A- Floresta 1a (15 m), B- Floresta 1b (15 m), C- Floresta 2 (30 m), D- Malha 1 e Malha 2 (20 m).

Devido ao aporte de sedimentos observados no interior da mata e a fim de examinar a velocidade de sedimentação, realizou-se tradagens na área das duas malhas. As tradagens foram realizadas ao lado de cada pino até encontrar o topo do horizonte A enterrado que foi identificado pela morfologia, sendo a cor o principal indicativo. A espessura do sedimento foi medida com o auxílio de uma fita métrica. A declividade da superfície do terreno foi mensurada com o uso de um clinômetro digital em cada ponto representado pelos pinos nas malhas. A partir dessas análises determinou-se o nível da superfície do solo nos três anos de avaliação (2017, 2018 e 2019), a superfície do solo com acúmulo de sedimentos e/ou erosão durante esses três anos e a velocidade de sedimentação por trimestre. O primeiro trimestre corresponde ao período chuvoso cujos meses são dezembro do ano 2016 a fevereiro de 2017, o segundo trimestre é referente ao final do período chuvoso em que os meses são março, abril e maio de 2017, o terceiro trimestre corresponde ao período seco nos meses junho, julho e agosto de 2017 e o quarto trimestre é referente ao início da estação chuvosa nos meses setembro, outubro e novembro de 2017. Os mesmos meses por trimestres foram definidos para os dois anos seguintes (2018 e 2019).

2.2.3. Dados pluviométricos e piezométricos

A determinação da intensidade, frequência e distribuição das chuvas, bem como a ocorrência de eventos extremos, é fundamental para a obtenção de informações acerca da produção e distribuição de sedimentos dentro da mata ciliar. Para Hudson (1971) precipitações acima de 25 mm/h são consideradas desencadeadoras do processo erosivo. A frequência de chuvas foi determinada em períodos máximos de dois dias. Os dados de precipitação pluviométrica durante a condução do ensaio foram obtidos na Estação Meteorológica Automática situado na Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR situada no município de Araras e através da Estação Meteorológica Automática situado na Usina São Manoel (USM).

Para avaliar a dinâmica do lençol freático da mata ciliar foram implantados dois piezômetros com espaçamento de 17 metros entre eles ao final da mata ciliar em cada área da USJ e um piezômetro ao final da mata ciliar na USM para medições sistemáticas, com a finalidade de determinar a flutuação da profundidade do lençol freático. O piezômetro é constituído de tubo PVC de 75 mm com pequenos furos nas laterais do cano, este foi enterrado a uma profundidade que atingisse o nível do lençol freático identificado através de tradagens previamente realizadas e foi deixado uma margem de 20 cm para fora a partir da superfície do solo. A medição do nível do lençol freático foi realizada com o auxílio de um medidor de nível piezométrico durante 25 meses, de março de 2018 a março de 2020, sendo que em alguns meses pertencentes a estação chuvosa foram realizadas duas medições.

Pela análise conjunta dos dados de precipitação, da profundidade do lençol freático e dos pinos de erosão/sedimentação, foi possível identificar o padrão de ocorrência do fluxo superficial e assim, inferir sobre o transporte, a deposição e a velocidade de sedimentação dentro da mata ciliar. As precipitações médias mensais foram relacionadas às médias e medianas do nível de solo, no qual, valores acima de zero apontam a ocorrência de sedimentação e os valores abaixo de zero a erosão. Para estimar a velocidade de sedimentação utilizou-se o programa Surfer, para a avaliação da deposição de sedimentos e erosão no interior da mata utilizou-se o programa Qgis e para analisar a altura do lençol freático, média mensal de precipitação, chuvas extremas, frequência, a relação do nível do solo com a precipitação e a velocidade de sedimentação por trimestre utilizou-se o programa SigmaPlot.

2.3. Resultados

2.3.1. Usina São João

2.3.1.1. Caracterização morfológica dos perfis do solo

A área de estudo (Fig. 3) caracterizou-se por ser não pedregosa e não rochosa, com drenagem forte e erosão não aparente, além de relevo local plano e regional suave ondulado. Todos os perfis apresentaram a mesma classe de solo até o 2º nível categórico de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2013) e aparente homogeneidade. O solo da área é um típico Latossolo Vermelho, com textura argilosa a muito argilosa em todos os horizontes (Tabela 1). A estrutura variou de bloco subangular a granular, com presença de horizonte Bw em todos os perfis.

Tabela 1: Descrição morfológica e teor de matéria orgânica dos horizontes do solo de cada perfil

Horizonte	Camada m	Cor úmida (Munsell)	Estrutura ¹	Textura	Matéria orgânica g kg ⁻¹
T1 – Latossolo Vermelho Ácrico típico					
Ap	0,00-0,25	10R 3/4	bs, peq, fra/mod	Argiloso	34,68
AB	0,25-0,54	10R 3/4	bs, peq, fra/mod	Argiloso	14,14
BA	0,54-0,75	10R 3/6	bs, mpeq, fra	Argiloso	12,71
BW1	0,75-1,4	10R 3/6	gr, mpeq, for	Argiloso	8,24
BW2	1,4-2,0+	10R 3/6	gr, mpeq, for	Argiloso	9,10
T2 – Latosso Vermelho Eutrófico típico					
Ap	0,00-0,25	10R 3/3	bs, peq/méd, mod	Argiloso	28,07
AB	0,25-0,45	10R 3/4	bs, peq, fra/mod	Argiloso	19,74
BA	0,45-0,70	10R 3/4	bs, peq, fra	Argiloso	14,75
BW	0,70-1,40+	10R 3/4	gr, mpeq, fra	Argiloso	12,16
T3 – Latossolo Vermelho Eutrófico típico					
Ap	0,00-0,30	10R 3/3	gr, gra, mod	Argiloso	38,82
Bt1	0,30-0,50	10R 3/4	bs, gra, mod - ba, gra, mod	Muito Argiloso	23,10
Bt2	0,50-0,85	10R 3/4	bs, gra, fra	Muito Argiloso	20,76
BW	0,85-1,70+	10R 3/4	bs, méd, fra	Muito Argiloso	14,45
T4 – Latossolo Vermelho Eutrófico argissólico					
A	0,00-0,25	10R 3/4	gr, méd, mod	Argiloso	50,78
Bt1	0,25-0,55	10R 3/4	bs, méd/gra, mod/for	Muito Argiloso	27,71
Bt2	0,55-1,10	10R 3/4	bs, gra, mod	Muito Argiloso	16,29
BW	1,10-2,00+	10R 3/4	bs, gra, fra	Muito Argiloso	13,46

⁽¹⁾ Tipo de estrutura: gs: grão simples; mc: maciça; gr: granular; bs: bloco subangular, ba: bloco angular. Tamanho da estrutura: mpeq: muito pequena; peq: pequena; méd: média; gra: grande. Grau da estrutura: fra: fraco, mod: moderado, for: forte.

Os perfis T1, T2, T3 e T4, ocupam a posição de topo, meia encosta, sopé da encosta e interior da mata ciliar, respectivamente. Não foi observado a ocorrência de deposição de sedimentos. Todos os perfis apresentaram em geral cores com matiz 10R, valores 3 e cromas que variaram de 3 a 6. A estrutura foi evidenciada em grão simples, maciça, granular e blocos com tamanhos que variaram de muito pequena a grande e grau de fraco a forte. O teor de matéria orgânica no horizonte A de todos os perfis foi elevado havendo uma diminuição gradual em profundidade (Tabela 1), o que é comum nos sistemas de manejo de interesse econômico, que utilizam plantas de cobertura e os seus resíduos provocam um aumento da matéria orgânica principalmente em superfície e nos primeiros centímetros do solo (Sato et al., 2012).

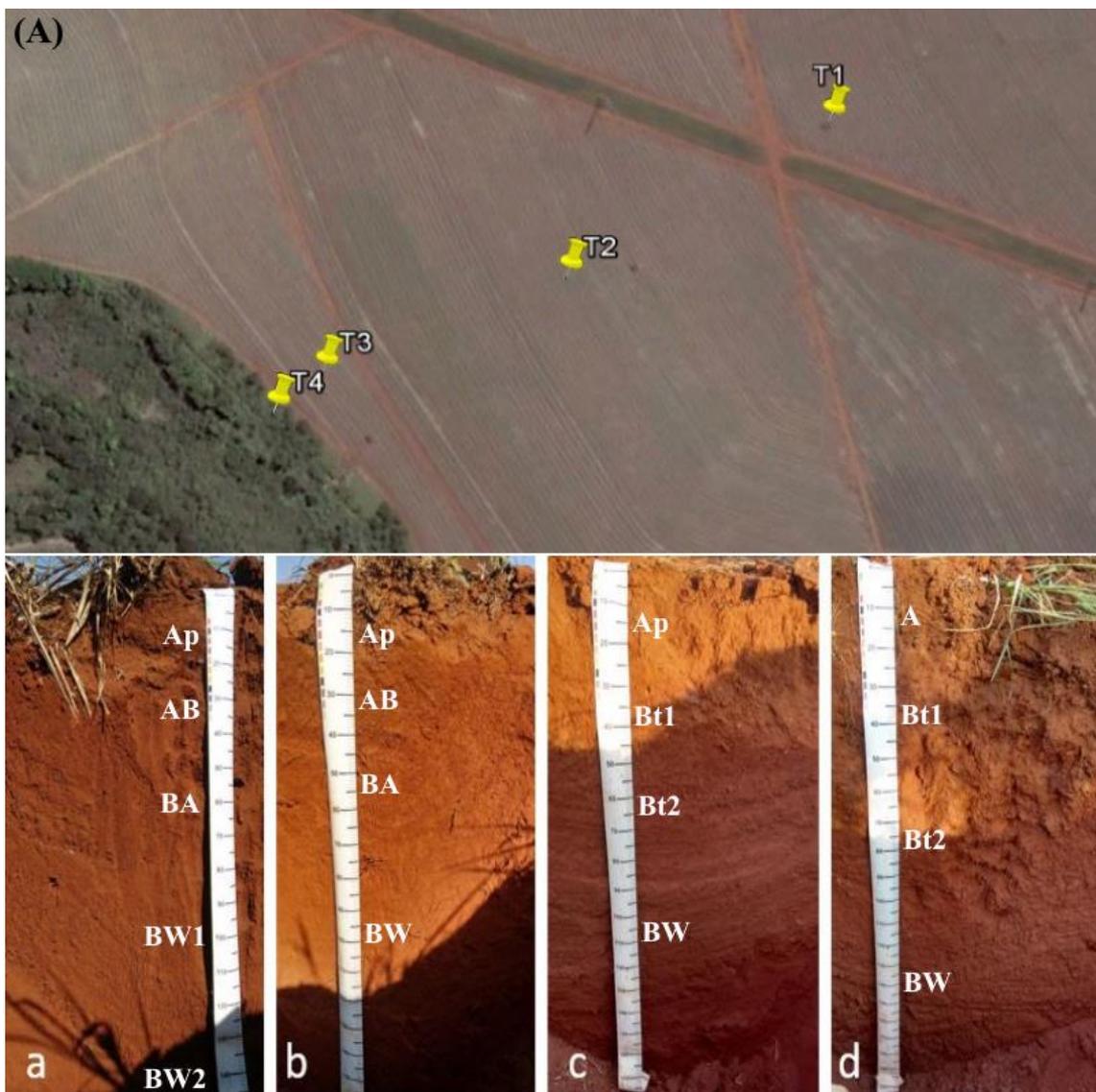


Figura 3. (A) - Perfis de solo localizados na topossequência: a) T1 - Topo; b) T2 - Meia encosta; c) T3 - Final da encosta; d) T4 – Mata.

2.3.1.2. Precipitação pluvial

As precipitações mensuradas demonstram uma disposição de máximas no verão e mínimas no inverno em todos os anos (fig. 4). O ano 2016 apresentou o maior índice de precipitação nos meses janeiro (acima de 300 mm) e novembro (acima de 250 mm). Em 2017 o volume de chuva foi menor em comparação ao ano anterior, no entanto, os meses março e maio apresentaram lâminas de precipitação acima de 150 mm. De agosto a dezembro, com exceção do mês de novembro, o ano 2018 apresentou o maior índice de precipitação em relação aos demais anos, chegando a atingir até 256 mm em dezembro. O ano 2019 apresentou o menor volume de chuva durante o ano todo em relação aos demais, apenas no mês de fevereiro apresentou o maior índice pluviométrico superior a 200 mm. Em 2020 o mês de fevereiro apresentou o maior índice pluviométrico em comparação aos anos anteriores acima de 300 mm, em contrapartida o mês de janeiro deste ano foi o menos chuvoso com volume de chuva de 216 mm. Em ordem decrescente o ano mais chuvoso foi 2016 em seguida 2018, 2017, 2019 e por fim 2020 por ter sido avaliado por apenas três meses.

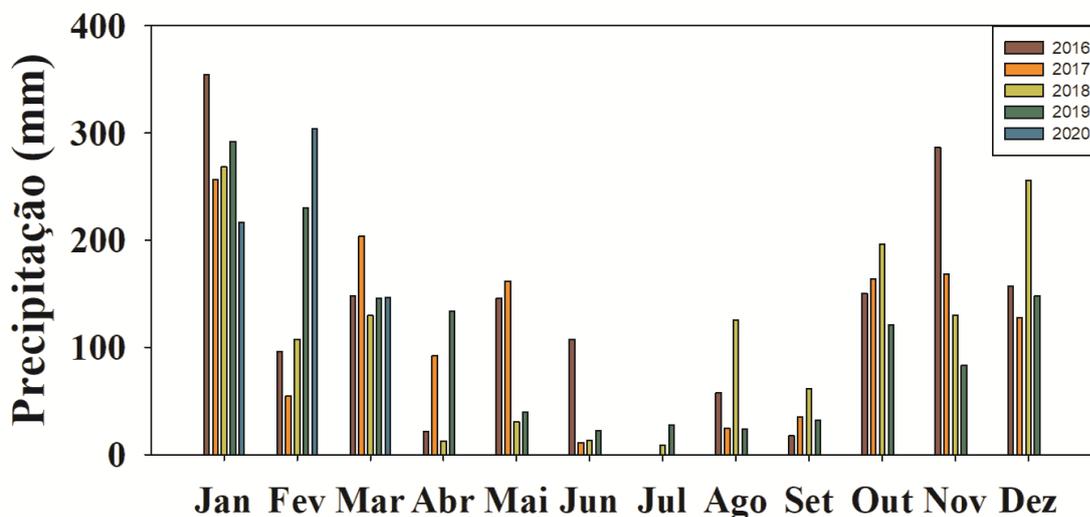


Figura 4: Volume de chuva mensal em Araras – SP nos anos de 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020.

A quantidade de eventos extremos seguiu a ordem dos totais anuais de precipitação. O ano 2016 foi considerado o mais chuvoso e, conseqüentemente, o que apresentou maior número de eventos extremos, foram registrados 15 eventos extremos de chuva, em que a maior parte ocorreu no mês de janeiro e o de maior magnitude no mês de novembro com 86,1 mm/h em um único dia (Fig. 5A). Em 2017, a quantidade de eventos extremos foi 26,6% menor em

comparação ao ano anterior (Fig. 5B), ainda assim o mês de maio apontou um evento extremo superior a 85 mm/h em um dia capaz de ocasionar um processo erosivo. O ano 2018 apresentou menor quantidade de eventos extremos em relação ao ano 2016 (13,33%) e maior número de eventos extremos em comparação ao ano 2017 (18,18%), não se observou eventos superiores a 55 mm/h (Fig. 5C). O ano 2019, a pesar de ter sido menos chuvoso que os anos antecedentes, foi o segundo ano com maior quantidade de eventos extremos, totalizando 14 eventos extremos com intensidades de em torno de 30 a 50 mm/h (Fig. 5D). Nos primeiros três meses de 2020 foram registrados 8 eventos extremos que aconteceram nos meses janeiro e fevereiro e o de maior intensidade marcou 78 mm/h (Fig. 5E).

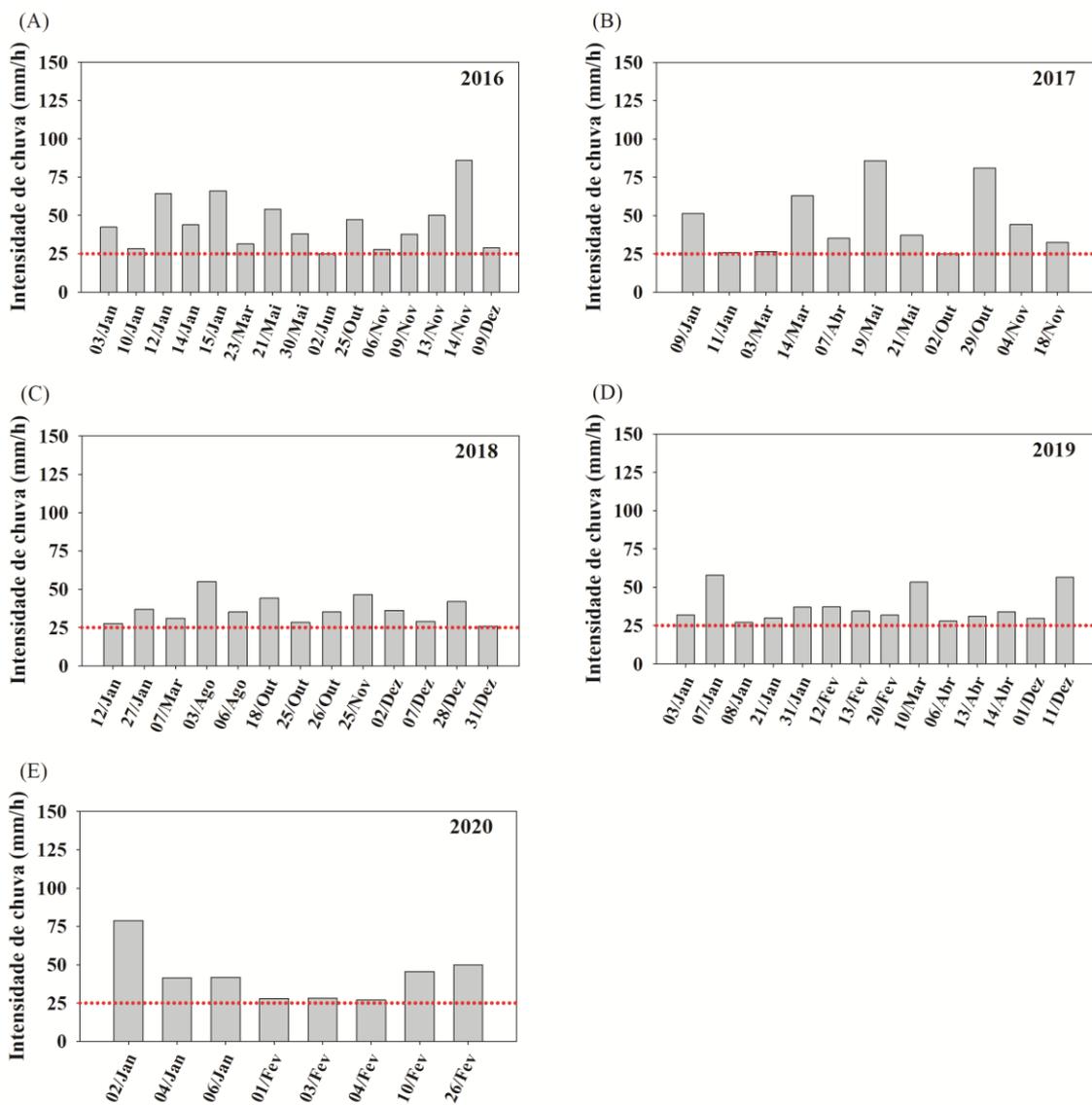


Figura 5: Eventos de chuva extremas em Araras – SP entre os anos (A) 2016; (B) 2017; (C) 2018; (D) 2019; (E) 2020.

A repetitividade dos eventos erosivos é exibida em dias aproximados (Fig. 6). Os anos 2016, 2019 e 2020 apresentaram a maior quantidade de eventos extremos em datas próximas e ocorreu nos meses considerados típicos da estação chuvosa. No entanto, o ano 2016 apresentou eventos extremos de maior intensidade com 83,33% dos casos acima de 40 mm/h, o ano 2020 foi o segundo ano com eventos de chuva extremos mais intensos com 50% dos casos acima de 40 mm/h e o ano 2019 registrou 16,66% das ocorrências acima de 40 mm/h. O ano 2017 apresentou quatro eventos frequentes de chuva em datas próximas nos meses janeiro e maio, enquanto 2018 apresentou apenas dois eventos frequentes no final de outubro.

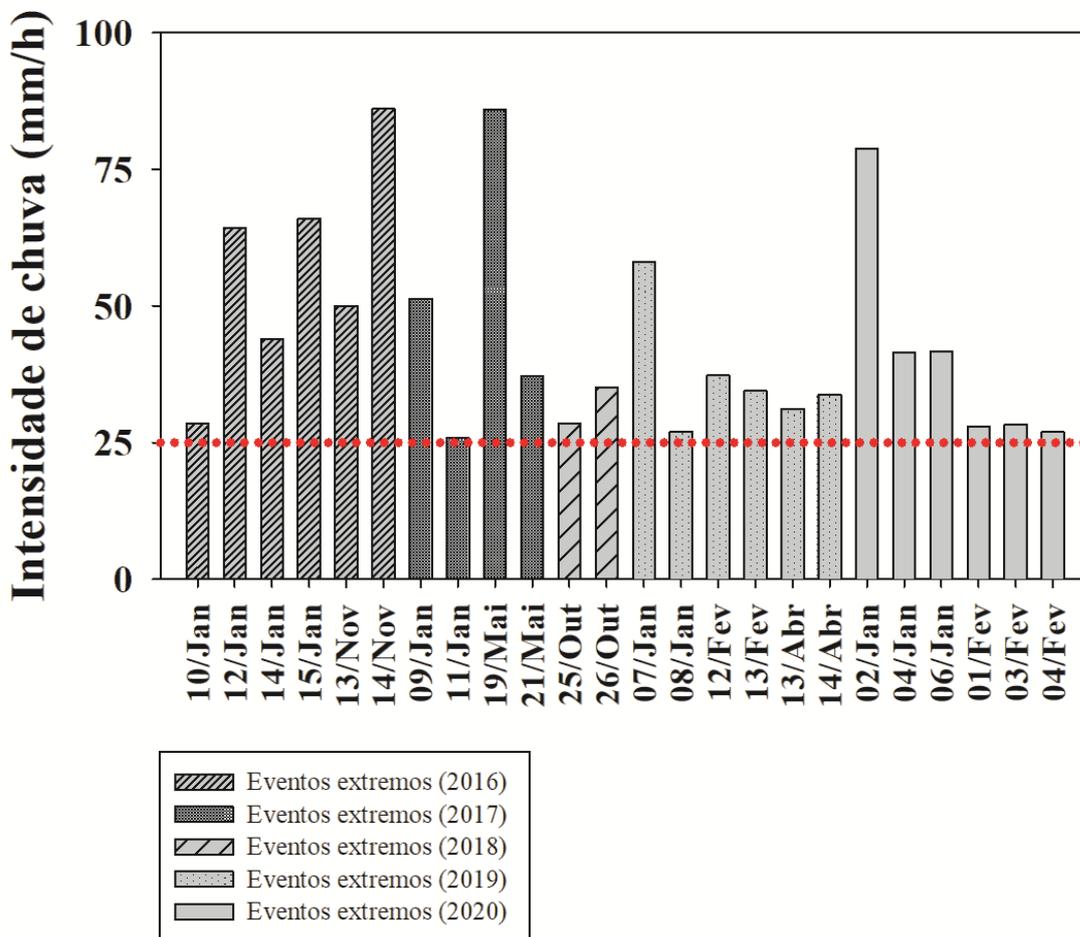


Figura 6: Frequência dos eventos extremos de chuva em datas aproximadas.

O monitoramento do lençol freático de modo geral revelou os maiores ascensos nos meses com maior média de precipitação (Fig. 7), sendo o piezômetro 1 (P1) que está localizado mais próximo da nascente o que apresentou maior ascensão do lençol nas duas áreas durante os três anos de avaliação. O piezômetro 2 (P2) que encontra-se mais afastado da nascente

apresentou maior oscilação do lençol freático nas duas áreas no período avaliado. O P2 da área 1 apresentou elevação freática até o mês de maio durante os três anos de monitoramento, em seguida ocorreu uma diminuição do nível do lençol nos meses da estação mais seca, somente em 2018 a partir do mês de agosto houve aumento do lençol e também do volume de chuva. Em 2019 esse aumento ocorreu somente a partir do mês de dezembro. Na área 2 o P2 apresentou menor elevação do lençol em comparação a área 1, os meses que demonstraram aumento do nível do lençol freático foram de março a maio nos anos 2018 e 2019 e de janeiro a março de 2020, todos pertencentes a estação chuvosa.

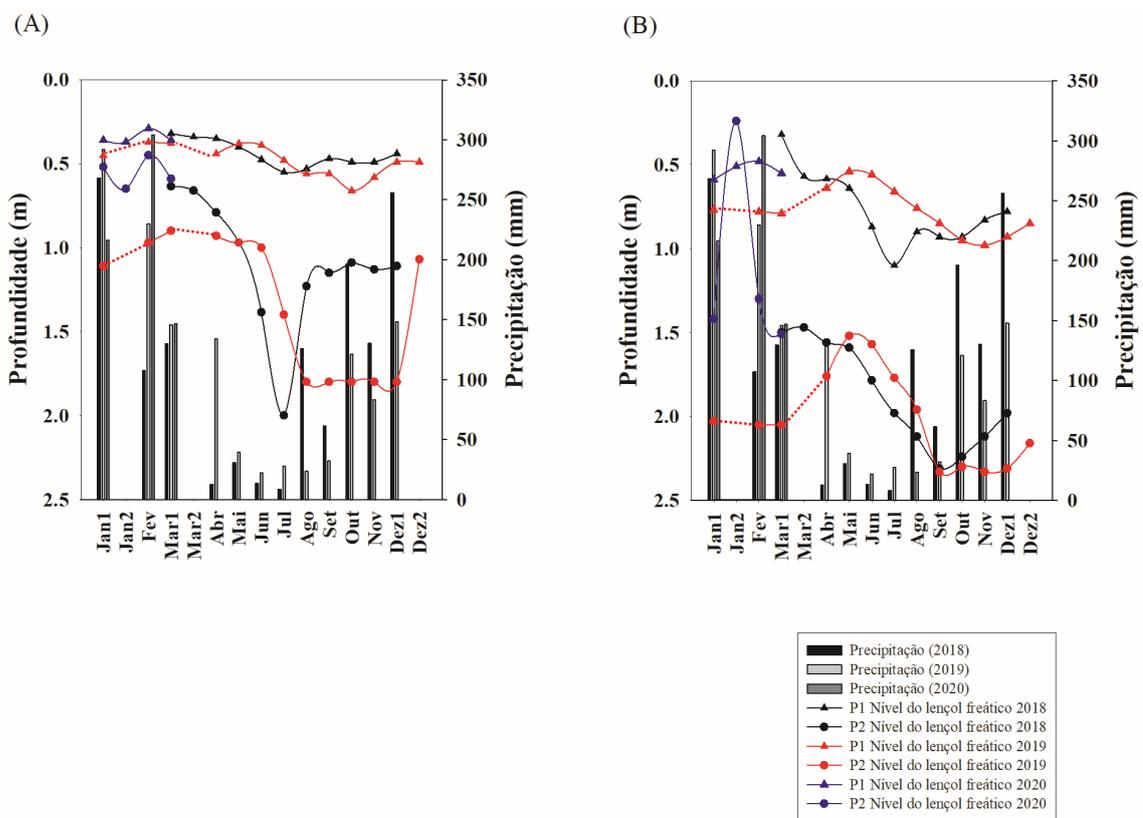


Figura 7: Nível do lençol freático da mata ciliar de 2018 a 2020 (A) área 1 e (B) área 2.

2.3.1.3. Dinâmica do processo erosivo e sedimentação versus precipitação

Na área 1 os valores das médias e medianas da variação do nível do solo foram semelhantes (Fig. 8, 9 e 11), sendo a área 1.4 a que apresentou maiores discrepâncias (Fig. 10).

Na área 1.1 de maneira geral, o nível do solo apresentou variação de -0,13 a 0,14 cm no ano 2016, com exceção do mês de dezembro que evidenciou um aumento no nível da superfície do solo de 0.6 cm e média de precipitação de 157 mm (Fig. 8). Em 2017 ocorreu bastante oscilação e as maiores variações do nível do solo aconteceram durante a estação

chuvosa. O mês de março registrou o maior pico de erosão (-0,59 cm e 203 mm de precipitação) e dezembro a maior deposição de sedimentos (0,57 cm e 128 mm de precipitação). O ano 2018 apontou menores variações do nível do solo em comparação aos anos anteriores, o maior pico de erosão ocorreu no mês de outubro (-0,30 cm e 196 mm de precipitação) e os maiores acúmulos de sedimentos ocorreram nos meses abril, agosto e dezembro com 0,30 cm de elevação do nível da superfície do solo para todos os meses e acumulados de chuva acima de 100 mm, exceto para o mês de abril que apresentou baixo índice de precipitação (12,7 mm). Em 2019 ocorreram as menores oscilações do nível da superfície do solo, o maior pico de erosão ocorreu no mês de outubro (-0,21 cm e 121 mm de precipitação) e as maiores deposições de sedimentos nos meses fevereiro e setembro (0,29 e 0,30 cm; 229 e 32 mm de precipitação respectivamente). Nos três meses de avaliação do nível da superfície do solo em 2020 a variação foi de -0,15 a 0,29 cm mesmo com elevadas precipitações.

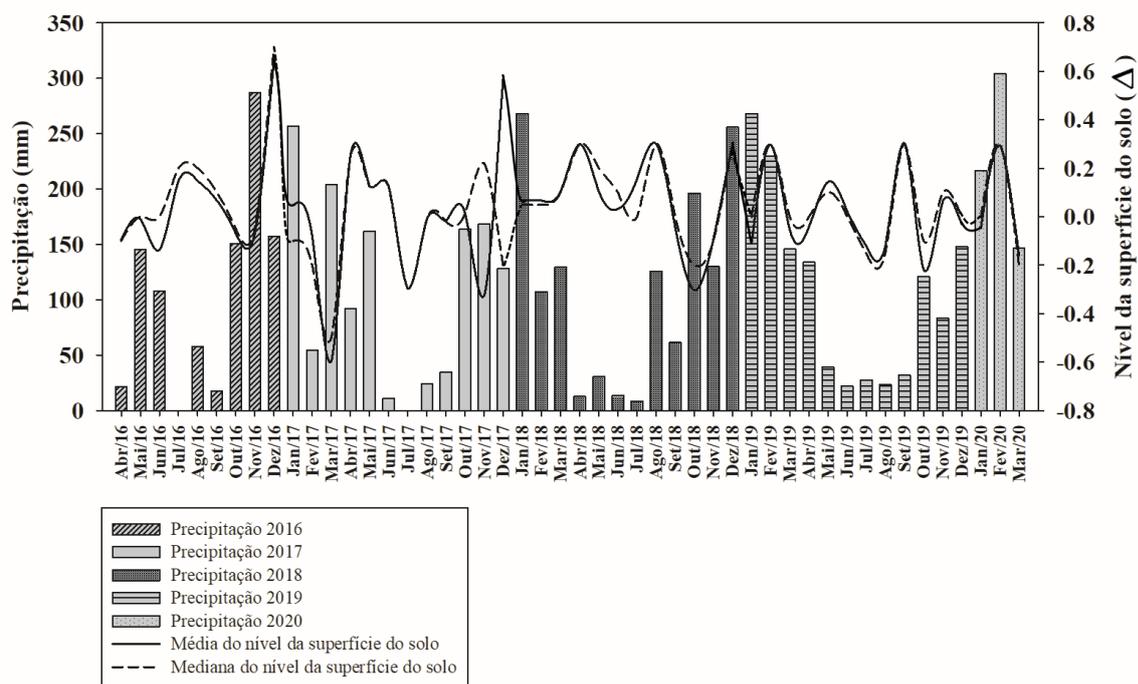


Figura 8: Variação do nível da superfície do solo versus precipitação pluvial mensal na área 1.1 no período de 2016 a 2020.

Na área 1.2 a maior média de erosão do ano 2016 ocorreu no mês de junho (-0,30 cm) com média mensal de precipitação 107 mm, com relação à deposição de sedimentos a maior média registrada foi no mês de dezembro (0,78 cm) e acumulado de chuva de 157 mm (Fig. 9). No ano 2017 os maiores picos de erosão e acúmulo de sedimentos ocorreram nos meses mais chuvosos, exceto o mês de julho. As maiores erosões aconteceram nos meses janeiro, março e

julho (-0,45, -0,42 e -0,49 cm e precipitações de 256, 203 e 0 mm respectivamente) e a maior deposição de sedimentos aconteceu no mês de novembro (0,41 cm) com 168 mm de chuva. Em 2018 a maior erosão aconteceu durante a estação chuvosa no mês de outubro (-0,42 cm e 196 mm de precipitação), em contrapartida a maior sedimentação ocorreu no início da estação seca no mês de abril (0,55 cm e 12 mm de precipitação). O ano 2019 apresentou as menores médias do nível da superfície do solo em relação aos anos anteriores, em todos os meses o nível da superfície do solo esteve próximo de zero. O maior pico de erosão foi registrado nos meses julho e agosto (-0,12 cm para os dois meses) e precipitação de 27 e 23 mm respectivamente e as maiores deposições de sedimentos ocorreram nos meses fevereiro (-0,08 cm e 229 mm de precipitação) e junho (-0,09 e 22 mm de precipitação). Em 2020 a maior deposição de sedimentos ocorreu no mês de fevereiro (0,38 cm e 304 mm de precipitação) e a maior erosão no mês seguinte (-0,29 cm e 147 mm de precipitação).

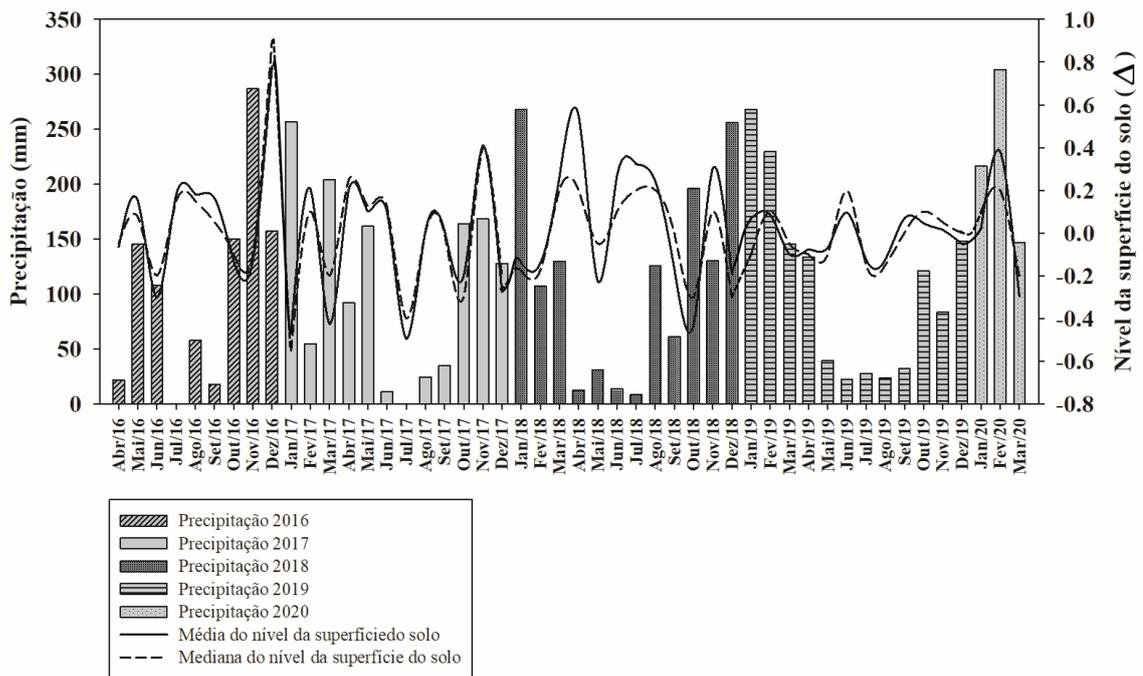


Figura 9: Variação do nível da superfície do solo versus precipitação pluvial mensal na área 1.2 no período de 2016 a 2020.

Na área 1.4 a deposição de sedimentos predomina em relação a erosão (Fig. 10). Em 2016 a maior erosão foi de -0,37 cm do nível do solo e ocorreu no mês de junho, este mês registrou 107 mm de chuva. O maior acúmulo de sedimentos ocorreu no mês de setembro com 0,21 cm do nível da superfície do solo e precipitação de 17 mm neste mês. Em 2017 houve bastante variação do nível da superfície do solo e as maiores amplitudes de erosão e

sedimentação ocorreram nas estações chuvosas. As maiores erosões aconteceram nos meses março (-0,35 cm e 203 mm de precipitação) e novembro (-0,49 cm e 168 mm de precipitação), já as maiores sedimentações ocorreram nos meses seguintes aos maiores picos de erosão, abril (0,39 cm e 92 mm de precipitação) e dezembro (0,51 cm e 128 mm de precipitação). O ano 2018 não seguiu a mesma tendência do ano anterior, os picos de erosão e sedimentação ocorreram tanto no período chuvoso quanto no período seco do ano. A maior redução do nível do solo ocorreu no mês de outubro (-0,24 cm) com 196 mm de precipitação e os maiores acúmulos de sedimentos ocorreram nos meses maio (0,43 cm e 30 mm de precipitação) e agosto (0,53 cm e 125 mm de chuva). Em 2019 assim como no ano anterior as maiores variações do nível da superfície do solo aconteceram tanto na estação seca quanto na chuvosa. Os maiores picos de erosão aconteceram nos meses abril (-0,32 cm e 134 mm de chuva), julho (-0,37 cm e 27 mm de chuva) e agosto (-0,46 cm e 26 mm de chuva) e o maior pico de sedimentação ocorreu no mês de novembro (0,28 cm e 83 mm de chuva). Em 2020 nesta área não houve ocorrência de erosão e a sedimentação apresentou baixa variabilidade de 0,07 a 0,12 cm.

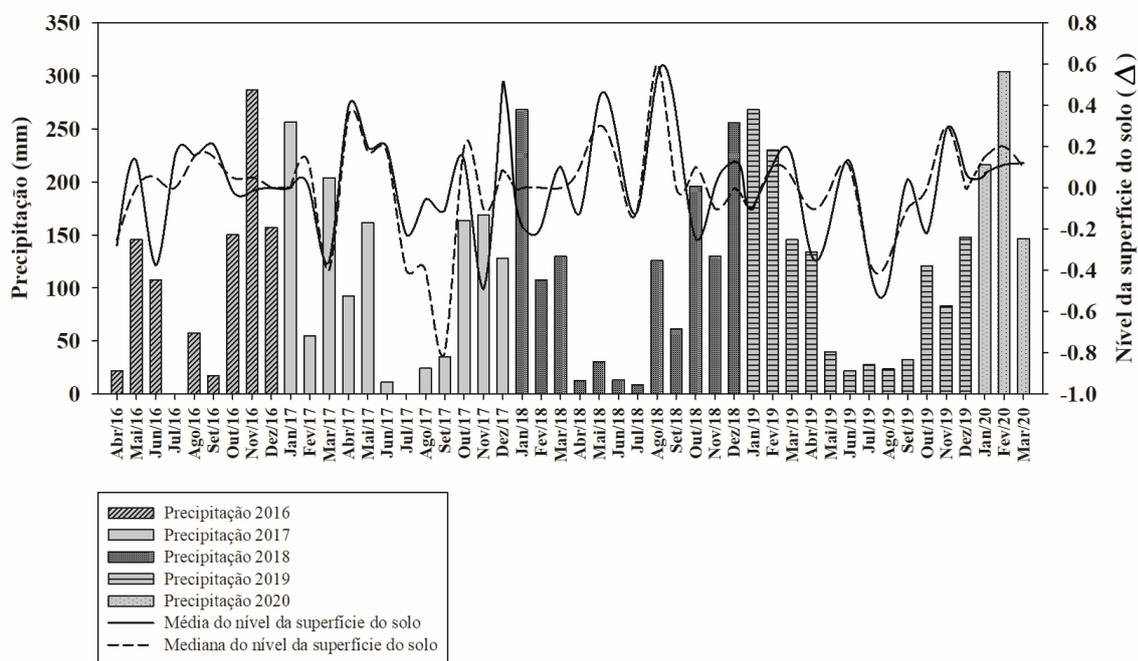


Figura 10: Variação da superfície do nível do solo versus precipitação pluvial mensal na área 1.4 no período de 2016 a 2020.

A área 1.5 também seguiu a disposição de aumentar o nível do solo com deposição de sedimentos em comparação a erosão (Fig. 11). Em 2016, o maior pico de erosão ocorreu no mês de junho (-0,42 cm e 107 mm de precipitação) e a maior deposição de sedimentos no mês

de setembro (0,40 cm e 17 mm de precipitação). Em 2017, a erosão foi evidenciada em apenas dois meses e o maior pico ocorreu em julho (-0,55 cm) com 0 mm precipitação e o maior pico de sedimentação em setembro (0,50 cm) com 34 mm de precipitação. No ano 2018, a maior redução do nível da superfície do solo ocorreu nos meses julho (-0,34 cm e 8 mm de precipitação) e novembro (-0,36 cm e 130 mm de precipitação) e os maiores aumentos do nível do solo foram registrados nos meses abril (0,30 cm e 12 mm de precipitação), agosto (0,29 cm e 125 mm de precipitação) e outubro (0,39 cm e 196 mm de precipitação). O ano 2019 apresentou a menor variação do nível da superfície do solo em relação aos demais, em todos os meses do ano o nível da superfície do solo esteve próximo de zero. As maiores erosões ocorreram nos meses julho (-0,10 cm e 27 mm de precipitação), agosto (-0,10 cm e 23 mm de precipitação) e dezembro (-0,10 cm e 148 mm de precipitação) e as maiores sedimentações ocorreram nos meses junho (0,18 cm e 22 mm de precipitação) e outubro (0,14 cm e 121 mm de precipitação). Em 2020, semelhantemente a área 1.4, nesta área também não houve ocorrência de erosão no período avaliado, no entanto a sedimentação apresentou maior variabilidade de 0,03 a 0,38 cm.

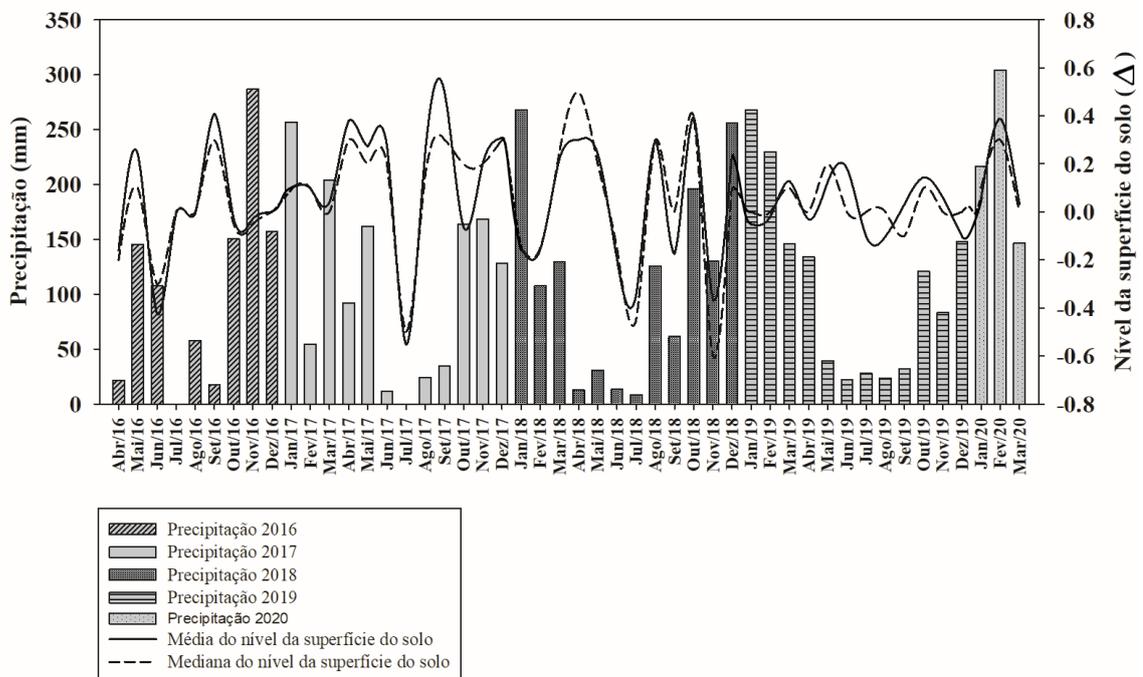


Figura 11: Variação do nível da superfície do solo versus precipitação pluvial mensal na área 1.5 no período de 2016 a 2020.

A área 2 em geral também apresentou valores semelhantes entre a média e mediana em todos os anos de avaliação (Fig. 12, 13 e 14). A área 2.3 apresentou maior dessemelhança principalmente nos anos 2016, 2017 e 2018 (Fig. 14).

Na área 2.1 a variação do nível da superfície do solo mais relevante no ano 2016 foi verificada pelo aumento do nível do solo principalmente na estação chuvosa durante os meses novembro (0,56 cm e 286 mm de precipitação) e dezembro (0,58 cm e 157 mm de precipitação) (Fig. 12). Em 2017, o nível da superfície do solo sofreu maior oscilação pela erosão e sedimentação. Os meses com maior acúmulo de sedimentos foram fevereiro (0,26 cm e 54 mm de precipitação), abril (0,26 cm e 92 mm de precipitação) e outubro (0,29 cm e 163 mm de precipitação) e os meses mais erosivos foram janeiro (-0,34 cm e 256 mm de precipitação), março (-0,39 cm e 203 mm de precipitação) e setembro (-0,33 cm e 34 mm de precipitação). O ano 2018 também apresentou bastante variação sendo os meses maio, agosto e dezembro os que apresentaram maior deposição de sedimentos (0,36, 0,44 e 0,35 cm com precipitações de 30, 125 e 256 mm respectivamente). Com relação a erosão os maiores picos observados foram nos meses julho (-0,37 cm e 8,4 mm de precipitação) e novembro (-0,33 cm e 130 mm de precipitação). Em 2019 apesar da variação, as médias estiveram próximas de zero na maior parte do ano. O mês com maior deposição de sedimentos foi setembro (0,52 cm e 32 mm de precipitação) e o mês com maior índice de erosão foi junho (-0,23 cm e 22 mm de precipitação). Em 2020 ocorreu erosão no mês de janeiro (-0,17 cm e 216 mm de precipitação) e no mês seguinte houve deposição de sedimentos (0,32 cm e 304 mm de precipitação).

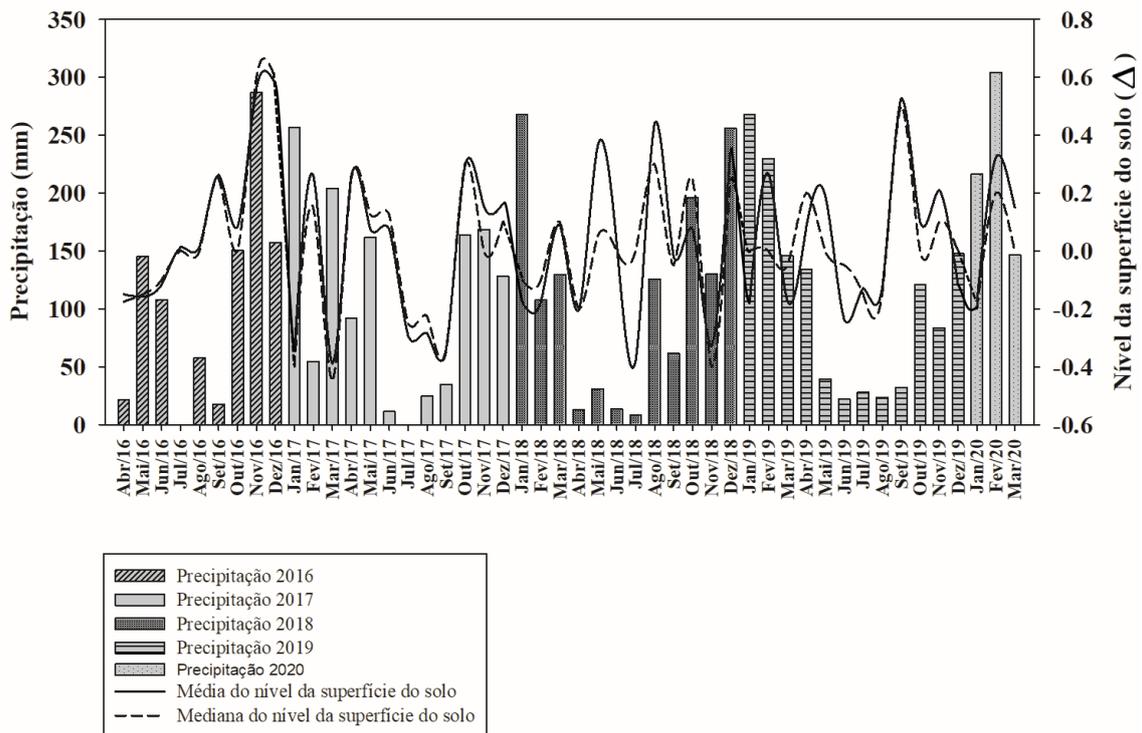


Figura 12: Variação do nível da superfície do solo versus precipitação pluvial mensal na área 2.1 no período de 2016 a 2020.

A área 2.2 no ano 2016 apresentou médias próximas de zero indicando a baixa variação do nível da superfície do solo (Fig. 13). O mês com maior deposição de sedimentos foi agosto (0,23 cm e 57 mm de precipitação) e o mês mais erosivo foi junho (-0,27 cm e 107 mm de precipitação). Em 2017, a redução do nível da superfície do solo foi mais relevante e o mês mais erosivo foi março (-0,48 cm e 203 mm de precipitação), enquanto que os meses com maior acúmulo de sedimentos foram setembro (0,29 cm e 34 mm de precipitação) e novembro (0,20 cm e 168 mm de precipitação). Em 2018 o maior pico de erosão ocorreu em novembro (-0,50 cm e 130 mm de precipitação) e os meses com maior acúmulo de sedimentos foram abril (0,33 cm e 12 mm de precipitação) e dezembro (0,51 cm e 256 mm de precipitação). O ano 2019 apresentou as menores médias do nível da superfície do solo, o maior acúmulo de sedimentos ocorreu no mês de novembro (0,22 cm e 83 mm de precipitação) e o maior pico de erosão foi no mês de dezembro (-0,21 cm e 147 mm de precipitação). Em 2020 houve baixos níveis de sedimentação, assim como baixa variação do nível da superfície do solo nesta área que esteve entre -0,15 a 0,02 cm.

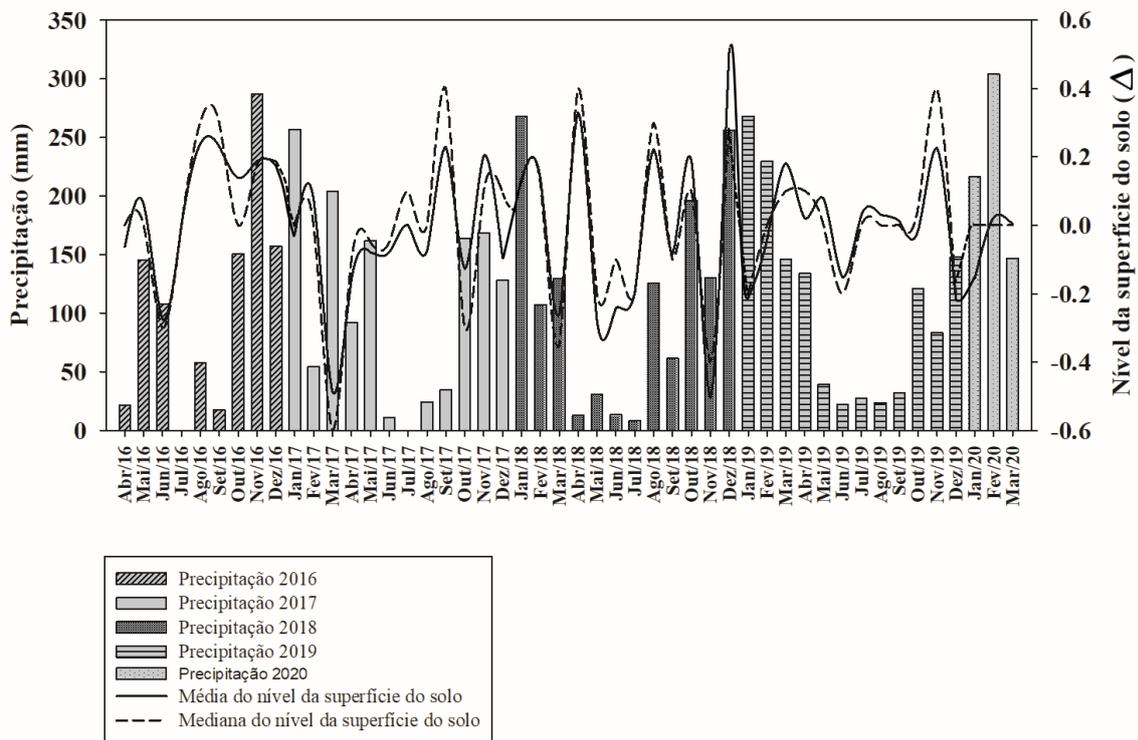


Figura 13: Variação do nível da superfície do solo versus precipitação pluvial mensal na área 2.2 no período de 2016 a 2020.

A área 2.3 apresentou as maiores discrepâncias entre os valores da média e mediana principalmente de 2016 a 2018 (Fig. 14). O ano 2016 apresentou bastante alteração do nível da superfície do solo com maior acúmulo de sedimentos em comparação a erosão. O maior pico de erosão ocorreu no mês de junho (-0,36 cm e 107 mm de precipitação) e os maiores picos de sedimentação ocorreram nos meses de novembro (0,41 cm e 286 mm de precipitação) e dezembro (0,47 cm e 157 mm de precipitação). Em 2017, assim como no ano anterior, houve bastante oscilação do nível do solo, porém diferentemente ao ano 2016, neste ano houve tendências mais erosivas em comparação a sedimentação, os maiores picos erosivos ocorreram nos meses de março (-0,48 cm e 203 mm de precipitação) e setembro (-0,40 cm e 34 mm de precipitação) e as maiores deposições de sedimentos ocorreram nos meses de janeiro (0,43 cm e 256 mm de precipitação) e outubro (0,58 cm e 163 mm de precipitação). O ano 2018 apresentou menor variação do nível da superfície do solo em relação aos anos anteriores. O mês mais erosivo foi março (-0,14 cm e 129 mm de precipitação) e o mês com maior acúmulo de sedimentos foi dezembro (0,31 cm e 256 mm de precipitação). O ano 2019 apontou a menor oscilação do nível da superfície do solo com médias próximas de zero. O maior pico de erosão aconteceu no mês de março (-0,17 cm e 145 mm de precipitação) e o maior pico de sedimentação ocorreu no mês seguinte em abril (0,20 cm e 134 mm de precipitação). Em 2020,

assim como na área 2.2, também houve baixa sedimentação e baixa variação do nível da superfície do solo de -0,12 a 0,05 cm.

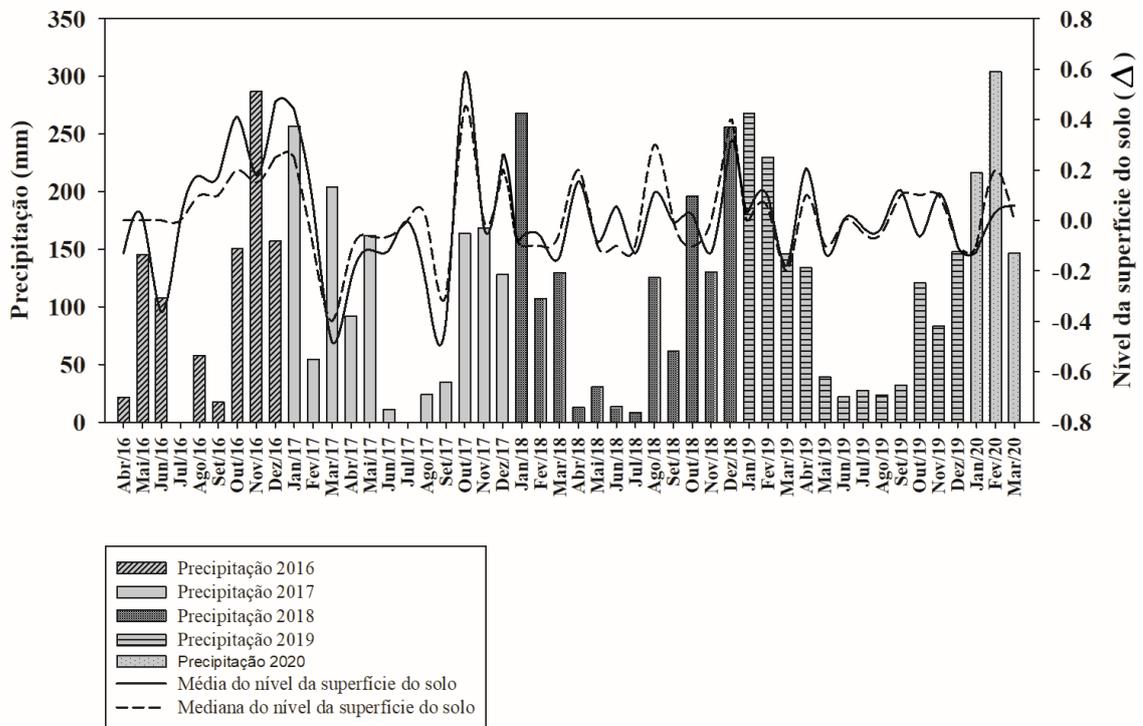


Figura 14: Variação do nível da superfície do solo versus precipitação pluvial mensal na área 2.3 no período de 2016 a 2020.

2.3.1.4. Variação espaço-temporal dos sedimentos

Todos os anos de monitoramento da erosão e sedimentação sofreram variações em função dos meses de avaliação e das áreas.

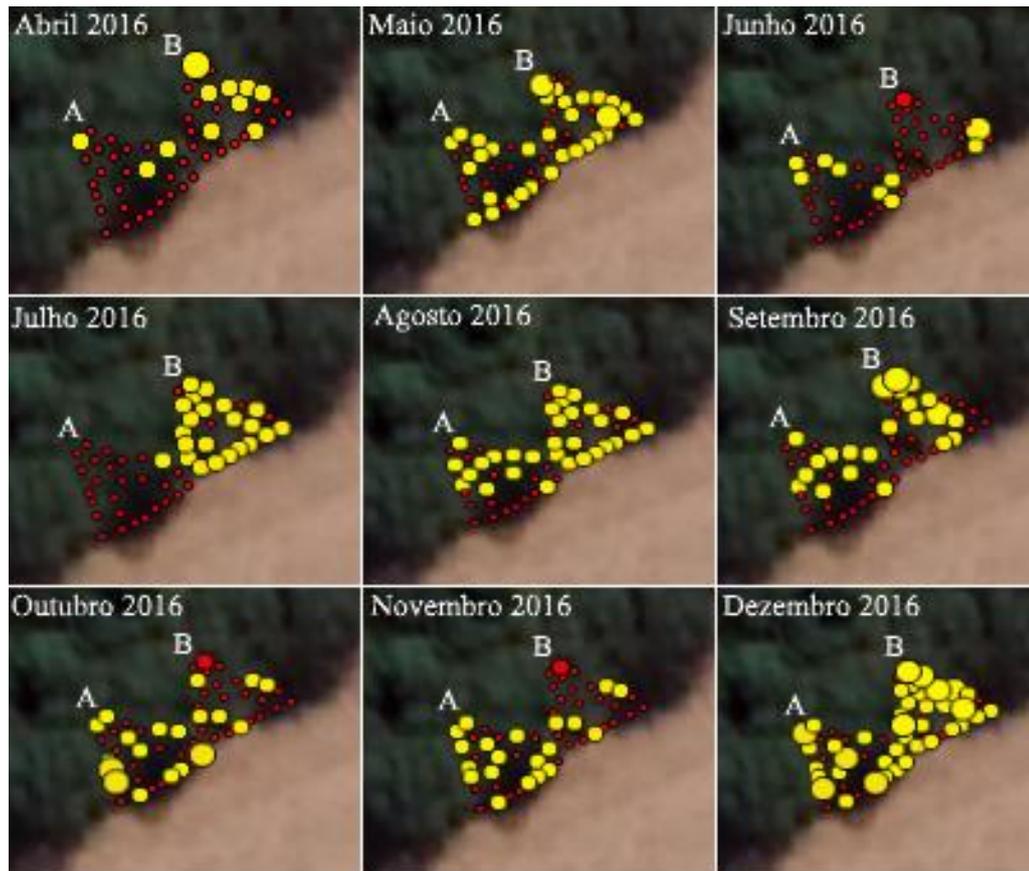
O ano 2016 apresentou em geral acúmulos de sedimentos em torno de 1 a 2 cm e erosão -1 cm abaixo do nível do solo em todas as áreas (Fig. 15, 16 e 17).

As áreas 1.1 e 1.2 apresentam um predomínio dos pontos de erosão no mês de abril em até -1 cm, e a sedimentação prevalece nas duas áreas não ultrapassando 3 cm. Em junho, a erosão volta a predominar e em julho somente a área 1.1 sofreu erosão em todos os pontos em até -1 cm enquanto a área 1.2 sofreu maior sedimentação em até 1 cm. No mês de agosto a deposição de sedimentos predomina e de setembro a novembro os pontos erosivos prevalecem em geral até -1 cm. Em dezembro a sedimentação volta a prevalecer nas duas áreas.

Nas áreas 1.4 e 1.5 predominam os pontos erosivos no mês de janeiro em até -1cm, em fevereiro a sedimentação se sobressai em geral até 2 cm. Em março a erosão volta a predominar

marcando até -4 cm em locais isolados. Nos meses julho e agosto praticamente não houve alteração, os pontos de acúmulos de sedimentos predominam em relação a erosão na área 1.4 enquanto que na área 1.5 predomina a erosão. Em setembro a sedimentação prevalece marcando até 4 cm na área 1.5 e outubro a dezembro praticamente não houveram alterações.

Na área 2 a erosão predomina nas três áreas até o mês de julho chegando a atingir -4 cm. Em agosto a sedimentação prevalece nas áreas 2.2 e 2.3 e praticamente não há alteração no mês seguinte. Em outubro a erosão prevalece principalmente nas áreas 2.1 e 2.2 em até -1 cm e de novembro a dezembro praticamente não há modificação entre as áreas, a sedimentação prevalece aumentando até 4 cm na área 2.1.



LEGENDA
Nível da superfície do solo (cm)

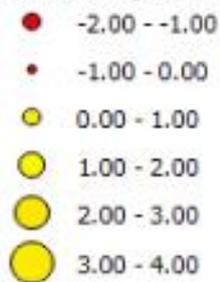


Figura 15: Níveis de deposição de sedimentos (cor amarela) e erosão do solo (cor vermelha) na mata ciliar em 2016. O tamanho da circunferência é proporcional das mudanças observadas. A – área 1.1 e B – área 1.2.

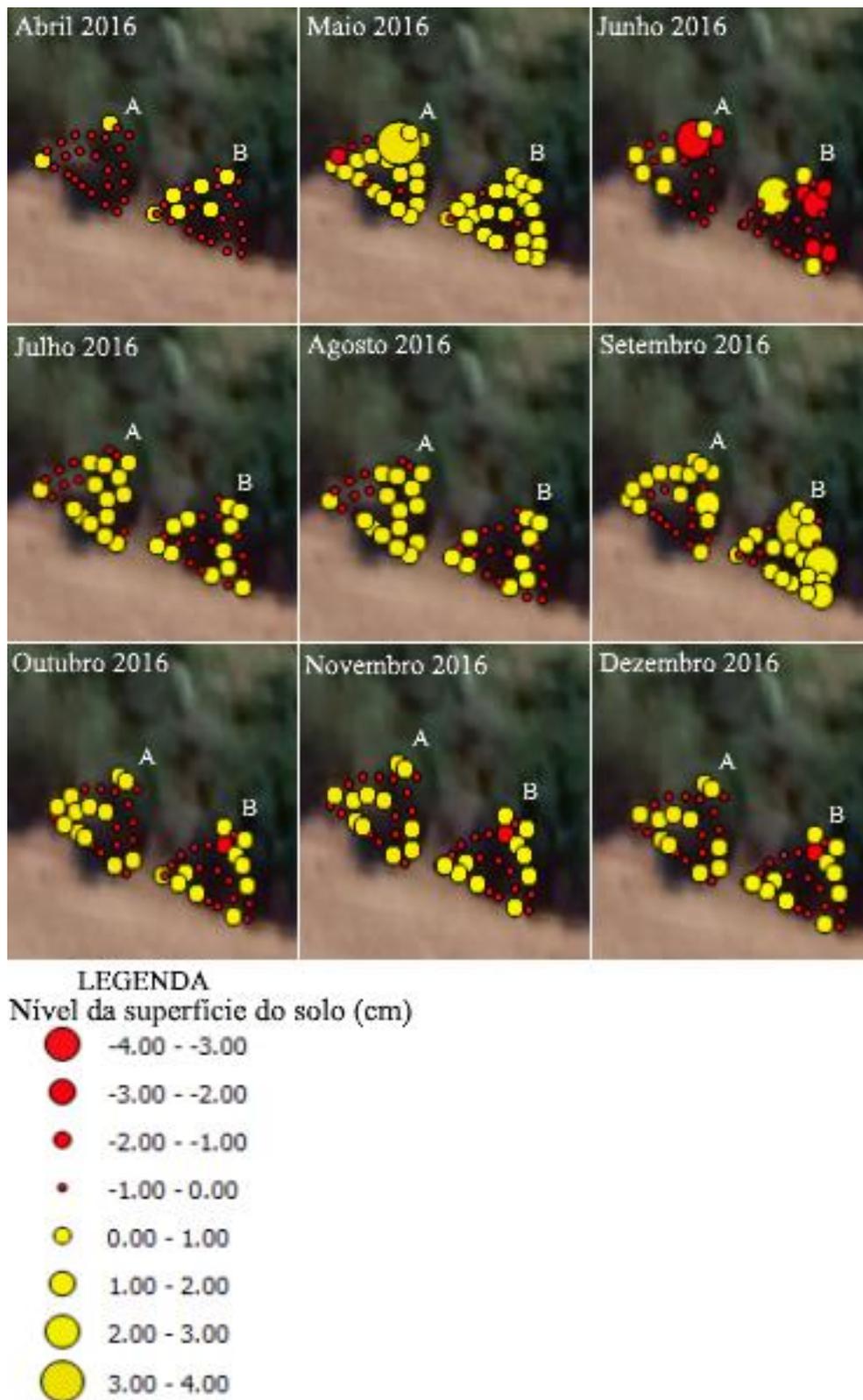
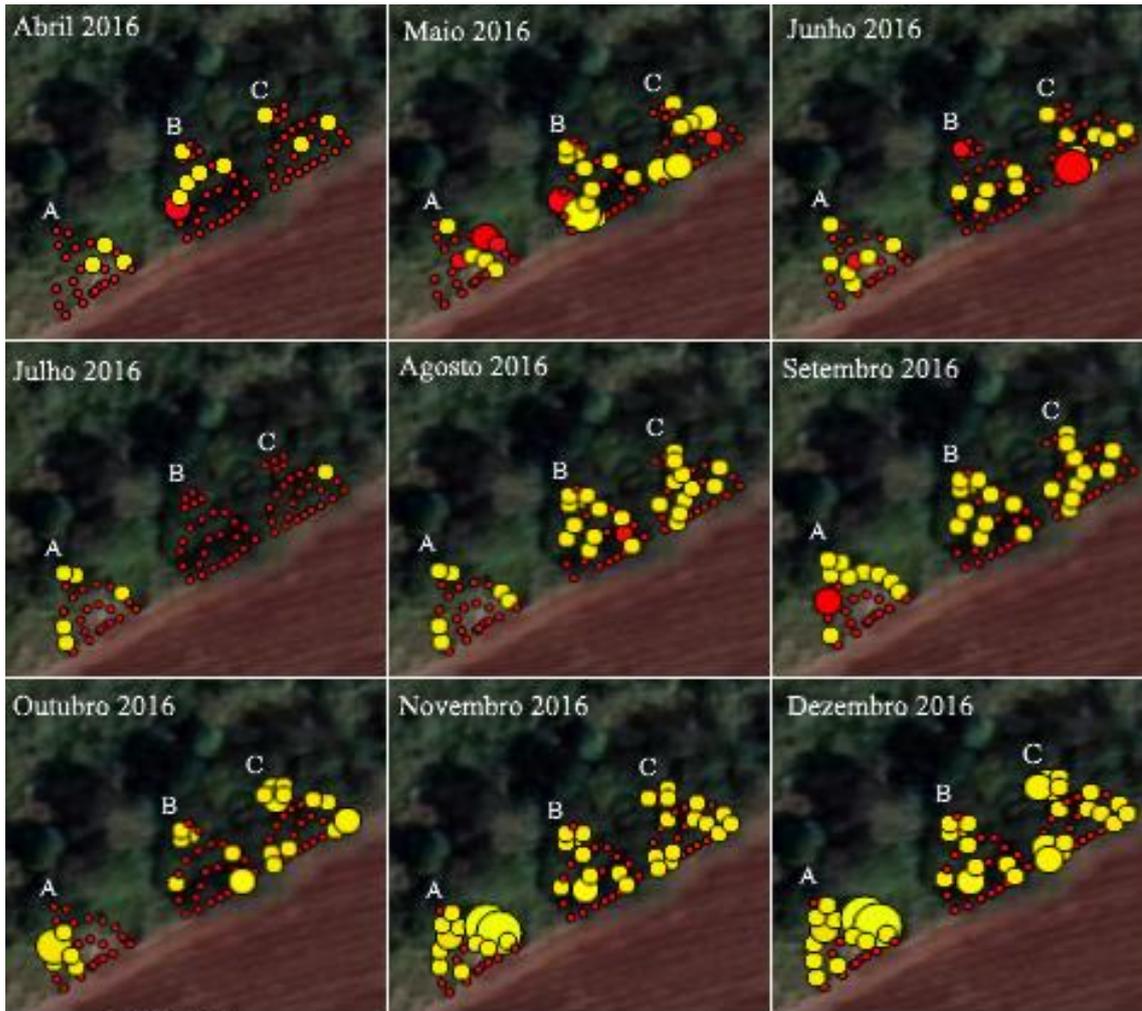


Figura 16: Níveis de deposição de sedimentos (cor amarela) e erosão do solo (cor vermelha) na mata ciliar em 2016. O tamanho da circunferência é proporcional das mudanças observadas. A – área 1.4 e B – área 1.5.



LEGENDA
Nível da superfície do solo (cm)

- -4.00 - -3.00
- -3.00 - -2.00
- -2.00 - -1.00
- -1.00 - 0.00
- 0.00 - 1.00
- 1.00 - 2.00
- 2.00 - 3.00
- 3.00 - 4.00

Figura 17: Níveis de deposição de sedimentos (cor amarela) e erosão do solo (cor vermelha) na mata ciliar em 2016. O tamanho da circunferência é proporcional das mudanças observadas. A – área 2.1, B – área 2.2 e C – área 2.3.

Em 2017 houveram aumentos nos níveis de erosão e sedimentação especialmente nos meses janeiro, março e de julho a outubro nas áreas 1.1 e 1.2 (Fig. 18) e na área 2 (Fig. 20). Do mês de julho ao mês de setembro houveram pequenas modificações na área 1. Nas áreas 1.4 e 1.5 as maiores modificações do nível da superfície do solo ocorreram dos meses julho a setembro com variação de -4 cm a 4 cm do nível do solo (Fig. 19).

Observa-se uma distinção entre as áreas 1.1 e 1.2 até o mês de junho. Em janeiro a área 1.1 acumula mais sedimento enquanto que a área 1.2 ocorre mais erosão. Em fevereiro a sedimentação prevalece nas duas áreas porém em maior quantidade na área 1.2. Em março a erosão predomina marcando até -3 cm na área 1.1. Em abril há maior erosão na área 1.1 enquanto que na área 1.2 há maior deposição de sedimentos e essa tendência predomina até o mês de junho. De julho a setembro há pouca variação e os pontos de erosão e sedimentação chegam a marcar -4 cm a 4 cm em locais isolados. No mês de outubro a deposição de sedimentos se destaca e acontece pequenas variações até o mês de dezembro.

Nas áreas 1.4 e 1.5 ocorre pequena alteração nos meses janeiro e fevereiro. No mês seguinte a erosão ocorre com mais frequência chegando a marcar -3 cm na área 1.4 e no mês de abril o acúmulo de sedimentos predomina nas duas áreas até o mês de junho com pequenas variações. Do mês de julho ao mês de setembro tanto a erosão quanto a deposição de sedimentos ocorre de maneira mais acentuada nas duas áreas chegando a atingir -4 cm a 4 cm do nível do solo. De outubro a dezembro a sedimentação prevalece em até 3 cm em pontos isolados.

Na área 2, os conjuntos de pinos localizadas na floresta (2.2 e 2.3) se diferenciam em relação ao conjunto localizado no pasto (2.1) até o mês de setembro. Em janeiro, as áreas 2.2 e 2.3 tendem a acumular sedimentos enquanto na área 2.1 ocorre erosão. Em fevereiro ocorre o inverso e no mês de março em todas as áreas predomina erosão de até -4 cm. De abril a junho praticamente não houve variação dos pontos de erosão e sedimentação que estiveram entre -3 a 3 cm, as áreas de florestas apresentaram maior quantidade de pontos erosivos, enquanto a área de pasto maior sedimentação. O mês de julho e agosto praticamente não houve alteração nas três áreas. Em setembro, a erosão predomina em até -4 cm e de outubro a dezembro a sedimentação volta a prevalecer em até 4 cm e alguns pontos isolados de erosão de até -4 cm.

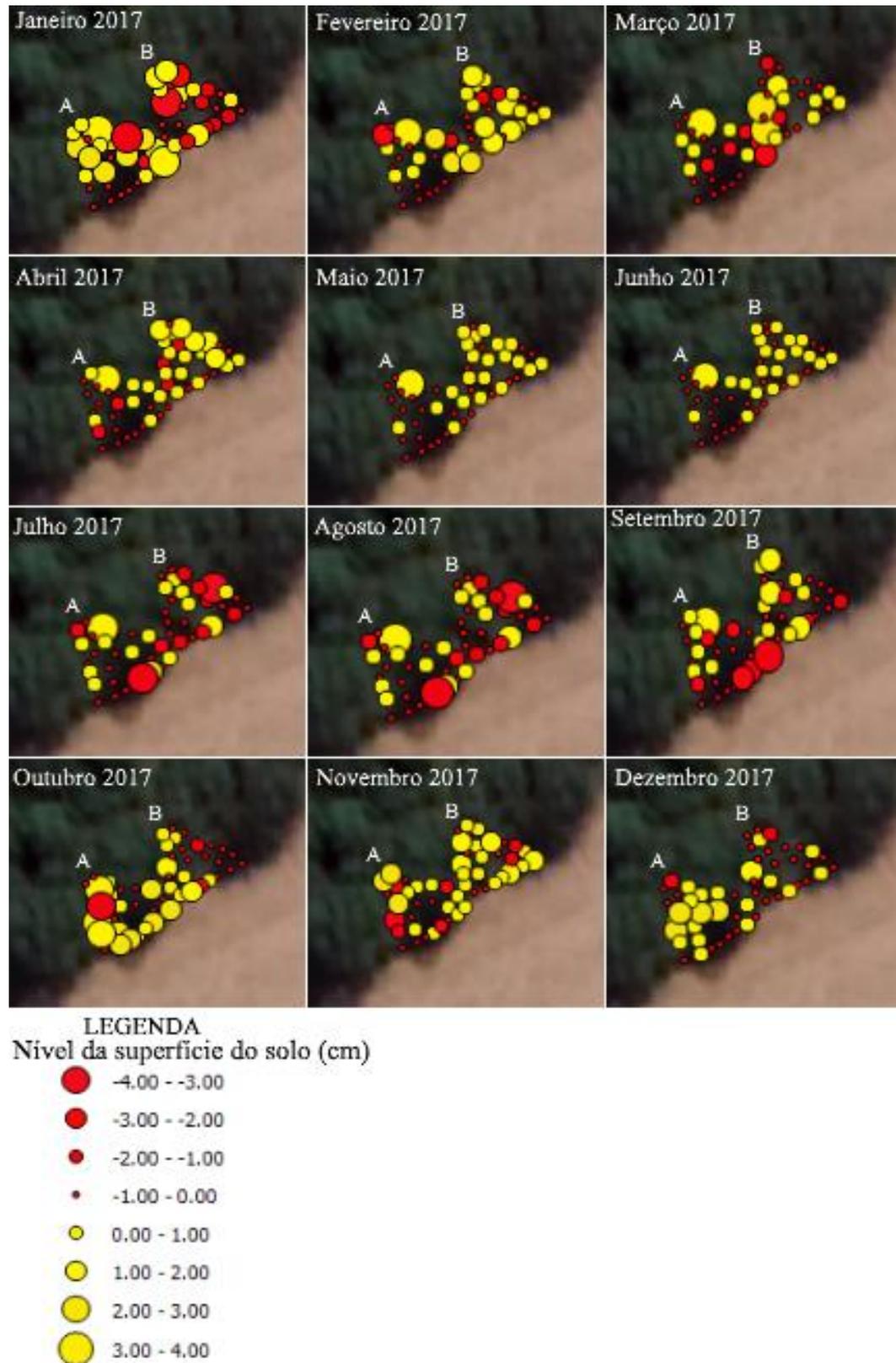


Figura 18: Níveis de deposição de sedimentos (cor amarela) e erosão do solo (cor vermelha) na mata ciliar em 2017. O tamanho da circunferência é proporcional das mudanças observadas. A – área 1.1 e B – área 1.2.

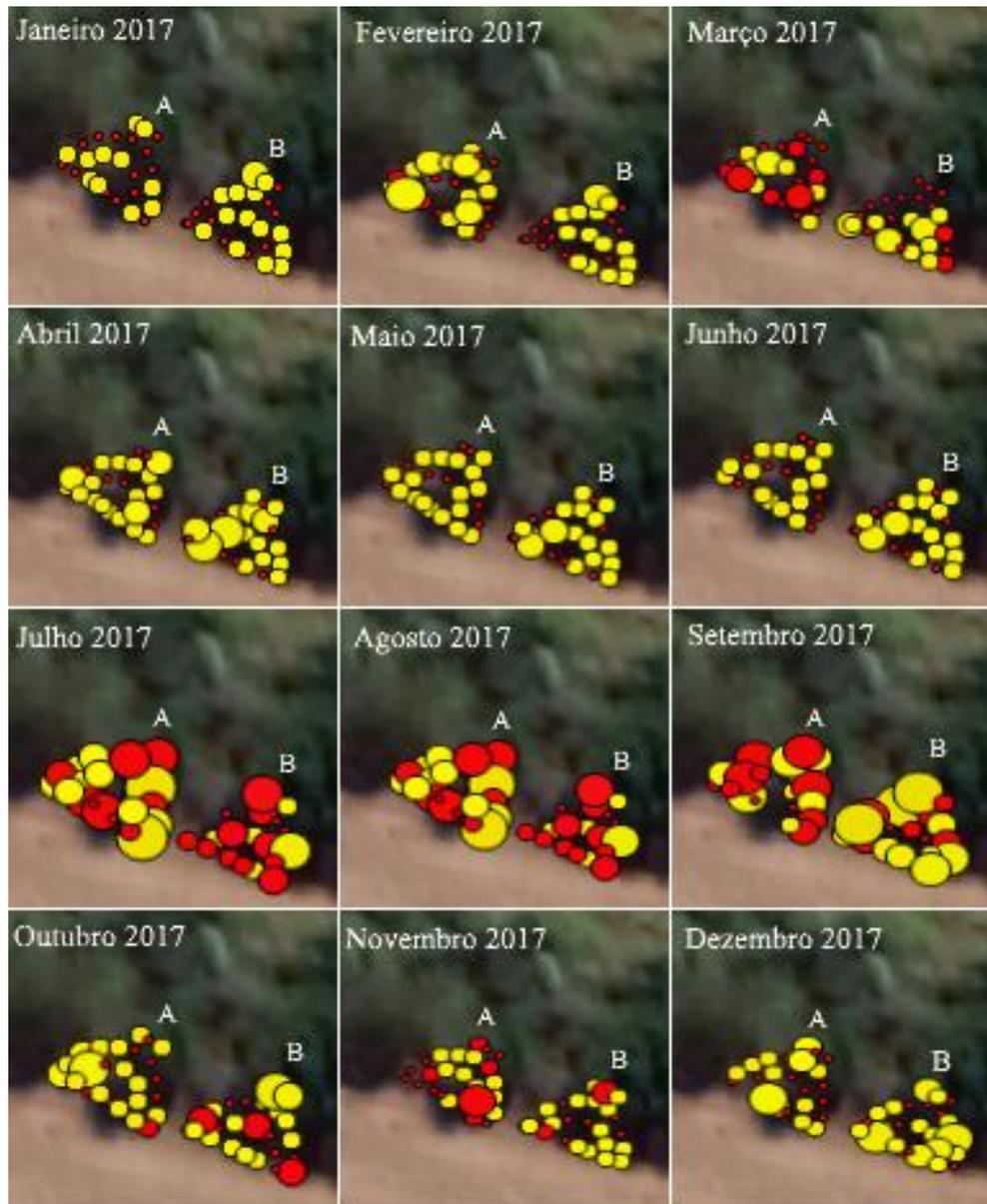


Figura 19: Níveis de deposição de sedimentos (cor amarela) e erosão do solo (cor vermelha) na mata ciliar em 2017. O tamanho da circunferência é proporcional das mudanças observadas. A – área 1.4 e B – área 1.5.

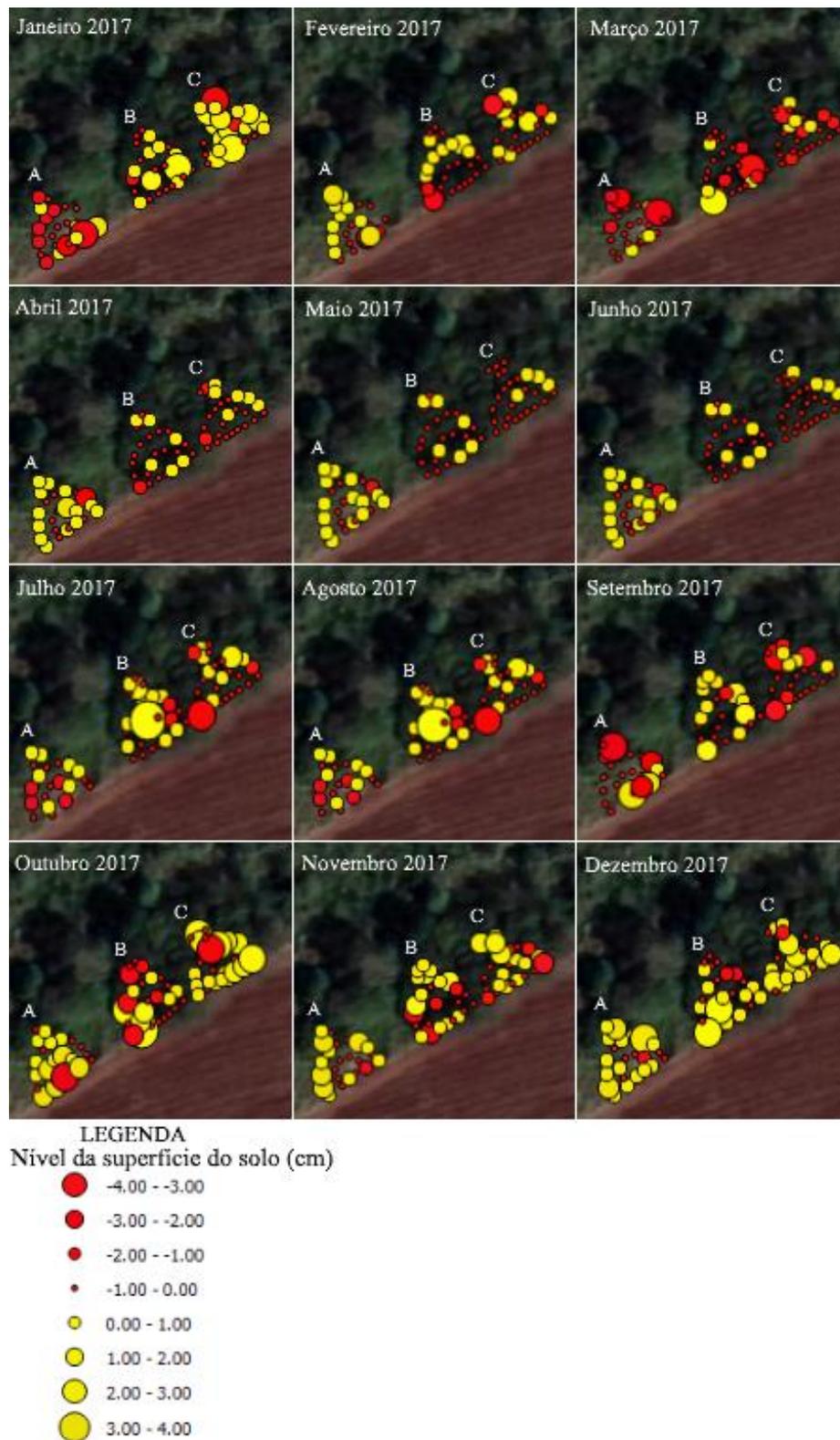


Figura 20: Níveis de deposição de sedimentos (cor amarela) e erosão do solo (cor vermelha) na mata ciliar em 2017. O tamanho da circunferência é proporcional das mudanças observadas. A – área 2.1, B – área 2.2 e C – área 2.3.

No ano 2018 a alteração da superfície do solo manteve a mesma amplitude de -4 cm a 4 cm de erosão e sedimentação na área 1 (Fig. 21 e 22). Já na área 2 essa amplitude sofreu alteração chegando a atingir -8 cm de erosão e 8 cm de deposição de sedimentos (Fig. 23).

Nas áreas 1.1 e 1.2 os pontos de erosão e sedimentação são proporcionais em janeiro e fevereiro (Fig. 21). Nos meses março e abril a deposição de sedimentos prevalece até 3 cm. De maio a julho há o surgimento dos pontos de erosão principalmente na área 1.1 não ultrapassando -2 cm. De agosto a outubro a deposição de sedimentos volta a predominar, porém alguns pontos isolados de erosão marcam até -4 cm. Há bastante alteração nos meses novembro e dezembro com maior deposição de sedimentos no mês de dezembro.

As áreas 1.4 e 1.5 seguem a mesma disposição das áreas 1.1 e 1.2 nos meses janeiro e fevereiro com um aumento da sedimentação do mês de março ao mês de junho marcando até 4 cm com pontos isolados de erosão de até -4 cm (Fig. 22). Em julho os pontos erosivos se evidenciam até -2 cm e de agosto a dezembro, a deposição de sedimentos predomina com exceção do mês de novembro em que a erosão predomina.

A área 2 apresenta as maiores oscilações de erosão e sedimentação. Nas áreas 2.2 e 2.3 localizadas na floresta, as maiores deposições de sedimentos e erosões ocorrem principalmente nos meses março, abril, maio e de setembro a dezembro, já a área 2.1 referente a área de pasto a magnitude da erosão e sedimentação ocorre em todos os meses do ano com variações de -8 a 8 cm.

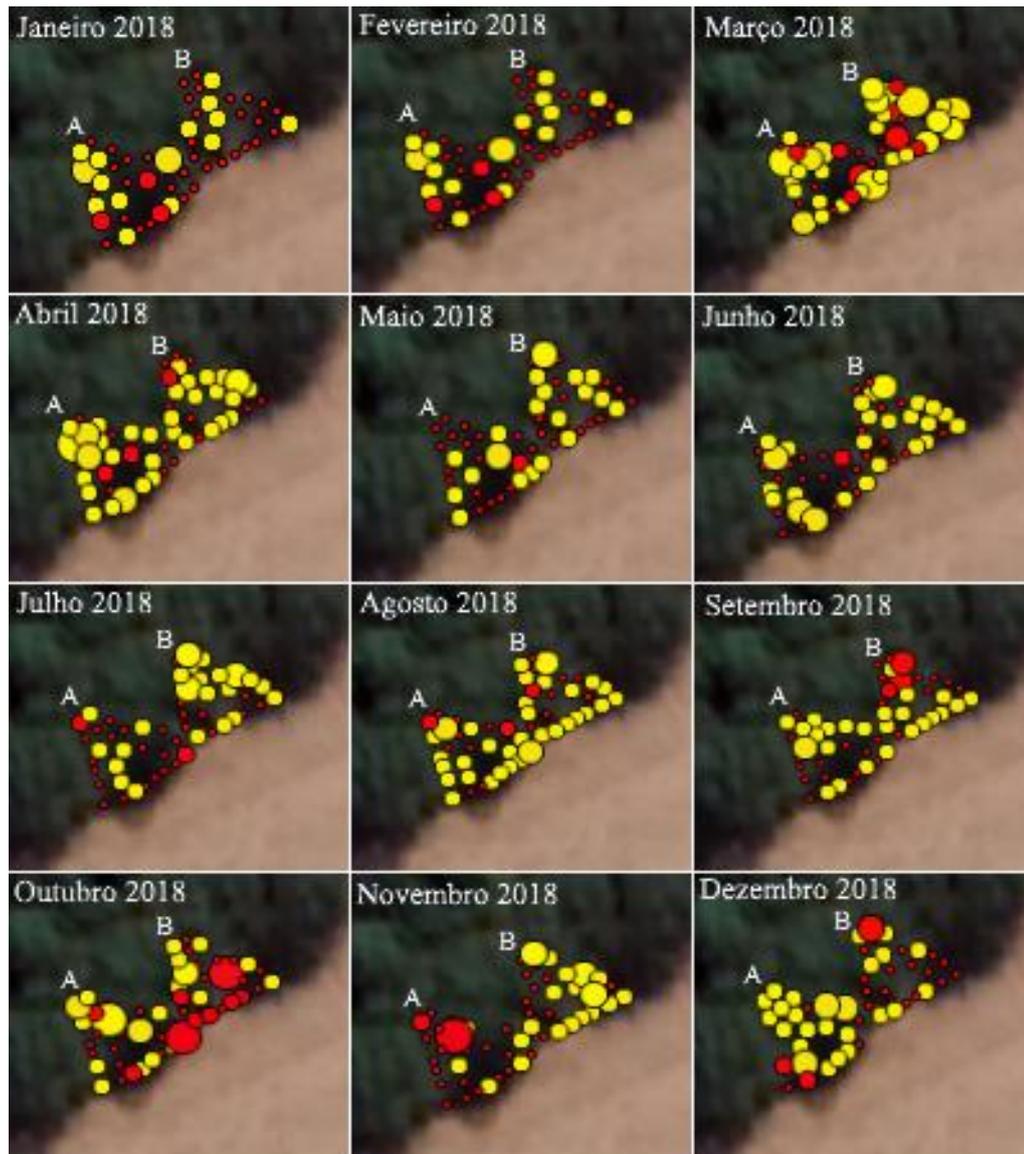


Figura 21: Níveis de deposição de sedimentos (cor amarela) e erosão do solo (cor vermelha) na mata ciliar em 2018. O tamanho da circunferência é proporcional das mudanças observadas. A – área 1.1 e B – área 1.2.

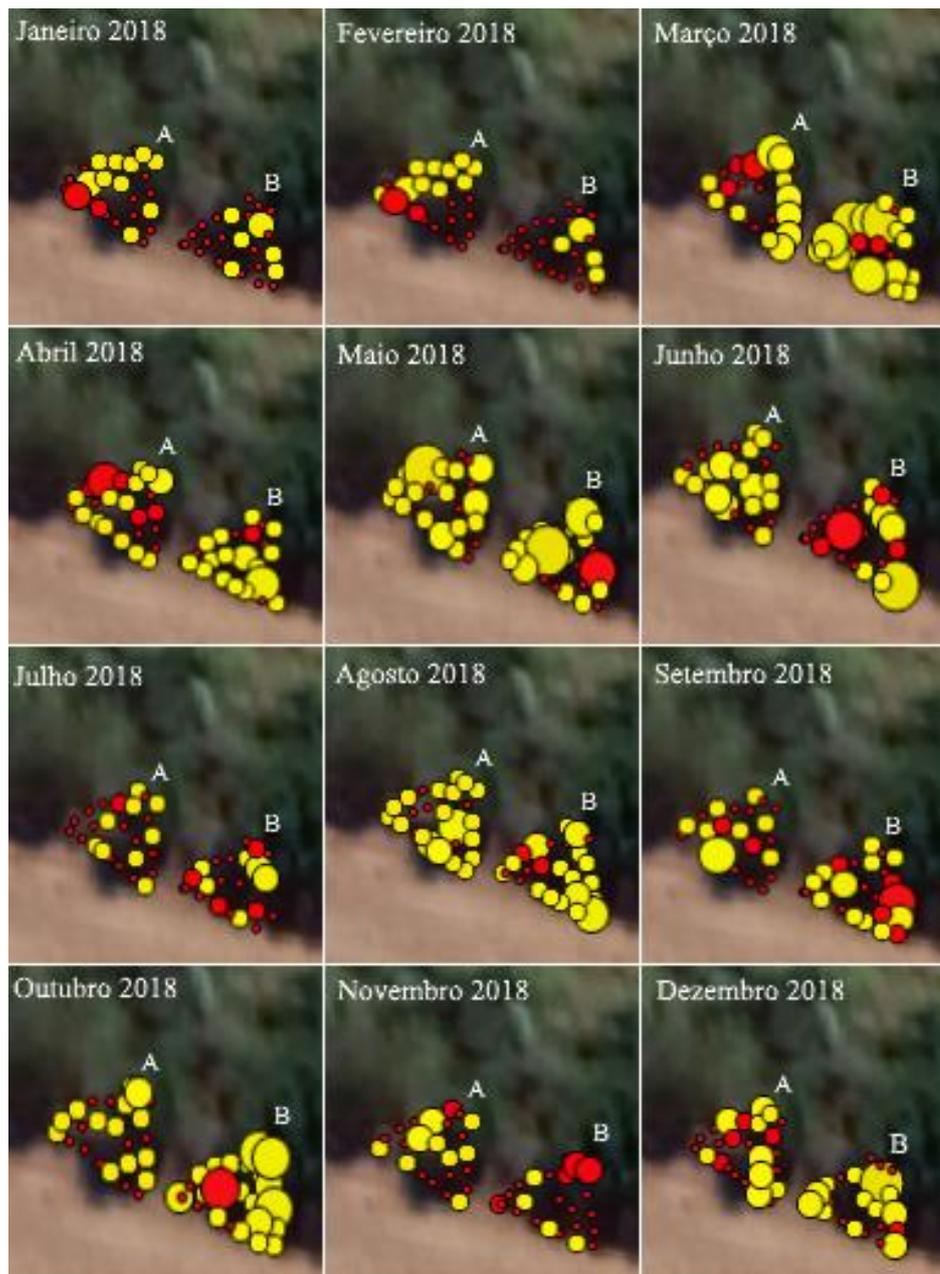


Figura 22: Níveis de deposição de sedimentos (cor amarela) e erosão do solo (cor vermelha) na mata ciliar em 2018. O tamanho da circunferência é proporcional das mudanças observadas. A – área 1.4 e B – área 1.5.

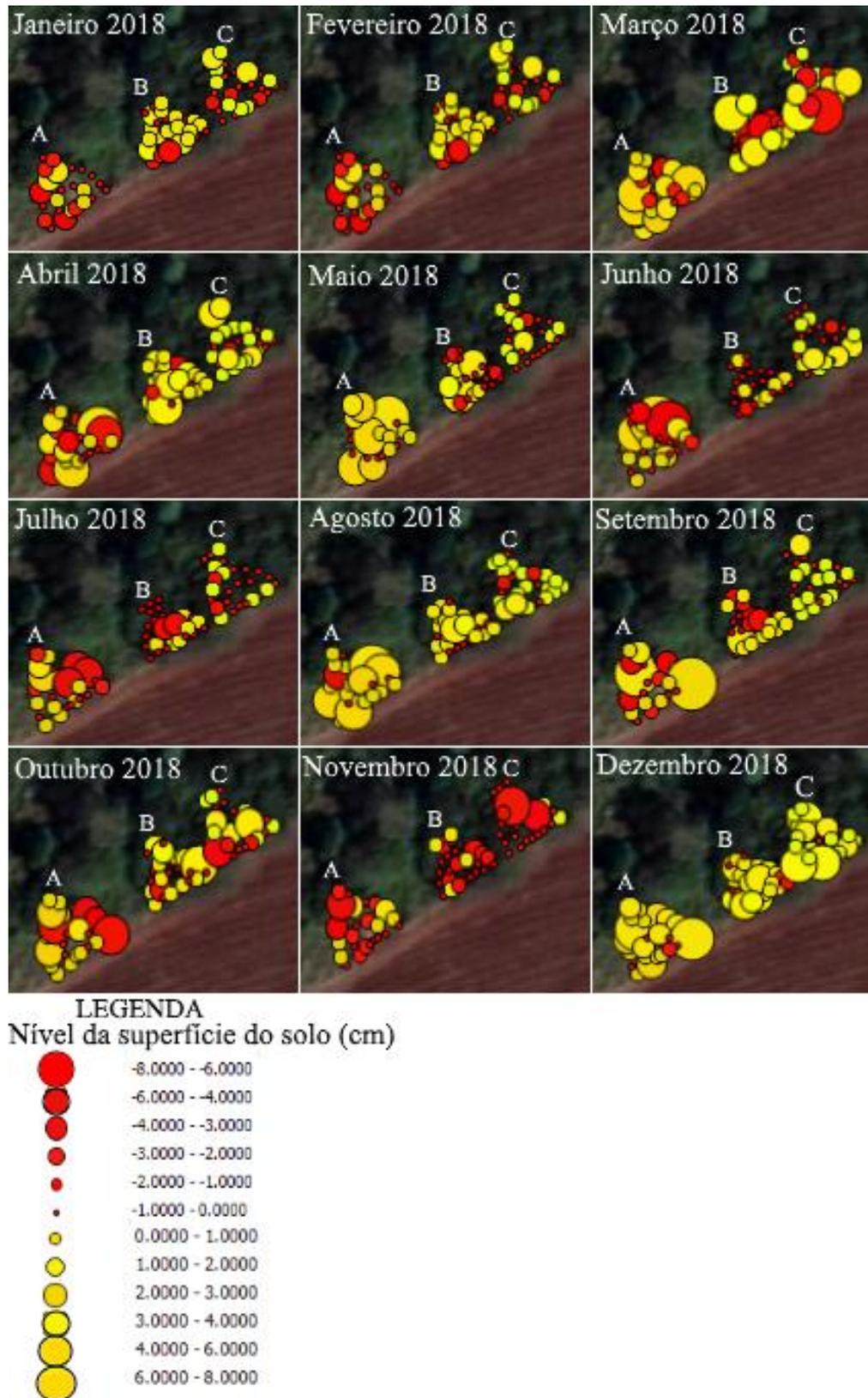


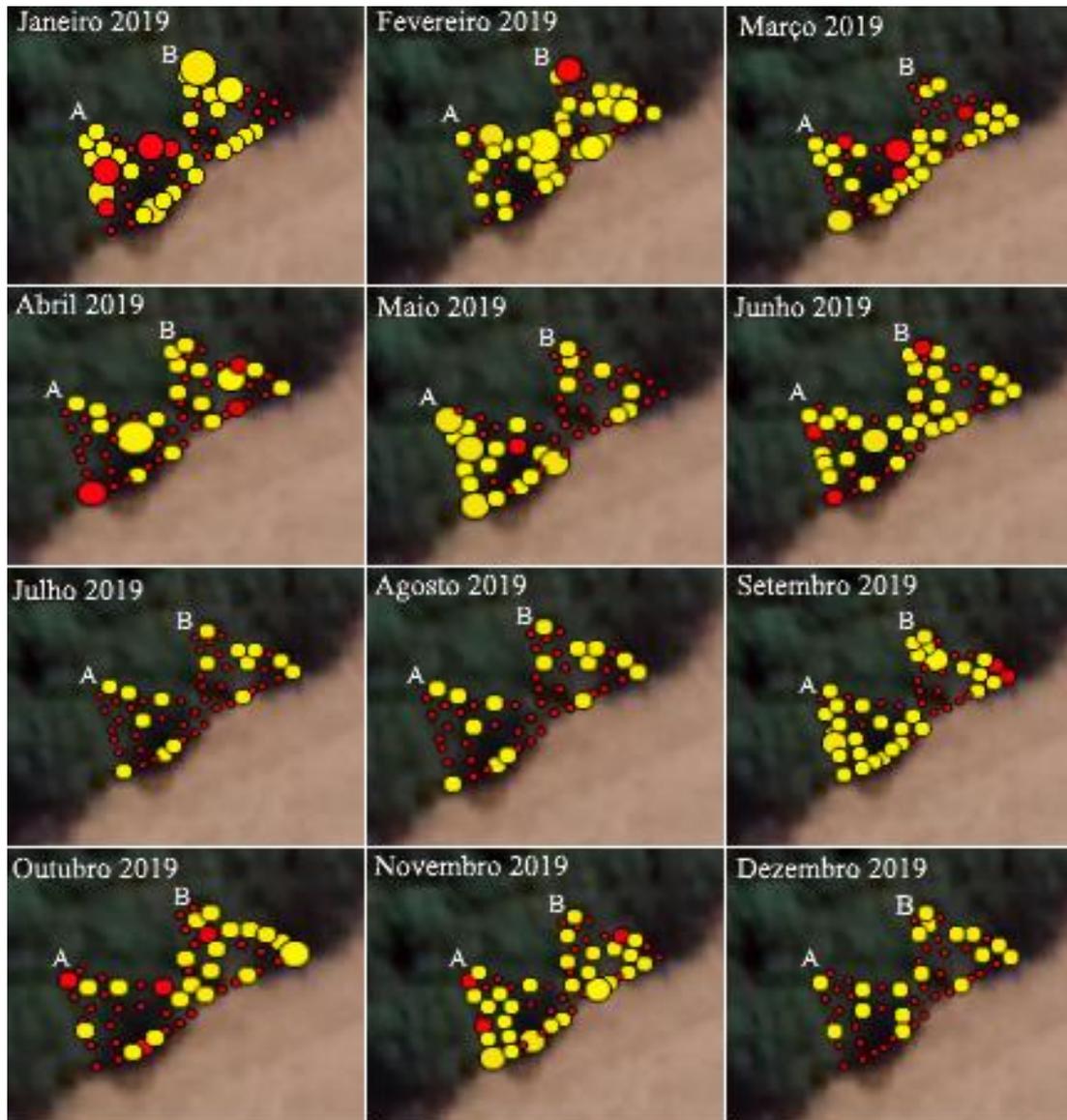
Figura 23: Níveis de deposição de sedimentos (cor amarela) e erosão do solo (cor vermelha) na mata ciliar em 2018. O tamanho da circunferência é proporcional das mudanças observadas. A – área 2.1, B – área 2.2 e C – área 2.3.

Em 2019, a alteração do nível da superfície do solo foi menor nas áreas 1.1 e 1.2 que variou entre -3 cm a 3 cm, mas em geral os pontos erosivos foram de -1 cm e os pontos de sedimentação até 2 cm (Fig. 24). As áreas 1.4 e 1.5 mantiveram a variações entre -4 cm a 4 cm, mas em geral o acúmulo de sedimentos foi de até 2 cm e a erosão de -1 cm (Fig. 25). Na área 2 essa variação foi maior, semelhante ao ano anterior entre -8 cm e 8 cm do nível do solo (Fig. 26).

Nas áreas 1.1 e 1.2 os pontos erosivos e de sedimentação foram mais acentuados até o mês de junho principalmente nos meses janeiro, fevereiro e abril. Nos meses secos de julho e agosto praticamente não houveram mudanças, a erosão não ultrapassa -1 cm e a sedimentação 2 cm. E de setembro a dezembro houve pouca variação do nível do solo de -2 cm a 2 cm.

As áreas 1.4 e 1.5 sofreram mais alteração em comparação as áreas 1.1 e 1.2. Em janeiro há pontos de erosão marcando até -3 cm na área 1.5. Em fevereiro e março, a sedimentação prevalece até 4 cm. Em abril a erosão prevalece e em maio e junho a deposição de sedimentos é maior marcando até 4 cm e erosão até -4 cm em posições isoladas. No mês de julho há um aumento dos pontos de erosão e se mantém constantes no mês seguinte. De setembro a novembro a deposição de sedimentos predomina nas duas áreas e em dezembro ocorre um aumento da erosão até -2 cm na área 1.5.

As maiores alterações na área 2 ocorreram na área 2.1 com tendências tanto erosivas quanto em acumular sedimentos evidenciado principalmente nos meses de janeiro, março, junho, setembro e outubro. As áreas 2.2 e 2.3 apresentaram tendência erosiva no mês de janeiro e tendência em acumular sedimentos nos meses de março, setembro e novembro. Em todas as áreas a erosão chegou a atingir -8 cm e o acúmulo de sedimentos 8 cm.



LEGENDA
Nível da superfície do solo (cm)

- -3.00 - -2.00
- -2.00 - -1.00
- -1.00 - 0.00
- 0.00 - 1.00
- 1.00 - 2.00
- 2.00 - 3.00

Figura 24: Níveis de deposição de sedimentos (cor amarela) e erosão do solo (cor vermelha) na mata ciliar em 2019. O tamanho da circunferência é proporcional das mudanças observadas. A – área 1.1 e B – área 1.2.



Figura 25: Níveis de deposição de sedimentos (cor amarela) e erosão do solo (cor vermelha) na mata ciliar em 2019. O tamanho da circunferência é proporcional das mudanças observadas. A – área 1.4 e B – área 1.5.

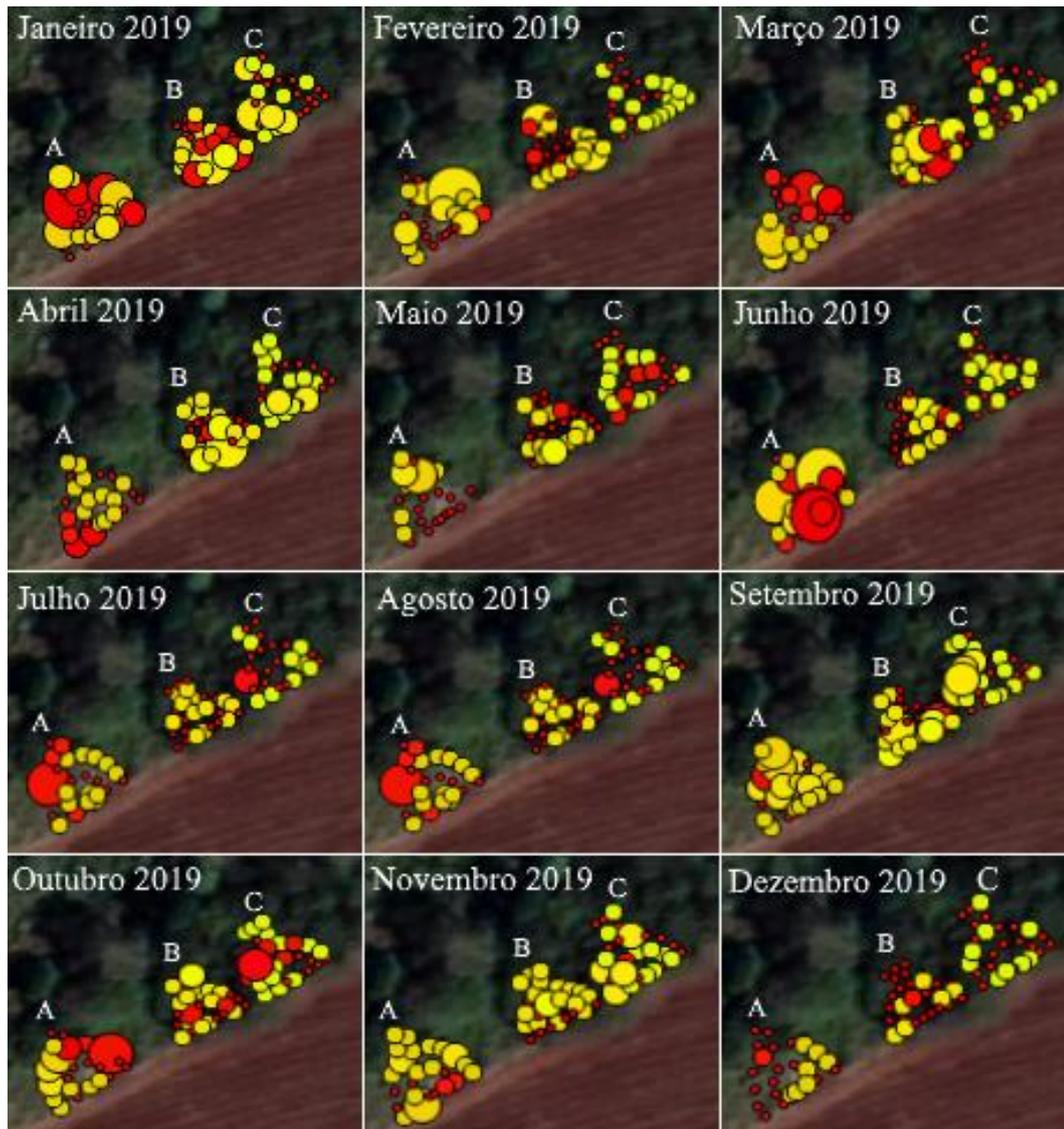


Figura 26: Níveis de deposição de sedimentos (cor amarela) e erosão do solo (cor vermelha) na mata ciliar em 2019. O tamanho da circunferência é proporcional das mudanças observadas. A – área 2.1, B – área 2.2 e C – área 2.3.

Em 2020 nos três meses de avaliação (janeiro a março) ocorreu pouca variação espaço temporal dos sedimentos. As áreas 1.1 e 1.2 apresentaram tendência em acumular sedimentos no mês de fevereiro em até 2 cm e no mês seguinte apresentaram tendência erosiva em até -3 cm (Fig. 27).

As áreas 1.4 e 1.5 apresentaram comportamento semelhante às áreas 1.1 e 1.2 (Fig. 28), no entanto a disposição em ocorrer erosão e/ou sedimentação foi bastante heterogênea nos três meses avaliados.

A área 2 apresentou propensão de ocorrer erosão no mês de janeiro nas três áreas (Fig. 29) principalmente a área 2.1 de até -3 cm. No mês seguinte, a tendência foi em acumular sedimentos em até 3 cm e no mês de março a erosão e sedimentação foi bem variada e de baixa amplitude nas três áreas.

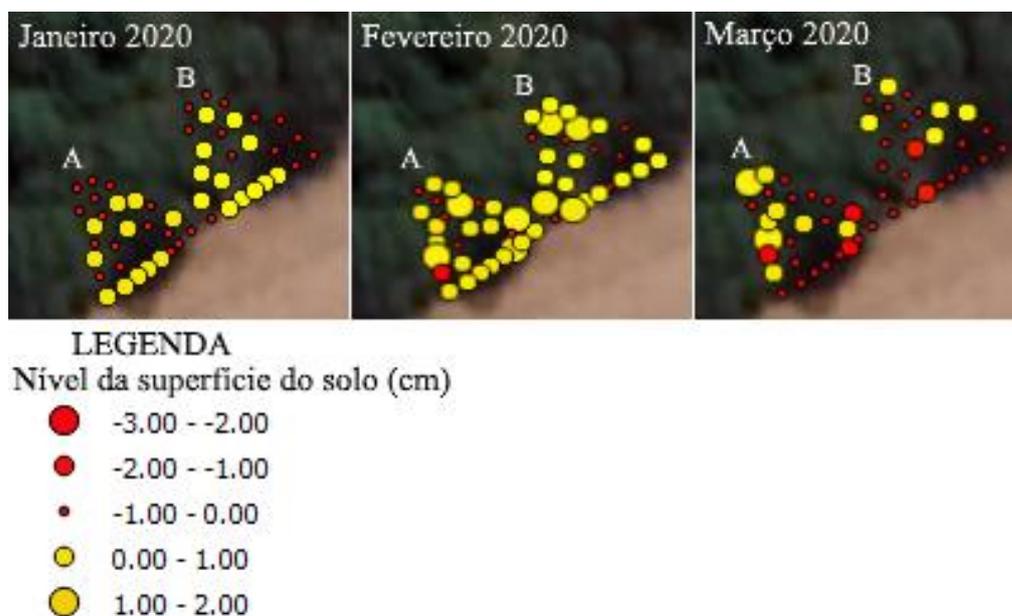


Figura 27: Níveis de deposição de sedimentos (cor amarela) e erosão do solo (cor vermelha) na mata ciliar em 2020. O tamanho da circunferência é proporcional das mudanças observadas. A – área 1.1 e B – área 1.2.



Figura 28: Níveis de deposição de sedimentos (cor amarela) e erosão do solo (cor vermelha) na mata ciliar em 2020. O tamanho da circunferência é proporcional das mudanças observadas. A – área 1.4 e B – área 1.5.

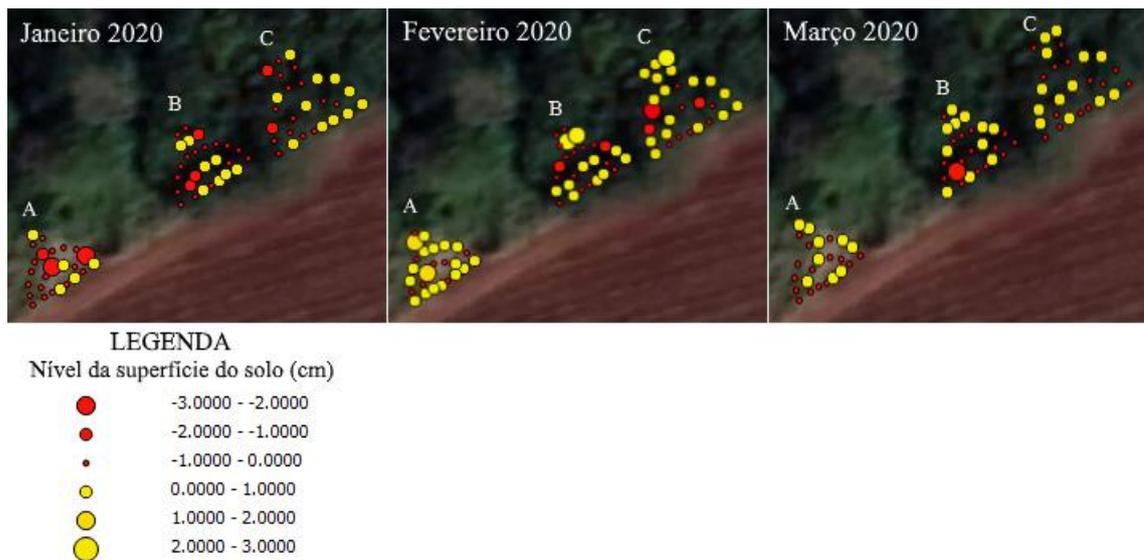


Figura 29: Níveis de deposição de sedimentos (cor amarela) e erosão do solo (cor vermelha) na mata ciliar em 2020. O tamanho da circunferência é proporcional das mudanças observadas. A – área 2.1, B – área 2.2 e C – área 2.3.

De forma geral a erosão e/ou deposição de sedimentos não foram aparentes, embora em alguns meses e em algumas localidades tenha ocorrido elevada variação do nível da superfície do solo. Pressupõem-se que o alcance dos sedimentos tenha ultrapassado os 15 e 10 m sendo esta a distância dos pinos da borda até o último pino da parte interna da mata que foram restauradas a 5 e 6 anos atrás, considerando que a última estaca apresentou deposição de sedimentos em boa parte do período avaliado. Esta observação ocorreu em todos os meses dos anos de avaliação, porém de forma mais intensa nos meses mais chuvosos.

2.3.2. Usina São Manoel

2.3.2.1. Caracterização morfológica

A área de estudo (Fig. 30) caracterizou-se por ser não pedregosa e não rochosa, com drenagem forte e erosão moderada, além de relevo local e regional suave ondulado. Todos os perfis, mesmo aqueles que apresentavam camadas de sedimentos na sua superfície, apresentaram a mesma classe de solo até o 4º nível categórico de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2013) evidenciando a homogeneidade dos solos da área estudada. O solo da área é um típico Neossolo Quartzarênico, com textura arenosa em todos os horizontes e/ou camadas (Tabela 1) o que configura elevada suscetibilidade a erosão. A estrutura variou de granular a grão simples, sendo que para alguns horizontes subsuperficiais foi observada a presença de uma estrutura maciça.

Tabela 2: Descrição morfológica e conteúdo de matéria orgânica dos horizontes e sedimentos do solo de cada perfil

Horizonte	Camada m	Cor úmida (Munsell)	Estrutura ¹	Textura	Matéria orgânica g kg ⁻¹
T1					
Ap1	0,00-0,10	5YR 3/3	gr, méd, fra	Arenoso	15,63
Ap2	0,10-0,17	5YR 3/3	mç	Arenoso	7,47
CA	0,17-0,48	5YR 4/4	mç	Arenoso	5,40
C1	0,48-0,71	5YR 4/6	gs	Arenoso	5,16
C2	0,71-0,86	5YR 4/4	gs	Arenoso	3,06
C3	0,86-1,17	5YR 4/6	mç - gs	Arenoso	6,34
C4	1,17-1,80	5YR 4/6	gs	Arenoso	2,65
T2					
Ap	0,00-0,20	7,5YR 3/4	gr, méd, fra	Arenoso	5,18
CA	0,20-0,50	5YR 3/4	mç - gs	Arenoso	5,29
C1	0,50-0,95	5YR 4/6	mç	Arenoso	1,41
C2	0,95-1,20	5YR 4/6	gs	Arenoso	6,64
C3	1,20-1,80+	5YR 4/6	gs	Arenoso	1,85
T3					
Ap	0,00-0,19	5YR 3/3	gr, méd, fra	Arenoso	10,81
C1	0,19-0,40	7,5YR 4/6	gs	Arenoso	7,69
C2	0,40-0,65	5YR 4/6	gs	Arenoso	3,80
C3	0,65-0,86	7,5YR 3/4	gs	Arenoso	5,82
C4	0,86-1,90+	5YR 4/6	gs	Arenoso	4,25
T4					
C1	0,00-0,19	7,5YR 4/4	gs	Arenoso	5,00
C2	0,19-0,22	5YR 3/4	mç	Arenoso	12,71
C3	0,22-0,46	7,5YR 4/4	gs	Arenoso	0,61
C4	0,46-0,49	7,5YR 4/4	mç	Arenoso	4,44
C5	0,49-0,65	5YR 4/6	gs	Arenoso	4,08
2Ab	0,65-1,00	5YR 3/4	mç	Arenoso	6,04

2ACb	1,00-1,15	5YR 4/4	mç	Arenoso	2,51
2CAb	1,15-1,30	5YR 4/4	mç	Arenoso	2,98
2Cb	1,30-1,79+	5YR 4/6	mç	Arenoso	3,06
T5					
A	0,00-0,08	2,5YR 2,5/4	gr, méd, mod - bs, méd, mod	Arenoso	26,00
C1	0,08-0,16	5YR 4/4	gs	Arenoso	3,00
C2	0,16-0,35	7,5YR 4/4	gs	Arenoso	10,00
C3	0,35-0,49	5YR 4/6	gs - bs, peq, fra	Arenoso	4,00
C4	0,49-0,60	5YR 4/6	mç	Arenoso	2,00
C5	0,60-0,70	5YR 4/4	mç	Arenoso	5,00
2Ab	0,70-0,75	5YR 4/4	bs, peq/méd, mod	Arenoso	6,00
2C1b	0,75-0,95	7,5YR 4/4	mç	Arenoso	5,00
2C2b	0,95-1,20	5YR 4/3	mç	Arenoso	4,00
2C3b	1,20-1,40+	5YR 4/6	gs	Arenoso	5,00
T6					
A	0,00-0,03	2,5YR 2,5/4	gr, peq, mod	Arenoso	47,00
C1	0,03-0,38	7,5YR 4/6	gs	Arenoso	5,00
C2	0,38-0,50	5YR 4/6	bs, méd/gra, mod	Arenoso	7,00
2Ab	0,50-0,70	5YR 2,5/2	gr, méd, mod - bs, méd, mod	Arenoso	17,00
2ACb	0,70-0,78	5YR 2,5/2	bs, méd, mod	Arenoso	10,00
2C1b	0,78-0,96	7,5YR 4/4	mç	Arenoso	4,00
2C2b	0,96-1,25	5YR 4/6	mç	Arenoso	4,00
2C3b	1,25-1,40+	5YR 4/6	gs	Arenoso	3,00

⁽¹⁾ Tipo: gs - grão simples; mç - maciça; gr - granular; bs - bloco subangular; ba - bloco angular. Tamanho da estrutura: mpeq - muito pequena; peq - pequena; méd - média; gra - grande. Grau da estrutura: fra - fraco; mod - moderado; for - forte.

Os perfis T1, T2 e T3, localizados dentro da área cultivada com cana-de-açúcar, ocupam a posição de topo, meia encosta e sopé da encosta, respectivamente. Nestes perfis não foi observado a ocorrência de deposição de sedimentos. Os três perfis apresentaram em geral cores com matiz de 5 a 7,5 YR, valores de 3 a 4 e cromas que variaram de 3 a 6. A estrutura foi evidenciada em grão simples, maciça e granular de tamanho médio e grau fraco. O teor de matéria orgânica do horizonte A dos perfis T1 e T3, apesar de baixo, foi maior em comparação aos demais horizontes subsuperficiais dos mesmos perfis (Tabela 2), como comumente observado neste tipo de solo.

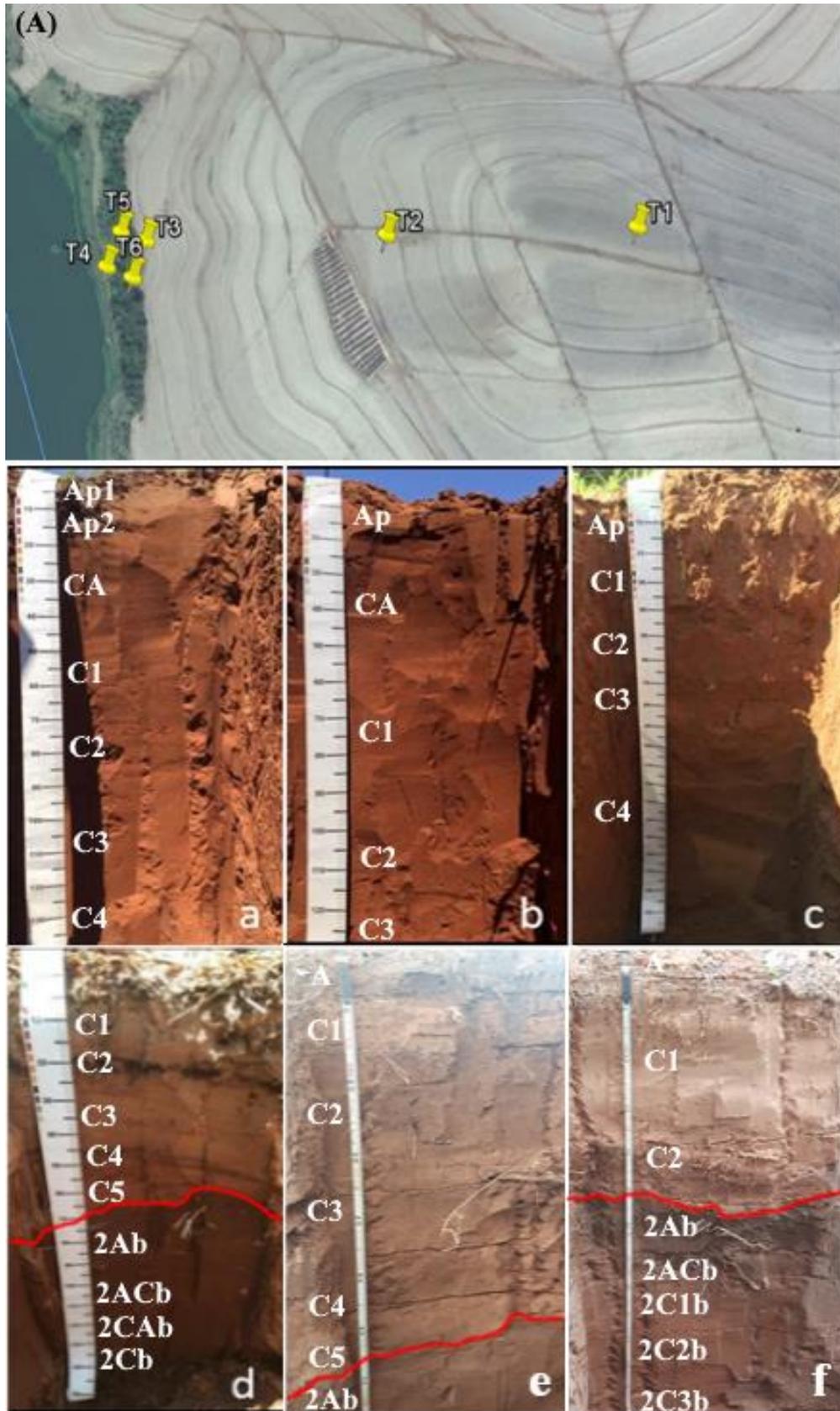


Figura 30. (A) - Perfis de solo localizados na topossequência: a) T1 - Topo; b) T2 - Meia encosta; c) T3 - Final da encosta; d) T4 – Mata 1; e) T5 – Mata 2; f) T6 – Mata 3.

Os perfis T4, T5 e T6, localizados no interior da faixa de mata ciliar no sopé da encosta, apresentam várias camadas de sedimentos recobrimdo o solo original, como pode ser observado nas Figuras 2d, 2e e 2f pela linha tracejada vermelha que indica a separação entre as camadas de sedimentos e o horizonte A enterrado. A espessura da camada de sedimentos nos três perfis é superior a 0,5 m. As camadas de sedimentos encontram-se bastante misturadas, as cores apresentam matizes que variam de 2,5 a 7,5 YR, valores de 2,5 a 4 e cromas de 2 a 6. A estrutura se manifesta em grão simples, maciça, granular e blocos subangulares, com tamanhos que variam de pequeno a médio e graus fracos e moderados. Os horizontes enterrados em contato com a camada de sedimentos apresentam características de cor e estrutura semelhantes aos sedimentos revelando uma mistura entre solo e sedimento que pode ter sido ocasionado por bioturbação posterior à deposição e deposição de sedimentos por meio de fluxos turbulentos. Nesses perfis observam-se aumentos consideráveis de matéria orgânica nos horizontes A dos perfis T5 e T6, esse aumento de matéria orgânica também é constatado na camada de sedimento C2 dos perfis T4 e T5 e também no horizonte A enterrado 2Ab e 2ACb do perfil T6.

2.3.2.2. Precipitação pluvial

As precipitações mensuradas demonstram uma disposição de máximas no verão e mínimas no inverno para todos os anos (Fig. 31). Embora o mês de janeiro de 2017 tenha apresentado valores acima de 400 mm de precipitação, os valores mensais das chuvas do ano 2016 foram maiores e se prolongaram até o mês de junho com médias superiores a 100 mm, exceto o mês de abril. O ano 2018 apresentou em geral menores índices pluviométricos em relação aos anos anteriores. Do mesmo modo, o ano 2019 também apresentou redução nas médias mensais de precipitação em comparação aos demais anos, com médias elevadas apenas nos meses novembro e dezembro, ainda assim, abaixo de 200 mm. Em 2020 nos três primeiros meses de avaliação, as médias mensais de precipitação foram semelhantes entre os meses de janeiro e fevereiro e estiveram abaixo de 150 mm.

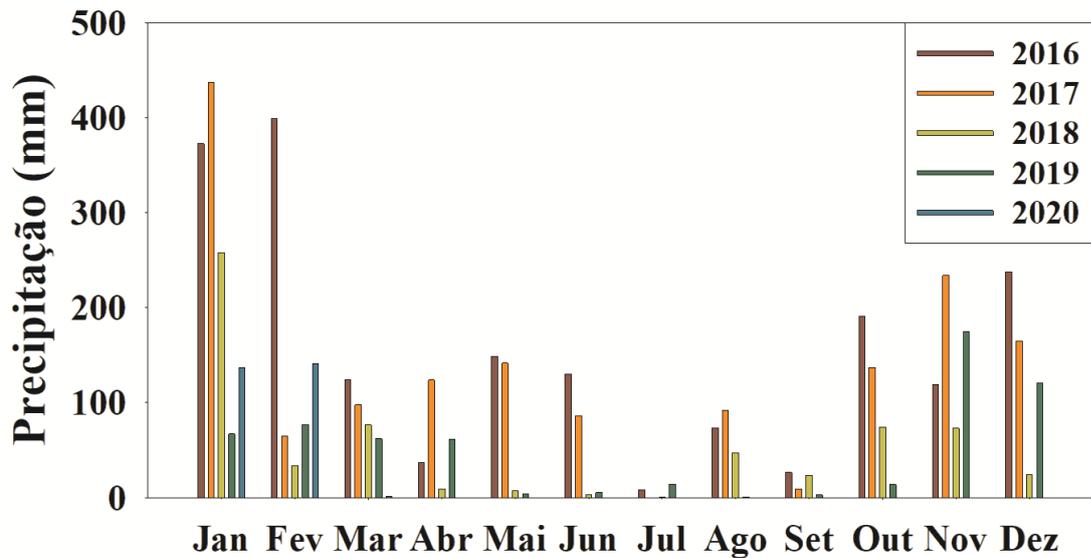


Figura 31: Média mensal do volume de chuva em São Manuel – SP entre os anos 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020.

Para o ano 2016, no período de avaliação deste estudo foram registrados 14 eventos de chuva erosivas, que são aqueles que apresentam intensidades superiores a 25 mm/h (Hudson, 1971) indicado com tracejado vermelho na Figura 32. A maior quantidade de eventos extremos em 2016 aconteceu no mês de dezembro, mas o evento erosivo de maior intensidade foi registrado no mês de junho com 51.6 mm/h (Fig. 32A). Em 2017, a quantidade de eventos erosivos foi 5.9% maior em relação a 2016 (Fig. 32B), com intensidades ainda maiores de modo geral, o que intensifica a erosão/sedimentação já estabelecida no local. O ano 2018 foi menos chuvoso em relação aos demais e, conseqüentemente, apresentou menor quantidade de chuvas erosivas ao longo do ano (Fig. 32C) com intensidades que variavam entorno de 30 a 50 mm/h. Em 2019 a quantidade de eventos extremos foi ainda menor (44,4%) em comparação a 2018 (Fig. 32D) não ultrapassando intensidades de 45 mm/h. Nos três meses de avaliação do ano 2020 foram registrados apenas três eventos extremos de chuvas nos meses janeiro e fevereiro e não ultrapassam 55 mm/h (Fig. 32E).

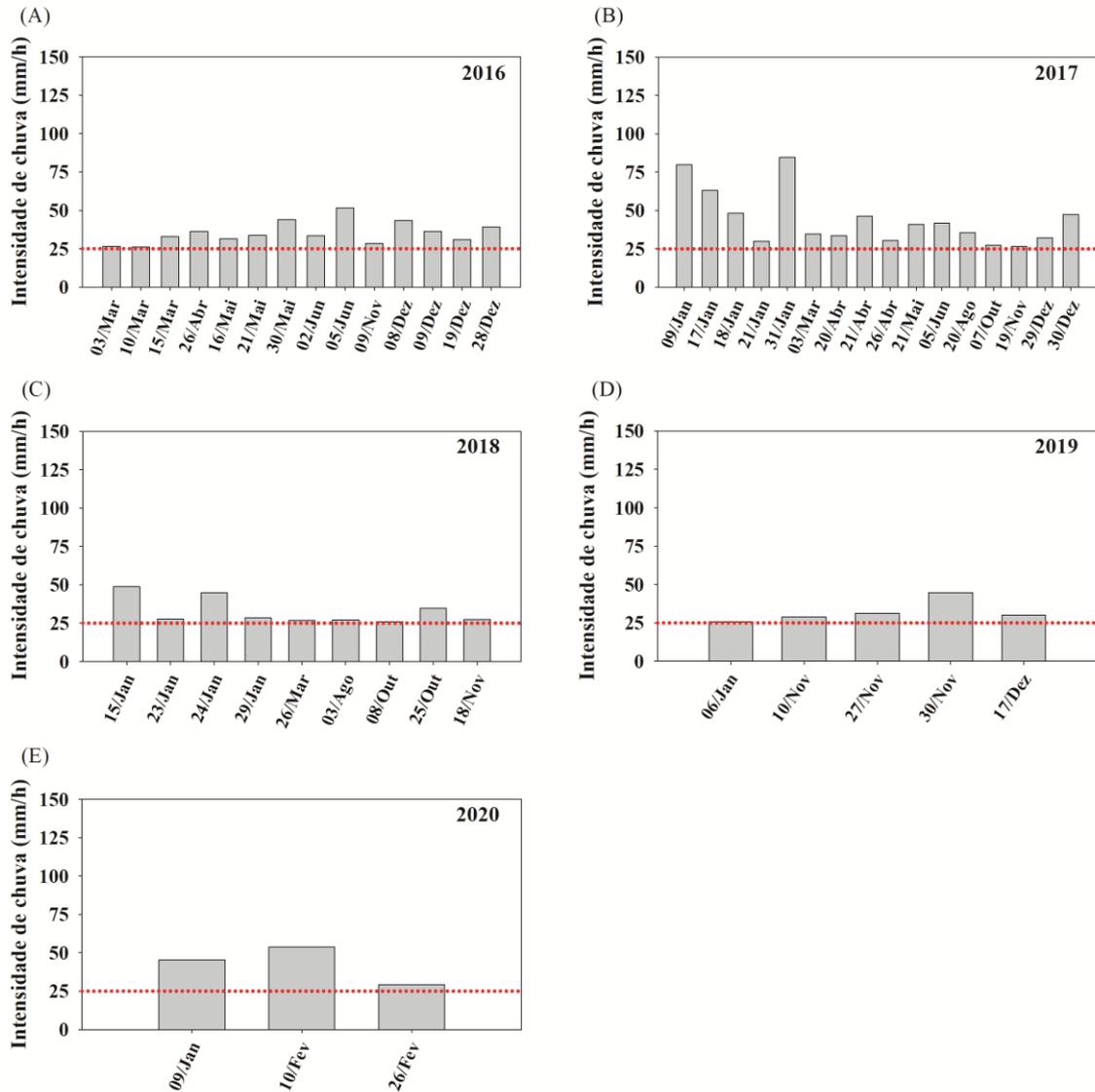


Figura 32: Eventos de chuva extremas em São Manuel – SP entre os anos (A) 2016; (B) 2017; (C) 2018; (D) 2019; (E) 2020.

A repetitividade dos eventos erosivos é exibido em dias aproximados (Fig. 33). O ano de maior ocorrência de eventos extremos aproximados foi 2017 e ocorreu principalmente nos meses mais chuvosos como janeiro e dezembro. Em seguida, o ano 2016 apresentou a segunda maior repetitividade de chuvas extremas, entretanto com a maior ocorrência na metade do ano (maio e junho). Os anos 2018 e 2019 apresentaram apenas dois eventos frequentes de chuva em datas próximas, ambos durante as estações chuvosas (janeiro e novembro, respectivamente).

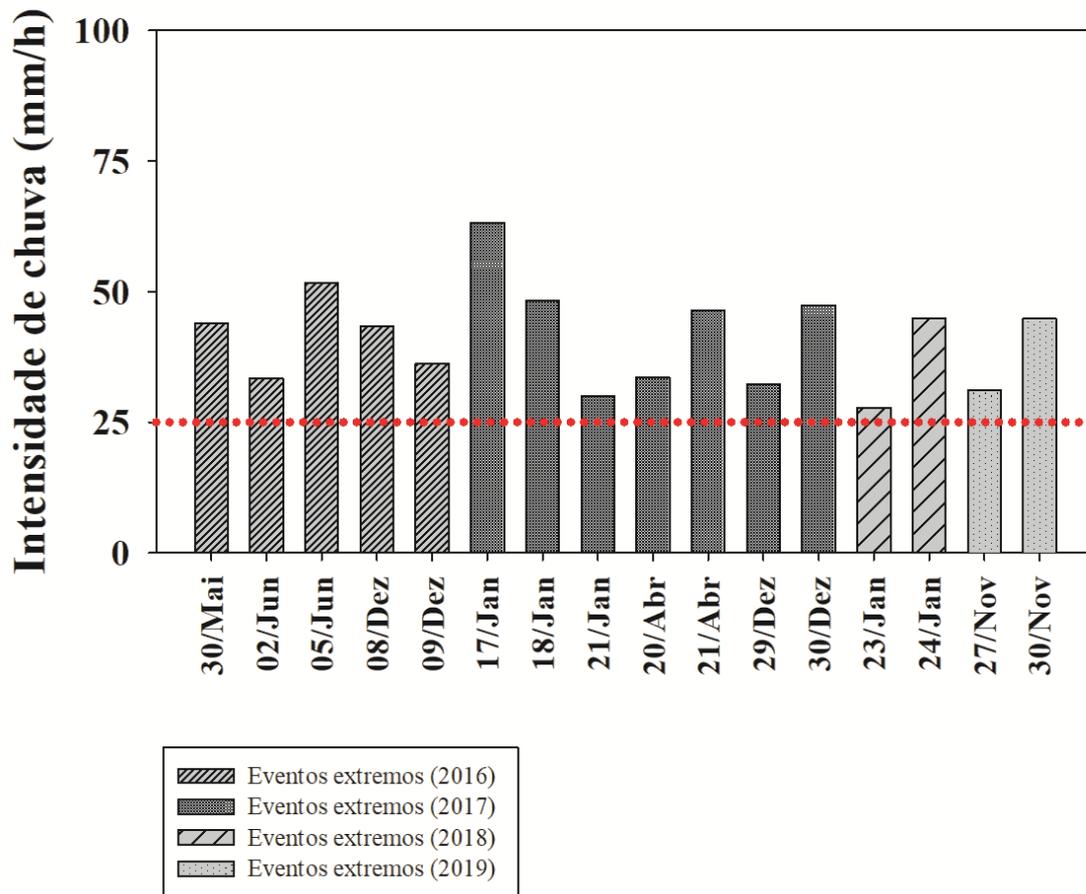


Figura 33: Frequência dos eventos extremos de chuva em datas aproximadas.

O monitoramento do lençol freático revelou um aumento nos meses subsequentes a estação chuvosa (Fig. 34). Nos três anos avaliados o aumento do nível do lençol freático ocorreu principalmente do mês de março ao mês de agosto, ou seja, no período de menor precipitação pluviométrica.

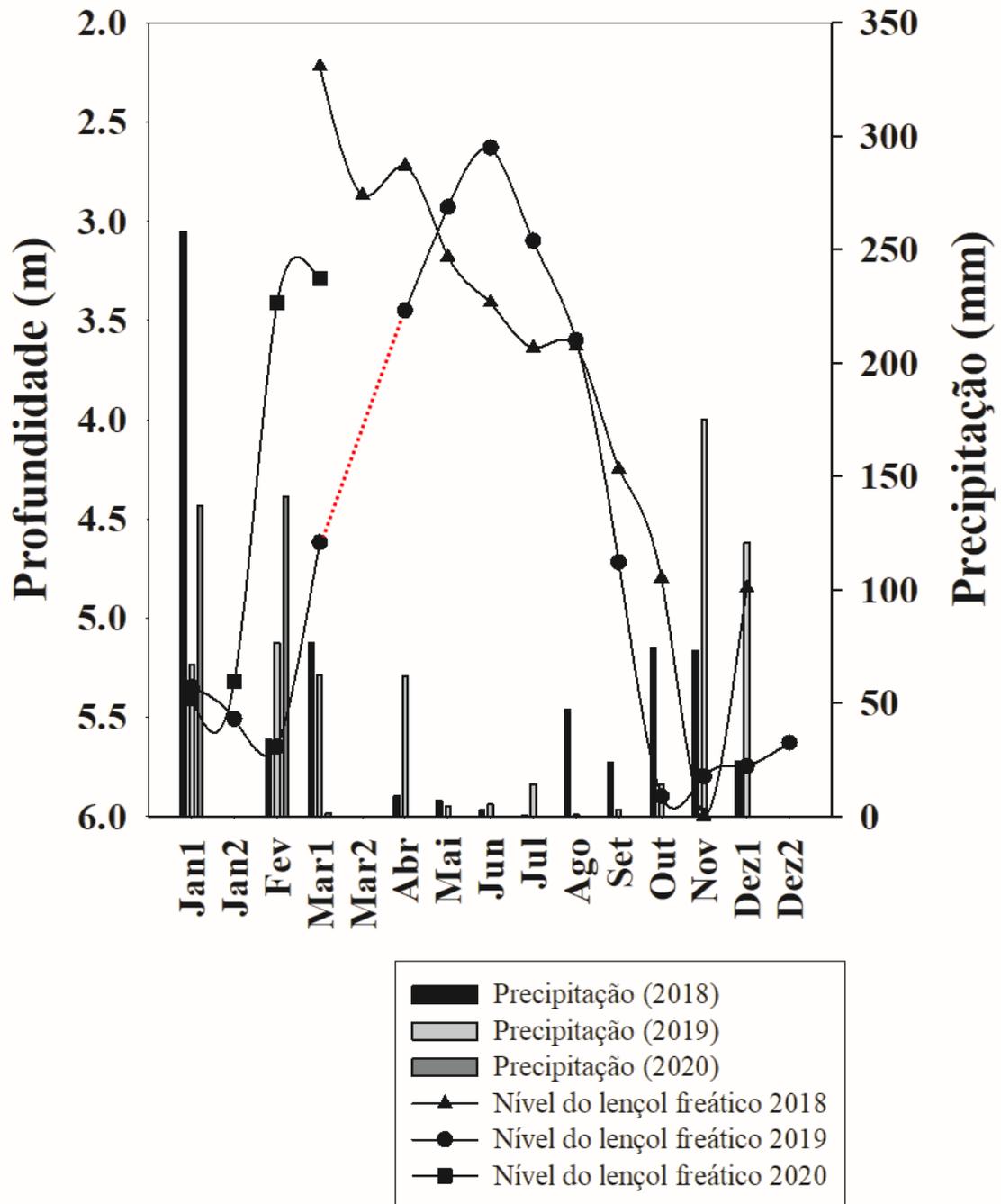


Figura 34: Nível do lençol freático da mata ciliar de 2018 a 2020.

2.3.2.3. Dinâmica do processo erosivo e sedimentação versus precipitação

Em geral, os valores da média e da mediana das variações do nível da superfície do solo foram semelhantes, e essa variação aparenta ocorrer de maneira simultânea nas áreas (Fig. 35, 36, 37, 38 e 39).

Na Floresta 1a, as maiores taxas de deposição de sedimentos e erosão aconteceram nos meses de avaliação com maior volume de chuva no ano 2016 (Fig. 35). A maior sedimentação ocorreu no mês de novembro (0.4 cm e 100 mm de precipitação) e o maior pico de erosão ocorreu no mês de maio (-0.8 cm e 149 mm de precipitação). O ano 2017 seguiu a mesma disposição em apresentar as maiores deposições de sedimentos e erosão nos meses com maior índice de precipitação. Dezembro registrou a maior média do nível da superfície do solo (0.57 cm) e precipitação acima de 160 mm, enquanto que em novembro ocorreu a menor média do nível da superfície do solo devido a erosão (-0.33 cm) e precipitação de 234 mm. Em 2018, os regimes de chuvas apresentaram bastante variação e redução das médias mensais de precipitação em relação aos anos anteriores ocasionando alterações no nível da superfície do solo. Os picos de deposição de sedimentos ocorreram tanto nos meses com maior volume de chuva (ex: janeiro 0,55 cm do nível do solo e 258 mm de precipitação) como também em meses com baixas médias de precipitação (ex: março 0,38 cm do nível solo e 77 mm de precipitação e dezembro 0,47 cm do nível do solo e 24 mm de precipitação). A mesma discrepância foi verificada na erosão em que o maior pico ocorreu no mês de fevereiro (- 0,32 cm e 7 mm de precipitação). O ano 2019 evidenciou um período de chuva bem dividido com uma estação chuvosa prolongada seguida por uma estação seca também prolongada, essa alteração no regime de chuva possivelmente alterou o processo erosivo, pois os picos de deposição de sedimentos e erosão ocorreram tanto no meses de maior precipitação (ex: janeiro 0.37 cm e 67 mm, março 0.4 cm e 77 mm e novembro 0.57 cm e 175 mm) como nos meses mais secos do ano (ex: julho -0.2 cm e 15 mm e agosto -0.2 cm e 0.6 mm). Nos três meses de avaliação do ano 2020, as médias mensais de precipitação dos meses janeiro e fevereiro foram aproximadamente 150 mm e provocou diminuição do nível da superfície do solo nesses dois meses em até -0,3 cm. No mês de março praticamente não houve precipitação, com isso quase não houve alteração do nível da superfície do solo.

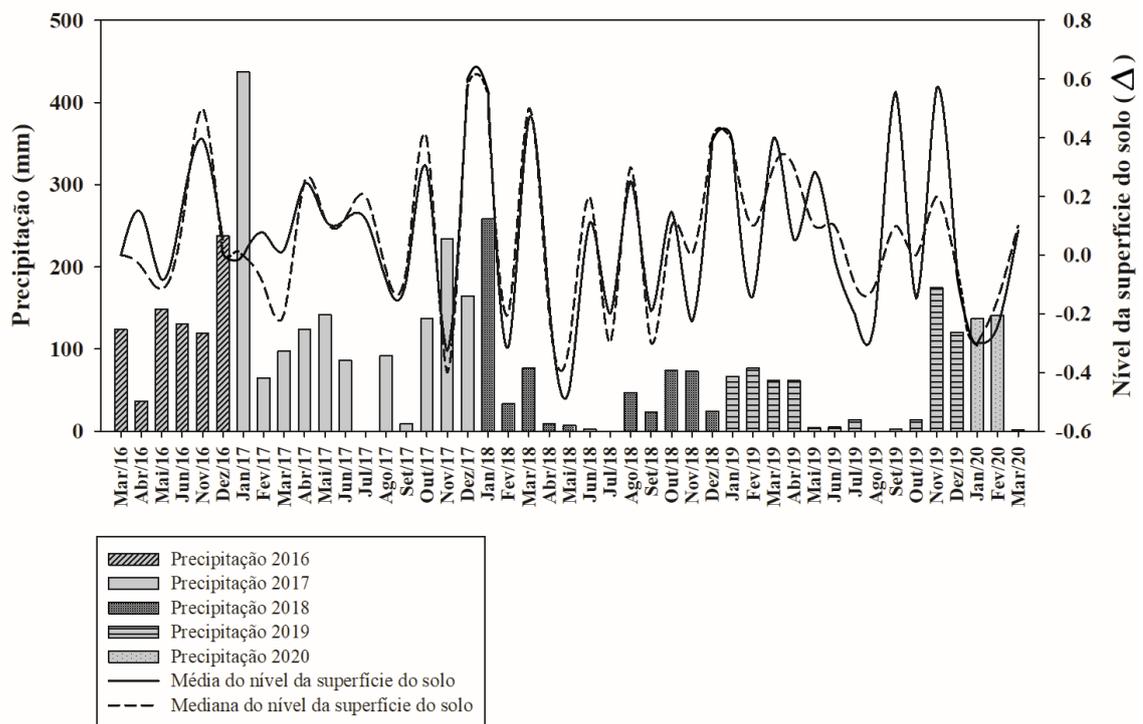


Figura 35: Variação do nível da superfície do solo versus precipitação pluvial mensal na área Floresta 1a no período de 2016 a 2020.

Na Floresta 1b os valores médios do nível da superfície do solo estiveram próximos de zero no ano 2016, a maior média de deposição de sedimentos ocorreu no mês de maio (0.27 cm) com a média mensal de precipitação 149 mm e a maior média de erosão aconteceu no mês subsequente em junho (-0.2 cm) com acumulado de chuva de 131 mm (Fig. 36). No ano 2017 os maiores picos de deposição de sedimentos e erosão ocorreram no período chuvoso. Os meses outubro e dezembro registraram as maiores médias mensais de deposição de sedimentos (0.42 e 0.98 cm respectivamente) e médias de precipitação de 137 e 165 mm respectivamente. O maior índice de erosão do ano ocorreu no mês de novembro (-0.87 cm) que apresentou a segunda maior média de precipitação do ano (234 mm). Em 2018 as médias de sedimentação sucederam o ano anterior sendo a maior delas verificada em janeiro com 0.98 cm do nível do solo e a maior média de precipitação do ano 258 mm. Em outros meses como março, agosto e dezembro também foi verificado elevados níveis de deposição de sedimentos (0.72, 0.40 e 0.32 cm respectivamente) e médias mensais de precipitação de 77, 47 e 24 mm, respectivamente. Em relação a erosão, os meses com maiores picos apresentaram baixa precipitação (ex: fevereiro -0.5 cm e 34 mm, abril -0.42 cm e 8.8 mm e junho -0.53 cm e 0.2 mm). Em 2019, as maiores médias mensais de deposição de sedimentos foram menores que nos dois anos anteriores, porém ocorreram com maior frequência verificados nos meses abril, maio, junho,

setembro e outubro (0.46, 0.34, 0.33, 0.53 e 0.36 cm respectivamente). Os índices de precipitação divergem com a sedimentação nesses meses com 62, 4.2, 5.2, 3 e 14 mm, respectivamente. Quanto aos índices de erosão, as maiores médias mensais ocorreram nos meses com maior volume de chuva do ano, em novembro (-0.22 cm do nível do solo e 175 mm de precipitação) e dezembro (-0.25 cm do nível do solo e 121 mm de precipitação). No ano 2020 de forma semelhante à área Floresta 1a houve baixa variação do nível da superfície do solo, porém nos três meses avaliados verificou-se uma tendência erosiva nesta área em até -0,23 cm do nível da superfície do solo.

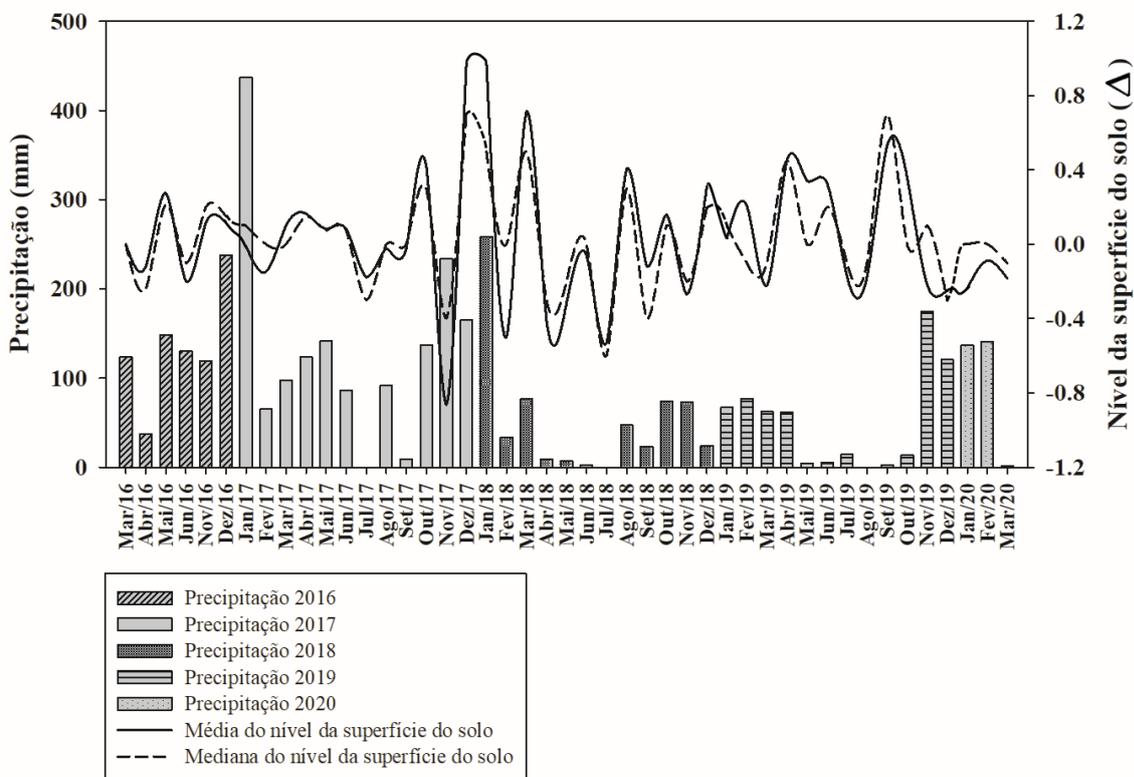


Figura 36: Variação do nível da superfície do solo versus precipitação pluvial mensal na área Floresta 1b no período de 2016 a 2020.

Na Floresta 2, a deposição de sedimentos predomina em comparação a erosão especialmente no período chuvoso sendo a maior média do nível da superfície do solo registrada em novembro (0.35 cm) e média de precipitação de 120 mm (Fig. 37). O único mês que apresentou diminuição do nível da superfície do solo, ou seja, erosão foi o mês abril (-0.2 cm) com a menor média de precipitação (37 mm) entre os meses avaliados. No ano 2017 observa-se um predomínio de deposição de sedimentos em comparação a erosão e as maiores médias ocorreram nos meses mais chuvosos (janeiro: 0.27 cm, outubro: 0.25 cm e dezembro: 0.4 cm)

com índices de precipitação de 437, 137 e 165 mm respectivamente. Já a erosão, a pesar de menos frequente foi bastante acentuada nos meses março (-0.47 cm), agosto (-0.27 cm) e novembro (-0.33 cm), com volumes de chuva mensal de 98, 92 e 234 mm, respectivamente. O ano 2018 apresenta um comportamento semelhante ao ano anterior em que a deposição de sedimentos é evidenciada principalmente no período chuvoso (ex: janeiro: 0.6 cm, fevereiro: 0.65 cm, abril: 0.75 cm e outubro: 0.32 cm) com volumes de chuva de 258, 34, 9 e 74 mm respectivamente e as erosões mais acentuadas no período mais seco do ano nos meses maio (-0.29 cm) e julho (-0.35 cm) com precipitação de 7 e 0.2 mm respectivamente. O ano 2019 apresentou as menores médias de deposição de sedimentos e erosão de todos os anos de avaliação. A maior média de sedimentação ocorreu no mês de setembro (0.4 cm) com volume de chuva de 3 mm. As erosões registradas tiveram a mesma média (-0.09 cm) e ocorreram nos meses fevereiro, julho e agosto com precipitações de 77, 14 e 0.6 mm respectivamente. Em 2020 nesta área a pesar da baixa pluviosidade nos três primeiros meses do ano, o mês de janeiro apresentou diminuição do nível da superfície do solo (-0,37 cm), enquanto que o mês de fevereiro ocorreu sedimentação em até 0,5 cm do nível do solo.

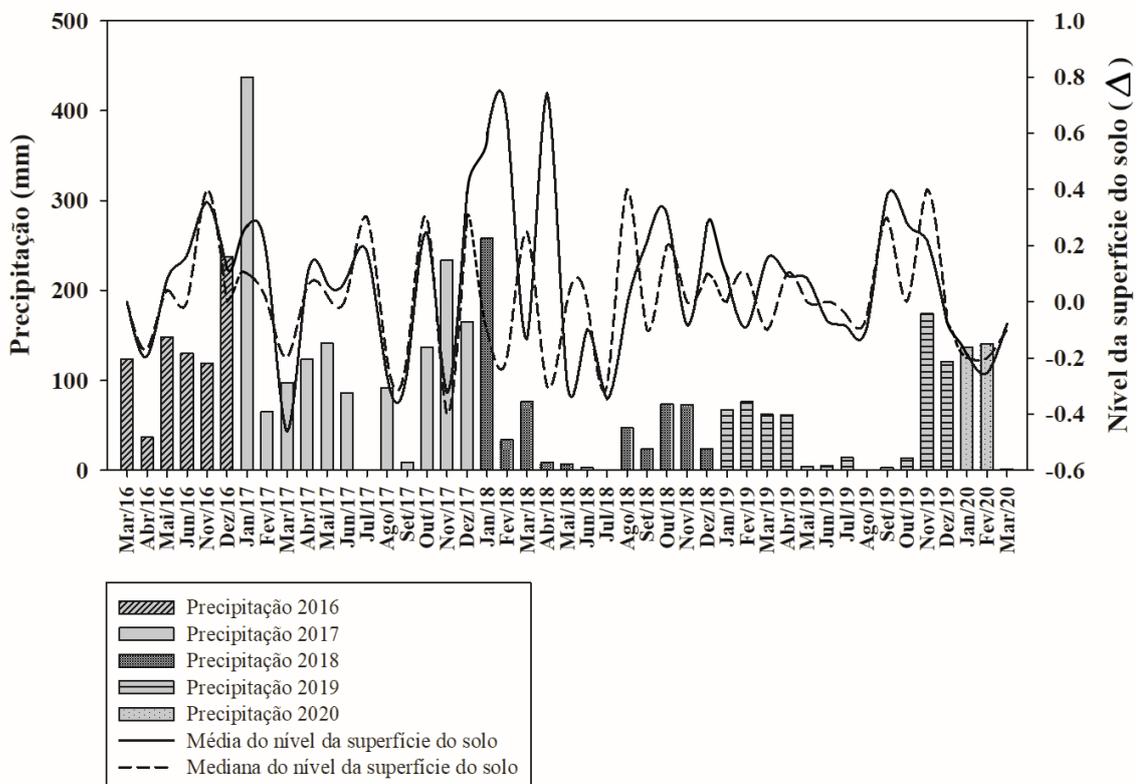


Figura 37: Variação do nível da superfície do solo versus precipitação pluvial mensal na área Floresta 2 no período de 2016 a 2020.

Nesta área os valores entre a média e a mediana foram os mais discrepantes principalmente entre os anos 2018 e 2019 indicando haver deposição de sedimentos em locais estabelecidos e erosões em outros.

Na área das malhas, a malha 1 apresentou disposição em acumular sedimentos (Fig. 38), em 2017 a maior média do nível da superfície do solo ocorreu em abril (0,4 cm) com precipitação média de 124 mm. O mês de dezembro registrou a segunda maior elevação do nível da superfície do solo neste ano apresentando média de 0,23 cm do nível da superfície do solo e total de chuva mensal de 165 mm. Houveram poucos surgimentos de erosão neste ano, e a maior delas aconteceu no mês de março (-0,41 cm) com acumulado de precipitação de 98 mm. O ano 2018 apresentou a maior variação do nível da superfície do solo, tanto a deposição de sedimentos como a erosão apresentaram os maiores picos no período chuvoso. A maior deposição de sedimentos ocorreu em janeiro (0,4 cm) que registrou a maior média de precipitação do ano (258 mm). Os meses de março, agosto e outubro também apresentaram aumento do nível da superfície do solo por deposição de sedimentos (0,28, 0,26 e 0,29 cm, respectivamente) e precipitação média de 77, 47 e 74 mm, respectivamente. A erosão de maior destaque neste ano aconteceu no mês de novembro (-0,35 cm) com um volume de chuva de 73 mm. Outros picos de erosão ocorreram nos meses fevereiro (-0,25 cm) e setembro (-0,28 cm) com precipitação média de 34 e 24 mm, respectivamente. O ano 2019 apresentou a menor variação do nível da superfície do solo em relação aos demais, o maior pico de sedimentação ocorreu em fevereiro (0,29 cm) com um volume de chuva de 77 mm, enquanto que o maior nível médio de erosão aconteceu em março (-0,15 cm) e precipitação de 63 mm. Os demais meses desse ano apresentaram valores médios próximos de zero. Em 2020 a variação do nível da superfície do solo nesta área foi praticamente inexistente com variações de -0,047 cm no mês de janeiro e 0,006 cm no mês de março.

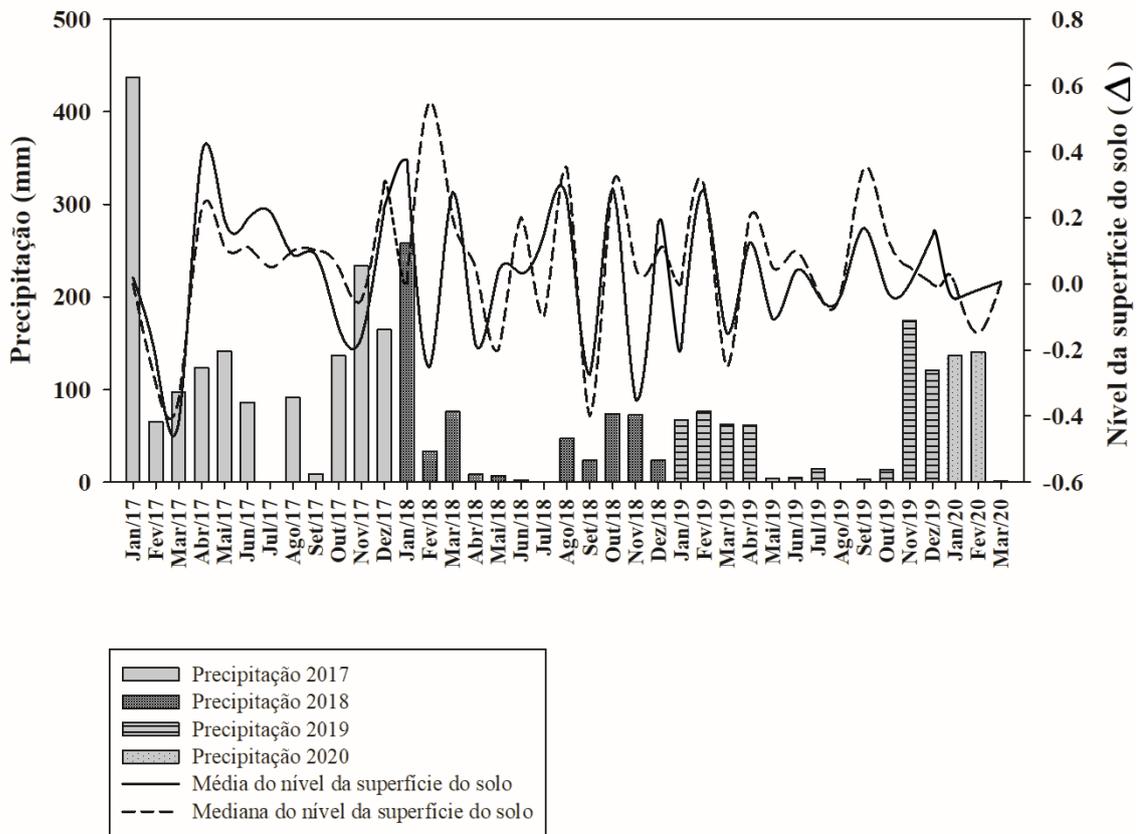


Figura 38: Variação do nível da superfície do solo versus precipitação pluvial mensal na área da Malha 1 no período de 2017 a 2020.

Na malha 2 em 2017, as maiores sedimentações e erosões também ocorreram nos meses com maior volume de chuva (Fig. 39). As maiores deposições de sedimentos aconteceram nos meses abril (0,32 cm) e dezembro (0,33 cm) ambos com volumes de chuva de 124 e 165 mm respectivamente. Os picos de erosão nessa área apresentaram médias similares neste ano, e ocorreram nos meses março (-0,23 cm), agosto (-0,22 cm) e novembro (-0,24 cm) com precipitações de 98, 92 e 234 mm, respectivamente. No ano 2018 houve bastante oscilação entre os valores médios do nível da superfície do solo conforme verificado nas outras áreas (Floresta 1a, 1b, 2 e malha 1) as maiores deposições de sedimentos apresentaram médias aproximadas com ocorrência nos meses janeiro (0,37 cm), fevereiro (0,36 cm), maio (0,37 cm), agosto (0,31 cm) e dezembro (0,37 cm) e volumes de chuva 258, 34, 7, 47 e 24 mm, respectivamente. Os maiores picos de erosão ocorreram nos meses abril (-0,38 cm), setembro (-0,33 cm) e novembro (-0,33 cm) e precipitações de 9, 23 e 73 mm, respectivamente. O ano 2019 apresentou médias do nível da superfície do solo semelhantes aos anos anteriores para a deposição de sedimentos, os meses de maior sedimentação foram janeiro (0,32 cm) e 67 mm de chuva, abril (0,3 cm) e 62 mm de precipitação, e setembro (0,35 cm) e 2.8 mm de chuva. As

médias de erosão também foram semelhantes, os maiores eventos ocorreram nos meses de março (-0,3 cm) e 62 mm de chuva, julho e agosto (-0,22 cm ambos) e 14 e 0,6 mm de precipitação, respectivamente, e o mês de outubro (-0,36 cm) e 13.8 mm de volume de chuva. Em 2020 ao contrário da malha 1, a variação do nível da superfície do solo foi mais evidente nos dois primeiros meses que apresentaram tendência erosiva de -0,32 cm no mês de janeiro e -0,31 cm no mês de fevereiro. O mês de março apresentou tendência de acúmulo de sedimentos em até 0,20 cm do nível da superfície do solo.

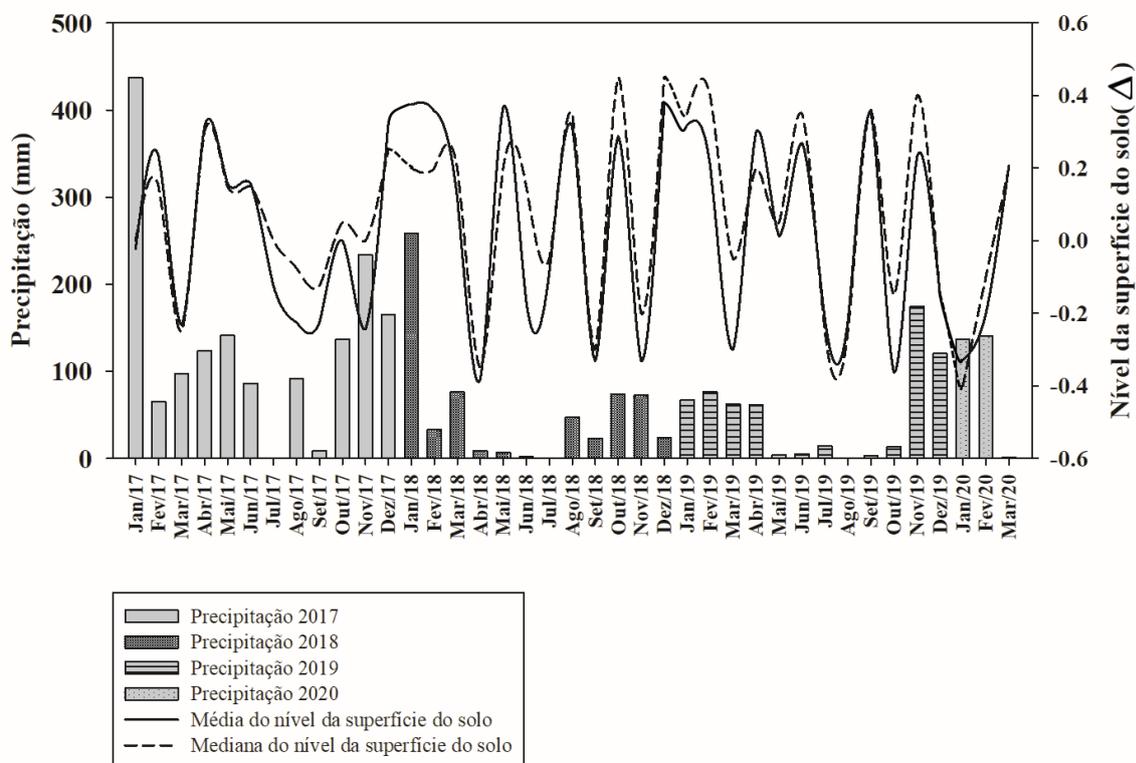


Figura 39: Variação do nível da superfície do solo versus precipitação pluvial mensal na área da Malha 2 no período de 2017 a 2020.

2.3.2.4. Variação espaço-temporal dos sedimentos

O monitoramento da erosão e sedimentação nas áreas demonstraram grande variação entre os meses e entre as áreas de erosão monitoradas no interior da mata ciliar. As áreas com vícios de erosão já estabelecidos no local como Floresta 1a, Floresta 1b e Floresta 2 contém sulcos erosivos e apresentam erosão linear, já na área das malhas 1 e 2 não foi observado erosão aparente indicando a presença de erosão laminar.

As medições de sedimentação e/ou erosão no ano 2016 apresentaram deposição de sedimentos em até 5 cm acima do nível da superfície do solo e erosões de até -4 cm abaixo do nível do solo (Fig. 40). Do mês de abril até o mês de maio houve um aumento da deposição de sedimentos que se sobressaiu em relação a erosão. No mês seguinte a diferença entre a erosão e a sedimentação foi baixa, a principal diferença observada é que em alguns pinos o acúmulo de sedimentos se sobressaiu e em outros a erosão. Em novembro, a sedimentação é evidenciada em quase todas as áreas, seguido por erosão no mês seguinte que prevaleceu em todos os locais.

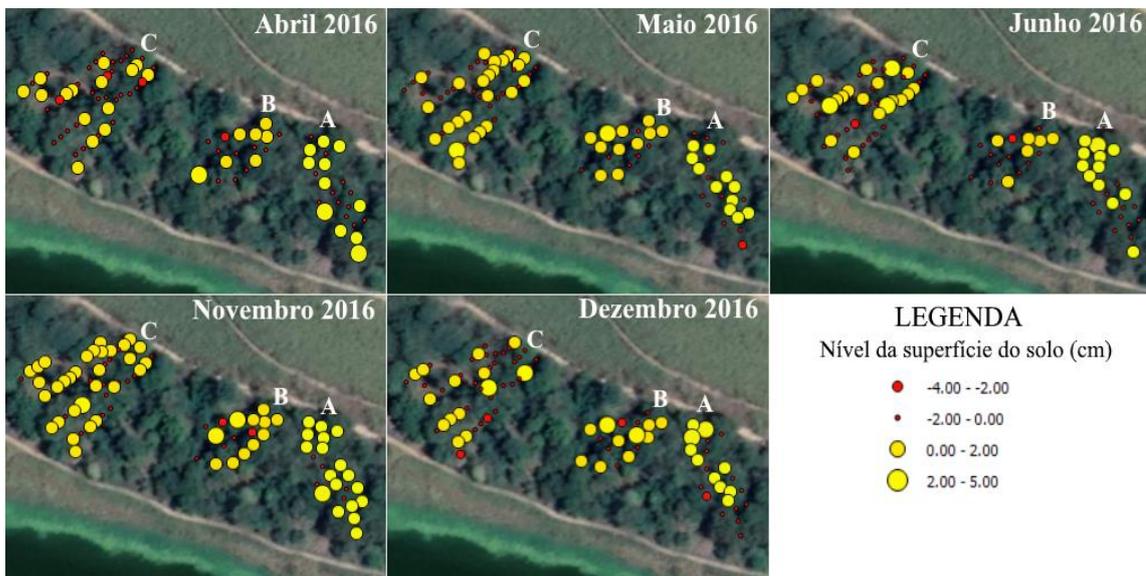


Figura 40: Níveis de deposição de sedimentos (cor amarela) e erosão do solo (cor vermelha) na mata ciliar em 2016. O tamanho da circunferência é proporcional das mudanças observadas. A- Floresta 1a, B- Floresta 1b e C- Floresta 2.

De janeiro a março de 2017 observou-se o surgimento de maiores pontos de erosão em relação ao ano anterior, a erosão foi mais intensa no mês de março quando foram registrados valores de rebaixamento do nível da superfície do solo de -3 a -6 cm (Fig. 41). A partir do mês de abril a deposição de sedimentos prevalece até 3 cm do nível da superfície do solo e tanto a sedimentação quanto a erosão se mantêm praticamente constantes até junho nos mesmos pinos. Em julho há o surgimento de alguns pontos de erosão em maior quantidade que nos meses anteriores, que se expande ainda mais no mês seguinte (agosto) e se mantêm praticamente inalterado até o mês de setembro. Em outubro aumenta a deposição de sedimentos em quantidade e magnitude, de 6 a 9 cm do nível do solo, e se sobressai em relação a erosão, porém nos poucos pontos de erosão houve maior intensidade em alguns (-6 a -9 cm). No mês seguinte há uma sobreposição dos pontos de erosão em relação a sedimentação e em dezembro novamente a sedimentação volta a prevalecer.

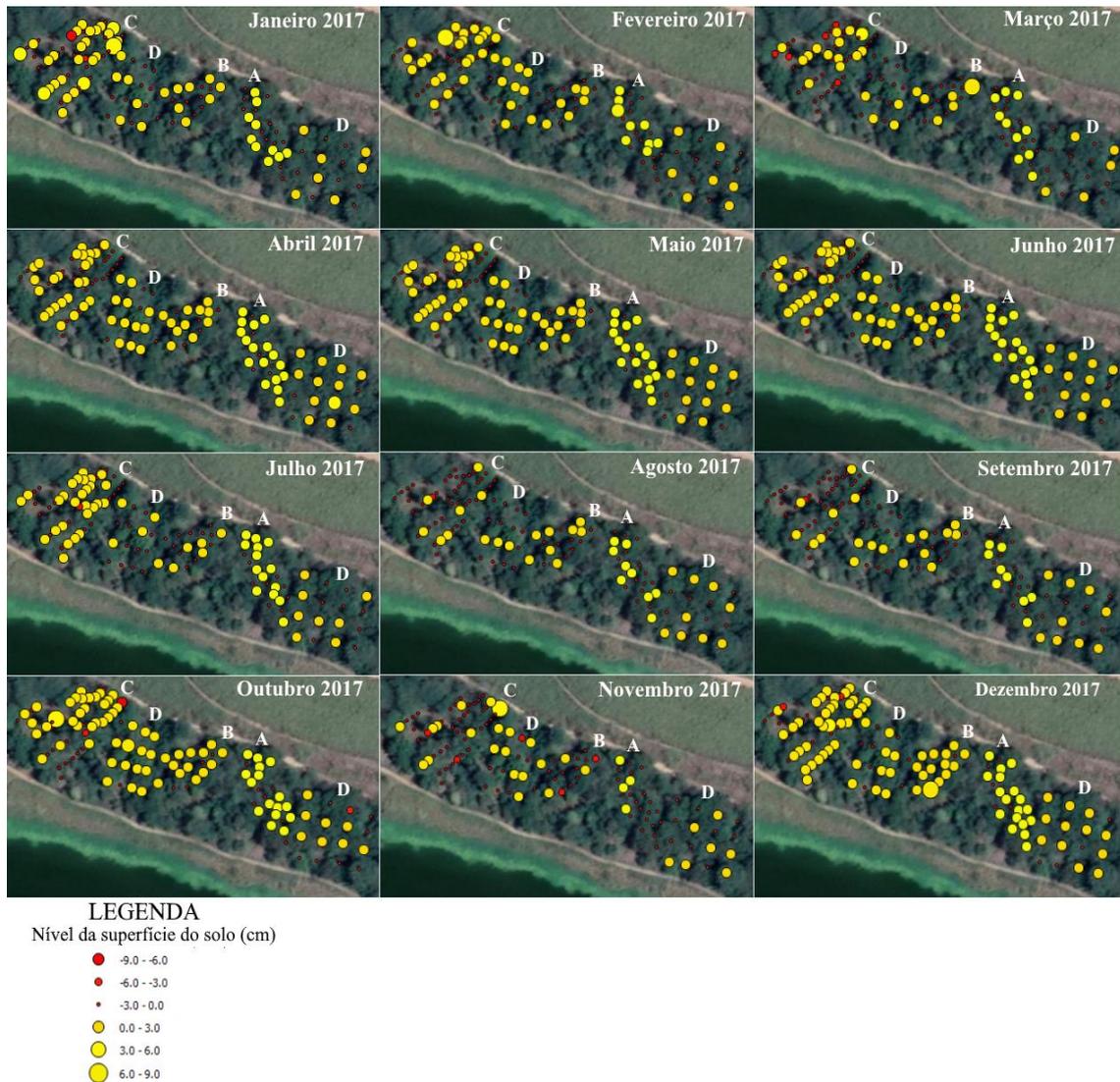


Figura 41: Níveis de deposição de sedimentos (cor amarela) e erosão do solo (cor vermelha) na mata ciliar em 2017. O tamanho da circunferência é proporcional das mudanças observadas. A- Floresta 1a, B- Floresta 1b, C- Floresta 2 e D- Malha esquerda e malha direita.

As medições do ano 2018 revelaram pontos extremos de sedimentação de até 12 cm de deposição e também níveis elevados de erosão de até -12cm de remoção. A variabilidade entre os meses foi alta (Fig. 42). Em janeiro houveram muitos pontos erosivos que variaram de 0 a -3 cm em todas as áreas, principalmente nas malhas, e alguns extremos que variaram de -9 a -12 cm do nível da superfície do solo observados na Floresta 2. Em fevereiro, os pontos de sedimentação se elevam em quantidade e intensidade principalmente na Floresta 2, já a erosão apesar de aparecer em menor volume em muitos pontos é mais acentuada. Em março a deposição de sedimentos prevalece, mas os poucos pontos de erosão se intensificam ainda mais na Floresta 2. De abril a junho a deposição de sedimentos e a erosão foi observado em todas as áreas com variação entre os pinos, a maior alteração na intensidade é observada na Floresta 2.

Em julho a erosão se sobressai até -6 cm do nível do solo e em agosto predomina a sedimentação até 6 cm. Em setembro há o surgimento dos pontos de erosão em todas as áreas em geral variando de 0 a -3 cm do nível do solo. De outubro a dezembro os pontos de sedimentação se destacam até 3 cm do nível do solo na maior parte.

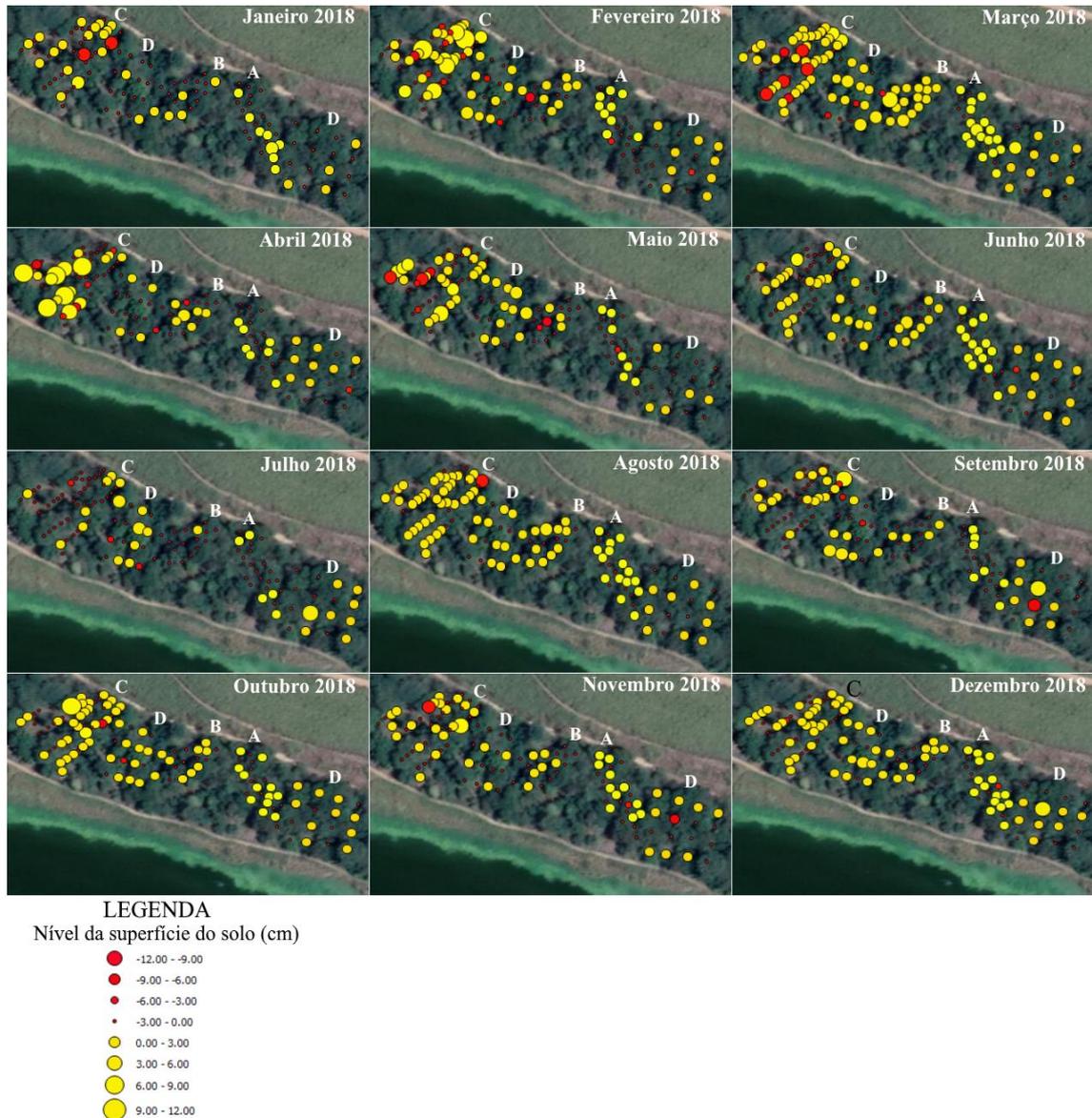


Figura 42: Níveis de deposição de sedimentos (cor amarela) e erosão do solo (cor vermelha) na mata ciliar em 2018. O tamanho da circunferência é proporcional das mudanças observadas. A- Floresta 1a, B- Floresta 1b, C- Floresta 2, D- Malha direita e malha esquerda.

Em 2019 os índices de sedimentação e erosão tiveram menor amplitude que o ano anterior variando de -6 a 6 cm do nível da superfície do solo (Fig. 43). Esses valores de ganho e perda de solo (6 a -6 cm) ocorreram em pontos isolados das áreas, em geral os níveis de

deposição/erosão estiveram em torno de -0,1 a 0,1 cm do nível do solo. Em janeiro os pontos de erosão são mais frequentes que a sedimentação. De fevereiro a junho a deposição de sedimentos prevalece havendo pouca variação no nível da superfície do solo. Em julho os pontos de erosão novamente se destacam em todas as áreas e se mantêm constantes até o mês de agosto sem sofrer praticamente nenhuma alteração. Em setembro, os pontos de deposição de sedimentos se manifestam em maior proporção. No mês seguinte se evidencia alguns pontos de erosão principalmente na Floresta 2, Floresta 1b e Malha 2. Em novembro, a sedimentação prevalece e em dezembro os pontos de erosão predominam em todas as áreas sobretudo na Floresta 2, Floresta 1b e Malha 2.

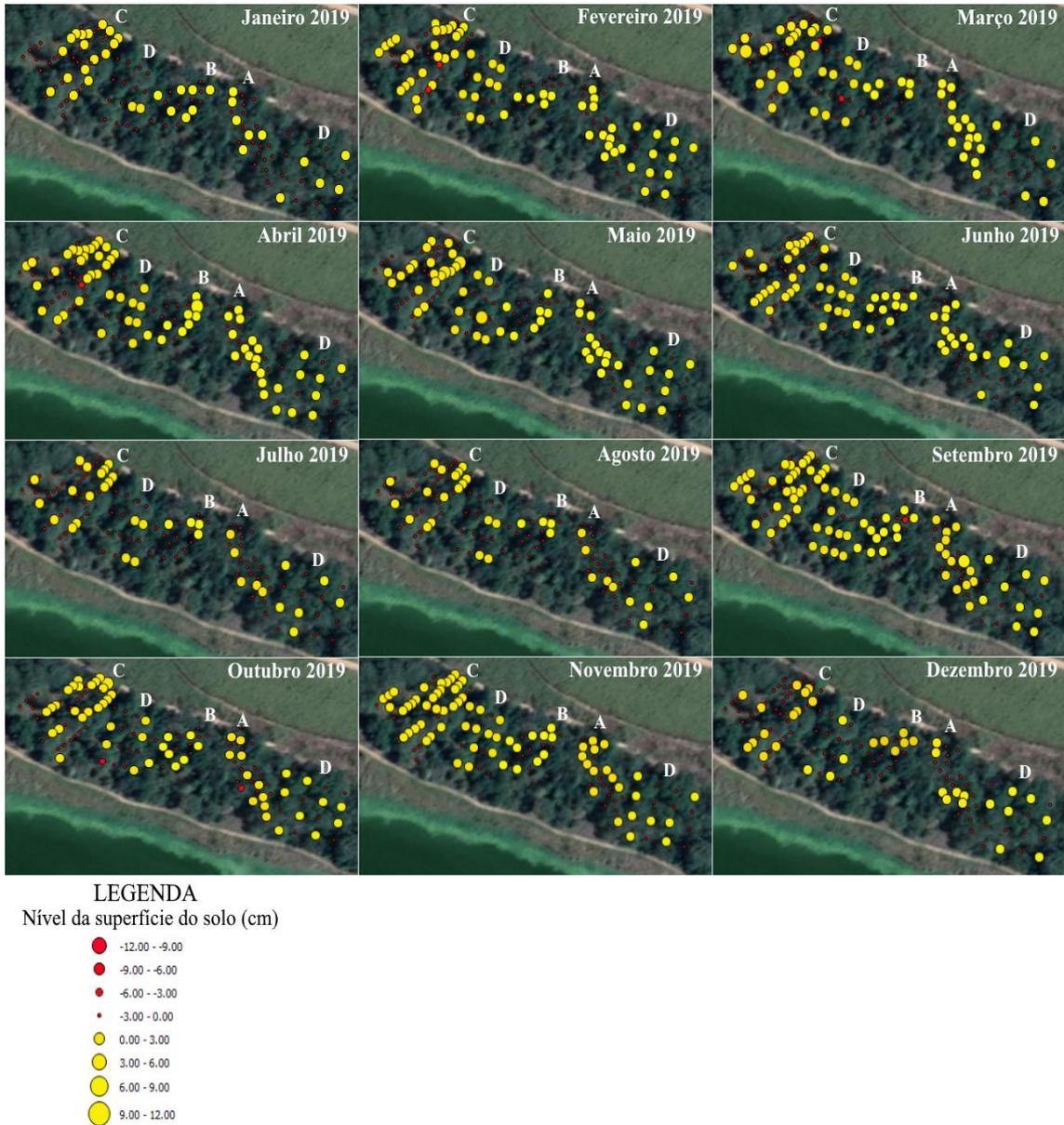


Figura 43: Níveis de deposição de sedimentos (cor amarela) e erosão do solo (cor vermelha) na mata ciliar em 2019. O tamanho da circunferência é proporcional das mudanças observadas. A- Floresta 1a, B- Floresta 1b, C- Floresta 2, D- Malha direita e malha esquerda.

Em 2020 nos três meses de avaliação, a variação espaço temporal dos sedimentos apresentou baixa alteração (Fig. 44). De maneira geral os pontos erosivos tiveram um alcance de até -3 cm do nível da superfície do solo e os pontos de sedimentação até 3 cm. Somente a Floresta 2 apresentou maior variação do nível do solo tanto para a erosão quanto para a deposição de sedimentos, principalmente no mês de fevereiro.

Diante da magnitude erosiva observado nesta área (USM), estima-se que o alcance do sedimento esteja ultrapassando os 15 e 30 m de extensão da disposição dos pinos no interior da mata, e que esses sedimentos possivelmente estejam atingindo o curso d'água do entorno da

floresta, isto porque a última estaca localizada ao final da mata apresentou acúmulo de sedimento no período avaliado principalmente no período chuvoso.

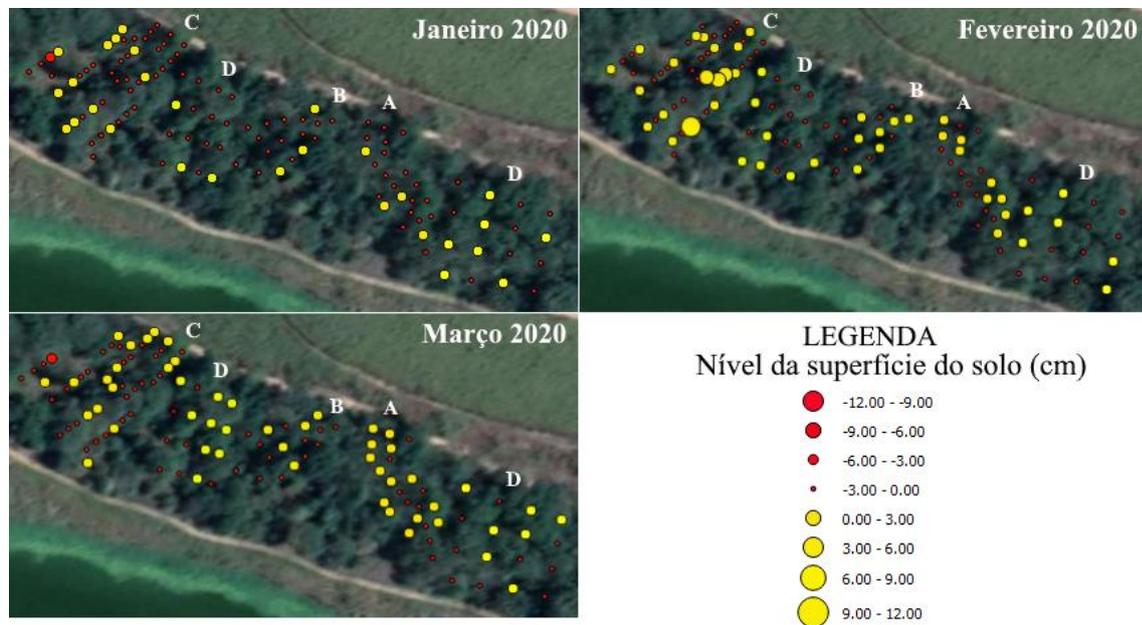


Figura 44: Níveis de deposição de sedimentos (cor amarela) e erosão do solo (cor vermelha) na mata ciliar em 2020. O tamanho da circunferência é proporcional das mudanças observadas. A- Floresta 1a, B- Floresta 1b, C- Floresta 2, D- Malha direita e malha esquerda.

Baseado nas medições mensais do nível da superfície do solo na área das malhas obteve-se o nível da superfície do solo para cada ano de avaliação (Fig. 45A). Na malha 1 observa-se uma tendência erosiva nos anos 2017 e 2019 em até $-0,02$ m que se sobressai em relação a deposição de sedimentos que ocorreu de forma pontual em até $0,07$ m. Em 2018 houve um equilíbrio entre a erosão e o acúmulo de sedimentos de $-0,05$ a $0,07$ m. Na malha 2 a tendência em acumular sedimentos se sobressaiu na maior parte da área para os três anos (Fig. 45B). Em 2017 a sedimentação foi de até $0,02$ m principalmente na borda da área nas proximidades da estrada de terra. Em 2018 o acúmulo de sedimentos ocorreu tanto próximo a estrada quanto ao final da mata, na parte central da área observa-se uma tendência erosiva de até $-0,05$ m. Em 2019, ao contrário dos outros anos, a disposição de ocorrer erosão foi pontual próximo a estrada de terra em até $-0,03$ m e a deposição de sedimentos apresentou menor amplitude em comparação aos anos anteriores até $0,01$ m.

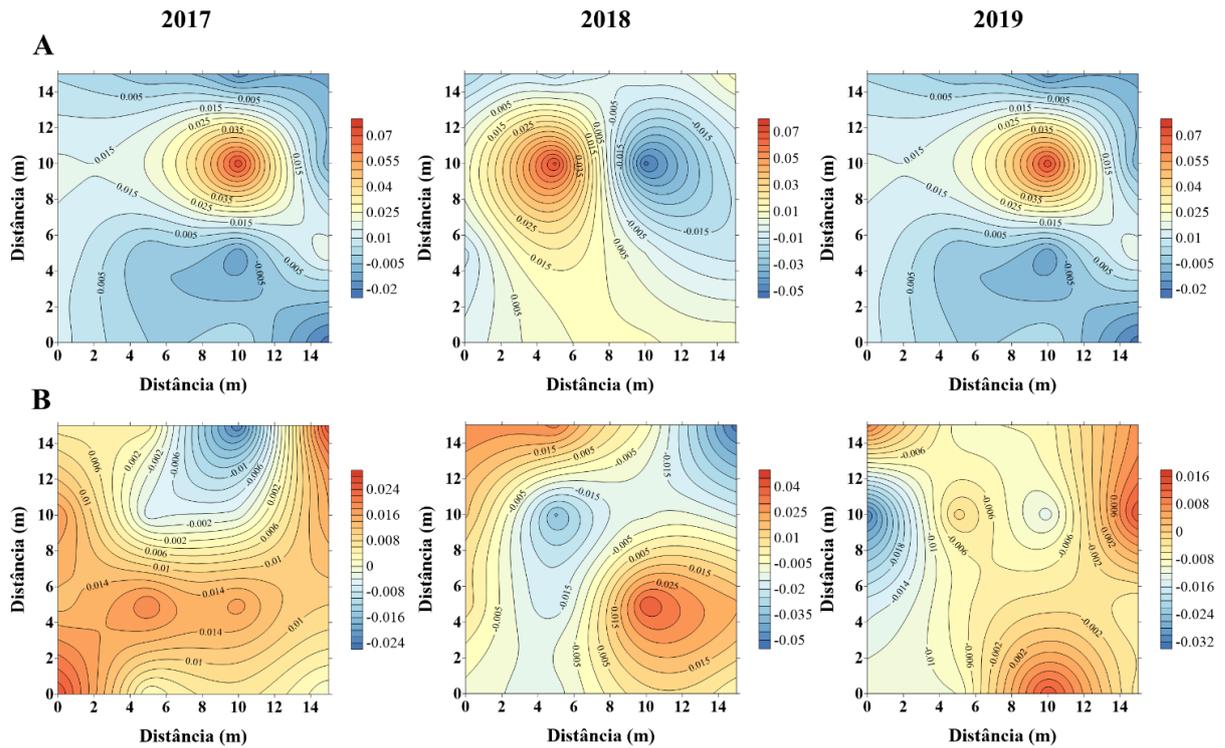


Figura 45: Nível da superfície anual do solo na área das malhas nos anos 2017, 2018 e 2019. A – malha 1 e B – malha 2.

A partir das tradagens realizadas na área das malhas obteve-se a altura da superfície atual do solo até o horizonte A enterrado (Fig. 46). Na malha 1 a espessura do sedimento foi de até 1,25 m (Fig. 46A), enquanto que na malha 2, a espessura desse sedimento foi de até 1,15 m (Fig. 46B). No entanto a espessura do sedimento não é uniforme na área toda, em alguns pontos a sua espessura é menor.

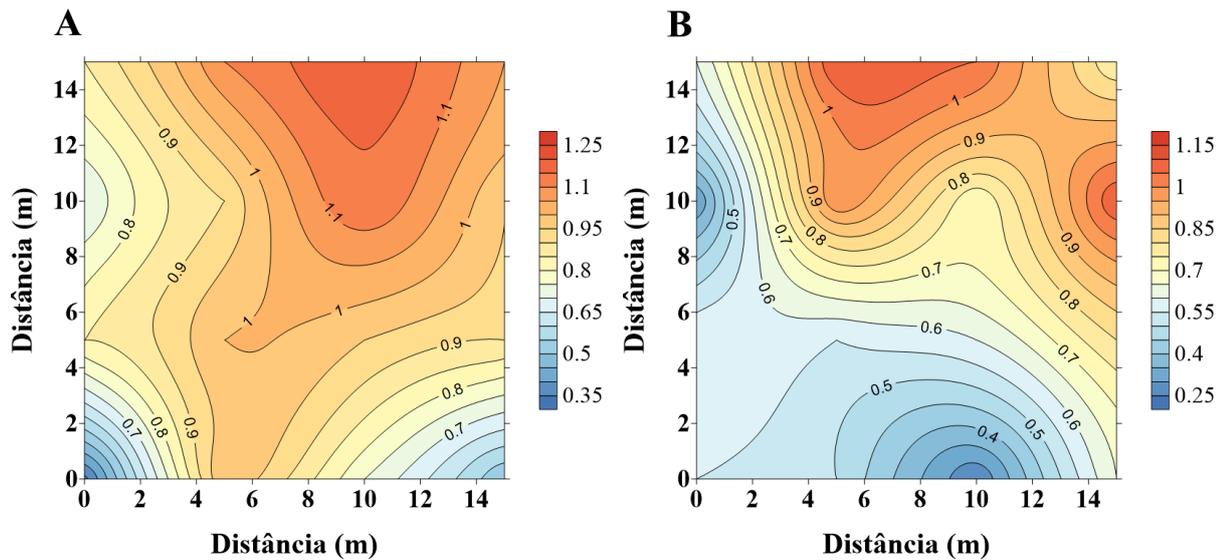


Figura 46: Espessura do sedimento a partir da superfície do solo até o horizonte A enterrado na área das malhas localizada em floresta restaurada de 12 anos. A – malha 1, B – malha 2.

Com base na espessura do sedimento determinou-se a velocidade de sedimentação anual (Fig. 47). Na malha 1 em 2017 a pesar de a sedimentação ter ocorrido em boa parte da área, esse acúmulo de sedimentos foi de baixa magnitude em até 0,008 m ao longo do ano (Fig. 47A), a disposição de ocorrer erosão foi específica em uma parte da área localizado próximo ao carreador, porém ocorreu de forma mais intensa e ao longo deste ano a velocidade de sedimentação foi negativa indicando o predomínio da erosão em até -0,02 m. Em 2018, a deposição de sedimentos se sobressaiu em relação a erosão, o acúmulo de sedimentos neste ano foi de 0,06 m. Em 2019, a erosão novamente se sobressaiu em relação a sedimentação com acumulado de até -0,04 m ao longo do ano. A malha 2 apresentou a mesma disposição que a malha 1 para todos os anos (Fig. 47B). Em 2017, a tendência erosiva predominou em até -0,06 m acrescido neste ano. Em 2018, a deposição de sedimentos prevaleceu com acúmulo de 0,05 m do nível da superfície do solo ao longo do ano. Em 2019, de forma semelhante à malha 1, a erosão também se destacou, porém de forma mais intensa com concentração de -0,08 m no decorrer do ano. Desse modo, verificou-se para as duas áreas que o ano 2017 apresentou de maneira geral perda de solo, enquanto o ano 2018 apresentou deposição de sedimentos pelo aumento do nível da superfície do solo e em 2019 também ocorreu perda de solo ocasionando diminuição do nível da superfície do solo.

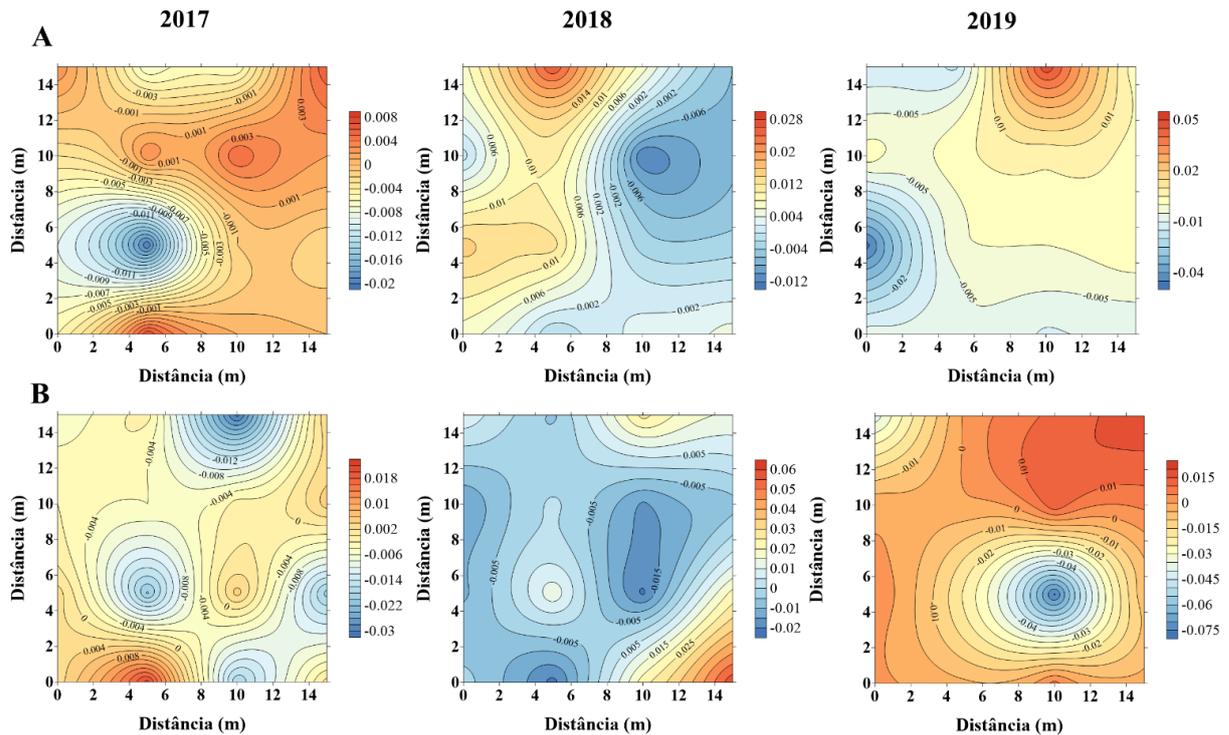


Figura 47: Velocidade de sedimentação ao longo dos anos 2017, 2018 e 2019. A – malha 1, B – malha 2.

A fim de obter um resultado mais detalhado sobre a velocidade de sedimentação realizou-se a comparação entre os pinos a cada trimestre nos três anos de avaliação e também a média trimestral dos pinos quanto ao acúmulo ou perda de solo (Fig. 48). No primeiro trimestre referente ao período chuvoso observa-se picos acentuados do nível da superfície do solo principalmente no ano 2018 nas duas áreas. Em 2019 a variação do nível da superfície do solo ocorreu de forma isolada em alguns pinos, mas no geral houve baixa variação do nível da superfície do solo assim como no ano 2017. Com relação à média dos pinos, no primeiro trimestre a malha 2 apresentou maior variação do nível da superfície do solo. No segundo trimestre relativo ao final da estação chuvosa novamente o ano 2018 foi o mais discrepante para as duas áreas com aumentos de até 4,8 cm na malha 1 e 5,2 cm na malha 2. Em 2017 a alteração do nível da superfície do solo foi maior na malha 1 em comparação ao primeiro trimestre do mesmo ano. Em 2019 de maneira geral, ainda no segundo trimestre ocorreu pequena variação do nível da superfície do solo, somente uma redução pontual na malha 2 semelhantemente ao primeiro trimestre desse ano. A média dos pinos quanto ao acúmulo ou perda de solo no segundo trimestre apresentou menor alteração do nível da superfície do solo em comparação ao primeiro trimestre e novamente a malha 2 evidenciou maiores diferenças em relação a malha 1. No terceiro trimestre relacionado ao período seco a variação do nível da superfície do solo foi menor em relação aos dois primeiros trimestres, os anos 2018 e 2019 manifestaram as maiores

mudanças nas duas áreas. Com relação à média dos pinos a malha 2 praticamente se manteve inalterada nos três anos de avaliação. No quarto trimestre referente ao início da estação chuvosa novamente os anos 2018 e 2019 evidenciaram as maiores mudanças do nível da superfície do solo nas duas áreas. O ano 2017 também apontou algumas alterações na malha 2. E com relação à média dos pinos, a malha 2 apresentou as maiores modificações ao longo dos anos nesse trimestre em comparação a malha 1.

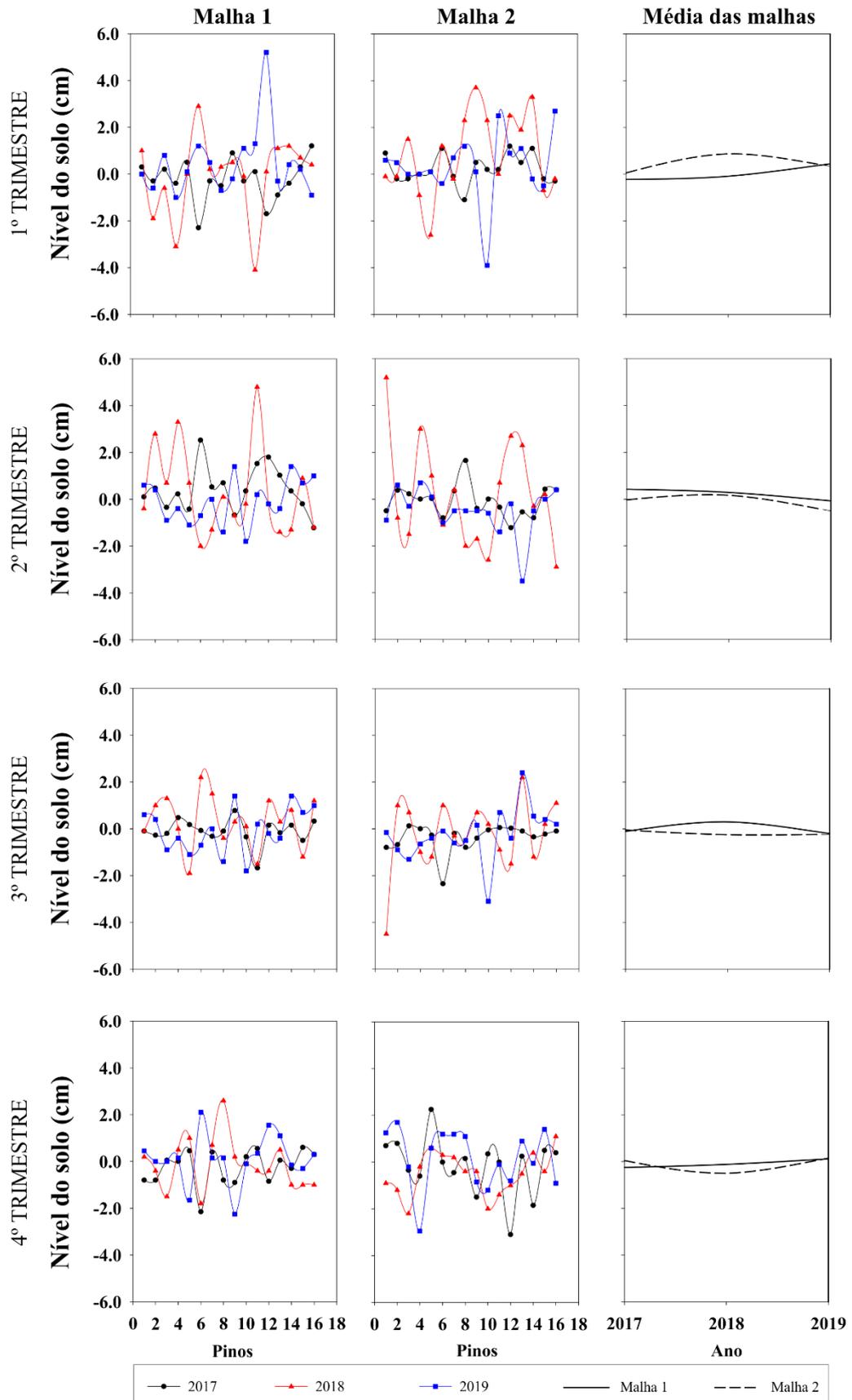


Figura 48: Velocidade de sedimentação trimestral por pino e média dos pinos no período de avaliação.

2.4. Discussão

A classe de solo da área e suas características como a estrutura em blocos em todos os horizontes de todos os perfis (Tabela 1) e a presença de óxidos de ferro que atuam como agentes cimentantes entre as partículas, configuram a baixa suscetibilidade à erosão, além do elevado conteúdo de matéria orgânica nos primeiros horizontes que estimulam a agregação. Este resultado contradiz os resultados obtidos por Mendes Júnior et al. (2018) avaliando erosão hídrica em Latossolos de área de várzea com forte acúmulo de sedimentos, encontraram perdas potenciais de solo acima do limite e atribuem ao baixo conteúdo de matéria orgânica e ausência de práticas conservacionistas. Por outro lado, Costa et al. (2016) avaliando a perda de solo e a deposição de sedimentos em Latossolo, observaram valores médios de deposição de sedimentos de 36,97 t ha⁻¹ e enfatizam que embora uma área não apresente suscetibilidade à erosão se for manejada de forma inadequada os processos erosivos acontecerão. Já na USM o elevado teor de areia diminuem a sua agregação tornando suas partículas soltas e desagregadas tornando-o suscetível à erosão. Ainda, a presença de estrutura maciça em subsuperfície pode ser uma agravante para o processo de erosão, uma vez que prejudica a drenagem contribuindo para eventual estabelecimento de fluxos laterais subsuperficiais (Tabela 2). Os fluxos laterais em subsuperfície além dos problemas físicos, afetam também o transporte e a distribuição de solutos, esses fluxos por sua vez, são acometidos por eventos extremos de chuvas conforme apontado por Filipovic et al. (2018). O baixo espaço poroso da estrutura maciça pode favorecer esse tipo de erosão em subsuperfície. Avaliando os atributos do solo que mais influenciam a erodibilidade, Singh et al. (2012) verificaram, entre outros atributos, que a estrutura do solo é responsável por explicar o escoamento superficial do solo e a sua variabilidade em até 86%, assim como a erodibilidade do solo em até 93% sendo este parâmetro considerado o mais importante em relação a erodibilidade do solo.

O aumento da matéria orgânica na área da mata da USM, está associada a uma estrutura granular incipiente na superfície das camadas de sedimentos evidenciam uma neoformação de um horizonte A (Tabela 2). Isto ocorre pelo acúmulo e decomposição de matéria orgânica oriunda da serapilheira formada pela mata ciliar (Bovi et al. 2017). O fato de que existe esta incipiente neoformação de horizonte A mostra que estes sedimentos não são recentes. Por outro lado, teores mais elevados de matéria orgânica nos horizontes A enterrados são evidências da antiga superfície do solo antes da deposição dos sedimentos. O acúmulo de sedimentos nas matas ciliares da USM é evidência de diversas perturbações ocasionadas pelo processo erosivo que ocorre à montante na transeção, tais como perda de solo, insumos e

matéria orgânica, e por outro lado, provocam impactos importantes dentro da mata ciliar como o acúmulo de nutrientes e o recobrimento do solo e do banco de sementes afetando a sucessão da mata (Momoli et al., 2007).

As duas áreas de estudo apresentaram elevados índices pluviométricos observados pelo acumulado mensal de chuva no período de avaliação (Fig. 4 e 31). Do mesmo modo que a quantidade de eventos extremos de chuva, ou seja aqueles com intensidades acima de 25 mm/h, foi elevado (Fig. 5 e 32). O entendimento dos padrões de ocorrência e mudança na erosividade da chuva como quantidade e intensidade, especialmente em eventos extremos de forte intensidade e curta duração é fundamental para a avaliação da perda de solo (Liu et al., 2018). Estes autores encontraram uma correlação linear positiva entre o índice de precipitação anual com a erosividade anual das chuvas, e concluíram que a diminuição da quantidade de precipitação anual leva a uma diminuição na erosividade ou eventos extremos como verificado no presente estudo. Além disso, as características pluviométricas interferem diretamente na recarga dos aquíferos, o monitoramento do lençol freático da USJ revelou um aumento do nível da água em praticamente todos os meses dos três anos de avaliação no P1 das duas áreas (Fig. 7), isto devido a sua localização próximo a nascente comprovando a influência de fatores como a precipitação e o fluxo de retorno a montante na regulação do lençol freático e está de acordo com resultados obtidos por Deng e Bailey (2020) ao avaliarem as possíveis causas da elevação do lençol freático em área irrigada. O P2 apresentou menor elevação freática por estar mais afastado da nascente em comparação ao P1, ainda assim de maneira geral, o nível do lençol freático da USJ foi mais elevado que na USM no período avaliado e isto pode ser decorrente das diferenças texturais entre as áreas. Estudos comparando a variação do nível do lençol freático com as alterações da precipitação concluíram que a recarga do lençol freático em solos argilosos é facilmente influenciado pelas alterações pluviométricas, pois a variação do lençol é instantânea ao período seco ou chuvoso, ao contrário dos solos arenosos onde as mudanças no nível do lençol só ocorrem algum tempo depois da precipitação (Dawes et al., 2012), conforme constatado na área da USM (Fig. 34). Nesta área, a influência das chuvas no lençol freático só foi perceptível alguns meses após o pico de precipitação, isto devido a uma defasagem entre o início das chuvas e a reação do nível freático que foi de, aproximadamente, três meses. Em estudos que analisam os níveis da água subterrânea e sua relação com a precipitação e a vazão dos rios, observa-se que as águas subterrâneas respondem mais fortemente a flutuações climáticas de baixa frequência e que a elevação dessas águas não ocorrem imediatamente após grandes volumes de chuva (Neves et al., 2016). Outro fator que pode ter contribuído para o aumento do lençol freático após os meses de elevada pluviosidade, é a forte drenagem do solo

da USM e a baixa retenção de água devido a textura arenosa deste solo, sendo necessário a ocorrência de precipitações consecutivas para a elevação do nível freático (Ortegón et al. 2016). Estes pesquisadores observaram maior condutividade hidráulica, maior infiltração e menor capacidade de armazenamento de água no solo arenoso permitindo que a frente de água se estenda de forma acelerada.

A alteração do nível da superfície do solo pela dinâmica do processo erosivo e sedimentação em relação à precipitação em geral apresentou os maiores picos de erosão e sedimentação na estação chuvosa. Este fenômeno está relacionado à maior quantidade de eventos extremos de chuvas neste período que variaram entre 11 a 15 ocorrências de chuvas erosivas na USJ por ano avaliado (Fig. 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14), e à maior repetitividade dessas chuvas erosivas, especialmente durante o mês de janeiro (Fig. 6). Por exemplo, nos primeiros três meses de 2020 foram registrados oito eventos extremos de chuva na USJ, sendo seis deles de ocorrência frequente dos quais a metade ocorreu no mês de janeiro. Essa repetitividade de chuvas extremas está relacionada principalmente à umidade antecedente do solo influenciando a erosividade e aumentando, conseqüentemente, o potencial erosivo do solo. Em estudo avaliando a dinâmica dos sedimentos em eventos chuvosos de diferentes magnitudes, Masselink et al. (2017) encontraram maior influência da precipitação antecedente, ou seja, da umidade antecedente do solo na quantidade de sedimentos desprendidos em relação à intensidade de precipitação. No entanto, os autores consideram que a combinação entre a quantidade de precipitação antecedente e as elevadas intensidades de chuvas contribuem para a produção e o transporte de sedimentos.

Na USM observa-se uma clara distinção no processo erosivo ao longo do período de avaliação (Fig. 35, 36, 37, 38 e 39). Os anos 2016 e 2017 apresentaram maior volume de chuva, e as maiores deposições de sedimentos e erosões aconteceram nos meses mais chuvosos em todas as áreas, indicando que o processo erosivo foi fortemente afetado pela precipitação nesses dois anos. Em 2016, a frequência de chuvas extremas em dias próximos que ocorreu no início do mês de dezembro, repercutiu no aumento da erosão nesse mês (Fig. 33). O mês de janeiro de 2017 apresentou a maior quantidade de chuvas extremas, as de maior intensidade e, também, a maior repetibilidade, o que ocasionou um aumento da taxa de deposição de sedimentos no mês seguinte (fevereiro) e a amplitude nos índices de erosão do mês de março confirmando a não linearidade do processo erosivo. Essa não linearidade que acarreta a erosão e sedimentação nos meses subsequentes se deve também a umidade antecedente do solo que aumenta os fluxos na superfície do solo durante os eventos de chuva, favorecendo o transporte e deposição das partículas (Santos et al., 2011). Nos anos 2018 e 2019, o regime de chuva sofreu bastante

alteração, as médias de precipitação foram menores que as registradas nos anos anteriores e isso refletiu na dinâmica do processo erosivo, em que as deposições de sedimentos e erosões aconteceram tanto nos meses mais chuvosos como no período mais seco. Em 2020, os três primeiros meses do ano apontaram em geral médias mensais de menor intensidade em comparação aos outros anos, apenas o mês de fevereiro apresentou acumulados de chuva acima da média registrada nos três anos anteriores devido a dois eventos extremos de chuva nesse mês, ainda assim não foram suficientes para causar grandes alterações no nível da superfície do solo, diferentemente dos anos anteriores. As diferenças no nível da superfície do solo também se dão pela quantidade de eventos extremos de chuvas ao longo do ano, que nos dois primeiros anos (2016 e 2017) foi superior em comparação aos últimos três anos (2018, 2019 e 2020). As mudanças observadas nos padrões de regime de chuva nos anos 2018 e 2019 estão associadas às alterações climáticas e sazonais refletindo diretamente no processo erosivo. Ao avaliar as mudanças no padrão da erosividade das chuvas Liu et al. (2018) observaram maior erosividade das chuvas no verão e instabilidade nas séries temporais anuais de chuvas, devido à diminuição da taxa de precipitação anual. Outros estudos analisando os padrões de alteração da erosividade das chuvas concluíram que essas mudanças estão relacionadas às mudanças climáticas, à sazonalidade de precipitação, elevação da temperatura e outros fatores bioclimáticos (Panagos et al., 2015; Ballabio et al., 2017).

De forma geral, os valores entre a média e mediana estiveram próximos no período de avaliação nas duas áreas. As áreas que mais divergem entre os valores de média e mediana é a 2.1 da USJ, isto porque esta área apresenta uma saída de água da área agrícola direcionada a esta localidade além da elevada declividade do terreno acelerando a deposição de sedimentos, oriundos da cana-de-açúcar, e para o escoamento superficial. Na Floresta 2 da USM ocorrem divergências entre a média e mediana demonstrando haver maior variabilidade da erosão e deposição de sedimentos nesta área, esta variabilidade na sedimentação também foi observada por Kinder et al. (2020) os autores atribuíram a diversos fatores entre eles à baixa cobertura vegetativa e aos fortes e rápidos eventos climáticos de chuva ocasionando a erosão e um vasto movimento de massa. De fato, os eventos extremos de chuva, a elevada suscetibilidade à erosão do solo desta área e a magnitude da voçoroca já estabelecida no local contribuem para a turbulência e a variabilidade da sedimentação.

Observa-se a expansão desse processo erosivo linear nas áreas que apresentam voçorocas efêmeras da USM (Floresta 1a, Floresta 1b e Floresta 2) que ocorrem pela concentração de fluxo à montante da mata ciliar que se prolonga no seu interior devido aos vícios de erosão já existentes nas áreas. A ampliação desse processo na mata ciliar restaurada a

12 anos propicia o assoreamento dos rios e a sua contaminação por sedimentos oriundos da erosão do solo transportando poluentes da área agrícola, que inclui fertilizantes, pesticidas, fósforo e nitrogênio (Gomes et al., 2019). Em estudos avaliando diferentes larguras de mata ciliar e seus efeitos nos recursos hídricos e no solo, Valera et al. (2019) encontraram índices de qualidade da água ruim em todas as sub bacias hidrográficas estudadas que apresentavam larguras da mata ciliar diferentes, os pesquisadores sugerem melhores práticas de manejo na área agrícola a fim de reduzir o transporte de sedimentos e nutrientes para os cursos d'água. A presença de voçorocas efêmeras e caminhos preferencias que conectam a área agrícola com cana-de-açúcar à mata ciliar foram também identificados por Gomes et al. (2019) e apontaram haver redução da eficiência das matas ciliares em reter os sedimentos erodidos das áreas agrícolas carregados com carbono que, são transportados aos cursos d'água por caminhos preferenciais de escoamento.

A variação espaço-temporal dos sedimentos em geral foi maior nas áreas da USM (Fig. 40, 41, 42, 43 e 44) em comparação as áreas da USJ (Fig. 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28 e 29) para todos os anos, isto ocorre devido à magnitude das erosões na área da USM em razão da sua textura arenosa. As erosões e deposições de sedimentos de maior relevância na USM ocorreram no ano 2018 nos meses de janeiro a maio principalmente na Floresta 2, influenciados pelas chuvas extremas e manejo da cana (plantio, colheita, aplicação de herbicida tratorizado, calagem do solo, enleiramento da palha e adubação). Em estudos avaliando o cenário de erosão do solo com a expansão da agricultura no Brasil, Merten e Minella (2013) verificaram que a cana-de-açúcar é a segunda atividade agrícola que mais contribui para a erosão hídrica no país (13%) e o impacto do seu manejo interfere nas áreas mais baixas do relevo onde estão situadas as matas ciliares. Concomitante a isso, Youlton et al. (2016) reportam que os maiores riscos de erosão no manejo da cana ocorreram no ano de reforma do canavial em que o solo está exposto, especialmente em situações de alta precipitação, eventos frequentes e de alta intensidade. Em 2018 também foi observado um aumento da velocidade de sedimentação na área das malhas em comparação aos anos 2017 e 2019, principalmente nos dois primeiros trimestres referentes ao período chuvoso e ao final do período chuvoso (Fig. 48). Além dos maiores índices de precipitação nesta época, as operações agrícolas nas áreas cultivadas também podem ter influenciado a velocidade de sedimentação e os sedimentos depositados se localizaram na sua maioria na borda da mata ciliar próximo às áreas agrícolas e carreador (Fig. 45). Ocorre uma forte contribuição de sedimentos dos carreadores localizados à montante da mata ciliar de restauração de 12 anos. O acúmulo de água nos carreadores criam caminhos preferenciais da água nos locais em que se encontram as voçorocas efêmeras

intensificando o processo erosivo linear já existente dentro da mata ciliar. Este processo favorece a ampliação das voçorocas e contribuiu para o aumento da sedimentação e erosão laminar na mata ciliar. Já foi comprovado o aumento do escoamento superficial em processos erosivos devido a construção inadequada de estradas rurais intensificando os problemas ambientais (Cunha et al., 2013; Yousefi et al., 2016; Xiao et., 2017).

A espessura da camada de sedimentos na área da USM, com base na altura da superfície atual do solo até o horizonte A enterrado (Fig. 46), é um indicativo de que esse sedimento já se encontrava nessa área antes mesmo do estabelecimento da mata ciliar, pois trata-se de uma floresta de restauração com 12 anos de idade. Essa estimativa pôde ser constatada através da velocidade de sedimentação a cada ano de avaliação que a pesar da elevada variabilidade espacial, o aumento do nível da superfície do solo foi de até aproximadamente 1 a 2 cm em 2017, de 3 a 6 cm em 2018 e 1,5 a 5 cm em 2019 (Fig. 47). Estes valores de espessura de deposição diferem dos valores observados em florestas ribeirinhas do Canadá que evidenciaram baixas concentrações de sedimentos mesmo sob elevadas intensidades de precipitação e isso foi atribuído a rugosidade da superfície e a infiltração do solo (Puntenney-Desmond et al., 2020).

Na USJ as maiores erosões e sedimentações ocorreram nos anos 2018 e 2019 principalmente na área 2 com 5 anos de restauração da floresta. No ano de 2018, além de ocorrerem 13 eventos de chuvas extremas, houve a reforma do canavial nessa área propiciando a exposição do solo às chuvas erosivas. Este fato associado às propriedades hidráulicas e dinâmicas da superfície do solo determinam o incremento do processo de erosão pela forte relação entre os eventos extremos de chuva com a erosão do solo (Boix-Fayos et al., 2005). Em 2019 aconteceram 14 eventos extremos de chuva sendo 6 deles em datas próximas nos meses de janeiro, fevereiro e abril e em todas as áreas da USJ observou-se um aumento da amplitude da erosão/sedimentação nesses três meses. A repetitividade dos eventos extremos de chuva tem uma importante função no processo erosivo por controlar a umidade antecedente do solo (Montenegro et al., 2018) condicionando os poros a ficarem saturados provocando a aceleração do escoamento superficial. Resultados similares foram obtidos por Duan et al. (2020) avaliando a resposta da erosão hídrica a eventos extremos de chuva. Os autores observaram maior participação das chuvas extremas para a produção de sedimentos em 44,2% e concluíram que as chuvas mais intensas e de curta duração contribuem mais para a erosão do solo.

Na USJ embora as alterações do nível do solo tenham sido muito variáveis ao longo dos quatro anos de avaliação, principalmente durante as estações chuvosas, não foi verificado nas áreas sulcos erosivos ou voçorocas, indicando que a erosão que ocorre no local é do tipo

laminar e isso pode estar relacionado às condições hidráulicas do solo, a textura argilosa e a cobertura vegetativa (Cantalice et al., 2019). Na USM, as erosões intensas observadas no interior da mata na forma de voçorocas efêmeras e sulcos erosivos manifestam uma tendência de elevação da perda de solo no sentido à represa, o que resultará no aumento do assoreamento do curso d'água. Ainda na USM, diferentemente das áreas que apresentam voçorocas efêmeras, as áreas onde foram implementadas as malhas predominou o processo de deposição laminar ocorrendo de forma ampla e distribuída. Esta variabilidade na erosão com deposição laminar e com formação de voçorocas pode ser justificada pelo posicionamento dos carregadores e pela erosão que se forma neles adentrando a mata ciliar, outra parte desse processo erosivo é oriundo do canal com passagem pelo carregador que apresenta pontos de vulnerabilidade concentrando água e permitindo a sua entrada na mata, ocasionando a formação de voçorocas em algumas localidades e outras não. As características das chuvas como intensidade e frequência influenciam sobremaneira o processo de erosão e sedimentação conforme verificado por Guo et al. (2020) elevadas intensidades de chuva geraram um aumento da taxa do escoamento superficial, este aumento do escoamento superficial também foi atribuído à estrutura do solo arenoso da área de estudo. Além disso o manejo da cana-de-açúcar como a época de colheita, plantio, rebrota e outros procedimentos mecanizados contribuem para o processo erosivo (Gomes et al., 2019). Ademais a vegetação da floresta na USM é espaçada e as plântulas não sobrevivem a elevada entrada de sedimentos no local, observado pela velocidade de sedimentação, o que torna inviável a formação de um sub bosque para que no futuro se torne uma floresta secundária e recomponha a atual floresta quando esta morrer.

Em relação ao alcance dos sedimentos pôde-se constatar através das medições a variabilidade do nível da superfície do solo nos últimos pinos, revelando o alcance do sedimento até a última estaca nas duas áreas (USJ e USM). Esta observação indica que o sedimento atinge a distância de 30 m e que, pela quantidade de sedimento depositada nestes locais, a deposição, provavelmente, ultrapassa esta distância indicando que a largura de 30 m da mata ciliar nestes locais é insuficiente para reter todos os sedimentos transportados das áreas do entorno. Esta ineficiência da mata ciliar em reter os sedimentos e o processo erosivo se agrava na área da USM onde observa-se uma expressiva espessura dos sedimentos nas trincheiras localizadas no interior da mata, especialmente a trincheira T4 localizada ao final da mata ciliar cuja camada de sedimentos apresenta uma espessura de 65 cm, e pelos processos erosivos lineares que se formam na mata ciliar deste local levando sedimentos e água diretamente até o curso d'água. O alcance do sedimento ultrapassando 30 m de largura em área de mata ciliar também foi constatado por Momoli et al. (2007). Outros estudos em área de mata ciliar também

apresentaram sedimentação ao final da largura de 44 m (Santos e Sparovek, 2011). A legislação Brasileira através do Novo Código Florestal definiu larguras mínimas de mata ciliar em função da largura dos rios, mas entende-se que a discussão a respeito da largura mínima deve se basear em critérios científicos. Estas avaliações devem incluir as características intrínsecas de cada bacia hidrográfica como a pluviosidade local, os atributos do solo, a vegetação, o relevo, a hidrologia, o uso do solo, além das práticas de manejo adotadas na área agrícola que incluem o uso de práticas conservacionistas e o posicionamento dos carregadores a fim de reduzir os processos erosivos e a entrada de sedimentos nas áreas de preservação permanente (Valera et al., 2019). Estes critérios de uso, manejo e conservação do solo devem ser somados a critérios de funcionamento hidrológico da microbacia hidrográfica e ecológicos de sustentabilidade da biodiversidade na definição da largura de matas ciliares.

2.5. Conclusão

A compreensão dos padrões de chuva é fundamental para a avaliação do processo erosivo dada as futuras projeções de alterações climáticas, especialmente em se tratando de eventos extremos de chuvas que no presente estudo ocasionaram as maiores erosões e acúmulos de sedimentos nas matas ciliares estudadas. Além da precipitação, as características intrínsecas do solo influenciam o processo erosivo, como observado na USM cujo solo é arenoso, a distribuição espaço-temporal dos sedimentos no interior da mata restaurada implantada a 12 anos ocorre de forma variável e disseminada por fluxos turbulentos nas áreas que contém voçorocas efêmeras e de forma laminar em áreas adjacentes (malhas), diferentemente da USJ restaurada a 5 e 6 anos em que o solo é argiloso, não foi observado erosão aparente, mas através das medições constatou-se variações do nível da superfície do solo indicando que a erosão no local é laminar, uniforme e de baixa intensidade confirmando parcialmente a segunda hipótese. Ou seja, em áreas de floresta restaurada ainda que o solo apresente baixa suscetibilidade a erosão, a floresta não retém todo o sedimento. Na USM há uma tendência de aumento das erosões e da deposição de sedimentos no interior da mata e isso pôde ser observado através da velocidade de sedimentação ao longo dos anos que foi maior nos meses mais chuvosos, o que provavelmente implicará em aumento do assoreamento dos cursos d'água resultante da formação de voçorocas proporcionadas pela presença de caminhos preferenciais oriundos da área agrícola e do mau posicionamento dos carregadores a montante da mata ciliar confirmando a hipótese 1. O alcance dos sedimentos ultrapassa a largura das matas ciliares com 15 e 30 m não havendo diferença entre as larguras, sobretudo na USM, apontando para a insuficiência da

largura mínima exigida pela legislação em reter todo o sedimento produzido na área agrícola à montante o que nos fez rejeitar a terceira hipótese. Ressalta-se a importância e a necessidade de melhorar o dimensionamento das matas ciliares com base no conhecimento científico, onde a definição da largura das matas ciliares deve ser realizada por meio de critérios definidos com base no uso e manejo conservacionista dos solos das áreas agrícolas à montante da mata cilair, no funcionamento hidrológico da microbacia hidrográfica e nos princípios ecológicos de sustentabilidade da biodiversidade.

Referências

- Ballabio, C., Borrelli, P., Spinoni, J., Meusburger, K., Michaelids, S., Begueria, S., Klik, A., Petan, S., Janecek, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymaszewicz, A., Dumitrescu, A., Tadic, M.P., Diodato, N., Kostalova, J., Rousseva, S., Banasik, K., Alewell, C., Panagos, P., 2017. Mapping monthly rainfall erosivity in Europe. *Sci Total Environ.* 579, 1298-1315. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.123>
- Boardman, J., 2015. Extreme rainfall and its impact on cultivated landscape with particular reference to Britain. *Earth Surf Process Landf.* 40, 2121-2130. <http://doi:10.1002/esp.3792>
- Boix-Fayos, C., Martinez-Mena, M., Calvo-Cases, A., Castillo, V., Albaladejo, J., 2005. Concise review of interrill erosion studies in se Spain (Alicante and Murcia): erosion rates and progresso f knowledge from the 1980s. *Land Degrad. Develop.* 16, 517-528. DOI: 10.1002/ldr.706
- Bovi, R.C., Silva, L.F.S., Zenero, M.D.O., Carvalho, C.C., Cooper, M., 2017. Sediment morphology, distribution and recent transport dynamics in a reforested fragment. *R Bras Ci Solo.* 41, 1-16. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20160454>
- Cantalice, J.R.B., Nunes, E.O.S., Cavalcante, D.M., Barbosa, B., Barros Júnior, D., Guerra, S.M.S., Rolim Neto, F.C., 2019. Vegetative-hydraulic parameters generated by agriculture crops for laminar flows under a semi-arid environment of Pernambuco, Brazil. *Ecol Indic.* 106, 105496. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105496>
- Collins, A.S., Walling, D.E., McMellin, G.K., Zhang, Y., Gray, J., McGonigle, D., Cherrington, R., 2010. A preliminary investigation of the efficacy of riparian fencing schemes for reducing contributions for eroding channel banks to the siltation of salmonid spawning gravels across the South West UK. *J Environ Manage.* 91, 1341-1349. doi:10.1016/j.jenvman.2010.02.015

- Costa, C.D.O., Alves, M.C., Sousa, A.P., Silva, H.R., González, A.P., Avalos, J.M.M., 2016. Produção e deposição de sedimentos em uma sub-bacia hidrográfica com solos suscetíveis à erosão. *Irriga*. 21, 284-299. doi: <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v21n2p284-299>
- Cunha, M.C., Thomaz, E.L., Vestena, L.R., 2013. Medidas de controle de erosão em estradas rurais na bacia do Rio das Pedras, Guarapuava-PR. *Soc Nat*. 25, 107-118. <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-45132013000100009>
- Dawes, W., Ali, R., Varma, S., Emelyanova, I., Hodgson, G., McFarlane, D., 2012. Modelling the effects of climate and land cover change on groundwater recharge in south-west Western Australia. *Hydrol Earth Syst Sci*. 16, 2709-2722. doi:10.5194/hess-16-2709-2012
- Deng, C., Bailey, R.T., 2020. Assessing causes and identifying solutions for high groundwater for levels in a highly managed irrigated region. *Agric Water Manag*. 240, 106329. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106329>
- Duan, J., Liu, Y.J., Yang, J., Tang, C.J., Shi, C.H., 2020. Role of groundcover management in controlling soil erosion under extreme rainfall in citrus orchards of Southern China. *J Hydrol*. 124290. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124290>
- Efthimiou, N., Lykoudi, E., Panagoulia, D., Karavitis, C., 2016. Assessment of soil susceptibility to erosion using the EPM and RUSLE models: the case of venetikos river catchment. *Global Nest J*. 18, 164-179. Doi: [//doi.org/10.30955/gnj.001847](https://doi.org/10.30955/gnj.001847).
- Filipovic, V., Gerke, H.H., Filipovic, L., Sommer, M., 2018. Quantifying subsurface lateral flow along sloping horizon boundaries in soil profiles of a Hummocky Ground Moraine. *Vadose Zone J*. 17, 170106. doi:10.2136/vzj2017.05.0106
- Gomes, T.F., Broek, M.V., Govers, G., Silva, R.W.C., Moraes, J.M., Camargo, P.B., Mazzi, E.A., Martinelli, L.A., 2019. Runoff, soil loss, and sources of particulate organic carbon delivered to streams by sugarcane and riparian areas: An isotopic approach. *Catena*. 181, 104083. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104083>
- Gumiere, S.J., Rousseau, A.N., Hallema, D.W., Isabelle, P.E., 2013. Development of VFDM: a riparian vegetated filter dimensioning model for agricultural watersheds. *Can Water Resour J*. 38, (3), 169-184. <http://dx.doi.org/10.1080/07011784.2013.830372>
- Guo, M., Wang, W., Li, J., Bai, Y., Kang, H., Yang, B., 2020. Runoff characteristics and soil erosion dynamic processes on four typical engineered landforms of coalfields: an in-situ simulated rainfall experimental study. *Geomorphology*. 349, 106896. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106896>
- Hudson, N., 1971. Soil conservation. Ithaca: Cornell University Press. 230p.

- Kinder, M., Tylmann, W., Rzeszewski, M., Zolitschka, B., 2019. Varves and mass-movement deposits record distinctly different sedimentation dynamics since the late glacial (Lake Szurpily, northeastern Poland). *Quat Res.* 93, 299-313. doi:10.1017/qua.2019.61
- Lemos, R.C., Santos, R.D., 2002. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 84p.
- Liu, S., Huang, S., Xie, Y., Leng, G., Huang, Q., Wang, L., Xue, Q., 2018. Spatial-temporal changes of rainfall erosivity in the loess plateau, China: changing patterns, causes and implications. *Catena.* 166, 279-289. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.04.015>
- Magalhães, S.E.F., Pimentel, R.M.M., 2013. Matas ciliares – Análise histórica dos estudos relacionados ao tema. *Revista Brasileira de Geografia Física.* 06, 049-057. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v06.1.p049-057>.
- Masselink, R.J.H., Temme, A.J.A.M., Gimenez, R., Casali, J., Keesstra, S.D., 2017. Assessing hillslope-channel connectivity in an agricultural catchment using rare-earth oxide tracers and random forest models. *Geophys Res Lett.* 43, 19-39. DOI: <http://doi.org/10.18172/cig.3169>
- Mendes Júnior, H., Tavares, A.S., Santos, W.J.R., Silva, M.L.N., Santos, B.R., Mincato, R.L., 2018. Water erosion in Oxisols under coffee cultivation. *R Bras Ci Solo.* 42, e0170093. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170093>
- Merten, G.H., Minella, J.P.G., 2013. The expansion of Brazilian agriculture: Soil erosion scenarios. *Int Soil Water Conserv. Res.* 1(3), 37-48. [https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30029-0](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30029-0)
- Momoli, R.S., Cooper, M., Castilho, S.C.P., 2007. Sediment morphology and distribution in a restored riparian forest. *Sci Agric.* 64 (5), 486-494. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162007000500006>
- Momoli, R.S., Cooper, M., Tomazello Filho, M., Lobão, M.S., 2012. Aplicação da dendrogeomorfologia no estudo da deposição de sedimentos do solo no tronco de árvores de *Guarea guidonea* em mata ciliar antropizada no Estado de Goiás, Brasil. *Sci For.* 40, 7-14.
- Momoli, R.S., Cooper, M., 2016. Erosão hídrica em solos cultivados e sob mata ciliar. *Pesqui Agropecu Bras.* 51, 1295-1305. <http://doi:10.1590/s0100-204x2016000900029>.
- Montenegro, A.A.A., Souza, T.E.M.S., Souza, E.R., Montenegro, S.M.G.L., 2018. Temporal dynamics of soil moisture and rainfall erosivity in a tropical volcanic archipelago. *J Hydrol.* 563, 737-749. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.06.047>
- Morgan, R.P.C., 2005. Soil erosion and conservation. Blackwell Publishing. 299p.

- Neves, M.C., Costa, L., Monteiro, J.P., 2016. Climatic and geologic controls on the piezometry of the Querença-Silves karts aquifer, Algarve (Portugal). *Hydrogeol J.* 24, 1015-1028. DOI 10.1007/s10040-015-1359-6
- Nunes, M.C.M., Cassol, E.A., 2011. Produção de sedimentos pela erosão em entressulcos três Latossolos do Rio Grande do Sul. *R Bras Eng Agric Ambiental.* 15 (6), 541-547. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000600001>
- Oliveira, C.A., Kiemann, H.J., Correchel, V., Santos, F.C.V., 2010. Avaliação da retenção de sedimentos pela vegetação ripária pela caracterização morfológica e físico-química do solo. *Rev Bras Eng Agríc Ambient.* 14, 1281-1287. [http//doi: //10.1590/S1415-43662010001200005](http://doi://10.1590/S1415-43662010001200005)
- Ortegón, G.P., Arboleda, F.M., Candela, L., Tamoh, K., Valdes-Abellan, J., 2016. Vinasse application to sugar cane fields. Effect on the unsaturated zone and groundwater at Valle del Cauca (Colombia). *Sci Total Environ.* 539, 410-419. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.153>
- Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., Tadic, M.P., Michaelides, S., Hrabalikova, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymaszewicz, A., Domitrescu, A., Begueria, S., Alewell, C., 2015. Rainfall erosivity in Europe. *Sci Total Environ.* 515, 801-814. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.008>
- Pires, L.F., Bacchi, O.O.S., Correchel, V., Reichardt, C., Philippe, J., 2009. Riparian forest potential to retain sediment and carbon evaluated by the ¹³⁷Cs fallout and carbon isotopic ratio techniques. *An Acad Bras Cienc.* 81 (2), 271-279. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652009000200013>
- Puntenney-Desmond, K.C., Bladon, K.D., Silins, U., 2020. Runoff and sediment production from harvested hillslopes and the riparian area during high intensity rainfall events. *J Hydrol.* 582, 124452. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124452>
- Santos, D.S., Sparovek, G., 2011. Retenção de sedimentos removidos de área de lavoura pela mata ciliar, em Goiatuba (GO). *R Bras Ci Solo.* 35, 1811-1818. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000500035>
- Santos, J.C.N., Palácio, H.A.Q., Andrade, E.M., Meireles, A.C.M., Araújo Neto, J.R. 2011. Runoff and soil and nutriente loss in semiarid uncultivated fields. *Rev. Cienc. Agron.* 42(3), 813-820. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000300030>
- Santos, H.G., Jacomine, P.K.T., Anjos, L.H.C., Oliveira, V.A., Oliveira, J.B., Coelho, M.R., Lumberras, J.F., Cunha, T.J.F., 2013. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3a ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.

- Sato, J.H., Figueiredo, C.C., Leão, T.P., Ramos, M.L.G., Kato, E., 2012. Matéria orgânica e infiltração da água em solo sob consórcio milho e forrageiras. *Rer Bras Eng Agric Ambient.* 16, 189-193. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000200009>
- Singh, M.J., Khera, K.L., Santra, P., 2012. Selection of soil physical quality indicators in relation to soil erodibility. *Arch. Agron. Soil Sci.* 58(6), 657-672. <http://dx.doi.org/10.1080/03650340.2010.537324>
- Sparovek, G., Ranieri, S.B.L., Gassner, A., De Maria, I.C., Schnug, E., Santos, R.F., Joubert, A., 2002. A conceptual framework for the definition of the optimal width of riparian forests. *Agr Ecosyst Environ.* 90, 169-175. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00195-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00195-5)
- Valera, C.A., Pissara, T.C.T., Martin Filho, M.V., Valle Júnior, R.F., Oliveira, C.F., Moura, J.P., Fernandes, L.F.S., Pacheco, F.A.L. *Water.* 11, 549. doi:10.3390/w11030549
- Vigiak, O., Malagó, A., Bouraoui, F., Grizzetti, B., Weissteiner, C.J., Pastori, M., 2016. Impact of current riparian land on sediment retention in the Danube River Basin. Sustainability of water quality and ecology. 8, 30-48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.swaqe.2016.08.001>
- Youlton, C., Wendland, E., Anache, J.A.A., Poblete-Echeverría, C., Dabney, S., 2016. Changes in erosion and runoff due to replacement of pasture land with sugarcane crops. *Sustainability.* 8, 685. <http://doi:10.3390/su8070685>
- Yousefi, S., Moradi, H., Boll, J., Schonbrodt-Stitt, S., 2016. Effects of road construction on soil degradation and nutrient transport in Caspian Hyrcanian mixed forests. *Geoderma.* 284, 103-112. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.09.002>
- Xiao, L., Yang, X., Cai, H., 2017. The indirect roles of roads in soil erosion evolution in Jiangxi Province, China: a large scale perspective. *Sustainability.* 9, 129. doi:10.3390/su9010129
- Zhao, P., Shao, M.A., Omran, W., Amer, A.M., 2011. Effects of erosion and deposition of particle size distribution of deposited farmland soils of the chinese loess plateau. *R Bras Ci Solo.* 35, 2135-2144. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000600028>

3. CARACTERIZAÇÃO E PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE SEDIMENTOS EM ÁREA DE MATA CILIAR

RESUMO

As atividades agrícolas tem grande contribuição para o processo erosivo que ocorre em três etapas: desprendimento, transporte e deposição de sedimentos. A caracterização do sedimento é fundamental para a compreensão do processo erosivo. O objetivo do presente estudo foi entender o processo de sedimentação em área de mata ciliar através de análises de parâmetros sedimentológicos. Para tanto realizou-se análises exploratória e visual por meio de tradagens e abertura de trincheiras, posteriormente análises morfológicas nas trincheiras e coleta de amostras para análises químicas, físicas, micromorfométricas e micromorfológicas. A análise física consistiu em avaliar a granulometria por meio da dispersão da argila em água e com dispersante e também através da análise do fracionamento das areias utilizando os parâmetros de Folk e Ward (1957). Houve baixa diferenciação na porosidade entre os horizontes e camadas de sedimentos com elevada porosidade total e predomínio de poros grandes e complexos. Os sedimentos da USM foram depositados em diferentes ciclos com distribuição uniforme do mesmo modo que a análise micromorfológica evidenciou a seletividade do material grosso, de maneira geral, entre moderadamente a bem selecionado. A distribuição dos sedimentos revelou a ocorrência de deposição em mais de um evento erosivo. Observou-se um padrão de deposição de sedimento estratificado e uniforme decorrente de um processo erosivo laminar de baixa energia.

Palavras-chave: Erosão; Sedimentação; Granulometria; Micromorfologia

ABSTRACT

Agricultural activities are of great importance for soil erosion, which is based on the stages of detachment, transport and deposition of sediments. The characterization of the sediment is fundamental for understanding the erosional process. The objective of this study was to understand the sedimentation process in a riparian forest area through analysis of sedimentological parameters. For this purpose, exploratory and visual analyzes were carried out by means of soil auger sampling and profile trenching, with later morphological analysis in the trenches and soil sampling for chemical, physical, micromorphometric and micromorphological analyzes. The physical analysis consisted of evaluating the particle size distribution through the dispersion of the clay in water and with dispersant, and also through fractioning sands using the parameters of Folk and Ward (1957). There was low differentiation in porosity between horizons and layers of sediments with high total porosity and predominance of large and complex pores. The USM sediments were deposited in different cycles with uniform distribution in the same way as the micromorphological analysis showed the selectivity of the

coarse material, in general, between moderately to well selected. The sediment distribution revealed the occurrence of deposition in more than one erosive event. A stratified and uniform sediment deposition pattern was observed due to a low energy laminar erosion process.

Keywords: Erosion; Sedimentation; Particle size distribution; Micromorphology

3.1. Introdução

A erosão do solo é caracterizada como um processo natural a longo prazo e ocorre em três etapas: desprendimento de partículas, transporte e deposição de sedimentos. O processo erosivo depende do clima, topografia, erodibilidade e manejo do solo, e a sua maior expressividade pode ser decorrente das atividades agrícolas (Morgan, 2005; Efthimiou et al., 2016).

As chuvas quanto a sua intensidade, volume e duração estão fortemente associadas ao processo erosivo e contribuem juntamente com as características hidráulicas do solo para a seleção do tamanho das partículas despreendidas e transportadas, uma vez que estas podem ser destacadas em forma de agregados ou na forma de partículas primárias dispersas em eventos erosivos. A análise do grau de seleção das partículas despreendidas se faz determinando a distribuição granulométrica dos sedimentos em água, simulando, dessa forma, a chuva na dispersão das partículas. Estes resultados são avaliados utilizando-se os parâmetros de Folk e Ward (1957) que auxiliam na avaliação da distribuição e tamanho das partículas (Bovi et al., 2017; Greenwood e Zhang, 2020).

A caracterização do sedimento é fundamental, principalmente em relação ao tamanho de partícula que é afetado pela dinâmica da erosão e pela quantidade de sedimento despreendido e transportado (Slattery e Burt, 1997). A concepção da seletividade dos sedimentos destacados e mobilizados é, portanto, primordial para o entendimento da dinâmica de sedimentação e pode ser determinado utilizando água ou dispersante por reproduzir a água da chuva na dispersão das partículas em eventos erosivos (Walling et al., 2000; Martínez-Mena et al., 2002).

Para uma descrição detalhada dos sedimentos provenientes da erosão é necessário classificar o espaço poroso por meio de análise micromorfométrica e o padrão de deposição, de acordo com a intensidade e o fluxo de erosão, através da análise micromorfológica (Momoli et al., 2007; Bovi et al., 2017). A velocidade do fluxo de erosão irá variar com a quantidade de sedimento despreendido e transportado conforme observado por Liu et al. (2020) ao avaliar a velocidade de sedimentação com base nas propriedades dos agregados do solo, os autores

verificaram uma redução da velocidade média do fluxo com o aumento da carga de sedimentos, com isso uma diminuição na capacidade de transportá-los.

Outro fator que pode afetar o processo de sedimentação é a agregação do solo, de acordo com o conteúdo de argila e matéria orgânica, pois os sedimentos erodidos podem ocorrer na forma de agregados ou na forma de partículas desprendidas, o que irá influenciar o transporte de sedimentos e os padrões de deposição (Hao et al. 2016; Liu et al., 2020).

Com isso, a hipótese deste capítulo é que a ocorrência dos processos erosivos concentrados a montante da mata ciliar interfere no padrão de deposição (laminar ou turbulento) dos sedimentos dentro da mata ciliar, para isso objetivou-se entender o processo de sedimentação em área de mata ciliar através de análises de parâmetros sedimentológicos.

3.2. Material e Métodos

3.2.1. Caracterização da área de estudo

Foram selecionadas duas áreas localizadas em áreas de Floresta Estacional Semidecidual inseridas em paisagens canavieiras do estado de São Paulo. A vegetação das duas áreas está em processo de restauração. A primeira em área da Usina São João (USJ) (USJ1 latitude 22 22 56.15"s e longitude 47 26 24.12"o) (USJ2 latitude 22 23 11.21"s e longitude 47 24 54 85"o), no município de Araras – SP, e a segunda na Usina São Manoel (USM) (latitude 22 36 46,75"s e longitude 48 27 36 63"o), no município de São Manuel – SP. Ambas localidades apresentam clima do tipo Cwa pela classificação de Köppen sendo que a temperatura média anual é de aproximadamente 21°C apresentando a média máxima de 28°C e mínima de 15°C. A precipitação total média anual é de aproximadamente 1400 mm, com período chuvoso compreendido entre os meses de novembro e fevereiro e o período mais seco entre os meses de junho a agosto.

O relevo das áreas é do tipo suave ondulado (Santos et al., 2013), sendo que na USJ a declividade é de aproximadamente 4% e na USM é de aproximadamente 6%.

3.2.2. Atividades no campo e métodos analíticos

Para a definição das áreas experimentais e abertura de trincheiras, foram realizadas análises exploratórias visuais com tradagens para identificação dos locais com indícios de descontinuidade do tipo de solo e/ou concentração de deposição de sedimentos que eram

identificados pelas diferenças morfológicas entre as camadas e horizontes do solo, sendo a cor uma das características principais de identificação. Após a análise exploratória foram definidos os locais para a abertura de trincheiras. Sendo assim, inicialmente, foram abertas 4 trincheiras em cada uma das áreas (USJ e USM) (Fig. 1 e 2), do local mais alto da topossequência até a mata ciliar (T1=topo, T2=meia encosta, T3=final da encosta e T4=mata).

Na USM foram abertas mais duas trincheiras para exploração da sedimentação no interior da mata, constatada na T4. As duas trincheiras adicionais foram nomeadas de T5 e T6 (Fig. 2) (T1=topo, T2=meia encosta, T3=final da encosta, T4=mata, T5=mata 2 e T6=mata 3).



Figura 1. Posição das trincheiras na área da Usina São João, Araras – SP. T1 (Topo); T2 (Meia encosta); T3 (Final da encosta); T4 (Mata).



Figura 2. Posição das trincheiras na área da Usina São Manoel, São Manuel – SP (Área 2). T1 (Topo); T2 (Meia encosta); T3 (Final da encosta); T4 (Mata); T5 (Mata 2); T6 (Mata 3).

3.2.2.1. Análises exploratórias, físicas e químicas dos solos

3.2.2.1.1. Análise estrutural

Com base na análise exploratória das áreas foram determinados os locais para a abertura das trincheiras e coleta de amostras. Entre cada trincheira foi realizada posteriormente tradagens para definir as transições horizontais e verticais dos horizontes do solo, definindo a geometria bidimensional destes ao longo da topossequência, segundo metodologia de análise estrutural proposta por Boulet et al. (1982).

3.2.2.1.2. Granulometria

A análise granulométrica foi determinada após dispersão com NaOH 1 mol L⁻¹, seguida de agitação mecânica por 16 horas e peneiramento úmido em peneira de malha de 0,053 mm, obtendo-se a fração areia. A argila foi obtida computando-se o tempo de sedimentação segundo lei de Stokes e usando o densímetro tipo Bouyoucous (Jacob e Clarke, 2002). O silte foi calculado por diferença. A classe textural foi determinada de acordo com o triângulo textural simplificado utilizado pela Embrapa.

Além disso, foi realizada também a análise granulométrica com dispersão em água, seguida de agitação mecânica por 16 horas e peneiramento úmido em peneira de malha de 0,053 mm, obtendo-se a fração areia. As amostras de areia obtidas tanto com a dispersão em NaOH e com dispersão em água, foram secas em estufa por 48 horas e fracionadas em 10 partes: >1000 µm; entre 1000 e 710 µm; entre 710 e 500 µm; entre 500 e 350 µm; entre 350 e 250 µm; entre 250 e 180 µm; entre 180 e 125 µm; entre 125 e 90 µm; entre 90 e 63 µm; e entre 63 e 38 µm; por meio de um agitador eletromagnético para peneiras, de ação vibratória vertical e horizontal, durante 2 minutos. As frações retidas em cada peneira foram quantificadas por pesagem em balanças de precisão. A estatística da distribuição granulométrica das areias foi feita com base nos parâmetros de Folk e Ward (1957): desvio padrão, assimetria e curtose. O pacote rysgran do programa R foi utilizado para obtenção dos parâmetros e a nomenclatura adotada está na Tabela 1.

Tabela 1: Nomenclatura adotada para os parâmetros estatísticos

Dp	Grau de seleção	Ski	Assimetria	Kg	Curtose
<0,35	Muito bem selecionado (MBS)	-1,00 a 0,30	Muito negativa (MN)	< 0,67	Muito platucúrtica (MP)
0,35 a 0,50	Bem selecionado (BS)	-0,30 a 0,10	Negativa (N)	0,67 a 0,90	Platicúrtica (P)
0,50 a 1,00	Moderadamente selecionado (MS)	-0,10 a 0,10	Aproximadamente simétrica (AS)	0,90 a 1,11	Mesocúrtica (M)
1,00 a 2,00	Pobremente selecionado (PS)	0,10 a 0,30	Positiva (P)	1,11 a 1,50	Leptocúrtica (L)
2,00 a 4,00	Muito pobremente selecionado (MPS)	0,30 a 1,00	Muito positiva (MP)	1,50 a 3,00	Muito leptocúrtica (ML)
>4,00	Extremamente mal selecionado (SEM)	-	-	> 3,00	Extremamente leptocúrtica (EL)

Dp: desvio padrão; Ski: assimetria; Kg: curtose

3.2.2.1.3. Atributos químicos

As análises químicas de rotina foram determinadas segundo Raij et al. (1987). Para a medição da reação do solo, o pH foi medido em H₂O e KCl 1M. A análise de matéria orgânica foi determinada pela oxidação com dicromato de potássio e titulação com sulfato ferroso amoniacal. O alumínio trocável, foi extraído pelo KCl 1M L⁻¹. A acidez potencial (H + Al) foi obtida após extração com acetato de cálcio 1M a pH 7,0. Cálcio, magnésio, potássio trocáveis e fósforo foram determinados pelo método da resina de troca iônica. Destas determinações foram obtidos os seguintes parâmetros: soma de bases, capacidade de troca de cátions e porcentagem de saturação em bases.

3.2.2.2. Análise micromorfométrica e micromorfológica na USM

A análise micromorfométrica é aplicada para a definição dos tipos de poros e dos tamanhos através da análise de imagens em blocos impregnados. A análise micromorfológica foi empregada para a compreensão dos processos pedogenéticos de ocorrência nos perfis do solo. Para tanto, optou-se por coletar amostras indeformadas somente na área da USM nas trincheiras e camadas que continham sedimentos a fim de entender os padrões e a morfologia da sedimentação.

As amostras indeformadas foram coletadas em blocos de solo de 0,07 x 0,05 x 0,12 m, orientados à superfície (Fig. 3a). Os blocos foram secos ao ar, por aproximadamente 15 dias. Após este período foram levadas à estufa a 40°C com ventilação forçada por 48 horas. Quando secas, as amostras foram colocadas em potes plásticos individualmente e se iniciou o processo

de impregnação da amostra com uma mistura de resina poliéster e acetona de acordo com, adicionando-se um pigmento fluorescente (Fig. 3). Para endurecimento da amostra foi adicionado um catalisador, neste caso, peróxido orgânico (Butanox M50, distribuído por Redelease®) em 4 gotas por 10^{-3} m^3 de solução (Cooper et al., 2017).

Para aumentar a eficiência de impregnação e facilitar a penetração da resina no solo, as amostras foram acondicionadas em dessecadores que possuem um sistema de vácuo (Fig. 3b). A solução de impregnação foi adicionada aos poucos às amostras até o nível do fluxo de penetração por capilaridade, para evitar o aprisionamento de ar. Após o primeiro preenchimento, o vácuo foi ligado, aguardando o tempo em que metade da quantidade de solução adicionada à amostra fosse absorvida, desligando a bomba e retirando o vácuo vagarosamente, repetindo-se para cada preenchimento até cobrir as amostras, mantendo-as sob vácuo por no mínimo 24 h (Fig. 3c) (Cooper et al., 2017).

Posteriormente as amostras foram colocadas em estufa à 40°C para secagem (Fig. 3d). Após secagem as amostras foram cortadas em fatias e utilizadas para a confecção de blocos para estudos micromorfométricos dos poros e lâminas delgadas com dimensões de $4,5 \times 7 \text{ cm}$ para posterior descrição micromorfológica (Cooper et al., 2017). Para a análise micromorfológica das lâminas utilizou-se um microscópio óptico polarizador Zeiss e um estereoscópio binocular sob luz normal (LN) e luz polarizada (LP). A descrição seguiu a metodologia proposta por Bullock et al. (1985).



Figura 3 – Preparação das amostras para análise micromorfométricas. 1a- Coleta da amostra no campo. 1b e 1c- Impregnação das amostras pela solução com resina, em bombas de vácuo. 1d- Amostra já impregnada em processo de secagem sobre uma tampa de plástico.

Para a realização dos estudos micromorfométricos dos poros, foram adquiridas imagens digitais dos blocos impregnados com auxílio de uma câmara digital colorida CCD com resolução de 1024 x 768 pixels (área de 156 mm²). As imagens foram processadas utilizando o programa de análise de imagens Noesis Visilog®.

A quantificação e classificação dos poros foi realizada segundo critérios definidos por Cooper et al. (2005) e otimizado com o auxílio do programa SPIA (Cooper et al. 2016). Neste caso, o formato dos poros é definido de acordo com Cooper et al. (2016), sendo classificados em três grupos: arredondados (cavidades e vesículas isoladas), alongados (canais e fissuras) e complexos (poros de empilhamento e câmaras). Dois índices são utilizados para a definição do formato dos poros. O primeiro índice I_1 , é usado para distinção dos poros arredondados dos alongados (Equação 1). O valor igual a 1 define um poro perfeitamente circular, sendo que, valores acima de 1 indicam que o formato do poro é diferente do circular (Bouma et al., 1977).

$$I_1 = \frac{P}{4\pi A} \quad (1)$$

Em que: P, perímetro do poro (μm); A, área do poro (μm²).

O segundo índice de forma é referido por I_2 (Equação 2). Utilizado como complemento ao índice I_1 permite maior exatidão na separação entre os grupos de forma.

$$I_2 = \frac{\frac{1}{m} \sum_i (N_I)_i}{\frac{1}{n} \sum_j (D_F)_j} \quad (2)$$

N_I número de interceptos de um objeto na direção i ($i= 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ e 134°); D_F , diâmetro de Feret de um objeto na direção j ($j=0^\circ$ e 90°); m , número de i direções e n o número de j direções.

3.3. Resultados

3.3.1. Usina São João

3.3.1.1. Análise estrutural

A geometria dos horizontes do solo ao longo da topossequência na USJ apresentou horizonte Ap em toda a sequência superficial, a sua espessura é praticamente uniforme em toda a topossequência tornando-se levemente mais espesso na posição da meia encosta do terreno até a parte final da encosta (Fig. 4). Em contrapartida os horizontes AB e BA estão situados no topo até a meia encosta presentes em T1 e T2, mas ausentes em T3 e T4. Entre as trincheiras T2 e T3 ocorreu o surgimento do horizonte Bt que se mantém até a área da mata (T4), a descrição deste horizonte revelou maior teor de argila em comparação aos demais horizontes classificados como muito argiloso. Assim como o horizonte A, o horizonte Bw foi evidenciado em todo o seguimento topográfico com maior espessura do T1 ao tr3. Na altitude referente ao T3 verificou-se a presença de um pequeno sulco erosivo situado na saída de escoamento do terraço, o que pode estar relacionado ao mau posicionamento do terraço em desnível forçando a saída de água por este local, o que poderá ocasionar a evolução de um processo erosivo.

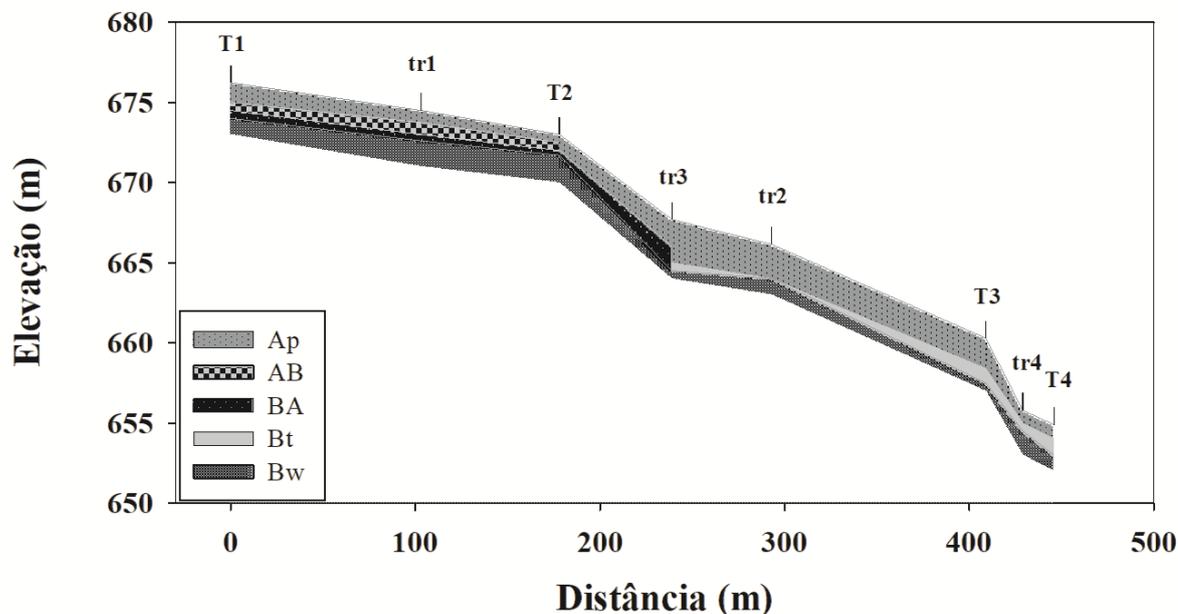


Figura 4: Geometria bidimensional dos horizontes ao longo da topossequência da Usina São João (USJ). Trincheiras: T1, T2, T3 e T4; Tradagens: tr1, tr2, tr3 e tr4.

3.3.1.2. Análise física

A análise granulométrica dos horizontes das quatro trincheiras localizadas na USJ é apresentada na tabela 2. Observa-se maior conteúdo de argila nas trincheiras T3 e T4 (553,9 a 678,4 g kg⁻¹) localizadas na porção mais baixa do terreno (final da encosta e mata) em comparação as trincheiras T1 e T2 (402 a 528,2 g kg⁻¹) localizadas na parte mais elevada do terreno (topo e meia encosta). O padrão de distribuição das partículas de solo erodidas aumentaram em profundidade e isso pode estar relacionado à formação do solo em topossequência juntamente com os processos pedogenéticos. Verificou-se em todas as trincheiras que os horizontes mais profundos apresentam incremento de argila em relação aos horizontes superficiais.

Tabela 2: Análise granulométrica com dispersão em NaOH e hexametáfosfato e água das quatro trincheiras (T1 a T4) abertas em toposequência em área da Usina São João, Araras – SP

Perfil	Horizonte	NaOH				Água			
		Argila	Silte	Areia	Classe Textural	Argila	Silte	Areia	Classe Textural
		g kg ⁻¹				g kg ⁻¹			
T1	Ap	428	81,3	490,7	Argiloso	232	144,3	623,7	Média
	AB	477,4	58,3	464,3	Argiloso	51,8	72,5	875,8	Arenoso
	BA	479,8	67,9	452,3	Argiloso	50,8	82,5	866,8	Arenoso
	Bw1	502,5	68,6	428,9	Argiloso	50,9	73,8	875,4	Arenoso
	Bw2	528,2	30,2	441,6	Argiloso	50,6	111,8	837,6	Arenoso
T2	AP	402	77,6	520,4	Argiloso	196,1	150,3	653,6	Média
	AB	503,5	79,8	416,7	Argiloso	58,2	449,4	492,4	Média
	BA	528,2	85,2	386,6	Argiloso	59,5	376,3	564,2	Média
	Bw	528,2	72,9	398,9	Argiloso	59,5	61,8	878,7	Arenoso
T3	Ap	577,3	140,3	282,4	Argiloso	232,7	316,7	450,6	Média
	Bt1	655,9	130,7	213,4	Muito argiloso	55,2	525,4	419,4	Média
	Bt2	677,7	93,1	229,2	Muito argiloso	52,6	447,1	500,3	Média
	Bw	678,4	98,7	222,9	Muito argiloso	57,3	71,9	870,8	Arenoso
T4	A	553,9	152,5	293,6	Argiloso	181,5	433,6	384,9	Media
	Bt1	604,8	153,8	241,4	Muito argiloso	53	538,7	408,4	Média
	Bt2	630	166,4	203,6	Muito argiloso	55,7	81,8	862,5	Arenoso
	Bw	653,9	120	226,1	Muito argiloso	27,5	145,3	827,2	Arenoso

A dispersão em água (Tabela 2) revelou uma tendência geral de diminuição do conteúdo de argila que foi estimada em grande parte como areia e silte, ocasionando portanto um aumento das frações areia e silte quando comparados à dispersão com NaOH e hexametáfosfato de sódio indicando que a argila foi mal dispersada e permanece agregada em agregados de tamanhos de silte e areia.

O fracionamento das areias nas 10 frações revelou de forma geral um aumento nas frações entre 250 e 125 μm tanto com dispersante (NaOH) quanto em água (H_2O) em todos os perfis e todos os horizontes (Tabela 3). Em água houve um aumento ainda maior das frações em comparação ao dispersante sendo o perfil T1 em água o que apresentou o maior aumento

Tabela 3: Fracionamento das areias nas 10 frações com dispersão em NaOH e em água (H₂O) das quatro trincheiras (T1 a T4) abertas em topossequência em área da Usina São João, Araras – SP

Perfil	Horizonte	Dispersante	>1000	<1000	<710	<500	<350	<250	<180	<125	<90	<63
			>710	>500	>350	>250	>180	>125	>90	>63	>38	
			µm									
T1	Ap	NaOH	0,34	0,23	0,50	0,94	1,69	5,43	5,40	2,06	1,75	0,27
	AB	NaOH	0,47	0,26	0,45	0,89	1,64	5,14	5,50	2,04	1,56	0,16
	BA	NaOH	0,54	0,24	0,40	0,77	1,51	4,74	4,86	2,14	1,64	0,20
	Bw1	NaOH	0,46	0,27	0,43	0,81	1,52	4,79	4,93	2,17	1,62	0,12
	Bw2	NaOH	0,92	0,40	0,44	0,78	1,56	4,39	5,03	1,99	1,67	0,16
T2	Ap	NaOH	0,12	0,26	0,64	1,28	2,49	6,56	5,58	2,02	1,53	0,14
	AB	NaOH	0,05	0,17	0,32	0,77	1,48	4,30	4,11	1,66	1,25	0,08
	BA	NaOH	0,08	0,15	0,34	0,74	1,49	3,72	3,57	1,46	1,32	0,14
	Bw	NaOH	0,07	0,15	0,35	0,70	1,50	4,00	3,95	1,60	1,47	0,16
T3	Ap	NaOH	0,16	0,16	0,33	0,57	0,89	2,82	2,73	1,25	1,28	0,18
	Bt1	NaOH	0,07	0,11	0,23	0,43	0,68	2,10	2,16	1,08	1,02	0,11
	Bt2	NaOH	0,06	0,08	0,23	0,47	0,78	2,17	2,37	1,14	1,14	0,14
T4	Bw	NaOH	0,08	0,08	0,22	0,40	0,67	2,04	2,23	1,13	1,23	0,16
	A	NaOH	0,52	0,16	0,35	0,56	0,93	2,59	2,58	1,21	1,24	0,21
	Bt1	NaOH	0,21	0,13	0,25	0,42	0,70	2,30	2,41	1,12	1,27	0,20
	Bt2	NaOH	0,15	0,08	0,16	0,32	0,60	1,83	2,27	1,12	1,10	0,14
T1	Bw	NaOH	0,21	0,14	0,18	0,33	0,58	2,12	2,31	1,25	1,28	0,16
	Ap	H ₂ O	0,24	0,42	0,78	1,42	2,05	6,46	6,43	2,96	2,71	0,54
	AB	H ₂ O	0,38	0,56	1,01	2,00	3,32	8,55	9,99	4,49	3,02	0,49
	BA	H ₂ O	0,70	0,63	0,95	1,84	2,92	8,51	8,69	4,95	0,40	0,80
	Bw1	H ₂ O	0,55	0,46	0,94	1,64	2,87	8,80	9,70	4,59	4,03	0,84
T2	Bw2	H ₂ O	0,83	0,57	0,85	1,45	2,56	8,32	10,66	4,03	3,47	0,58
	Ap	H ₂ O	0,17	0,38	0,81	1,52	2,71	7,49	6,83	2,78	2,72	0,59
	AB	H ₂ O	0,08	0,42	0,65	1,10	1,62	4,88	4,43	1,70	1,84	0,28
	BA	H ₂ O	0,16	0,45	0,77	1,23	1,82	5,22	4,78	2,18	2,12	0,37
T3	Bw	H ₂ O	0,21	0,63	1,18	2,19	3,14	8,24	8,41	3,11	2,19	0,37
	Ap	H ₂ O	0,65	0,95	1,20	1,42	1,52	4,05	3,47	1,74	2,00	0,40
	Bt1	H ₂ O	0,26	0,50	0,83	1,04	1,31	3,40	3,52	1,79	2,19	0,58
	Bt2	H ₂ O	0,52	0,74	0,99	1,18	1,61	4,08	4,19	2,40	2,73	0,66
T4	Bw	H ₂ O	0,32	0,71	1,36	1,96	3,01	7,30	6,85	4,25	4,03	0,70
	A	H ₂ O	1,30	1,12	1,11	1,05	1,21	3,08	2,86	1,40	1,47	0,35
	Bt1	H ₂ O	0,62	1,01	1,16	1,28	1,37	3,26	3,07	1,63	1,76	0,25
	Bt2	H ₂ O	1,47	1,45	1,82	1,99	2,44	6,26	7,41	4,54	3,32	0,59
T4	Bw	H ₂ O	0,79	0,92	1,34	1,71	2,32	6,29	6,94	4,55	4,50	1,06

3.3.1.3. Parâmetros de Folk e Ward (1957)

A classificação média de todos os horizontes em todas as trincheiras com o uso de dispersante e com o uso de água foi Areia Fina (AF) (Tabela 4) evidenciando uma distribuição uniforme devido a homogeneidade dos solos desta área, a textura e a forte agregação desse solo. A classificação do desvio padrão dos grãos de areia com o uso de NaOH em todos os horizontes foi moderadamente selecionado (MS), exceto o horizonte A da T4 que apontou grãos de areia pobremente selecionados (PS). Na dispersão em água, os grãos de areia manifestaram-se como moderadamente selecionado, com exceção dos grãos de areia nos horizontes A, Bt1 e Bt2 da

T3 e todos os horizontes da T4 que revelaram-se como pobremente selecionados (PS). A assimetria de maneira geral, foi aproximadamente simétrica (AS), em alguns horizontes, especialmente os da T3 e T4 com dispersão em água, apresentaram assimetria negativa (N) indicando que a média é menor que a mediana se sobrepondo as maiores frações de areia. Com relação a curtose a maior parte dos horizontes de todas as trincheiras foi classificada como leptocúrtica (L).

Tabela 4: Parâmetros de Folk & Ward (1957) dos horizontes das trincheiras (T1 a T4) da USJ

Horiz	Trin	Disp	Média	ClassMédia	Mediana	DP	ClassDP	ski	ClassSki	kg	ClassKg
Ap	T1	NaOH	2,51	AF	2,49	0,81	MS	-0,03	AS	1,40	L
AB	T1	NaOH	2,48	AF	2,49	0,82	MS	-0,10	AS	1,47	L
BA	T1	NaOH	2,52	AF	2,51	0,86	MS	-0,09	AS	1,47	L
Bw1	T1	NaOH	2,50	AF	2,50	0,85	MS	-0,09	AS	1,45	L
Bw2	T1	NaOH	2,44	AF	2,49	0,99	MS	-0,20	N	1,68	ML
Ap	T2	NaOH	2,40	AF	2,40	0,75	MS	-0,02	AS	1,32	L
AB	T2	NaOH	2,50	AF	2,47	0,74	MS	0,01	AS	1,27	L
BA	T2	NaOH	2,50	AF	2,47	0,79	MS	0,02	AS	1,25	L
Bw	T2	NaOH	2,54	AF	2,50	0,78	MS	0,02	AS	1,26	L
Ap	T3	NaOH	2,56	AF	2,52	0,87	MS	-0,03	AS	1,30	L
Bt1	T3	NaOH	2,60	AF	2,56	0,83	MS	-0,02	AS	1,19	L
Bt2	T3	NaOH	2,62	AF	2,58	0,82	MS	-0,01	AS	1,15	L
Bw	T3	NaOH	2,68	AF	2,62	0,83	MS	-0,00	AS	1,11	M
A	T4	NaOH	2,47	AF	2,48	1,05	PS	-0,15	N	1,56	ML
Bt1	T4	NaOH	2,63	AF	2,58	0,90	MS	-0,05	AS	1,26	L
Bt2	T4	NaOH	2,69	AF	2,65	0,82	MS	-0,03	AS	1,16	L
Bw	T4	NaOH	2,69	AF	2,64	0,87	MS	-0,05	AS	1,24	L
Ap	T1	H ₂ O	2,55	AF	2,52	0,87	MS	-0,03	AS	1,30	L
AB	T1	H ₂ O	2,51	AF	2,53	0,83	MS	-0,09	AS	1,31	L
BA	T1	H ₂ O	2,40	AF	2,45	0,80	MS	-0,20	N	1,32	L
Bw1	T1	H ₂ O	2,61	AF	2,58	0,85	MS	-0,04	AS	1,26	L
Bw2	T1	H ₂ O	2,57	AF	2,57	0,86	MS	-0,11	N	1,50	L
Ap	T2	H ₂ O	2,51	AF	2,47	0,83	MS	0,02	AS	1,30	L
AB	T2	H ₂ O	2,47	AF	2,45	0,88	MS	-0,03	AS	1,38	L
BA	T2	H ₂ O	2,48	AF	2,46	0,90	MS	-0,04	AS	1,34	L
Bw	T2	H ₂ O	2,39	AF	2,43	0,83	MS	-0,10	N	1,37	L
Ap	T3	H ₂ O	2,24	AF	2,34	1,16	PS	-0,16	N	1,09	M
Bt1	T3	H ₂ O	2,50	AF	2,53	1,05	PS	-0,11	N	1,16	L
Bt2	T3	H ₂ O	2,47	AF	2,53	1,10	PS	-0,15	N	1,17	L
Bw	T3	H ₂ O	2,52	AF	2,52	0,95	MS	-0,07	AS	1,16	L
A	T4	H ₂ O	2,01	AF	2,26	1,28	PS	-0,22	N	0,88	P
Bt1	T4	H ₂ O	2,18	AF	2,33	1,19	PS	-0,19	N	1,00	M
Bt2	T4	H ₂ O	2,31	AF	2,49	1,15	PS	-0,26	N	1,17	L
Bw	T4	H ₂ O	2,57	AF	2,61	1,04	PS	-0,16	N	1,19	L

Horiz: horizonte; Trin: trincheira; Disp: dispersante; Dp: desvio padrão; Ski: assimetria; Kg: curtose; AF: areia fina; MS: moderadamente selecionado; PS: pobremente selecionado; AS: aproximadamente simétrica; N: negativa; L: leptocúrtica; ML: muito leptocúrtica; M: mesocúrtica; P: platicúrtica.

3.3.1.4. Análise química

Na análise química dos horizontes das quatro trincheiras localizadas na USJ observa-se elevada capacidade de troca catiônica (CTC) com teores acima de 7 cmolc/Kg principalmente nos horizontes superficiais, havendo uma diminuição gradativa em profundidade com valores reduzidos a menos da metade no horizonte diagnóstico deste solo (Tabela 5).

O carbono orgânico foi elevado em todos os perfis e horizontes, principalmente os horizontes superficiais acima de 15g/kg e a T4 apresentou a maior concentração desse elemento em todos os horizontes.

A saturação por base (V) em geral foi acima de 50% em todos os horizontes de todas as trincheiras com exceção dos horizontes AB e BA da T1 e Bt2 da T3. A saturação por alumínio (m) foi abaixo de 3% em todas as trincheiras considerado não prejudicial ao crescimento de raízes.

Os teores de P e K⁺ se apresentaram baixos em todas as trincheiras demonstrando haver um padrão de distribuição desses elementos na área como um todo. Com relação ao Ca⁺² e Mg⁺² revelaram-se mais elevados na área da mata ciliar em comparação à área cultivada.

Tabela 5. Análise química das quatro trincheiras (T1 a T4) abertas em topossequência em área da Usina São João, Araras - SP

Perfil	Horizonte	pH H ₂ O	pH KCl	Δ pH	P	C	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	H + Al	SB	CTC	V	m	AA
					Resina (mg/L)											
T1	Ap	6,40	5,57	-0,83	0,90	20,12	0,43	3,73	1,09	0,00	2,06	5,25	7,31	71,83	0,00	17,08
	AB	5,80	5,20	-0,60	0,18	8,20	0,01	1,15	0,51	0,03	1,84	1,67	3,51	47,58	1,76	7,35
	BA	5,80	5,53	-0,27	0,18	7,37	0,00	1,04	0,42	0,02	1,84	1,46	3,30	44,24	1,35	6,88
	Bw1	5,80	5,86	0,06	0,15	4,78	0,00	0,93	0,38	0,00	1,28	1,31	2,59	50,65	0,00	5,16
	Bw2	6,00	5,96	-0,04	0,17	5,28	0,00	0,88	0,51	0,01	0,98	1,39	2,37	58,57	0,72	4,48
T2	AP	6,20	5,19	-1,01	1,13	16,28	0,30	3,40	1,18	0,03	2,42	4,88	7,30	66,86	0,61	18,17
	AB	5,70	5,21	-0,49	0,23	11,45	0,05	2,53	0,91	0,04	2,76	3,48	6,24	55,80	1,13	12,40
	BA	6,00	5,56	-0,44	0,17	8,56	0,00	1,70	0,63	0,05	1,42	2,34	3,76	62,19	2,10	7,11
	Bw	6,00	5,54	-0,46	0,19	7,05	0,00	1,37	0,74	0,00	1,32	2,11	3,43	61,57	0,00	6,50
T3	Ap	5,80	5,01	-0,79	0,88	22,52	0,09	3,46	1,36	0,01	3,82	4,90	8,72	56,21	0,20	15,11
	Bt1	5,70	4,98	-0,72	0,19	13,40	0,00	2,14	0,91	0,03	2,78	3,05	5,83	52,29	0,98	8,88
	Bt2	5,60	5,03	-0,57	0,19	12,04	0,00	1,81	0,68	0,04	2,78	2,49	5,27	47,28	1,58	7,78
	Bw	6,10	5,98	-0,12	0,16	8,38	0,00	1,48	0,61	0,01	1,62	2,09	3,71	56,32	0,48	5,47
T4	A	6,10	5,21	-0,89	0,56	29,46	0,27	4,39	1,72	0,04	3,46	6,38	9,84	64,84	0,62	17,77
	Bt1	5,80	5,16	-0,64	0,25	16,07	0,03	2,91	1,09	0,05	2,62	4,02	6,64	60,57	1,23	10,99
	Bt2	6,10	5,44	-0,66	0,20	9,45	0,00	3,90	1,00	0,02	1,78	4,90	6,68	73,34	0,41	10,60
	Bw	6,10	5,79	-0,31	0,19	7,23	0,00	1,37	0,67	0,00	1,34	2,05	3,39	60,41	0,00	5,18

C: carbono orgânico; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; AA: atividade da fração argila.

3.3.2. Usina São Manoel

3.3.2.1. Análise estrutural

A geometria dos horizontes do solo na topossequência da USM apresentou horizonte Ap1 ao longo de a camada superficial (Fig. 5). Já o horizonte Ap2 só foi evidenciado do topo a meia encosta do terreno (T1 a T2) assim como o horizonte CA, não visto em T3. O horizonte C, do mesmo modo que o Ap1, foi revelado ao longo de toda a topossequência, no entanto ao adentrar a mata observou-se o surgimento de camadas de sedimentação (C1) que não haviam sido verificadas na vertente e que podem estar associados a processos erosivos ao longo da encosta do terreno. Abaixo das camadas de sedimentos constatou-se a presença de horizonte A enterrado (2Ab e 2CAb) na área da mata.

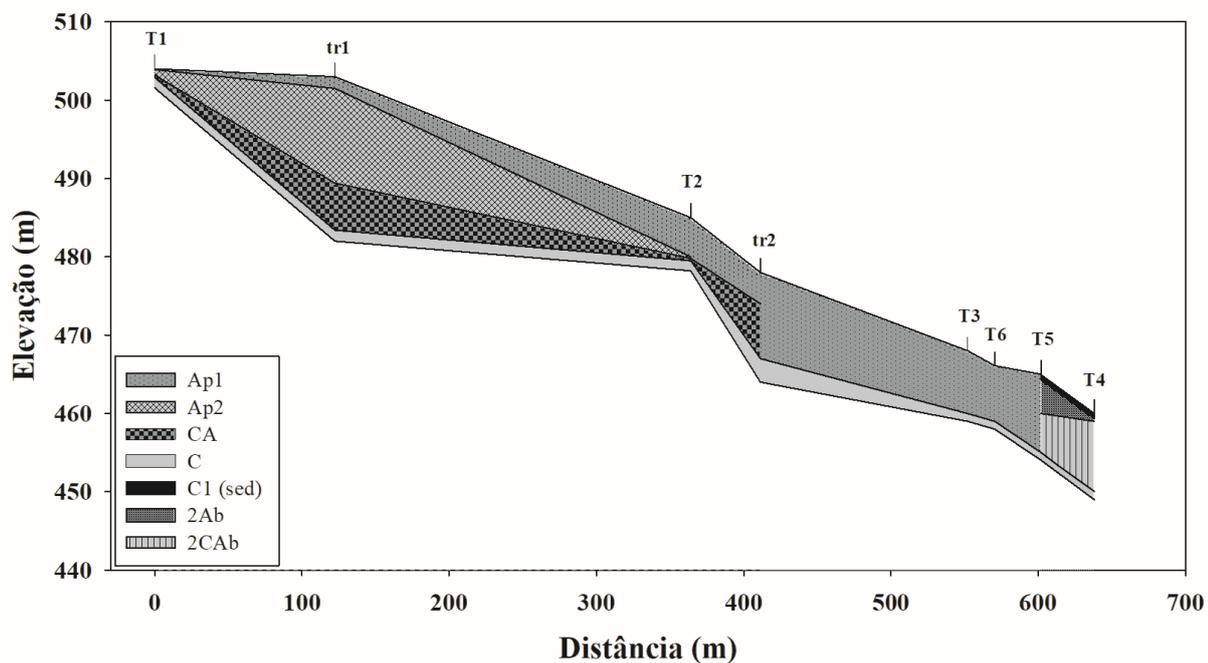


Figura 5: Geometria bidimensional dos horizontes ao longo da topossequência da Usina São Manoel (USM). Trincheiras: T1, T2, T3, T4, T5 e T6; Tradagens: tr1 e tr2.

3.3.2.2. Análise física

A distribuição granulométrica dos horizontes das seis trincheiras localizadas na USM é mostrada na tabela 6. Todos os horizontes de todas as trincheiras apresentaram a mesma classificação arenosa com conteúdos semelhantes de areia. As trincheiras T2 e T6 evidenciaram pequena distinção em relação as demais apresentando quantidades médias menores de areia.

Tabela 6: Análise granulométrica com dispersão em NaOH e hexametáfosfato e em água das seis trincheiras (T1 a T6) abertas em topossequência em área da Usina São Manuel, São Manuel – SP

Perfil	Horizonte	NaOH				Água			
		Argila	Silte	Areia	Classe Textural	Argila	Silte	Areia	Classe Textural
		g kg ⁻¹				g kg ⁻¹			
	Ap1	75,2	10,3	914,5	Arenoso	40,2	36,5	923,3	Arenoso
	Ap2	87,7	21,6	890,7	Arenoso	75,2	19,8	905,0	Arenoso
	CA	100,1	18,3	881,6	Arenoso	100,4	7,5	892,1	Arenoso
T1	C1	100,1	10,2	889,7	Arenoso	95,3	33,3	871,4	Arenoso
	C2	75,2	16,6	908,2	Arenoso	50,3	80,2	869,5	Arenoso
	C3	100,2	22,1	877,7	Arenoso	50,4	72,5	877,1	Arenoso
	C4	75,2	21,1	903,7	Arenoso	50,2	59,2	890,7	Arenoso

T2	A	100,2	38,5	861,3	Arenoso	75,4	11,6	913,1	Arenoso
	CA	100,2	350	864,8	Arenoso	100,5	7,2	892,3	Arenoso
	C1	100	17,7	882,3	Arenoso	50,3	51,8	897,9	Arenoso
	C2	100,2	27,6	872,2	Arenoso	50,3	34,2	915,6	Arenoso
	C3	138	17,3	844,7	Arenoso	50,4	1,8	947,8	Arenoso
T3	A	50,2	24,1	925,7	Arenoso	47,1	21,0	931,9	Arenoso
	C1	75,3	12,8	911,9	Arenoso	55,5	9,2	935,4	Arenoso
	C2	75,1	37,6	887,3	Arenoso	80,4	25,5	894,1	Arenoso
	C3	100,4	13,6	886	Arenoso	85,5	4,7	909,8	Arenoso
	C4	100	31,2	868,8	Arenoso	75,5	8,8	915,7	Arenoso
T4	C1	125,4	15,1	859,5	Arenoso	50,4	9,6	940	Arenoso
	C2	50,1	24	925,9	Arenoso	50,1	67,2	882,7	Arenoso
	C3	75,1	12,3	912,6	Arenoso	40,1	27,9	932	Arenoso
	C4	62,4	16	921,6	Arenoso	25,4	15,9	958,7	Arenoso
	C5	125	33	842	Arenoso	53,4	15,3	931,3	Arenoso
	2Ab	100,3	19,3	880,4	Arenoso	75,2	19,9	904,9	Arenoso
	2ACb	125	24,5	850,5	Arenoso	100,1	12,8	887,1	Arenoso
	2CAb	75,1	16	908,9	Arenoso	50,3	65,1	884,7	Arenoso
2Cb	80,9	14,6	904,6	Arenoso	25,2	89,3	885,6	Arenoso	
T5	A	60,5	14,9	924,5	Arenoso	25	60,2	914,8	Arenoso
	C1	80,3	21,7	898	Arenoso	50,6	16,9	932,5	Arenoso
	C2	60,7	19,2	920	Arenoso	50,5	16,1	933,4	Arenoso
	C3	60,4	24,1	915,5	Arenoso	50,2	20,3	929,5	Arenoso
	C4	80,7	20	899,4	Arenoso	55,9	4,1	940	Arenoso
	C5	81	22,1	897	Arenoso	50,3	18,9	930,8	Arenoso
	2Ab	81,3	10,6	908,1	Arenoso	75,6	8,4	916	Arenoso
	2C1b	101,1	12,9	886	Arenoso	75,9	9,5	914,6	Arenoso
	2C2b	141,6	13,1	845,3	Arenoso	91,6	5,8	902,6	Arenoso
2C3b	100,6	11,9	887,5	Arenoso	101,1	12,4	886,5	Arenoso	
T6	A	60,1	17	922,9	Arenoso	50,6	57,6	891,8	Arenoso
	C1	143	36,4	820,6	Arenoso	50,3	44,8	904,9	Arenoso
	C2	167,2	15,1	817,8	Arenoso	50,1	15,7	934,2	Arenoso
	2Ab	121,5	70	808,5	Arenoso	51,1	101,9	847	Arenoso
	2ACb	100,3	15,7	884,1	Arenoso	130,6	52,8	816,6	Arenoso
	2C1b	121,5	14,8	863,8	Arenoso	101,2	1,3	897,5	Arenoso
	2C2b	121,2	64,2	814,6	Arenoso	50,2	51,9	897,9	Arenoso
	2C3b	121,1	63,2	815,7	Arenoso	50,6	53,9	895,5	Arenoso

Com a dispersão em água (Tabela 6) também houve redução do conteúdo de argila em relação a dispersão com NaOH e hexametáfosfato de sódio, porém em menor quantidade quando comparado à USJ não havendo nenhuma modificação na classe textural dos horizontes.

Já o fracionamento das partículas de areias revelou de forma geral um aumento nas frações entre 250 e 125 μm tanto com dispersante (NaOH) quanto em água (H_2O) em todos os perfis e todos os horizontes (Tabela 7), sendo os horizontes dos perfis T5 e T6 com dispersante os que apresentaram maior aumento e a maior redução foi perfil T1 com uso de dispersante.

Tabela 7: Fracionamento das areias nas 10 frações com dispersão em NaOH e em água das seis trincheiras (T1 a T6) abertas em topossequência em área da Usina São Manuel, São Manuel – SP.

Perfil	Horizonte	Dispersante	>1000	<1000 >710	<710 >500	<500 >350	<350 >250	<250 >180	<180 >125	<125 >90	<90 >63	<63 >38
T1	Ap1	NaOH	0,10	0,06	0,08	0,29	1,09	12,07	15,33	4,20	2,13	0,20
	Ap2	NaOH	0,02	0,02	0,05	0,25	0,92	11,48	16,31	4,04	2,05	0,11
	CA	NaOH	0,03	0,03	0,06	0,30	1,16	12,16	15,38	3,77	1,75	0,10
	C1	NaOH	0,03	0,04	0,06	0,30	1,16	11,68	15,35	4,41	1,66	0,13
	C2	NaOH	0,00	0,01	0,04	0,30	1,08	11,25	14,53	4,35	2,59	0,13
	C3	NaOH	0,00	0,02	0,04	0,25	1,06	11,25	15,20	4,02	2,45	0,18
	C4	NaOH	0,00	0,01	0,07	0,30	1,17	11,65	13,71	4,56	2,55	0,18
T2	A	NaOH	0,01	0,00	0,05	0,69	2,32	11,92	15,41	3,87	1,70	0,07
	CA	NaOH	0,03	0,01	0,04	0,07	2,68	11,82	14,81	3,85	1,79	0,15
	C1	NaOH	0,00	0,01	0,04	0,80	2,88	11,65	12,32	4,23	2,58	0,18
	C2	NaOH	0,00	0,00	0,04	0,80	2,61	11,49	13,54	3,93	2,13	0,14
	C3	NaOH	0,00	0,00	0,04	0,72	2,61	11,68	13,01	4,30	2,17	0,16
T3	A	NaOH	0,15	0,04	0,08	0,43	1,32	12,62	15,24	3,68	2,63	0,84
	C1	NaOH	0,09	0,06	0,05	0,38	1,14	13,17	14,13	4,13	2,83	0,21
	C2	NaOH	0,03	0,00	0,05	0,33	1,21	13,33	14,22	3,72	2,64	0,23
	C3	NaOH	0,00	0,02	0,06	0,37	1,42	14,14	13,55	3,91	2,56	0,15
	C4	NaOH	0,02	0,02	0,06	0,36	1,30	13,93	13,20	4,24	2,82	0,18
T4	C1	NaOH	0,05	0,00	0,04	0,41	1,91	19,93	13,03	2,11	0,96	0,01
	C2	NaOH	0,24	0,00	0,02	0,22	1,16	12,55	11,85	3,09	2,55	0,29
	C3	NaOH	0,00	0,00	0,04	0,38	1,53	15,53	16,34	3,42	1,66	0,08
	C4	NaOH	0,04	0,02	0,02	0,19	0,90	13,06	13,90	4,91	3,29	0,08
	C5	NaOH	0,01	0,02	0,09	0,57	1,82	16,40	14,05	2,97	1,63	0,04
	2Ab	NaOH	0,04	0,03	0,11	0,76	2,81	13,35	12,34	3,84	2,72	0,23
	2ACb	NaOH	0,01	0,05	0,11	0,90	2,47	12,64	12,76	3,63	2,32	0,22
	2CAb	NaOH	0,02	0,02	0,11	0,86	2,37	12,62	10,68	4,38	3,20	0,28
2Cb	NaOH	0,01	0,05	0,10	0,91	2,42	12,55	11,94	4,23	2,60	0,18	
T5	A	NaOH	0,26	0,10	0,29	1,08	2,90	14,35	15,95	5,08	4,27	0,42
	C1	NaOH	0,05	0,03	0,09	1,18	2,50	13,42	19,88	5,93	3,47	0,19
	C2	NaOH	0,12	0,10	0,14	1,28	2,48	17,27	16,72	4,27	3,10	0,22
	C3	NaOH	0,02	0,04	0,14	0,86	2,32	16,80	18,07	4,87	3,13	0,19
	C4	NaOH	0,00	0,02	0,06	0,66	2,02	18,40	18,62	4,57	2,92	0,17
	C5	NaOH	0,01	0,05	0,18	2,09	4,41	15,16	14,17	3,90	3,20	0,21
	2Ab	NaOH	0,00	0,02	0,13	1,05	2,80	15,32	17,15	4,75	3,84	0,25
	2C1b	NaOH	0,08	0,10	0,25	0,95	2,60	16,44	15,82	5,00	2,98	0,29
	2C2b	NaOH	0,01	0,06	0,22	0,99	2,56	15,84	17,32	4,44	3,12	0,22
	2C3b	NaOH	0,07	0,09	0,23	1,13	3,08	15,34	14,41	4,55	3,55	0,28
T6	A	NaOH	1,60	0,43	0,83	2,37	4,03	16,14	13,20	3,40	1,94	0,13
	C1	NaOH	0,03	0,01	0,06	0,55	1,78	14,29	24,72	4,36	2,20	0,07
	C2	NaOH	0,00	0,06	0,04	0,03	0,10	0,39	6,82	16,88	14,47	1,30
	2Ab	NaOH	0,03	0,06	0,24	1,91	4,09	12,92	12,43	4,17	3,05	0,21
	2ACb	NaOH	0,02	0,03	0,19	1,96	4,58	14,53	14,25	4,13	3,48	0,23
	2C1b	NaOH	0,00	0,10	0,27	1,98	4,76	16,13	13,94	4,07	2,70	0,12
	2C2b	NaOH	0,01	0,12	0,22	1,96	4,49	14,78	13,88	4,50	3,41	0,28
	2C3b	NaOH	0,01	0,05	0,18	2,09	4,41	15,16	14,17	3,90	3,20	0,21

T1	Ap1	H ₂ O	0,02	0,03	0,08	0,28	1,32	12,28	15,03	4,70	2,31	0,28
	Ap2	H ₂ O	0,02	0,03	0,07	0,30	1,16	12,30	14,06	5,12	2,74	0,25
	CA	H ₂ O	0,01	0,01	0,07	0,29	1,17	12,38	14,81	4,38	2,18	0,20
	C1	H ₂ O	0,01	0,04	0,07	0,38	1,35	12,37	13,61	4,28	2,41	0,22
	C2	H ₂ O	0,00	0,03	0,08	0,36	1,16	12,94	13,55	3,87	2,38	0,15
	C3	H ₂ O	0,00	0,01	0,07	0,36	1,08	13,23	13,29	4,12	2,52	0,18
	C4	H ₂ O	0,00	0,02	0,07	0,35	1,24	12,82	14,24	4,12	2,52	0,23
T2	A	H ₂ O	0,02	0,02	0,03	0,63	2,09	12,72	14,18	4,12	2,17	0,16
	CA	H ₂ O	0,01	0,00	0,02	0,78	2,41	13,65	13,11	3,87	2,33	0,17
	C1	H ₂ O	0,00	0,02	0,04	0,78	2,66	12,21	12,80	4,30	2,53	0,22
	C2	H ₂ O	0,01	0,03	0,05	0,85	2,78	12,40	13,52	4,24	2,26	0,19
	C3	H ₂ O	0,03	0,05	0,10	0,88	2,92	13,21	14,19	3,87	2,36	0,22
T3	A	H ₂ O	0,03	0,04	0,09	0,37	1,24	13,05	14,87	4,15	2,86	0,29
	C1	H ₂ O	0,03	0,04	0,08	0,39	1,06	13,18	14,88	4,33	2,92	0,29
	C2	H ₂ O	0,05	0,03	0,05	0,35	1,36	14,54	12,59	3,56	2,84	0,21
	C3	H ₂ O	0,01	0,01	0,06	0,33	1,23	13,86	13,68	4,06	2,81	0,22
	C4	H ₂ O	0,03	0,01	0,04	0,33	1,20	14,45	13,98	3,64	2,47	0,21
T4	C1	H ₂ O	0,01	0,02	0,12	0,86	2,46	13,67	12,37	3,57	2,34	0,19
	C2	H ₂ O	0,01	0,04	0,10	0,84	2,01	12,70	11,83	4,01	3,13	0,29
	C3	H ₂ O	0,01	0,04	0,09	0,80	2,47	13,07	11,44	4,02	3,06	0,25
	C4	H ₂ O	0,02	0,05	0,12	0,99	2,38	12,28	11,60	3,89	2,90	0,24
	C5	H ₂ O	0,06	0,02	0,06	0,42	2,16	30,96	11,78	2,54	1,14	0,05
	2Ab	H ₂ O	0,80	0,44	0,35	0,43	1,29	14,01	12,47	3,23	2,35	0,32
	2ACb	H ₂ O	0,01	0,00	0,06	0,36	1,24	18,28	15,13	2,71	1,40	0,04
	2CAb	H ₂ O	0,10	0,02	0,03	0,19	0,98	13,16	13,94	4,57	3,59	0,26
2Cb	H ₂ O	0,01	0,03	0,12	0,70	2,17	17,97	12,95	2,45	1,40	0,10	
T5	A	H ₂ O	0,03	0,04	0,10	0,56	1,42	10,19	13,69	6,20	4,05	0,45
	C1	H ₂ O	0,00	0,03	0,13	1,15	2,33	10,63	15,51	5,23	2,78	0,23
	C2	H ₂ O	0,01	0,03	0,09	0,60	1,67	12,32	14,85	4,20	2,67	0,25
	C3	H ₂ O	0,01	0,02	0,08	0,55	1,67	12,72	15,71	3,97	2,23	0,20
	C4	H ₂ O	0,00	0,00	0,06	0,41	1,29	13,01	15,54	4,47	2,64	0,19
	C5	H ₂ O	0,02	0,01	0,08	0,55	1,79	12,89	15,32	3,46	2,66	0,20
	2Ab	H ₂ O	0,00	0,01	0,78	0,00	2,22	12,50	14,62	3,34	2,67	0,21
	2C1b	H ₂ O	0,01	0,02	0,14	0,58	1,86	12,32	14,32	3,65	2,58	0,16
	2C2b	H ₂ O	0,03	0,05	0,14	0,59	1,81	12,57	13,27	4,43	2,61	0,18
	2C3b	H ₂ O	0,01	0,02	0,07	0,60	1,90	12,33	12,47	4,38	2,85	0,25
T6	A	H ₂ O	1,37	0,37	0,64	1,85	2,55	11,98	10,94	4,52	1,72	0,16
	C1	H ₂ O	0,01	0,01	0,01	0,38	1,36	11,28	19,17	4,45	1,80	0,10
	C2	H ₂ O	0,00	0,01	0,01	0,02	0,05	0,42	7,92	13,48	9,75	1,17
	2Ab	H ₂ O	0,05	0,09	0,23	1,40	2,89	10,47	9,78	2,89	2,73	0,41
	2ACb	H ₂ O	0,00	0,02	0,10	1,13	2,77	11,94	12,32	3,94	2,60	0,28
	2C1b	H ₂ O	0,01	0,03	0,11	1,23	3,06	11,33	11,78	4,47	3,35	0,32
	2C2b	H ₂ O	0,02	0,04	0,12	1,33	3,34	13,19	11,37	3,35	2,23	0,16
	2C3b	H ₂ O	0,01	0,03	0,11	1,45	3,30	12,57	11,87	3,09	2,49	0,16

3.3.2.3. Parâmetros de Folk e Ward (1957)

A classificação média foi em geral areia fina (AF) para todos os horizontes e camadas de sedimentos de todas as trincheiras, com exceção da camada C2 da T6 tanto para a dispersão com NaOH e hexametáfosfato de sódio como para a dispersão em água (Tabela 8). O grau de seleção das partículas ficou entre bem selecionado (BS) e muito bem selecionado (MBS) tanto para os horizontes do solo como para as camadas de sedimentos em todas as trincheiras. A assimetria foi positiva (P) e aproximadamente simétrica (AS). Ocasionalmente surgiu na T6

horizonte A com NaOH e H₂O assimetria negativa (N) e na T4 assimetria muito positiva (MP) em H₂O na camada C5. A curtose foi mesocúrtica (M) e leptocúrtica (L), com o surgimento de curtose muito leptocúrtica (ML) na T6 com NaOH e H₂O no horizonte A.

Tabela 8. Parâmetros de Folk & Ward (1957) dos horizontes das trincheiras (T1 a T6) da USM.

Horiz	Trin	Disp	Média	ClassMédia	Mediana	DP	ClassDP	ski	ClassSki	kg	ClassKg
Ap1	T1	NaOH	2,62	AF	2,61	0,48	BS	0,14	P	1,03	M
Ap2	T1	NaOH	2,63	AF	2,63	0,46	BS	0,10	P	1,05	M
CA	T1	NaOH	2,59	AF	2,60	0,44	BS	0,09	AS	0,99	M
C1	T1	NaOH	2,61	AF	2,61	0,45	BS	0,09	AS	0,97	M
C2	T1	NaOH	2,66	AF	2,63	0,50	MBS	0,16	P	1,05	M
C3	T1	NaOH	2,65	AF	2,63	0,49	BS	0,15	P	1,07	M
C4	T1	NaOH	2,66	AF	2,62	0,51	MBS	0,18	P	1,03	M
Ap	T2	NaOH	2,56	AF	2,57	0,48	BS	-0,01	AS	1,09	M
CA	T2	NaOH	2,55	AF	2,57	0,50	MBS	0,00	AS	1,12	L
C1	T2	NaOH	2,60	AF	2,56	0,58	MBS	0,11	P	1,14	L
C2	T2	NaOH	2,58	AF	2,57	0,54	MBS	0,05	AS	1,14	L
C3	T2	NaOH	2,59	AF	2,56	0,55	MBS	0,09	AS	1,12	L
Ap	T3	NaOH	2,64	AF	2,60	0,53	MBS	0,19	P	1,16	L
C1	T3	NaOH	2,63	AF	2,59	0,51	MBS	0,21	P	1,04	M
C2	T3	NaOH	2,61	AF	2,58	0,50	BS	0,21	P	1,05	M
C3	T3	NaOH	2,59	AF	2,55	0,50	BS	0,22	P	1,03	M
C4	T3	NaOH	2,62	AF	2,57	0,51	MBS	0,25	P	1,01	M
C5	T3	NaOH	2,61	AF	2,58	0,49	BS	0,22	P	1,03	M
C1	T4	NaOH	2,45	AF	2,40	0,41	BS	0,23	P	1,00	M
C2	T4	NaOH	2,60	AF	2,55	0,51	MBS	0,25	P	1,07	M
C3	T4	NaOH	2,54	AF	2,54	0,43	BS	0,14	P	0,96	M
C4	T4	NaOH	2,68	AF	2,62	0,52	MBS	0,22	P	1,02	M
C5	T4	NaOH	2,51	AF	2,47	0,46	BS	0,17	P	1,06	M
2Ab	T4	NaOH	2,57	AF	2,51	0,57	MBS	0,16	P	1,16	L
2ACb	T4	NaOH	2,56	AF	2,53	0,55	MBS	0,11	P	1,18	L
2CAb	T4	NaOH	2,62	AF	2,53	0,61	MBS	0,20	P	1,12	L
2Cb	T4	NaOH	2,59	AF	2,54	0,58	MBS	0,14	P	1,14	L
A	T5	NaOH	2,64	AF	2,58	0,62	MBS	0,12	P	1,20	L
C1	T5	NaOH	2,64	AF	2,63	0,56	MBS	0,04	AS	1,20	L
C2	T5	NaOH	2,54	AF	2,52	0,54	MBS	0,11	P	1,21	L
C3	T5	NaOH	2,58	AF	2,56	0,52	MBS	0,11	P	1,14	L
C4	T5	NaOH	2,56	AF	2,54	0,48	BS	0,15	P	1,07	M
C5	T5	NaOH	2,51	AF	2,47	0,59	MBS	0,11	P	1,22	L
2Ab	T5	NaOH	2,61	AF	2,57	0,57	MBS	0,12	P	1,18	L
2C1b	T5	NaOH	2,58	AF	2,53	0,55	MBS	0,13	P	1,16	L
2C2b	T5	NaOH	2,57	AF	2,56	0,54	MBS	0,09	AS	1,19	L
2C3b	T5	NaOH	2,58	AF	2,52	0,59	MBS	0,15	P	1,18	L
A	T6	NaOH	2,35	AF	2,37	0,73	MS	-0,15	N	1,61	ML
C1	T6	NaOH	2,59	AF	2,63	0,42	BS	0,00	AS	1,05	M
C2	T6	NaOH	3,36	AMF	3,35	0,43	BS	-0,04	AS	0,94	M
2Ab	T6	NaOH	2,54	AF	2,48	0,63	MBS	0,10	P	1,19	L
2ACb	T6	NaOH	2,53	AF	2,49	0,61	MBS	0,11	P	1,19	L
2C1b	T6	NaOH	2,48	AF	2,44	0,57	MBS	0,10	P	1,19	L
2C2b	T6	NaOH	2,54	AF	2,48	0,62	MBS	0,13	P	1,19	L
2C3b	T6	NaOH	2,51	AF	2,47	0,59	MBS	0,11	P	1,22	L
Ap1	T1	H2O	2,64	AF	2,62	0,50	BS	0,16	P	1,03	M
Ap2	T1	H2O	2,67	AF	2,63	0,52	MBS	0,19	P	1,02	M
CA	T1	H2O	2,63	AF	2,61	0,48	BS	0,16	P	1,02	M

C1	T1	H2O	2,63	AF	2,59	0,51	MBS	0,18	P	1,04	M
C2	T1	H2O	2,61	AF	2,58	0,49	BS	0,20	P	1,02	M
C3	T1	H2O	2,62	AF	2,58	0,50	MBS	0,22	P	1,02	M
C4	T1	H2O	2,63	AF	2,59	0,50	BS	0,19	P	1,04	M
Ap	T2	H2O	2,58	AF	2,57	0,52	MBS	0,09	AS	1,11	L
CA	T2	H2O	2,56	AF	2,53	0,53	MBS	0,13	P	1,13	L
C1	T2	H2O	2,60	AF	2,56	0,57	MBS	0,12	P	1,14	L
C2	T2	H2O	2,58	AF	2,55	0,55	MBS	0,08	AS	1,13	L
C3	T2	H2O	2,55	AF	2,54	0,54	MBS	0,08	AS	1,17	L
Ap	T3	H2O	2,64	AF	2,60	0,51	MBS	0,20	P	1,06	M
C1	T3	H2O	2,65	AF	2,61	0,51	MBS	0,21	P	1,05	M
C2	T3	H2O	2,59	AF	2,53	0,51	MBS	0,27	P	1,05	M
C3	T3	H2O	2,62	AF	2,57	0,51	MBS	0,23	P	1,03	M
C4	T3	H2O	2,59	AF	2,55	0,48	BS	0,22	P	1,04	M
C5	T3	H2O	2,59	AF	2,54	0,49	BS	0,25	P	1,01	M
C1	T4	H2O	2,54	AF	2,50	0,54	MBS	0,14	P	1,17	L
C2	T4	H2O	2,62	AF	2,55	0,59	MBS	0,18	P	1,16	L
C3	T4	H2O	2,60	AF	2,53	0,59	MBS	0,19	P	1,14	L
C4	T4	H2O	2,60	AF	2,54	0,60	MBS	0,15	P	1,17	L
C5	T4	H2O	2,41	AF	2,33	0,38	BS	0,36	MP	1,13	L
2Ab	T4	H2O	2,53	AF	2,49	0,61	MBS	0,05	AS	1,46	L
2ACb	T4	H2O	2,50	AF	2,46	0,41	BS	0,24	P	0,95	M
2CAb	T4	H2O	2,68	AF	2,62	0,54	MBS	0,24	P	1,04	M
2Cb	T4	H2O	2,47	AF	2,42	0,46	BS	0,19	P	1,12	L
A	T5	H2O	2,75	AF	2,70	0,59	MBS	0,13	P	1,00	M
C1	T5	H2O	2,65	AF	2,63	0,58	MBS	0,03	AS	1,20	L
C2	T5	H2O	2,63	AF	2,60	0,53	MBS	0,12	P	1,13	L
C3	T5	H2O	2,59	AF	2,59	0,49	BS	0,09	AS	1,11	M
C4	T5	H2O	2,63	AF	2,61	0,50	BS	0,17	P	1,03	M
C5	T5	H2O	2,59	AF	2,58	0,51	MBS	0,11	P	1,15	L
2Ab	T5	H2O	2,58	AF	2,57	0,53	MBS	0,08	AS	1,19	L
2C1b	T5	H2O	2,59	AF	2,58	0,53	MBS	0,11	P	1,16	L
2C2b	T5	H2O	2,62	AF	2,58	0,55	MBS	0,14	P	1,12	L
2C3b	T5	H2O	2,63	AF	2,58	0,57	MBS	0,17	P	1,11	M
A	T6	H2O	2,44	AF	2,44	0,76	MS	-0,15	N	1,54	ML
C1	T6	H2O	2,62	AF	2,64	0,43	BS	0,02	AS	1,03	M
C2	T6	H2O	3,28	AMF	3,28	0,46	BS	-0,01	AS	0,92	M
2Ab	T6	H2O	2,56	AF	2,49	0,65	MBS	0,14	P	1,25	L
2ACb	T6	H2O	2,58	AF	2,54	0,59	MBS	0,11	P	1,18	L
2C1b	T6	H2O	2,62	AF	2,56	0,63	MBS	0,12	P	1,15	L
2C2b	T6	H2O	2,50	AF	2,45	0,56	MBS	0,13	P	1,18	L
2C3b	T6	H2O	2,51	AF	2,47	0,57	MBS	0,11	P	1,21	L

Horiz: horizonte; Trin: trincheira; Disp: dispersante; Dp: desvio padrão; Ski: assimetria; Kg: curtose; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; BS: bem selecionado; MBS: muito bem selecionado; MS: moderadamente selecionado; P: positiva; AS: aproximadamente simétrica; N: negativa; MP: muito positiva; L: leptocúrtica; ML: muito leptocúrtica; M: mesocúrtica.

3.3.2.4. Análise química

Na análise química dos horizontes das seis trincheiras localizadas na USM observa-se baixa capacidade de troca catiônica (CTC) com teores abaixo de 4,2 cmolc/kg, ocorrendo uma diminuição sucessiva em profundidade (Tabela 9). Há um predomínio de valores negativos de

ΔpH ($\text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) ao longo dos perfis evidenciando a carência de cargas positivas e predomínio de cargas negativas,

Os horizontes C1, C2 e C3 da T2, 2ACb, 2CAb e 2Cb da T4, 2C3b da T5 e C1, C2 e 2C3b da T6 apresentaram alta saturação por alumínio (m) acima de 20% considerado prejudicial para o desenvolvimento de raízes. Os valores das bases K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} e a SB foram baixos em todos os horizontes e camadas de todas as trincheiras.

O teor de P até a trincheira T4 apresenta-se superior nos horizontes superficiais com reduções gradativas em maiores profundidades no perfil. Já nas trincheiras T5 e T6 localizadas no interior da mata ciliar observa-se um aumento expressivo nos teores de P.

Tabela 9. Análise química das seis trincheiras (T1 a T6) abertas em topossequência em área da Usina São Manoel, São Manuel- SP

Perfil	Horizonte	pH H ₂ O	pH KCl	Δ pH	P	C	K^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Al^{+3}	H + Al	SB	CTC	V	m	AA
					Resina											
T1	Ap1	6,4	5,4	-1,04	4,44	9,07	0,69	1,59	0,69	0,04	0,68	2,97	3,65	81,39	1,33	48,58
	Ap2	6,3	5,2	-1,08	2,14	4,33	0,23	1,43	0,61	0,06	0,84	2,26	3,10	72,92	2,58	35,37
	CA	6,1	5,5	-0,56	0,76	3,13	0,17	0,99	0,50	0,03	0,62	1,65	2,27	72,72	1,78	22,70
	C1	6,5	5,4	-1,13	0,71	2,99	0,23	0,88	0,45	0,03	0,56	1,56	2,12	73,57	1,89	21,17
	C2	6,3	5,5	-0,85	0,61	1,78	0,17	0,93	0,35	0,04	0,42	1,46	1,88	77,63	2,67	24,97
	C3	6,4	5,3	-1,08	0,46	3,68	0,12	0,82	0,44	0,03	0,90	1,39	2,29	60,70	2,11	22,85
	C4	5,4	4,7	-0,75	0,39	1,54	0,12	0,35	0,26	0,06	0,86	0,73	1,59	46,05	7,56	21,20
T2	A	6,4	5,8	-0,64	4,17	3,01	0,32	0,99	0,56	0,02	0,46	1,87	2,33	80,23	1,06	23,22
	CA	6,0	5,3	-0,71	3,12	3,07	0,20	0,99	0,47	0,11	0,66	1,66	2,32	71,53	6,22	23,14
	C1	4,8	4,2	-0,62	0,70	0,82	0,05	0,23	0,14	0,29	1,00	0,42	1,42	29,78	40,61	14,24
	C2	4,6	4,1	-0,46	1,12	3,85	0,03	0,26	0,16	0,31	0,90	0,45	1,35	33,44	40,68	13,49
	C3	4,5	4,2	-0,33	0,48	1,07	0,02	0,23	0,16	0,32	0,66	0,42	1,08	38,69	43,44	7,80
T3	A	6,8	6,0	-0,80	2,92	6,27	0,21	1,70	0,75	0,05	0,28	2,67	2,95	90,49	1,84	58,68
	C1	6,1	5,4	-0,66	4,37	4,46	0,25	1,10	0,62	0,00	0,58	1,96	2,54	77,20	0,00	33,79
	C2	5,8	5,0	-0,81	2,76	2,21	0,10	0,88	0,48	0,02	0,86	1,46	2,32	62,86	1,36	30,83
	C3	6,0	4,6	-1,38	3,19	3,37	0,07	1,04	0,47	0,02	0,76	1,58	2,34	67,56	1,25	23,34
	C4	6,1	5,1	-0,97	4,51	2,46	0,07	0,88	0,38	0,02	0,82	1,33	2,15	61,87	1,48	21,50
T4	C1	5,6	4,8	-0,78	2,79	7,37	0,11	1,10	0,49	0,04	0,84	1,70	2,54	66,89	2,30	20,23
	C2	5,5	4,6	-0,86	3,12	0,35	0,03	0,15	0,14	0,01	0,48	0,32	0,80	39,80	3,06	15,91
	C3	5,7	5,8	0,10	1,66	2,57	0,07	0,42	0,30	0,08	0,52	0,79	1,31	60,40	9,16	17,49
	C4	6,1	4,9	-1,25	1,07	2,37	0,06	0,47	0,31	0,03	0,46	0,84	1,30	64,51	3,46	20,77
	C5	5,7	4,5	-1,22	1,34	3,50	0,06	0,41	0,33	0,02	1,62	0,79	2,41	32,74	2,47	19,27
	2Ab	5,4	4,2	-1,21	0,65	1,46	0,05	0,23	0,18	0,27	1,14	0,46	1,60	28,88	36,84	15,98
	2ACb	5,4	4,2	-1,17	0,59	1,73	0,04	0,15	0,15	0,25	1,22	0,35	1,57	22,35	41,59	12,57
	2CAb	5,2	4,2	-1,00	0,65	1,78	0,06	0,21	0,17	0,21	1,04	0,45	1,49	30,09	31,94	19,81
	2Cb	5,6	4,0	-1,60	17,00	15,08	0,11	1,30	0,50	0,00	2,20	1,91	4,11	46,47	0,00	50,81

T5	A	5,6	4,3	-1,30	10,00	1,74	0,05	0,40	0,20	0,00	0,40	0,65	1,05	61,90	0,00	17,34
	C1	5,4	4,5	-0,90	26,00	5,80	0,06	0,40	0,20	0,10	0,90	0,66	1,56	42,31	13,16	19,42
	C2	5,5	4,5	-1,00	22,00	2,32	0,04	0,30	0,20	0,10	0,70	0,54	1,24	43,55	15,63	20,42
	C3	5,7	4,9	-0,80	23,00	1,16	0,03	0,20	0,10	0,00	0,40	0,33	0,73	45,21	0,00	12,09
	C4	5,7	4,8	-0,90	18,00	2,90	0,05	0,30	0,20	0,10	0,60	0,55	1,15	47,83	15,38	14,26
	C5	5,8	4,8	-1,00	15,00	3,48	0,06	0,50	0,20	0,00	0,50	0,76	1,26	60,32	0,00	15,56
	2Ab	5,8	4,8	-1,00	16,00	2,90	0,06	0,50	0,20	0,00	0,60	0,76	1,36	55,88	0,00	16,73
	2C1b	5,5	4,6	-0,90	19,00	2,32	0,05	0,40	0,20	0,00	0,60	0,65	1,25	52,00	0,00	12,36
	2C2b	5,4	4,1	-1,30	5,00	2,90	0,04	0,30	0,20	0,20	0,80	0,54	1,34	40,30	27,03	9,47
	2C3b	5,1	4,4	-0,70	32,00	27,26	0,09	1,40	0,60	0,10	2,10	2,09	4,19	49,88	4,57	41,65
T6	A	5,4	4,1	-1,30	18,00	2,90	0,01	0,20	0,01	0,10	0,30	0,22	0,52	42,31	31,25	8,66
	C1	5,3	4,2	-1,10	19,00	4,06	0,03	0,40	0,50	0,30	1,30	0,93	2,23	41,70	24,39	15,59
	C2	5,2	4,0	-1,20	23,00	9,86	0,10	1,00	0,40	0,20	2,70	1,50	4,20	35,71	11,76	25,12
	2Ab	5,7	4,4	-1,30	12,00	5,80	0,06	0,70	0,20	0,10	1,00	0,96	1,96	48,98	9,43	16,14
	2ACb	5,8	4,5	-1,30	6,00	2,32	0,04	0,50	0,10	0,00	0,40	0,64	1,04	61,54	0,00	10,37
	2C1b	5,9	4,4	-1,50	4,00	2,32	0,04	0,50	0,20	0,00	0,40	0,74	1,14	64,91	0,00	9,39
	2C2b	6,0	4,6	-1,40	3,00	1,74	0,03	0,40	0,30	0,20	0,40	0,73	1,13	64,60	21,51	9,32

C: carbono orgânico; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; AA: atividade da fração argila.

3.3.2.5. Micromorfometria

A análise micromorfológica só foi realizada nas trincheiras que apresentavam camadas de sedimentos com o propósito de avaliar o regime e o tipo de sedimentação e assim poder inferir sobre os processos de deposição.

Os horizontes e camadas de sedimentos de maneira geral apresentaram estrutura maciça à exceção das camadas de sedimentos C1, C3 e C5 que apresentaram estrutura do tipo grão simples (Fig. 6). Em todas as camadas predominam poros grandes do tipo complexo acima de 30%, característico de solos com elevado conteúdo de areia. As camadas com menor PT apresentaram maior quantidade de poros arredondados de tamanho médio (acima de 3%) e menor quantidade de poros complexos grandes, abaixo de 40% (2Ab = 43,57%, C2 = 45,40% e 2CAb = 45,44%). Não houve ocorrência de poros do tipo complexo pequeno e os poros do tipo alongados apresentaram a menor participação na porosidade total. Os horizontes e camadas de sedimentos da T4 apresentaram porosidade total (PT) que variaram de 43,57% (2Ab) a 56,89% (2ACb).

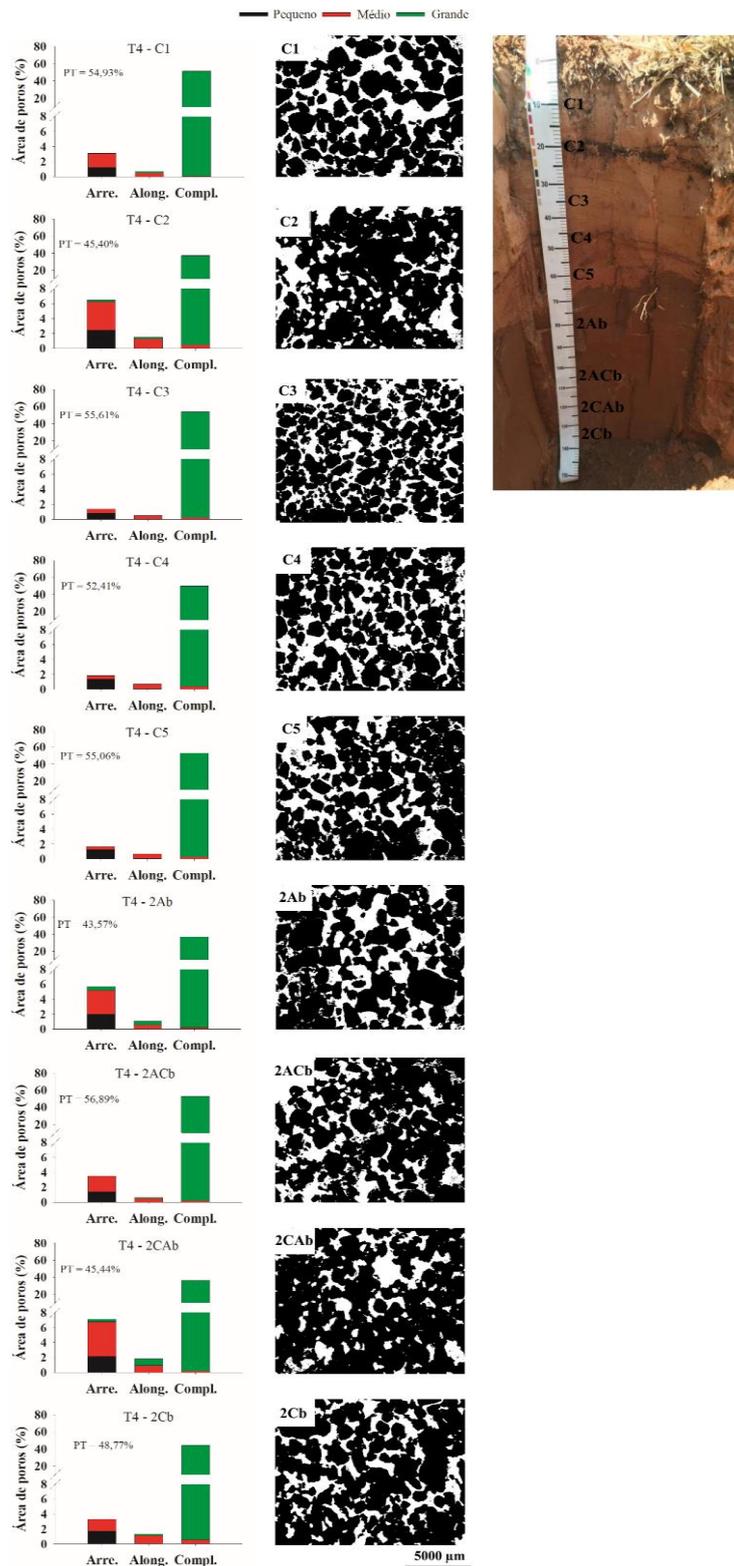


Figura 6: Caracterização do sistema poroso dos horizontes e camadas de sedimentos da trincheira 4 (T4), segundo a forma (Arre: arredondados; Along: alongados; Compl: complexos), PT = porosidade total e o tamanho dos poros (Pequeno: $\leq 0,001 \text{ mm}^2$; Médio: $> 0,001 \leq 0,1 \text{ mm}^2$; Grande: $> 0,1 \text{ mm}^2$).

Os horizontes e camadas da T5 apresentaram PT em geral menor que a T4 variando de 36,58% (C3) a 49,79% (A) (Fig. 7). E assim como na T4, a maior área ocupada por poros é de tamanho grande e do tipo complexo em todas as camadas, porém em menor quantidade. Houve um aumento da área ocupada por poros do tipo arredondado de tamanhos médios e pequenos em comparação a T4 especialmente na camada 2Ab (9,08%), C4 (8,4%) e C3 (6,87%). Nesta trincheira houve maior variação da estrutura do solo, o horizonte A apresentou estrutura do tipo granular e bloco subangular de tamanho médio e grau moderado, já o horizonte 2Ab apresentou estrutura em bloco subangular de tamanho pequeno a médio e grau moderado. A camada de sedimento C3 apresentou estrutura em grão simples e bloco subangular de tamanho pequeno e grau fraco, enquanto que as camadas de sedimentos C1 e C2 apresentaram estrutura em grão simples e os sedimentos C4 e C5 estrutura maciça. Novamente nesta trincheira os poros do tipo alongado apresentaram a menor influência na porosidade total.

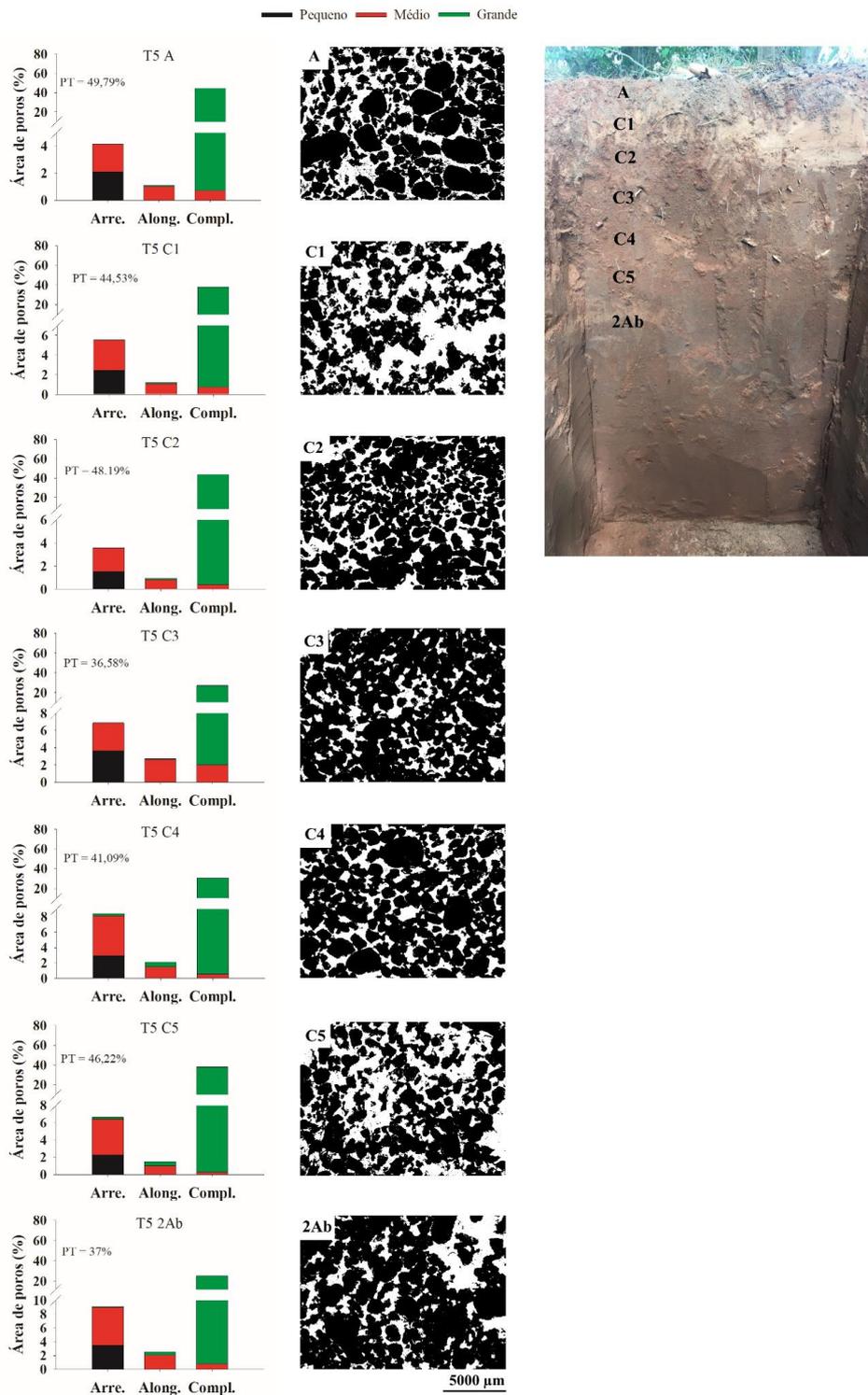


Figura 7: Caracterização do sistema poroso dos horizontes e camadas de sedimentos da trincheira 5 (T5), segundo a forma (Arre: arredondados; Along: alongados; Compl: complexos), PT = porosidade total e o tamanho dos poros (Pequeno: $\leq 0,001 \text{ mm}^2$; Médio: $> 0,001 \leq 0,1 \text{ mm}^2$; Grande: $> 0,01 \text{ mm}^2$).

A porosidade total nos horizontes e camadas da T6 apresentaram a menor variação em relação as demais trincheiras, variando de 41,53% (C2) a 52,61% (C1) (Fig. 8). E assim como nas demais a maior porcentagem da área ocupada por poros é de tamanho grande do tipo complexo em todas as camadas. As camadas C1 e 2Ab apresentara a maior porcentagem de área ocupada por poros grandes e complexos (48,21% e 42,03% respectivamente) com estrutura em grão simples na C1 e granular e bloco subangular de tamanho médio e grau moderado em 2Ab, já as camadas C2 e 2C1b apresentaram a menor PT (41,53% e 43,49% respectivamente) e menor área ocupada por poros grandes e complexos (33,60% e 36,43% respectivamente), em contrapartida essas camadas apresentaram a maior quantidade de poros do tipo arredondados (5,54% e 4,97% respectivamente) com estrutura em bloco subangular de tamanho médio a grande e grau moderado em C2 e estrutura maciça em 2C1b. Não houve ocorrência de poros do tipo complexo pequeno e assim como nos demais, os poros do tipo alongados apresentaram baixa influência na PT.

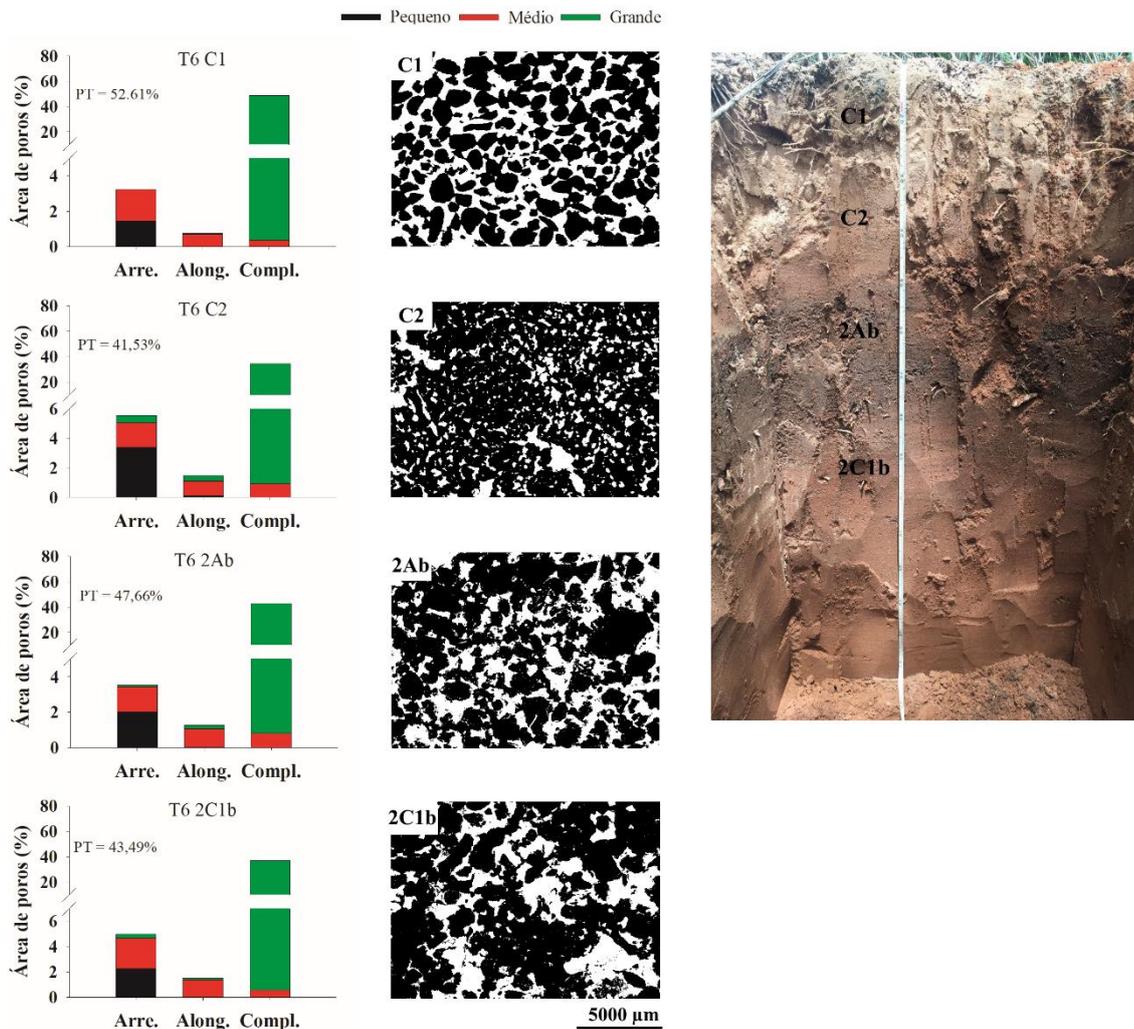


Figura 8: Caracterização do sistema poroso dos horizontes e camadas de sedimentos da trincheira 6 (T6), segundo a forma (Arre: arredondados; Along: alongados; Compl: complexos), PT = porosidade total e o tamanho dos poros (Pequeno: $\leq 0,001 \text{ mm}^2$; Médio: $> 0,001 \leq 0,1 \text{ mm}^2$; Grande: $> 0,01 \text{ mm}^2$).

3.3.2.6. Micromorfologia

A análise micromorfológica assim como a micromorfométrica, também foi realizada somente nas trincheiras que continham camadas de sedimentos localizadas no interior da mata ciliar da USM, e foi utilizada pra entender o processo de deposição dos sedimentos oriundos da erosão proveniente da área da cana. Devido a heterogeneidade da concentração de sedimentos, em algumas camadas foram necessárias a confecção de mais de uma lâmina para a descrição.

A trincheira T4 apresentou cinco camadas de sedimentos e quatro horizontes pedogenéticos localizados abaixo das camadas de sedimentos, todos com textura arenosa. A

estrutura foi em grão simples nas camadas de sedimentos C1, C3 e C5 e nas demais foi observado estrutura maciça.

A camada C1 da T4 apresenta duas zonas com presença de estratos de areia e argila (Fig. 9). A zona 1 apresenta alternância de estratos de areia média e fina sobre estratos de areia média mais aberta e mais porosa sobrepondo estratos de areia mais compacta com tamanho de 200 μm (Fig. 9A e B). O tipo de microestrutura é complexa em grão simples e com películas. É apedal com distribuição relativa Mônica e quitogefúrica secundária. Apresenta 75% de material grosso, 5% de material fino e 20% de poros. O material grosso é moderadamente selecionado e no material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada granida, granoestriada e estriada ao acaso. Os tipos de poros são predominantemente de empilhamento, cavidades e canais. Observa-se a presença de poucos nódulos ferruginosos. A zona 2 é caracterizada por apresentar argila orientada e deposição de sedimentos com sinais de bioturbação, apresenta zonas abertas de areia média, zonas compactas de areia fina e estratificações de areia (Fig. 9C e D). O tipo de microestrutura é complexa em pontes intergranulares e com película. É apedal com distribuição relativa nas estratificações pórfiro-enáulica (zonas mais argilosas na forma de preenchimentos e nódulos biológicos). Há estratificações de areia fina com argila preenchendo a porosidade entre os grãos de areia e estratos finos de argila bastante desorganizada, porém nítida. A distribuição relativa é porfiroenáulica nas zonas mais argilas em forma de preenchimentos e nódulos biológicos e enáulica e quitogefúrica nas zonas de areia média e fina. Há estratificações de areia fina com argila bem desorganizada porém nítida. Apresenta 40% de material grosso, 30% de material fino e 30% de poros. O material grosso é moderadamente a bem selecionado dentro das estratificações. No material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo indiferenciada, salpicada granida bem tênue e granoestriada. Os tipos de poros são predominantemente de empilhamento, cavidades preenchidas e policôncavas e câmaras. Há presença de raízes e nódulos.

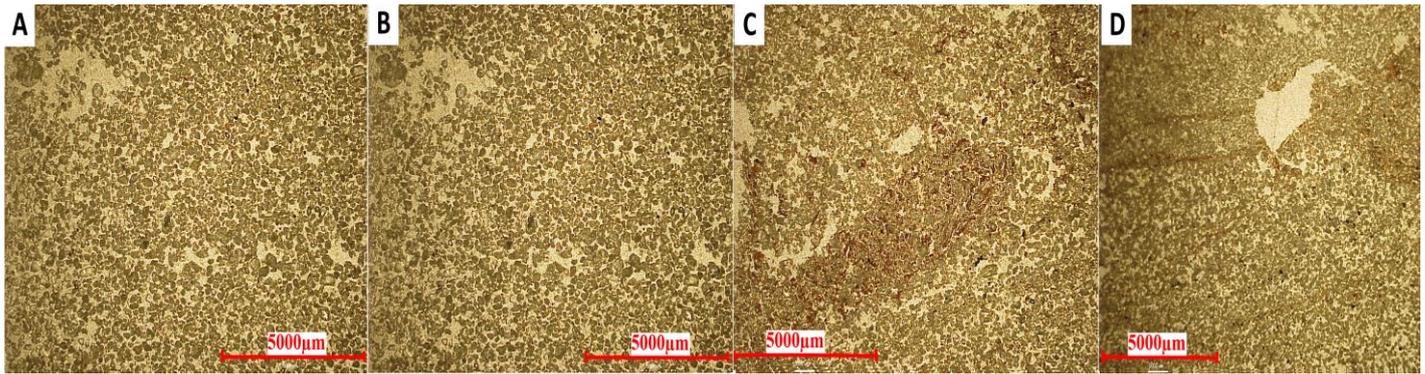


Figura 9: Camada de sedimentos C1 da T4. A e B: zona 1, C e D: zona 2.

Na camada C2 da T4 também foram identificados duas zonas que separam-se por estratos de argila fina de 1 a 2 mm de espessura que apresentam orientação forte e contínua (Fig. 10). A zona 1 apresenta microestrutura do tipo complexa com película, pontes intergranulares, grânulos e microgranular (Fig. 10A). É apedal com distribuição relativa Quitogefúrica-enáulica. Apresenta 70% de material grosso, 10% de material fino e 20% de poros. O material grosso é bem selecionado com areia fina e no material fino a argila é vermelho amarelada, há presença de fábricas birrefringentes bem nítidas do tipo salpicada granida, salpicada mosaico e granoestriada. Os tipos de poros são predominantemente de empilhamento, cavidades e câmaras. Há presença de poucas raízes e nódulos. A zona 2 é mais aberta e porosa (Fig. 10B). O tipo de microestrutura é complexa em pontes intergranulares e com película. É apedal com distribuição relativa Quitogefúrica. Apresenta 60% de material grosso, 10% de material fino e 30% de poros. O material grosso é moderadamente selecionado com areia média e fina. No material fino a argila é vermelha escura, há presença de fábricas birrefringentes não tão nítidas do tipo indiferenciada, salpicada mosaico bem tênue, salpicada granida e granoestriada. Os tipos de poros são de empilhamento e cavidades. Há presença de raízes e nódulos.

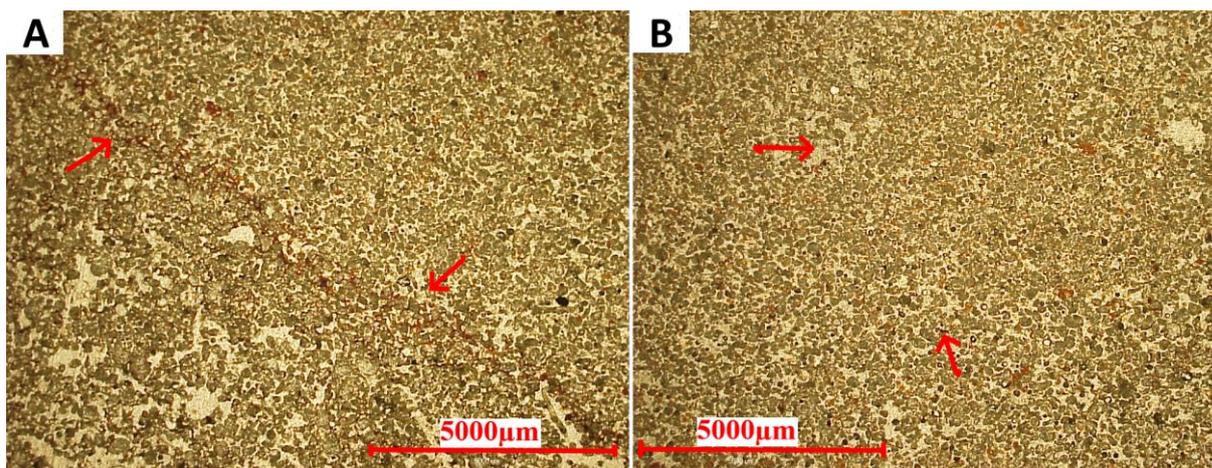


Figura 10: Camada de sedimentos C2da T4. A: zona 1, B: zona 2.

A lâmina que compreende as camadas de sedimentos C3/C4/C5 apresenta três zonas sendo a primeira não estratificada e as demais muito estratificadas (Fig. 11). A zona 1 apresenta microestrutura do tipo complexa em grãos simples, com película e pontes intergranulares (Fig. 11A). É apedal com distribuição relativa Quitogefúrica. Apresenta 70% de material grosso, 5% de material fino e 25% de poros. O material grosso é moderadamente selecionado e no material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada granida, granoestriada e estriada ao acaso. Os tipos de poros são predominantemente de empilhamento, cavidades e canais. Há presença de raízes e feição pedológica textural com preenchimento de argila, amorfa (nódulos) e excrementos. A zona 2 é altamente estratificada, com estratos de argila depositados acima de um estrato de areia grossa, seguido de um estrato composto por areia média, fina, muito fina e argila que aparece preenchendo a porosidade entre os grãos de areia (Fig. 11B). O tipo de microestrutura é estratificada devido ao processo de deposição. É apedal com distribuição relativa Porfírica aberta (estratos mais argilosos), Quitogefúrica (areia grossa) e Quitogefúrica enáulica (areia fina). Apresenta 40% de material grosso, 35% de material fino e 25% de poros. O material grosso é bem selecionado e no material fino a argila aparece depositada em forma de feição pedológica textural e de iluviação, há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada mosaico, salpicada granida, granoestriada, estriada ao acaso e poroestriada. Os tipos de poros são de empilhamento, cavidades policôncavas e mamelonadas, canais e câmaras. Há presença de raízes e nódulos. A zona 3 é bem estratificada com estratos vermelhos de argila microgranulares nítidos e paralelos (Fig. 11C). É apedal com distribuição relativa Quitogefúrica (areia média) e Quitogefúrica enáulica (areia fina com um pouco mais de argila). Apresenta 40% de material grosso, 35% de material fino e 25% de poros. O material grosso é bem selecionado e no material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada mosaico,

salpicada granida, granoestriada, estriada ao acaso e poroestriada. Os tipos de poros são de empilhamento e cavidades. Há presença de raízes e feições pedológicas do tipo amorfa (nódulos).

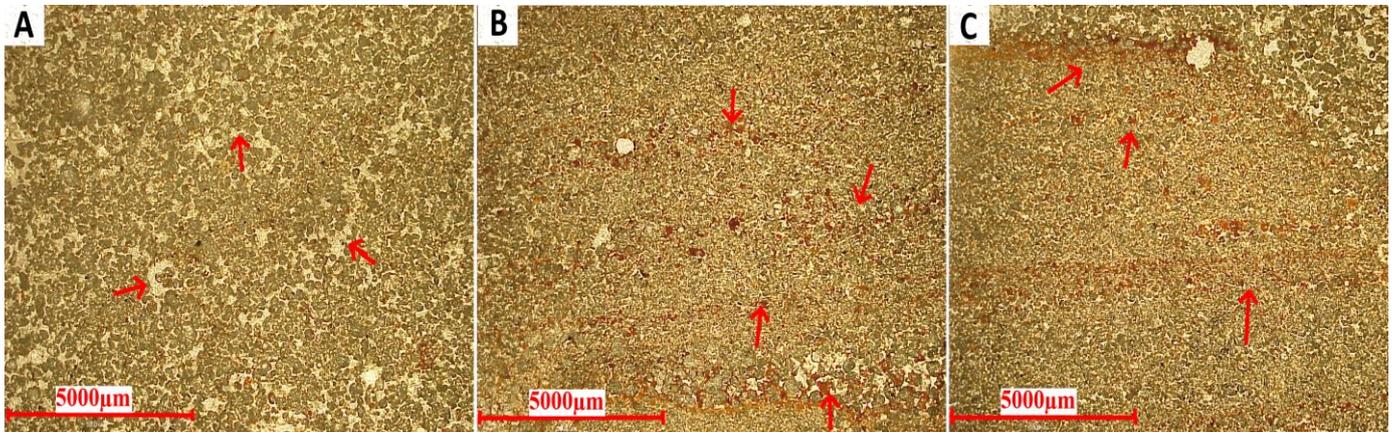


Figura 11: Camada de sedimentos C3, C4 e C5 da T4. A: zona 1, B: zona 2, C: zona 3.

A lâmina C5/2Ab/2ACb abrange uma camada de sedimento e horizontes pedogenéticos e esta contém duas zonas não estratificadas com atividade biológica nas áreas mais argilosas (Fig. 12). A zona 1 localizada na parte superior da lâmina é altamente turbada (bioturbada e pedoturbada) e o processo de deposição se caracteriza por ser bastante energético e turbulento devido as feições de argila misturadas com partículas de areia e ainda, apresenta uma zona adensada de material fino típico de feição pedológica biológica, o tipo de microestrutura é complexa adensada coalescida, em pontes intergranulares e com películas (Fig. 12B). É apedal com distribuição relativa Gefuquitônica. Apresenta 45% de material grosso, 25% de material fino e 30% de poros, além da presença de areia fina e muito fina na matriz. O material grosso é moderadamente a bem selecionado, as zonas bem selecionadas apresentam grãos de areia fina e muito fina misturadas à zonas com grãos de areia maiores moderadamente selecionadas. No material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada mosaico, salpicada granida, granoestriada e estriada ao acaso seguindo um padrão concêntrico. Os tipos de poros são de empilhamento, cavidades grandes, fissuras e câmaras. Há presença de raízes e feições pedológicas do tipo amorfa (nódulos) e de excrementos.

A zona 2 está localizada na parte de baixo da lâmina, o tipo de microestrutura é complexa em grãos simples e com película (Fig. 12A). É apedal com distribuição relativa mônica-quitônica. Apresenta 75% de material grosso, 0 a 5% de material fino e 25% de poros. O material grosso é moderadamente selecionado. Os tipos de poros são predominantemente de empilhamento e cavidades. Há presença de nódulos.

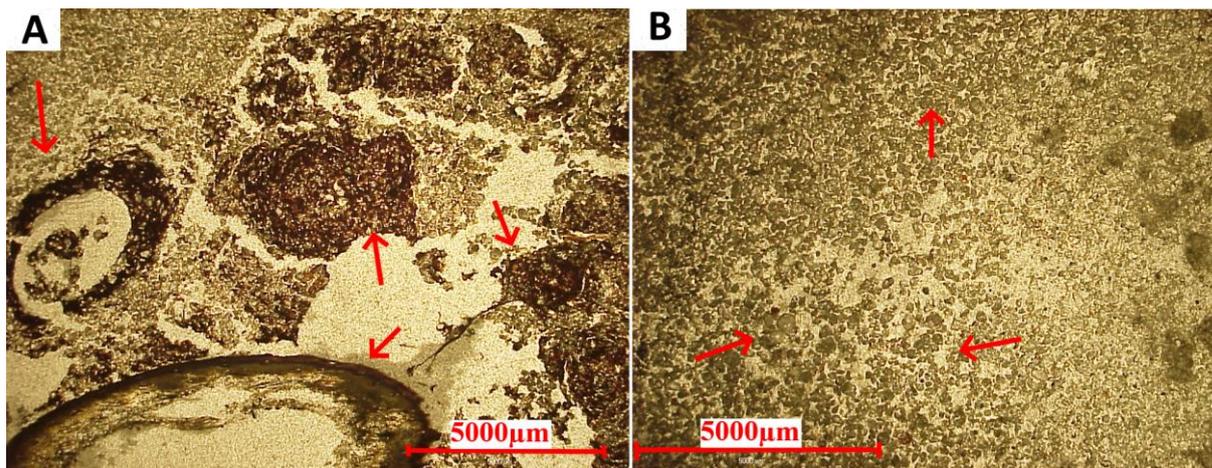


Figura 12: Camada de sedimentos e horizontes C5, 2Ab e 2ACb da T4. A: zona 1, B: zona 2.

As demais lâminas desta trincheira são referentes aos horizontes pedogenéticos enterrados abaixo das camadas de sedimentos, assim sendo a lâmina pertencente aos horizontes 2ACb/2CAb apresenta uma única zona com áreas mais argilosas e preenchimentos provenientes da atividade biológica em algumas partes mais adensadas (Fig. 13A). O tipo de microestrutura é complexa em pontes intergranulares e com película. É apedal com distribuição relativa Gefuquitônica na zona primária e Enáulica na zona secundária. Apresenta 70% de material grosso, 10% de material fino e 20% de poros. O material grosso é mal selecionado e no material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada granida, salpicada mosaico e granoestriada (dominante). Os tipos de poros são predominantemente de empilhamento e cavidades grandes com preenchimento solto descontínuo. Há presença de raízes e feições pedológicas textural com revestimento de argila e ferro, forte e contínuo, presença de iluviação e feições amorfas (nódulos).

O horizonte 2CAb é bastante semelhante aos dois horizontes anteriores (2ACb e 2CAb), este horizonte também apresenta uma única zona com presença de áreas mais argilosas e preenchimentos provenientes da atividade biológica em algumas partes mais adensadas (Fig. 13B). O tipo de microestrutura é complexa em pontes intergranulares, com película e microagregados entre grãos. É parcialmente pedal e o restante apedal com distribuição relativa Quitogefúrica na zona primária e Enáulica na zona secundária. Apresenta 70% de material grosso, 10% de material fino e 20% de poros. O material grosso é moderadamente a mal selecionado e no material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada granida, salpicada mosaico e granoestriada (dominante). Os tipos de poros são predominantemente de empilhamento e cavidades grandes com preenchimento solto descontínuo. Há presença de

raízes e feições pedológicas textural com revestimento de argila e ferro, forte e contínuo, presença de iluviação e feições amorfas (nódulos).

A lâmina que compreende os horizontes 2CAb/2Cb apresenta uma única zona com presença de zonas adensadas e preenchimentos do tipo denso completo de argila e areia (Fig. 13C). O tipo de microestrutura é complexa em pontes intergranulares e com película. É apedal com distribuição relativa Quitogefúrica na zona primária e Enáulica na zona secundária. Apresenta 65% de material grosso, 15% de material fino e 20% de poros. O material grosso é moderadamente a mal selecionado e no material fino há maior quantidade de fábricas birrefringentes nas zonas adensadas que são oriundas de atividade biológica em relação às outras áreas, sendo elas salpicada granida, salpicada mosaico, poroestriada e granoestriada. Os tipos de poros são predominantemente de empilhamento, cavidades revestidas pela ação biológica e com preenchimento solto descontínuo e presença de canais. Há presença de raízes e feição pedológica amorfa (nódulos).

A camada 2Cb também apresenta uma única zona, o tipo de microestrutura é complexa em pontes intergranulares e com película (Fig. 13D). É apedal com distribuição relativa Quitogefúrica na zona primária e Enáulica na zona secundária. Apresenta 65% de material grosso, 15% de material fino e 20% de poros. O material grosso é moderadamente selecionado. Há presença de fábricas birrefringentes de grau fraco, sendo elas salpicada granida, salpicada mosaico, estriada ao acaso, estriada paralela (paralelas à parede dos poros), poroestriada e predominantemente granoestriada. Os tipos de poros são predominantemente de empilhamento, cavidades grandes, irregulares e arredondadas com preenchimento solto descontínuo e presença de canais. As feições pedológicas presentes são textural e amorfas (nódulos) com preenchimento denso completo de microagregados de argila oriundo da atividade biológica. No material fino há hiporevestimento de areia dentro da argila nos poros biológicos com preenchimento solto descontínuo.

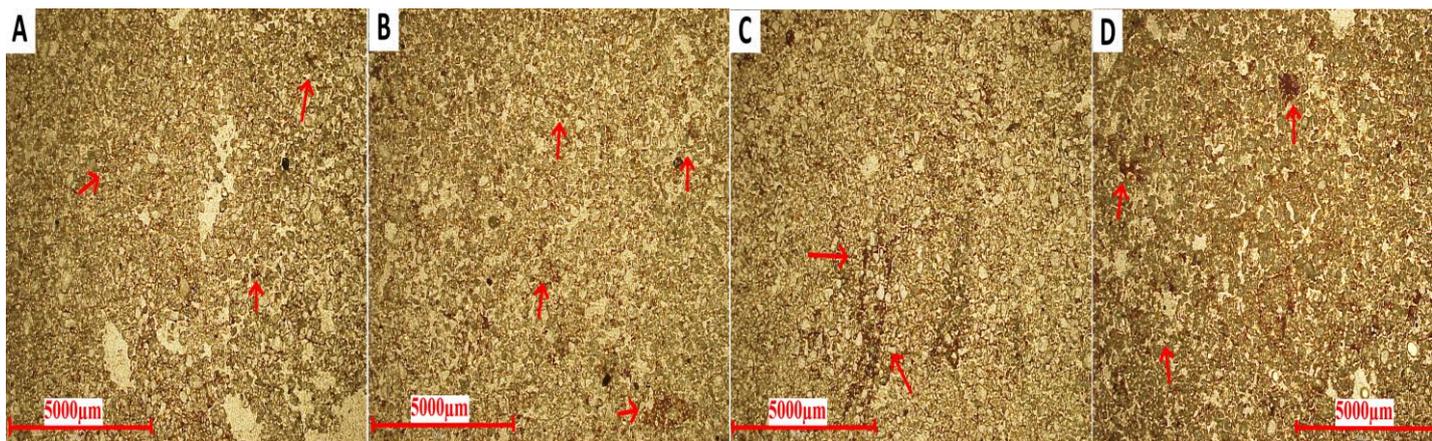


Figura 13: Horizontes 2ACb, 2CAb e 2Cb da T4. A: 2ACb/2CAb, B: 2CAb, C: 2CAb/2Cb, D: 2Cb.

A trincheira T5 é composta por cinco camadas de sedimentos e cinco horizontes pedogenéticos, para tanto selecionou-se as cinco camadas de sedimentos e dois horizontes para a análise morfológica. Os horizontes e camadas de sedimentos apresentam textura arenosa e a estrutura nos horizontes é em blocos subangulares e nos sedimentos em grão simples nas camadas de cima e nas duas últimas a estrutura é maciça. A primeira lâmina pertencente às camadas A/C1 da T5 apresenta uma zona com acamamento e uma matriz arenosa estratificada altamente modificada pela intensa atividade biológica (Fig. 14A). O material desta lâmina é bastante bioturbado na superfície com presença abundante de raízes em decomposição com excrementos no interior das raízes e preenchimentos denso incompleto de canais e cavidades grandes, o material do preenchimento é areia moderadamente a bem selecionada depositada de forma crescente e agregados microgranulares. O tipo de microestrutura é complexa em grão simples e pontes intergranulares, alguns microgranulares. É apedal com distribuição relativa Enáulica quitogefúrica na matriz (área primária) e Enáulica (área secundária). Apresenta 70% de material grosso, 5% de material fino e 25% de poros. O material grosso é bem selecionado nas estratificações e no material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada mosaico, estriada ao acaso, poroestriada, granoestriada e indiferenciada pela presença de matéria orgânica. Os tipos de poros são de empilhamento, cavidades grandes de origem biológica e canais arredondados também de origem biológica. Há presença de raízes e feição pedológica de excrementos.

Por outro lado, na segunda lâmina pertencente às mesmas camadas da T5 (A/C1) foram identificadas duas zonas estratificadas sendo a primeira mais organizada e a segunda zona bastante desorganizada nas estratificações devido à atividade biológica. A presença de todas as áreas argilosas da zona 2 são consideradas feições pedológicas. A zona 1 apresenta o tipo de

microestrutura estratificada (Fig. 14B). É apedal com distribuição relativa Mônica quitogefúrica. Apresenta 50% de material grosso, 2% de material fino e 28% de poros. O material grosso é bem selecionado nas estratificações e no material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada granida, estriada ao acaso e granoestriada. Os tipos de poros são predominantemente de empilhamento, cavidades e canais. A feição pedológica é do tipo amorfa (nódulos). A zona 2 apresenta microestrutura do tipo complexa em pontes intergranulares, com película e grão simples (estratificação alterada pela atividade biológica) (Fig. 14C). É apedal com distribuição relativa Mônica quitogefúrica. Apresenta 60% de material grosso, 15% de material fino e 25% de poros. O material grosso é moderadamente a bem selecionado e no material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada mosaico, estriada ao acaso e granoestriada. Os tipos de poros são predominantemente de empilhamento, cavidades e canais. Há presença de raízes e feição pedológica amorfa (nódulos) e excrementos.

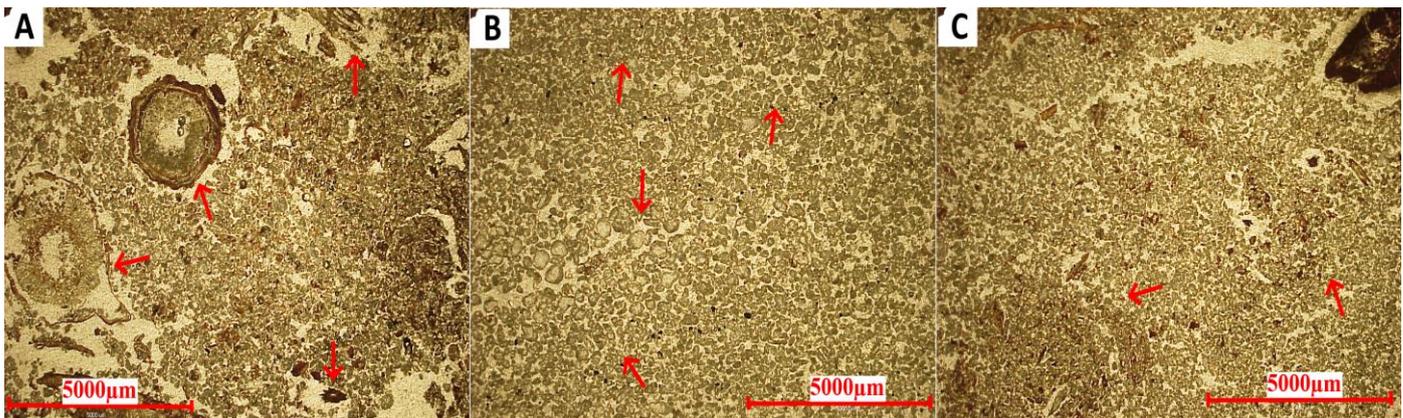


Figura 14: Horizonte A e camada de sedimentos C1 na T5. A: A/C1, B: A/C1 zona 1, C: A/C1 zona 2.

A camada C2 da T5 apresenta duas lâminas, a primeira lâmina apresenta duas zonas estratificadas em sucessão em direção a superfície (Fig. 15). A estratificação pela sedimentação observa-se por meio de estratos de grãos de areia mais grossos, seguido de estratos gradativamente mais finos e recobertos por revestimentos de capeamento de argila. A zona 1 apresenta microestrutura complexa em grãos simples e com película (Fig. 15A). É apedal com distribuição relativa Enáulica quitônica. Apresenta 50% de material grosso, 20% de material fino e 30% de poros. O material grosso é bem selecionado nas estratificações e no material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada granida, estriada ao acaso e granoestriada. Os tipos de poros são predominantemente de empilhamento, cavidades e canais. Há

presença de raízes e feição pedológica amorfa (nódulos). A zona 2 apresenta microestrutura do tipo complexa em pontes intergranulares e com película (Fig. 15B). É apedal com distribuição enáulica gefúrica. Apresenta 50% de material grosso, 25% de material fino e 25% de poros. O material grosso é bem selecionado dentro das estratificações e no material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada mosaico, estriada ao acaso e granoestriada. Os tipos de poros são predominantemente de empilhamento, cavidades e canais. Há presença de raízes e feição pedológica amorfa (nódulos).

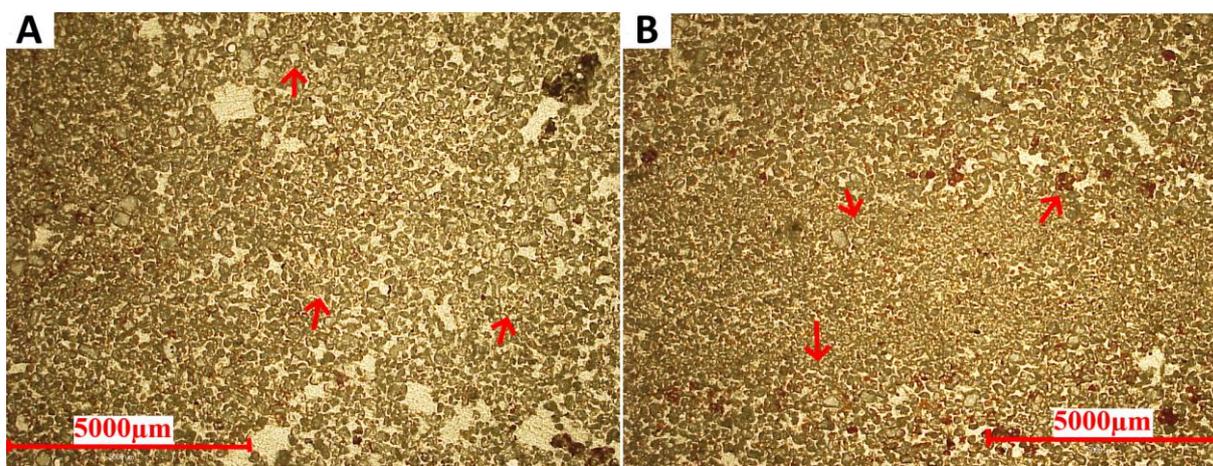


Figura 15: Camada de sedimento C2 da T5. A: zona 1, B: zona 2.

A segunda lâmina referente à camada C2 também apresenta duas zonas distintas sendo a zona 2 estratificada em sequência semelhante à lâmina anterior (Fig. 16). A zona 1 apresenta o tipo de microestrutura em grãos simples (Fig. 16A). É apedal com distribuição relativa Mônica (primária) e Gefuquitônica (secundária). Apresenta 70% de material grosso, 5% de material fino e 25% de poros. O material grosso é moderadamente a bem selecionado e no material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada mosaico e granoestriada. Os tipos de poros são predominantemente de empilhamento, cavidades e canais. Há presença de raízes e feição pedológica amorfa (nódulos). A zona 2 apresenta microestrutura do tipo complexa em grão simples e com película (Fig. 16B). É apedal com distribuição relativa Mônica quitogefúrica (nas estratificações de areia grossa e média), Enáulica (nas estratificações de areia fina e muito fina) e Quitogefúrica (nas estratificações muito argilosas). Nas estratificações de areia grossa e média apresenta 70% de material grosso, 5% de material fino e 25% de poros, nas estratificações de areia fina e muito fina apresenta 60% de material grosso, 20% de material fino e 20% de poros. O material grosso é bem selecionado dentro das estratificações e no material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada mosaico, salpicada

granida, estriada ao acaso e granoestriada (dominante). Os tipos de poros são predominantemente de empilhamento e cavidades. Há presença de feição pedológica amorfa (nódulos).

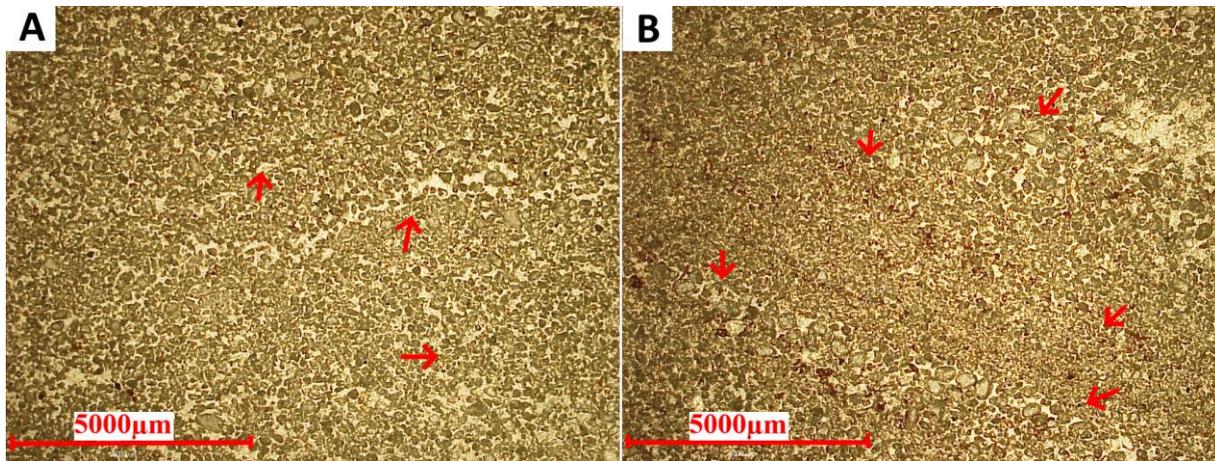


Figura 16: Camada de sedimento C2 da T5. A: zona 1, B: zona 2.

A camada C3 apresenta duas zonas distintas e diferentemente das outras camadas desta trincheira, esta não contém estratificações indicando um outro processo de deposição (Fig. 16). A zona 1 apresenta microestrutura complexa em pontes intergranulares e com película (Fig. 16A). É apedal com distribuição relativa Gefuquitônica. Apresenta 70% de material grosso, 10% de material fino e 20% de poros. O material grosso apresenta areia mais adensada, é moderadamente a mal selecionado e no material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada mosaico, salpicada granida e granoestriada (tênue) e indiferenciada (dominante). Os tipos de poros são predominantemente de empilhamento e cavidades. Há presença de feição pedológica amorfa (nódulos). A zona 2 apresenta microestrutura do tipo coalescida (Fig. 16B). É apedal com distribuição relativa Porfiro quitogefúrica. Apresenta 70% de material grosso, 20% de material fino e 10% de poros. O material grosso é moderadamente a mal selecionado e no material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada mosaico, salpicada granida e granoestriada. Os tipos de poros são de empilhamento e cavidades irregulares na forma policôncava e mamilionadas. Não há presença de feições pedológicas.

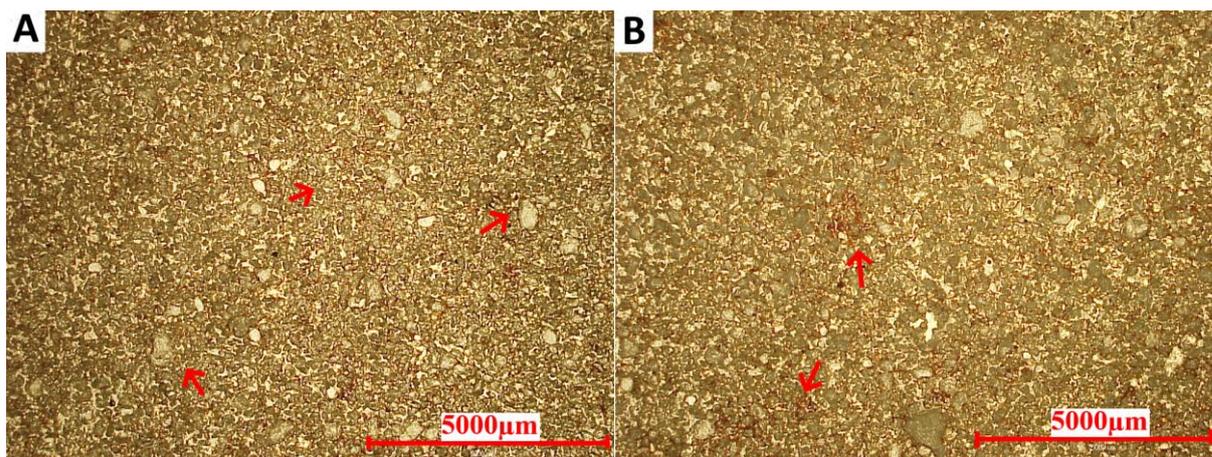


Figura 16: Camada de sedimento C3 da T5. A: zona 1, B: zona 2.

Já a camada C4 foi identificada por conter três zonas distintas, a primeira apresenta material fino no fundo matricial, a segunda está dentro da zona 1 como ilhas de material grosso e a terceira é uma zona mais aberta localizada na parte inferior da lâmina (Fig. 17). A zona 1 apresenta o tipo de microestrutura complexa com grãos e pontes intergranulares adensados com preenchimento de argila (Fig. 17A). É apedal com distribuição relativa Porfiro quitogefúrica. Apresenta 70% de material grosso, 20% de material fino e 10% de poros. O material grosso é moderadamente a mal selecionado e no material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada mosaico, salpicada granida e granoestriada. Os tipos de poros são predominantemente de empilhamento e cavidades. Há presença de carvão, raízes e feição pedológica amorfa (nódulos) e iluviação na forma de preenchimentos e revestimentos. A zona 2 apresenta microestrutura do tipo complexa em pontes intergranulares e com películas (Fig. 17B). É apedal com distribuição relativa Quitogefúrica. Apresenta 70% de material grosso, 10% de material fino e 20% de poros. O material grosso é moderadamente a mal selecionado e no material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada mosaico, granoestriada e indiferenciada. Os tipos de poros são de empilhamento, cavidades policôncavas e mamilionares ocupando espaços entre os grãos de areia e cavidades arredondadas. Não há presença de feições pedológicas. Não apresenta material fino no fundo matricial diferentemente da zona 1. Na zona 3 o tipo de microestrutura é complexa com películas e pontes intergranulares (Fig. 17C). É apedal com distribuição relativa Mônica quitogefúrica. Apresenta 60% de material grosso, 5% de material fino e 35% de poros. O material grosso é moderadamente selecionado e no material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada mosaico, salpicada mosaico e granoestriada. Os tipos de poros são predominantemente de empilhamento, cavidades grandes e arredondadas e canais. A feição pedológica do tipo amorfa (nódulos).

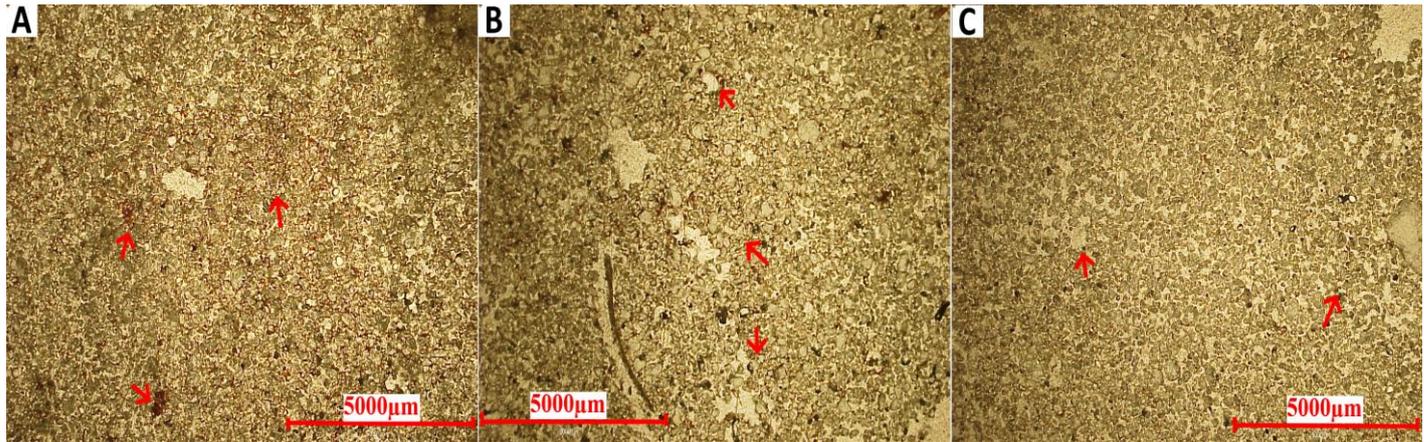


Figura 17: Camada de sedimento C4 da T5. A: zona 1, B: zona 2, C: Zona 3.

A camada C5 apresenta duas zonas (Fig. 18). A zona 1 apresenta o tipo de microestrutura complexa em pontes intergranulares e com película (Fig. 18A). É apedal com distribuição relativa Gefuquitônica. Apresenta 60% de material grosso, 15% de material fino e 25% de poros. O material grosso é moderadamente selecionado e no material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada mosaico, granoestriada e poroestriada. Os tipos de poros são predominantemente de empilhamento, cavidades e canais. Há presença de raízes e feição pedológica amorfa (nódulos) e excrementos. A zona 2 é caracterizada por conter zonas mais densas de argila e apresenta microestrutura do tipo complexa em grão simples e com películas (Fig. 18B). É apedal com distribuição relativa Porfiro quitogefúrica. Apresenta 60% de material grosso, 25% de material fino e 15% de poros. O material grosso é moderadamente selecionado e no material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada mosaico, salpicada granida, granoestriada e poroestriada. Os tipos de poros são de empilhamento e cavidades. Há presença de feições pedológicas de iluviação de revestimentos e preenchimentos densos incompletos e solto contínuo.

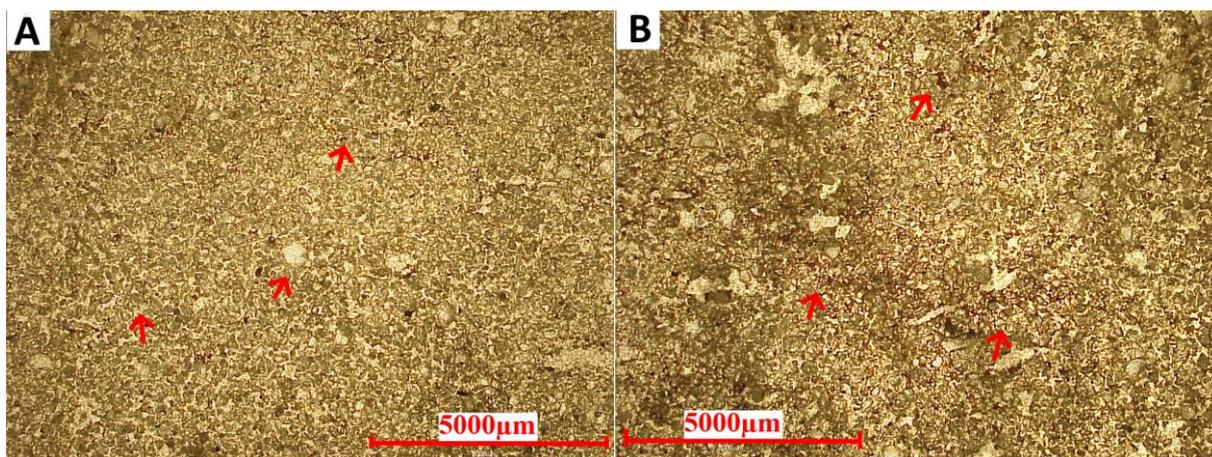


Figura 18: Camada de sedimento C5 da T5. A: zona 1, B: zona 2.

O horizonte 2Ab também apresenta duas zonas (Fig. 19). A zona 1 apresenta o tipo de microestrutura complexa em pontes intergranulares e com película (Fig. 19A). É apedal com distribuição relativa Gefuquitônica (área primária dominante) e parcialmente porfírica (área secundária não dominante). Apresenta 70% de material grosso, 10% de material fino e 20% de poros. O material grosso é moderadamente selecionado e no material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada granida, salpicada mosaico, granoestriada e pouco reticulada. Os tipos de poros são predominantemente de empilhamento e cavidades. Há presença de feição pedológica amorfa (nódulos) e iluviação com preenchimento de argila iluviada (pouco) com orientação forte contínua de argila e ferro. A zona 2 encontra-se dividida em duas bandas de argila com material grosso moderadamente selecionado nessas bandas e feições de iluviação na forma de revestimentos e preenchimentos densos completos de argila e ferro, o tipo de microestrutura é complexa em pontes intergranulares e com películas (Fig. 19B). É apedal com distribuição relativa Quitogefúrica. Apresenta 80% de material grosso, 5% de material fino e 15% de poros. O material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada mosaico, salpicada granida e granoestriada. Os tipos de poros são de empilhamento e cavidades. Há presença de feições pedológicas do tipo amorfa (nódulos) e presença moderada de iluviação nas zonas com maior presença de argila, alguns deles encontram-se superpostos com hiporevestimento de ferro.

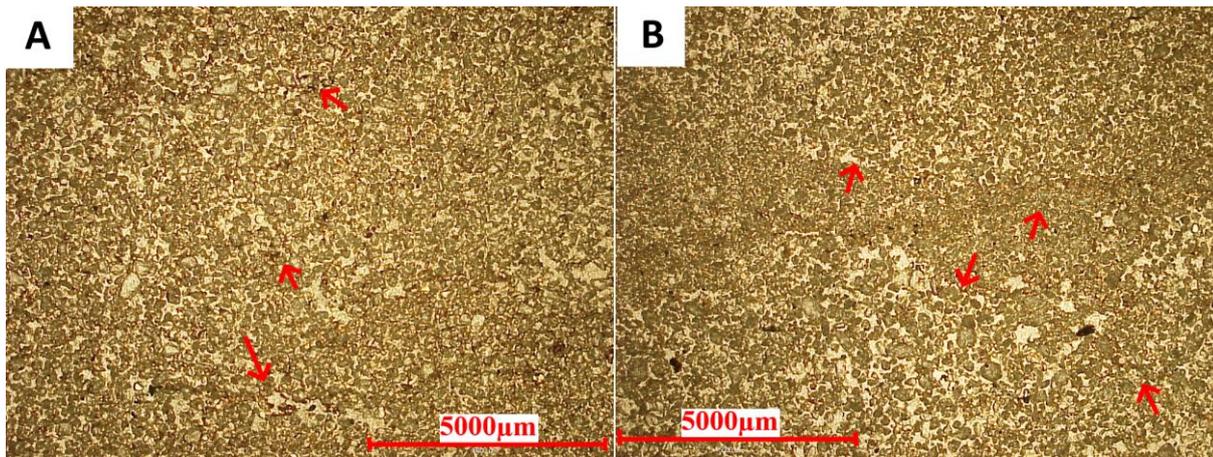


Figura 19: Horizonte 2Ab da T5. A: zona 1, B: zona 2.

A trincheira 6 é constituída por seis horizontes pedogenéticos e duas camadas de sedimentos. A análise micromorfológica foi realizada nas das camadas de sedimentos e em dois horizontes. A textura dos horizontes e camadas é arenosa e a estrutura nas camadas é em grão simples e blocos subangulares e nos horizontes é granular, em blocos subangulares e maciça nos horizontes mais profundos. A camada C1 apresenta três lâminas, a primeira apresenta uma zona com presença de artefatos e estratificações de areia grossa, média e fina (Fig. 20A). O tipo de microestrutura é complexa em grão simples (predomina) e com película (apresenta zonas adensadas). É apedal com distribuição relativa mônica-quitônica. Apresenta 55% de material grosso, 15% de material fino e 30% de poros. O material grosso é bem selecionado e no material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo granoestriada, estriada ao acaso e salpicada granida. Os tipos de poros são predominantemente de empilhamento e cavidades. Há presença de feição pedológica do tipo amorfa (nódulos).

A segunda lâmina da camada C1 é semelhante à anterior, apresenta uma zona com presença de artefatos e estratificações de areia grossa, média e fina (Fig. 20B). O tipo de microestrutura é em grão simples. É apedal com distribuição relativa mônica (primária) e quitogefúrica (secundária). Apresenta 75% de material grosso, 5% de material fino e 20% de poros. O material grosso é moderadamente a bem selecionado separado por áreas e no material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo granoestriada, estriada ao acaso e salpicada granida. Os tipos de poros são predominantemente de empilhamento, canais e cavidades. Há presença de poucas raízes e feição pedológica amorfa (nódulos).

E a terceira lâmina da camada C1 também é semelhante as anteriores com presença de uma zona (Fig. 20C). A microestrutura é em grão simples. É apedal com distribuição relativa mônica (primária) e quitogefúrica (secundária). Apresenta 75% de material grosso, 5% de

material fino e 20% de poros. O material grosso é moderadamente a bem selecionado separado por áreas de tamanho dos grãos de areia e no material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo granoestriada, estriada ao acaso e indiferenciada fracamente. Os tipos de poros são predominantemente de empilhamento, cavidades grandes de origem biológica e canais grandes. Há presença de poucas raízes e feição pedológica amorfa (nódulos).

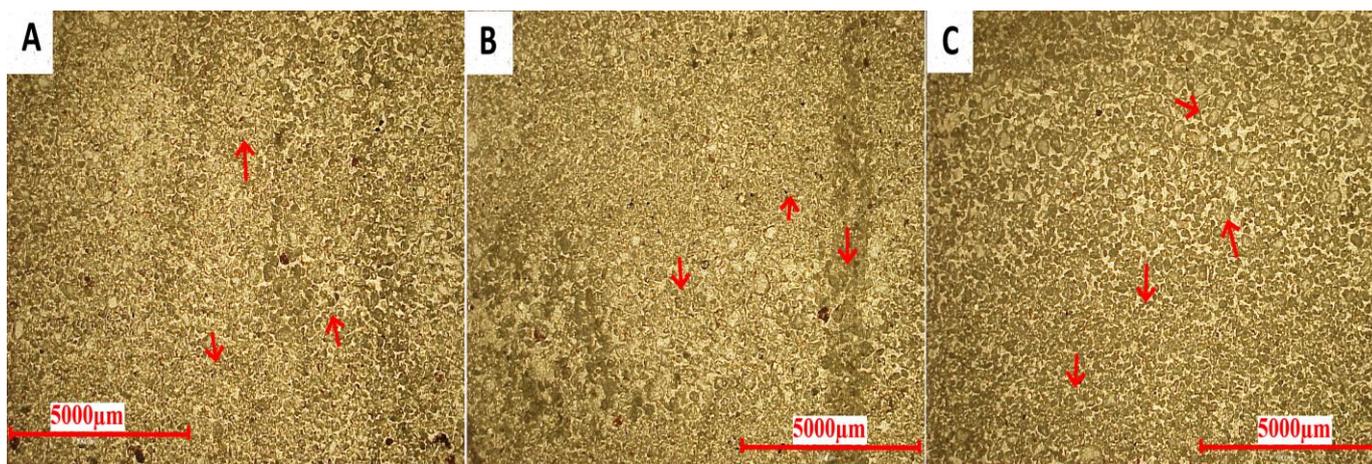


Figura 20: Camada de sedimento C1 da T6. A: 1º lâmina da C1, B: 2º lâmina da C1, C: 3º lâmina da C1.

A camada C2 diferentemente da anterior apresenta aspectos de movimentos turbulentos, constituída por três zonas sendo uma delas de transição (Fig. 21). A zona 1 apresenta um material bem selecionado, houve um grau de seleção desse sedimento, a areia da matriz é muito bem selecionada com nódulos, o tipo de microestrutura é complexa: em pontes intergranulares, em grãos e nódulos (Fig. 21A). É apedal, porém apresenta uma zona pedal fracamente desenvolvido. A distribuição relativa Enáulica quitogefúrica. Apresenta 60% de material grosso, 20% de material fino e 20% de poros. O material grosso é bem selecionado nas suas respectivas bandas e no material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada mosaico, poroestriada, granoestriada e indiferenciada (todas adensadas). Os tipos de poros são canais, cavidades e fissuras formadas por empilhamento. Há presença de raízes e feição pedológica amorfa (nódulos, alguns apresentam um material grosso maior que o entorno que é a matriz, outros apresentam o mesmo tamanho. Presença de um nódulo concêntrico, são centimétricos e milimétricos e há também presença de nódulos de argila densa com material denso muito fino em pequena quantidade). Na porosidade interna de alguns nódulos observa-se a presença de hiporevestimento de ferro e revestimento de capeamento. A zona 2 é estratificada por níveis diferentes de sedimentação que posteriormente foi modificada por

atividade biológica evidenciada por feições pedológicas de preenchimento denso incompleto em poros cavitários e canais grandes (Fig. 21B). O tipo de microestrutura é em blocos subangulares e estratificada. É pedal e a distribuição relativa é Microgranular coalescida e Porfírica adensada. Apresenta 45% de material grosso, 40% de material fino e 15% de poros. O material grosso é bem selecionado separado em grupos ou bandas e no material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada mosaico, salpicada granida, estriada ao acaso, poroestriada e granoestriada. Os tipos de poros são cavidades, canais e fissuras. Apresenta raízes e fissuras, o que lhe confere uma pedalidade moderada com formação incipiente de agregados em blocos angulares. Há presença de feição pedológica amorfa (nódulos). A zona transicional apresenta matriz mais arenosa (areia fina) e é pouco estratificada (Fig. 21C). O tipo de microestrutura é microgranular adensada e parcialmente estratificada. É apedal com distribuição relativa Enáulica porfírica. Apresenta 50% de material grosso, 30% de material fino e 20% de poros. O material grosso interno é mal selecionado e com tamanho maior que nas demais zonas (sugerindo que foram transportados de algum outro lugar). No material fino há presença de fábricas birrefringentes menos nítidas do tipo granoestriada, poroestriada e salpicada mosaico. Os tipos de poros são cavidades grandes arredondadas e subarredondadas, canais e fissuras, na matriz há presença de cavidades pequenas policôncavas e mamilionadas. Apresenta feição pedológica do tipo amorfa (nódulos de argila e ferro grandes e alguns semiconcêntricos).

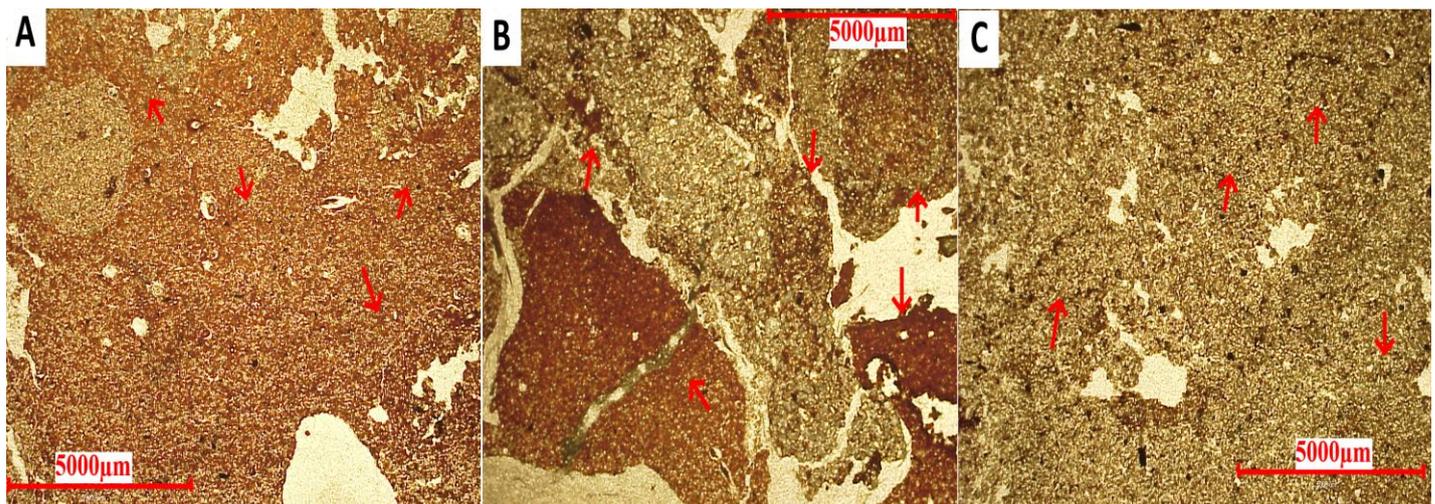


Figura 21: Camada de sedimento C2 da T6. A: zona 1, B: zona 2, C: zona 3.

Em contrapartida, o horizonte 2Ab apresenta uma única zona bastante heterogênea (Fig. 22A). O tipo de microestrutura é complexa em pontes intergranulares e com película. É apedal com distribuição relativa Quitogefúrica. Apresenta 60% de material grosso, 15% de material fino e 25% de poros. O material grosso é moderadamente a bem selecionado e o material fino se concentra em feições pedológicas de preenchimento denso incompleto e também na matriz formando zonas mais adensadas, há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada granida, salpicada mosaico, granoestriada, estriada ao acaso e poroestriada. Os tipos de poros são predominantemente de empilhamento, cavidades grandes, irregulares e pequenas policôncavas e canais. Há presença de raízes, feição pedológica amorfa (nódulos) e feições de areia, presença de revestimento que faz parte de um preenchimento denso incompleto.

O horizonte 2C1b também foi identificado contendo uma zona. O tipo de microestrutura é complexa em pontes intergranulares e com película (Fig. 22B). É apedal com distribuição relativa Gefuquitônica (área primária dominante) e porfírica (área secundária não dominante). Apresenta 60% de material grosso, 15% de material fino e 25% de poros. O material grosso é moderadamente selecionado e no material fino há presença de fábricas birrefringentes do tipo salpicada granida, salpicada mosaico, granoestriada, estriada ao acaso e poroestriada. Os tipos de poros são predominantemente de empilhamento, cavidades grandes e irregulares e canais. Há presença de raízes e feição pedológica amorfa (nódulos) com preenchimentos densos incompletos de argila e de areia bem selecionada.

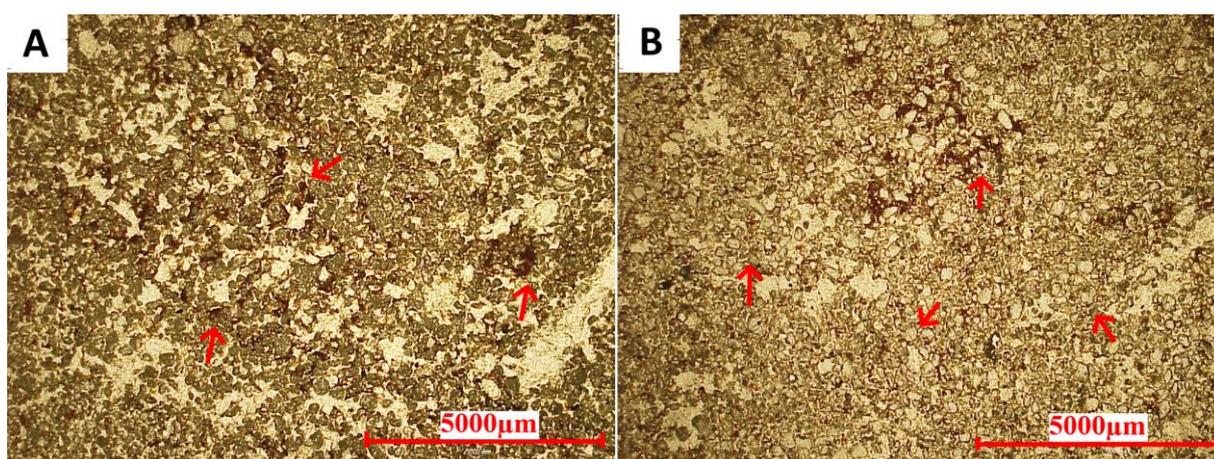


Figura 22: Horizontes 2Ab e 2C1b da T6. A: horizonte 2Ab, B: horizonte 2C1b.

3.4. Discussão

Na USJ a geometria bidimensional dos horizontes apresentou em geral um solo não pedregoso e não rochoso, com drenagem forte e erosão não aparente além de relevo local plano e regional suave ondulado. A estrutura foi classificada em blocos e granular e a textura argilosa e muito argilosa, característica bastante comum dos Latossolos vermelhos tornando-os menos propensos a ocorrência de erosão. Apesar da baixa erodibilidade, processos erosivos podem ocorrer dependendo do manejo utilizado, conforme observado na T3 a presença de um sulco erosivo na área de escoamento do terraço. Eventos erosivos em Latossolo Vermelho foi observado por Mendes Júnior et al. (2018) em cultivo de café e foi atribuído ao uso intensivo de máquinas agrícolas nas atividades de produção, além da ausência de práticas conservacionistas o que dificulta a infiltração da água no solo e propicia a remoção de partículas. A T3 localizada ao final da encosta na área da cana sofre influência da declividade, conforme avaliado em estudos com erosão laminar em área de cana-de-açúcar, pesquisadores observaram maior erosão em posições mais declivosas em comparação à porção média e baixa do terreno (Abdalla et al., 2019).

A análise granulométrica exibiu um aumento do conteúdo de argila em profundidade nos perfis localizados ao final da encosta e na mata (Tabela 2) e isso está relacionado à formação do solo em topossequência e também aos processos pedogenéticos do solo. A dispersão em água apresentou redução da fração argila e aumento das frações areia e silte revelando a forte agregação das partículas de argila e a sua resistência em se dispersar em água como também observado por Momoli et al. (2007) e Bovi et al. (2017). Nos horizontes Bw a fração argila não se dispersa com facilidade devido a sua forte microagregação que está relacionado à sua mineralogia e a presença de agentes cimentantes como os óxidos de ferro (Bispo et al., 2011), sendo facilmente confundidas com grânulos de areia o que dificulta o seu transporte tornando-se mais resistentes ao destacamento das partículas e ao processo erosivo.

O fracionamento das areias registrou a maior elevação das partículas de areia entre 250 e 125 μm especialmente em água (Tabela 3). O fracionamento em água é importante para simular uma condição natural, nesta área o aumento das frações de areia podem ser microagregados do Latossolo que são muito estáveis em água e facilmente confundidos com grãos de areia e esta relacionado a sua composição mineralógica e ao seu gradiente hidráulico (Oliveira et al., 2005). Este diâmetro (250 a 125 μm) compreende a fração areia fina que se apresenta em maior quantidade. Na USJ não foi observado muita diversidade no fracionamento das areias isto pode ser atribuído a baixa quantidade de sedimentos da área.

Com relação aos parâmetros de Folk e Ward na USJ prevaleceu a classificação areia fina (AF) em todos os horizontes de todos os perfis (Tabela 4) sugerindo que os grãos de areia estão concentrados na porção central da distribuição do tamanho dos grãos (Blott e Pye, 2001). A classificação do desvio padrão dos grãos de areia com o uso de NaOH foi em geral moderadamente selecionado (MS), entretanto a dispersão em água apontou vários horizontes classificados como pobremente selecionados (PS) principalmente nos perfis T3 e T4 localizados ao final da encosta e na mata, o que pode ter relação com a forte microestrutura dos Latossolos conforme mencionado anteriormente, não havendo facilidade da sua dispersão em água, os seus grânulos altamente desenvolvidos são facilmente confundidos com os grãos de areia (Tawornpruek et al., 2005) ocasionando uma alteração no grau de seleção. A forte microestrutura dos Latossolos e a presença dos óxidos de ferro diminui a capacidade das partículas se dispersarem, se destacarem e serem transportadas pelo processo erosivo. A assimetria classificada como aproximadamente simétrica (AS) em alguns horizontes com o uso de dispersante indica a conformidade entre a mediana e o diâmetro médio. Caso esses horizontes principalmente os superficiais se tornassem sedimentos haveria habilidade na seleção das partículas durante o transporte nos fluxos laminares, condizente com a classificação da fração areia encontrada por Bovi et al. (2017) ao descrever e caracterizar a morfologia dos sedimentos, já a dispersão em água apontou assimetria negativa (N) em alguns horizontes e novamente este desarranjo se deve à dificuldade de dispersão dos agregados de argila em água modificando o grau de seleção por serem confundidos com grãos de areia. Já a curtose de maneira geral foi leptocúrtica (L) tanto com uso de dispersante quanto com o uso de água na dispersão mostrando que a medida de curtose é maior ou mais fechada que a distribuição normal sugerindo uma diferenciação no processo de seleção de deposição identificado também por Momoli et al. (2007). Em geral a classificação foi moderadamente selecionado e aproximadamente simétrico com o uso de NaOH, quando a dispersão ocorreu em água as trincheiras localizadas na porção mais baixa do terreno T3 e T4 foram classificadas como pobremente selecionado e negativa isto devido as características dos Latossolos o que torna-os resistentes à dispersão em água e conseqüentemente ao processo erosivo.

A análise química revelou elevada CTC nos horizontes superficiais de todas as trincheiras (Tabela 5), isto devido ao elevado conteúdo de matéria orgânica e da mineralogia das argilas, em outros estudos também foi encontrado elevada CTC em Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa (Carvalho et al., 2007). A saturação por base de modo geral foi elevada em todos os horizontes de todos os perfis e a saturação por alumínio foi baixa, assim como o Al^{+3} , de modo similar aos resultados encontrados por Cavaliere et al. (2004) ao avaliar

as propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. Os elementos Ca^{+2} e Mg^{+2} obtiveram maior concentração na área da mata, isto devido a uma interação desses cátions com a matéria orgânica, com os minerais de argila e também pela sua CTC (Ledesma et al., 2018). O elevado conteúdo de carbono orgânico no interior da mata ciliar favorece os processos de floculação e precipitação permeado pelo acúmulo de matéria orgânica contribuindo para a retenção de bases no solo da mata.

Na USM a geometria bidimensional dos horizontes apresentou-se, em geral, não pedregosa e não rochosa, com drenagem forte e erosão moderada, além de relevo local suave ondulado e regional suave ondulado. A estrutura foi classificada em grão simples, maciça e granular e a textura arenosa o que torna esta classe de solo bastante suscetível a sofrer erosão devido a fragilidade dos agregados (Abdalla et al., 2019). Nesta área observou-se a presença de camadas de sedimentos na área da mata, isto se deve possivelmente à ocorrência de processos erosivos ao longo da vertente transportando partículas de solo que irão se depositar na porção mais baixa do terreno, conforme observado nas trincheiras da mata, semelhantemente a resultados obtidos por Momoli et al. (2007) que também encontraram deposição considerável de sedimentos em área de mata ciliar oriundos do cultivo de cana-de-açúcar. Os sedimentos apresentaram diferenças morfológicas principalmente na sua estrutura, semelhantemente à caracterização morfológica dos sedimentos em área de reflorestamento em Piracicaba (SP) que evidenciou diferenças entre os horizontes e entre as camadas de sedimentos principalmente entre a cor, estrutura e espessura (Bovi et al., 2017). Em outras regiões, como o interior de Goiás, também ocorreu deposição de sedimentos por erosão na mata ciliar proveniente da área de lavoura que foi associado à cobertura vegetativa e ao manejo utilizado (Santos e Sparovek, 2011).

A análise granulométrica foi homogênea em todos os horizontes de todos os perfis, exibindo uma classe textural arenosa tanto com o uso de dispersante quanto em água (Tabela 6), por esta razão torna-se improvável distinguir o solo do sedimento nesta área somente com a análise granulométrica, haja vista a distribuição do tamanho de partícula ser comumente utilizada para estimar o processo de erosão do solo (Sowinski, 2016). Esse autor encontrou solos formados a partir da erosão em solos arenosos e sugere que a distribuição do tamanho de partícula desses solos seja derivado da distribuição das partículas de solos erodidos, o que não foi possível identificar na área do presente estudo somente com esta análise.

O fracionamento das areias apresentou um aumento entre 250 e 125 μm , que compõem a fração areia fina, com dispersante e com água. Os perfis T5 e T6 com dispersante apresentaram os maiores aumentos em todo o perfil (Tabela 7). A quantidade de sedimentos

nessas trincheiras localizadas na área da mata de restauração a 12 anos e as características do solo revelam a capacidade de serem dispersos, pela baixa agregação e elevada quantidade de partículas soltas o que torna-os facilmente erodíveis. Percebe-se uma diferença no fracionamento dos sedimentos em relação aos horizontes do solo nas três trincheiras do interior da mata (T4, T5 e T6) principalmente com o uso do dispersante NaOH. As camadas de sedimento em geral apresentaram-se mais heterogêneas em comparação aos horizontes que apresentaram um comportamento mais homogêneo. Os aumentos das frações de areia observados nesses diâmetros ocorreu em todo o perfil, tanto na camada de sedimentos quanto nos horizontes enterrados sugerindo que esses diâmetros de areia são os de maior ocorrência no processo de erosão.

Os parâmetros estatísticos de Folk e Ward na USM apresentaram de maneira geral classificação de areia fina em praticamente todos os horizontes e camadas de sedimentos nos perfis (Tabela 8), indicando que os sedimentos depositados apresentam distribuição uniforme e são provenientes do topo e oriundos do mesmo material de origem da classe de solo. A seleção das partículas, classificadas como bem selecionadas (BS) e muito bem selecionadas (MBS), sugere que os sedimentos possam ter sido originados na própria vertente, como consequência dos processos erosivos situados a montante da mata ciliar. A ocorrência no grau de seleção entre BS e MBS se dá em consequência das camadas terem sido originadas em diferentes ciclos de sedimentação. Os solos da USM por apresentar elevado teor de areia e baixa agregação, correm o risco de sofrer processos erosivos de grande magnitude quando submetidos à manejos não apropriados, resultando na deposição de sedimentos a jusante. Além disso a assimetria foi de maneira geral positiva (P) e aproximadamente simétrica (AS) com valores de média e mediana semelhantes constatando a ocorrência de fluxos laminares de baixa intensidade (Bovi et al., 2017).

Na análise química verifica-se baixa CTC e predominância de cargas negativas ΔpH ($\text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) (Tabela 9) devido à escassez de cargas positivas, o que é próprio dos solos altamente intemperizados de acordo Mareschal et al. (2011) que obtiveram resultados semelhantes ao avaliar as propriedades físico-químicas de um Arenossol na República do Congo. A elevada saturação por alumínio observada em alguns horizontes das trincheiras T2, T4, T5 e T6 desfavorece o crescimento radicular das plantas. Esse aumento na saturação por alumínio se deve ao baixo valor de pH (abaixo de 5,5) nesses horizontes, que por sua vez se deve à baixa CTC o que torna o Al^{+3} disponível na solução. As bases K^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2} apresentaram valores abaixo de 2 cmolc/kg em todos os horizontes e camadas, o que já era de se esperar da classe de solo da área de estudo, pobre em nutrientes. Nos perfis T1, T2, T3 e T4

o teor de P foi elevado em superfície e com o aumento da profundidade houve diminuições sucessivas assinalando a influência do uso de fertilizantes em superfície. No entanto, os perfis T5 e T6 situados na área da mata evidenciaram aumentos significativos, principalmente nas camadas de sedimentos indicando a ocorrência de lixiviação deste elemento oriundo da área de cultivo da cana-de-açúcar na porção mais elevada do terreno. Os solos com baixo teor de matéria orgânica e óxidos e com textura arenosa tendem a lixiviar parcialmente o fósforo na solução do solo por apresentarem um fluxo preferencial de água através dos macroporos do solo (Sorensen e Rubaek, 2012) além disso, há uma forte contribuição das raízes de plantas gramíneas na lixiviação do P em que após a absorção do elemento pela planta o excedente se torna prontamente disponível para lixiviação, o que está diretamente relacionado aos níveis de P no solo, às condições biogeoquímicas e as espécies de plantas utilizadas devido a quantidade de P contido na sua biomassa (Roberts et al., 2019). Os elevados teores de P presentes na área da mata relacionado às fortes erosões situadas no local pela presença de voçorocas, induz ao transporte desse elemento até os cursos d'água por escoamento superficial, a sua perda está ligada aos sedimentos, dessa forma o controle da erosão se faz necessário e é fundamental para a minimização das perdas de P (Shigaki et al., 2006).

A análise micromorfométrica revelou baixa diferenciação na porosidade entre os horizontes e camadas de sedimentos avaliados nos três perfis na área da mata ciliar com elevada porosidade total (PT) predominando poros do tipo grande e complexo (Fig. 6, 7 e 8). Os poros complexos encontram-se interligados no sistema poroso, quanto maior o seu tamanho maior é o grau de conexão entre eles, o que favorece o fluxo de água no perfil característico dos solos arenosos. Foi observado uma pequena quantidade de poros arredondados nos horizontes e camadas que continham menor PT causando uma diminuição da conectividade da estrutura dos poros e é por conta dessa redução da conectividade da rede de poros que a PT é menor, o que pode ser visualizado nas imagens binarizadas ao lado dos gráficos (Fig. 6: T4 2CAb, Fig. 7: T5 C3 e Fig. 8: T6 C2) e está de acordo com estudos realizados por Jakab et al. (2013), o que segundo os autores pode acarretar em redução do fluxo de água. O aumento na porcentagem de PT é um indicativo de elevação da atividade biológica na floresta e contribui para a percolação e infiltração da água no solo devido a conexão entre os poros (Momoli e Cooper, 2016). Entretanto, o aumento da porosidade proporciona aumento da energia cinética transmitida às partículas de solo em eventos erosivos intensificando-os, isso foi constatado em estudos analisando a transformação energética da erosão interna em solos com diferentes porosidades (Nguyen e Indraratna, 2020).

A análise baseada na micromorfologia na T4 evidenciou uma deposição estratificada, o que possivelmente é decorrente de deposição por fluxo laminar. Em geral observou-se um padrão de sedimentação uniforme com extratos de areia média e fina sobre extratos de areia grossa com porosidade mais aberta. Algumas camadas de sedimentos e/ou horizontes que encontram-se na superfície do solo como C1 ou que já pertenceram à superfície como o horizonte enterrado 2Ab foram bastante turbados tornando este horizonte mais heterogêneo característico da formação do horizonte A e às mudanças provocadas após a deposição pela atividade biológica e processos físico-químicos, o que ocasiona um adensamento coalescido no fundo matricial. É importante frisar que a formação de um segundo horizonte A em superfície é um indicativo de que esse sedimento encontra-se no local a bastante tempo, antes dos estágios iniciais de implantação da floresta. Ainda neste perfil observou-se extratos de material fino orientado nos sedimentos, o que enfatiza a deposição por fluxo laminar de baixa energia, observado também na deposição e dinâmica de sedimentos em área reflorestada (Bovi et al., 2017). Na T5 também observa-se uma deposição por extratos organizados e assim como na superfície da T4 a camada de sedimento superficial apresenta zonas estratificadas bastante desorganizadas pela bioturbação. Na camada C2 da T5 observou-se uma estratificação por meio de decantação de baixa energia com estratos de grãos de areia mais grossos, seguido de estratos gradativamente mais finos e recobertos por revestimentos de capeamento de argila, este capeamento induz à taxa de infiltração. O material grosso em geral varia de moderadamente a bem selecionado e os poros são do tipo empilhamento característico de processos deposicionais que nesta trincheira a maior parte ocorreu por decantação de baixa energia. Ainda nesta trincheira foi observado na camada de sedimento C5 e no horizonte enterrado 2Ab presença de feição pedológica de iluviação. Na T6 a deposição por extratos de areia também foi evidente ocasionada por fluxo laminar, da mesma forma houve deposição por fluxo turbulento mais energético com material bem selecionado, bem transportado e bem depositado de forma orientada, mas também há zonas heterogêneas com material grosso mal selecionado. Em resumo, constatou-se a presença de diferentes eventos erosivos, os quais ocorreram em movimento laminar, uniforme e com estratificações e também poucos eventos erosivos mais energéticos e turbulentos. Outros estudos constataram a relação significativa e positiva entre a força erosiva e o tamanho da partícula de sedimento (Kinell, 2005) e ainda, os sedimentos depositados na superfície do solo podem ser resuspensos novamente durante outros eventos erosivos, o que aumenta a seletividade do tamanho de partícula no processo de transporte (Shi et al., 2017).

Em suma, a USJ restaurada a 5 e 6 anos não evidenciou presença de erosão, isso foi constatado pela geometria bidimensional com tradagens e abertura de trincheiras. No entanto, observou-se a existência de um sulco erosivo ao final da encosta na área de escoamento do terraço sugerindo que a formação deste sulco erosivo se deve à má locação do terraço e por estar com uma ponta aberta permitindo o escoamento da água do canal do mesmo para o carreador e para a mata ciliar, o que repercutiu em uma possível ocorrência de erosão linear, tanto ao final da encosta como na área da mata. Ainda, quanto a seleção de partículas e assimetria dos parâmetros de Folk e Ward com dispersante resultou em partículas moderadamente selecionadas e aproximadamente simétricas (T3 e T4), o que pode ser provocado por ação de fluxos laminares de baixa energia, do mesmo modo pode estar ocorrendo fluxos turbulentos mais energéticos em consequência da classificação em água ter sido pobremente selecionado e negativa nos mesmos perfis (T3 e T4). Já na USM a geometria bidimensional indicou a presença de sedimentos na área da mata diferentemente da USJ denotando a ocorrência de erosão ao longo de toda a encosta. Os sedimentos da USM foram depositados em diferentes ciclos com distribuição uniforme, isso foi constatado pela análise de Folk e Ward ao exibir a classificação de partículas bem selecionado e muito bem selecionado e valores de média e mediana semelhantes, do mesmo modo que a análise micromorfológica evidenciou a seletividade do material grosso, de maneira geral, entre moderadamente a bem selecionado e um padrão deposicional uniforme e organizado de extratos de areia, resultante de fluxo laminar de baixa intensidade. Essas camadas desuniformes foram bastante bioturbadas o que interfere na porosidade e na conectividade da rede de poros como verificado na análise micromorfométrica em que as maiores porcentagens de porosidade total ocorreram nas camadas e horizontes que mais sofreram turbacão.

3.5. Conclusão

Não foi observado a presença de sedimentos na área da USJ, no entanto verificou-se a presença de um sulco erosivo ao final da encosta próximo ao terraço que foi atribuído à má locação do terraço e por apresentar uma ponta aberta permitindo o escoamento da água do canal do terraço para o carreador e para a mata ciliar.

Na USM a presença de sedimentos foi evidenciado somente nos perfis localizados na mata ciliar sugerindo que os processos erosivos acontecem ao longo da vertente com deposição na porção mais baixa do terreno. A caracterização dos sedimentos revelou diferenças

morfológicas e elevadas concentrações de fósforo indicando a ocorrência de lixiviação deste elemento.

A distribuição dos sedimentos sugere que houveram diferentes ciclos de sedimentação e que a deposição ocorreu em mais de um evento erosivo. Verificou-se um padrão de deposição estratificada e uniforme decorrente de um processo erosivo laminar de baixa energia por esta razão a hipótese foi parcialmente aceita.

REFERÊNCIAS

- Abdalla, K., Dickey, M., Hill, T., Scott-Shaw, B., 2019. Assessment of soil erosion under rainfed sugarcane in KwaZulu-Natal, South Africa. *Natural Resources Forum*. doi: 10.1111/1477-8947.12179
- Bispo, F.H.A., Silva, A.C., Vidal Torrado, P., Souza Junior, V.S., 2011. Highlands of the upper Jequitinhonha valley, Brazil. II – mineralogy, micromorphology, and landscape evolution. *R Bras Ci Solo*, 35, 1081-1091. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000400002>
- Blott, S.J., Pye, K., 2001. Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surf Proc Land*, 26, 1237-1248. doi:10.1002/esp.261
- Boulet, R., Chauvel, A., Humbel, F.X., Lucas, Y., 1982. Analyse structural et cartographie en pédologie. I – Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. *ORSTOM: Ser Pédol*, 19 (4), 309-321.
- Bouma, J., Jongerius, A., Boersma, O., Jager, A., Schoonderbeek, D., 1977. The function of different types of macropores during saturated flow through four swelling soil horizons. *Soil Sci Soc Am J*, 41: 945–950. <https://doi.org/10.2136/sssaj1977.03615995004100050028x>
- Bovi, R.C., Silva, L.F.S., Zenero, M.D.O., Carvalho, C.C., Cooper, M., 2017. Sediment morphology, distribution and recent transport dynamics in a reforested fragment. *R Bras Ci Solo*, 41, 1-16. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20160454>
- Bullock, P., Fedoroff, N., Jongerius, A., Stoops, G., Tursina, T., 1985. *Handbook for soil thin section description*. Albrington, UK: Waine Research.
- Carvalho, J.L.N., Cerri, C.E.P., Cerri, C.C., Feigl, B.J., Píccolo, M.C., Godinho, V.P., Herpin, U., 2007. Changes of chemical properties in a Oxisol after clearing of native cerrado vegetation for agriculture use in Vilhena, Rondonia State, Brazil, *Soil Till Res*, 96, 95-102. doi:10.1016/j.still.2007.04.001

- Cavaliere, K.M., Tormena, C.A., Fidalski, J., Pintro, J.C., Costa, A.C.S., Souza Junior, I.G., 2004. Alterações nas propriedades químicas de um Latossolo Vermelho eutroférico por dois sistemas de manejo de solo. *Acta Sci Agron*, 26(4), 377-385. doi: 10.4025/actasciagron.v26i4.1710
- Cooper, M., Mendes, L.M.S., Silva, W.L.C., Sparovek, G., 2005. A national soil profile database for Brazil available to international scientists. *Soil Sci Soc Am J*, 69, 649-652. doi:10.2136/sssaj2004.0140
- Cooper, M., Boschi, R.S., Silva, V.B., Silva, L.F.S., 2016. Software for micromorphometric characterization of pores obtained from 2d image analysis. *Sci Agr (USP. Impresso)*, 73, 388-393.
- Cooper, M., Castro, S.S., Coelho, M.R., 2017. Análises micromorfológicas. In: Teixeira, P.C., Donagema, G.K., Fontana, A., Teixeira, W.G. (3. ed.) *Manual de métodos de análise de solo*. Brasília, DF: EMBRAPA. pp. 526-574.
- Efthimiou, N., Lykoudi, E., Panagoulia, D., Karavitis, C., 2016. Assessment of soil susceptibility to erosion using the EPM and RUSLE models: the case of venetikos river catchment. *Global Nest J*, 18, 164-179. doi: //doi.org/10.30955/gnj.001847.
- Folk, R.L., Ward, W.C., 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *J Sediment Res*, 27.
- Greenwood, P., Zhang, Y., 2020. Comparing grain size composition of inter-rill and rill-eroded sediment from cultivated hillslope soils using caesium-134 and cobalt-60 as tracers. *Soil Till Res*, 198, 104532. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104532>
- Hao, Y., Yang, Y., Liu, B., Liu, Y., Gao, X., Guo, Q., 2016. Size characteristics of sediments eroded from three soils in China under natural rainfall. *J Soils Sediments*, 16, 2153-2165. doi 10.1007/s11368-016-1424-3
- Jacob, H.D., Clarke, T.G., 2002. *Methods of soil analysis, Part 4: Physical methods*, SSSA Book series: 5, Madison, Wisconsin, USA.
- Jakab, G., Németh, T., Csepinszky, B., Madarász, B., Szalai, Z., Kertész, A., 2013. The influence of short term soil sealing and crusting on hydrology and erosion at balaton uplands, Hungary. *Carpath J Earth Env*, 8, 147-155.
- Kinell, P.I.A., 2005. Raindrop-impact-induced erosion processes and prediction: a review. *Hydrol Process*, 19, 2815-2844. doi: 10.1002/hyp.5788

- Ledesma, J.L.J., Futter, M.N., Blackburn, M., Lidman, F., Grabs, T., Sponseller, R.A., Laudon, H., Bishop, K.H., Kohler, S.J., 2018. Towards an improved conceptualization of riparian zones in boreal forest headwaters. *Ecosystems*, 21, 297-315. doi: 10.1007/s10021-017-0149-5
- Levy, G.J., Eisenberg, H., Shainberg, I., 1993. Clay dispersion as related to soil properties and water permeability. *Soil Sci*, 155, 15-22.
- Liu, C., Li, Z., Fu, S., Ding, L., Wu, G., 2020. Influence of soil aggregate characteristics on the sediment transport capacity of overland flow. *Geoderma*, 369, 114338. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114338>
- Mareschal, L., Nzila, J.D.D., Turpault, M.P., M'Bou, A.T., Mazoumbou, J.C., Bouillet, J.P., Ranger, J., Laclau, J.P., 2011. Mineralogical and physico-chemical properties of Ferralic Arenosols derived from unconsolidated Plio-Pleistocenic deposits in the coastal plains of Congo. *Geoderma*, 162, 159-170. doi:10.1016/j.geoderma.2011.01.017
- Martínez-Mena, M., Castilho, V., Albaladejo, J., 2002. Relations between interrill erosion processes and sediment particle size distribution in a semiarid Mediterranean area of SE of Spain. *Geomorphology*, 45, 261-75. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(01\)00158-1](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(01)00158-1)
- Mendes Junior, H., Tavares, A.S., Santos, W.J.R., Silva, M.L.N., Santos, B.R., Mincato, R.L., 2018. Water erosion in oxisols under coffee cultivation. *R Bras Ci Solo*, 42: e0170093. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20170093>
- Momoli, R.S., Cooper, M., Castilho, S.C.P., 2007. Sediment morphology and distribution in a restored riparian forest. *Sci Agric*, 64 (5), 486-494. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162007000500006>
- Momoli, R.S., Cooper, M., 2016. Erosão hídrica em solos cultivados e sob mata ciliar. *Pesq Agropec Bras*, 51, 1295-1305. doi:10.1590/s0100-204x2016000900029.
- Morgan, R.P.C., 2005. *Soil erosion and conservation*. Blackwell Publishing. 299p.
- Nguyen, T.T., Indraratna, B., 2020. The energy transformation of internal erosion based on fluid-particle coupling. *Comput Geotech*, 121, 103475. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2020.103475>
- Oliveira, T.S., Costa, L.M., Schaefer, C.E., 2005. Water-dispersible clay after wetting and drying cycles in four Brazilian Oxisols. *Soil Till Res*, 83, 260-269. doi:10.1016/j.still.2004.08.008
- Quan, X., He, j., Cai, Q., Sun, L., Li, X., Wang, S., 2020. Soil erosion and deposition characteristics of slope surfaces for two loess soils using indoor simulated rainfall experimente. *Soil Till Res*, 204, 104714. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104714>

- Raij, B. van., Quaggio, J.A., Cantaralla, H., 1987. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas: Campinas Fundação Cargill. 170p.
- Roberts, W.M., George, T.S., Stutter, M.I., Louro, A., Ali, M., Haygarth, P.M., 2019. Phosphorus leaching from riparian soils with differing management histories under three grass species. *J Environ Qual*, <https://doi.org/10.1002/jeq2.20037>
- Santos, D.S., Sparovek, G., 2011. Retenção de sedimentos removidos de área de lavoura pela mata ciliar, em Goiatuba (GO). *R Bras Ci Solo*, 35, 1811-1818. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000500035>
- Santos, R.D., Lemos, R.C., Santos, H.G., Ker, J.C., 2013. Anjos LH, Shimizu SH. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 6a ed rev ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Shi, P., Arter, C., Liu, X., Keller, M., Schulin, L., 2017. Soil aggregate stability and size-selective sediment transport with surface runoff as affected by organic residue amendment. *Sci Total Environ*, 607/608, 95-102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.008>
- Shigaki, F., Sharpley, A., Prochnow, L.I., 2006. Animal-based agriculture, phosphorus management and water quality in Brazil: options for the future. *Sci Agric*, 63 (2), 194-209. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162006000200013>
- Slattery, M.C., Burt, T., 1997. Particle size characteristics of suspended sediment in Hillslope runoff and stream flow. *Earth Surf Proc Land*, 22, 705-719. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199708\)22:8<705::AID-ESP739>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199708)22:8<705::AID-ESP739>3.0.CO;2-6)
- Sorensen, P., Rubæk, G.H., 2012. Leaching of nitrate and phosphorus after autumn and spring application of separated solid animal manures to winter wheat. *Soil Use Manage*, 28, 1-11. doi: 10.1111/j.1475-2743.2011.00382.x
- Sowinski, P., 2016. Effect of slope position on soil particle-size distribution in young glacial landscape (Lyna river valley, NE Poland). *Soil Sci*, 67, 140-150. <https://doi.org/10.1515/ssa-2016-0017>
- Tawornpruek, S., Kheoruenromme, I., Suddhiprakarn, A., Gilkes, R.J., 2005. Microstructure and water retention of Oxisols in Thailand. *Aust*, 43, 973-986. <https://doi.org/10.1071/SR05039>
- Walling, D.E., Owens, P.N., Waterfall, B.D., Leeks, G.J.L., Wass, P.D., 2000. The particle size characteristics of fluvial suspended sediment in the Humber and Tweed catchments, UK. *Sci Total Environ*, 251/252, 205-202. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00384-3](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00384-3)
- Young, R.A 1980. Characteristics of eroded sediment. *Trans ASAE* 23:1139–1142.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo foi incitado pela nova legislação vigente sobre o Código Florestal Brasileiro (Lei 12651 de 2012) com relação a largura mínima destinado às áreas de preservação permanente. O seu abrandamento em propor larguras fixas de mata ciliar determinadas com base no tamanho do curso d'água e no tamanho das propriedades fez aumentar as discussões a respeito da efetividade destas medidas para a manutenção das funções ecológicas e ecossistêmicas das matas ciliares.

Com base em análises exploratórias nas áreas observou-se a presença de feições erosivas já estabelecidas em uma das áreas, por esta razão realizou-se o monitoramento do processo erosivo quanto ao acúmulo de sedimentos e a perda de solo por erosão em áreas com texturas contrastantes.

Observou-se uma grande variação do nível do solo quanto ao acúmulo de sedimentos e erosão, sobretudo na USM onde foi verificado a presença de voçorocas efêmeras. A deposição de sedimentos ocorreu, principalmente, nos meses com maior índice de precipitação e chuvas extremas. Do mesmo modo a velocidade de sedimentação na USM foi mais elevada no período chuvoso. A presença de voçorocas e dos sulcos erosivos ocasionou a formação de caminhos preferencias da água agravando ainda mais a erosão no local.

Na USJ não foi observado erosão aparente, entretanto houve alteração do nível do solo constatado pela medição dos pinos, o que nos leva a crer que o processo erosivo nesta área ocorre de forma laminar, uniforme e de baixa intensidade. Já na USM a presença de sedimentos só foi verificado nos perfis localizados no interior da mata ciliar apontando a ocorrência de erosão ao longo de toda a vertente com sucessiva deposição na área da mata localizada na parte mais baixa do terreno, confirmando a hipótese 1.

A caracterização da distribuição dos sedimentos apontou a ocorrência de diferentes ciclos de sedimentação na USM o que resultou em diferentes padrões de deposição laminar, de baixa energia e com estratificações uniformes. Houveram poucos padrões de deposições turbulentas por isso a segunda hipótese foi parcialmente aceita.

Não foi constatado aumento da retenção de sedimentos com o aumento da largura da mata, o que nos fez rejeitar a terceira hipótese. A deposição de sedimentos ocorreu por toda a área de avaliação da mata com 15 e 30 m do primeiro ao último pino localizado ao final da mata, principalmente nas localidades que continham voçorocas, voçorocas efêmeras e sulcos erosivos, indicando que o alcance do sedimento ultrapassa a largura da mata ciliar sobretudo nas áreas arenosas. Na área da USJ não foi detectado erosão visível, entretanto como essas áreas

também apresentaram variação do nível do solo, constatou-se a ocorrência de erosão laminar. Dessa forma, não houve diferenças entre as larguras estudadas (15 e 30 m).

Enfatiza-se a necessidade de um planejamento integrado que inclua as matas ciliares no gerenciamento das práticas conservacionistas voltadas para ações de controle do processo erosivo que ocorre na área agrícola à montante. Somente a presença desses cordões de vegetação não são suficientes para interceptar todo o sedimento erodido, o que acarreta em assoreamento, eutrofização, aumento da turbidez da água e contaminação dos recursos hídricos. As matas ciliares funcionam como barreiras/filtros para impedir o transporte de sedimentos até os cursos d'água, porém este não deve ser o único modo de controle do processo erosivo e, especificamente, da sedimentação.

Por fim considera-se aceita a quarta e última hipótese, uma vez que para a definição da largura adequada das mata ciliares deve-se levar em consideração outros fatores que vão além da largura do curso d'água e do tamanho da propriedade. Assim, devem ser consideradas no dimensionamento da sua largura, a eficácia na retenção de sedimentos, os processos erosivos que ocorrem na microbacia hidrográfica e o aporte de sedimentos no seu interior, uma vez que a vegetação ciliar apresenta diversas funções, entre elas a de proteger a superfície do solo e os cursos de água superficiais e subsuperficiais, e no presente estudo a mata ciliar não foi suficiente em interceptar todo o sedimento. Além disso, devem ser consideradas as características pluviométricas de cada região, a classe de solo de cada área e a sua suscetibilidade à erosão, o formato e a declividade do relevo, o tipo de uso do solo, somado a todos os critérios ecológicos e as características hidrológicas específicas da microbacia hidrográfica onde a mata ciliar esta localizada.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Tabela 1 - Descrição morfológica e classificação dos solos da Usina São João

Horizonte/Prof.(m)	Cor úmida (Munsell)	Estrutura (tipo, tamanho, grau) ¹	Classe Textural
T1 - LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico			
Ap (0,00-0,25)	10R 3/4	bs, peq, fra/mod	Argiloso
AB (0,25-0,54)	10R 3/4	bs, gra, fra/mod	Argiloso
BA (0,54-0,75)	10R 3/6	bs, mpeq, fra	Argiloso
Bw1 (0,75-1,4)	10R 3/6	gr, mpeq, for	Argiloso
Bw2 (1,4-2,0+)	10R 3/6	gr, mpeq, for	Argiloso
T2 - LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico			
Ap (0,00-0,25)	10R 3/3	bs, peq/méd, mod	Argiloso
AB (0,25-0,45)	10R 3/4	bs, peq, fra/mod	Argiloso
BA (0,45-0,70)	10R 3/4	bs, peq, fra	Argiloso
Bw (0,70-1,40+)	10R 3/4	gr, mpeq, fra	Argiloso
T3 - LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico			
Ap (0,00-0,30)	10R 3/3	gr, gra, mod	Argiloso
Bt1 (0,30-0,50)	10R 3/4	bs, gra, mod - ba, gra, mod	Muito argiloso
Bt2(0,50-0,85)	10R 3/4	bs, gra, fra	Muito argiloso
Bw(0,85-1,70+)	10R 3/4	bs, méd, fra	Muito argiloso
T4 - LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico argissólico			
A (0,00-0,25)	10R 3/3	gr, méd, mod	Argiloso
Bt1(0,25-0,55)	10R 3/4	bs, méd/gra, mod/for	Muito argiloso
Bt2(0,55-1,10)	10R 3/4	bs, gra, mod	Muito argiloso
Bw (1,10-2,00+)	10R 3/4	bs, gra, fra	Muito argiloso

⁽¹⁾ Tipo de estrutura: gs: grão simples; mç: maciça; gr: granular; bs: bloco subangular, ba: bloco angular. Tamanho da estrutura: mpeq: muito pequena; peq: pequena; méd: média; gra: grande. Grau da estrutura: fra: fraco, mod: moderado, for: forte.

Tabela 2 - Descrição morfológica e classificação dos solos da Usina São Manuel

Horizonte/Prof. (m)	Cor úmida (Munsell)	Estrutura (tipo, tamanho, grau) ¹	Classe Textural
T1 - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico latossólico			
Ap1 (0,00-0,10)	5YR 3/3	gr, méd, fra	Arenoso
Ap2 (0,10-0,17)	5YR 3/3	mç	Arenoso
CA (0,17-0,48)	5YR 4/4	mç	Arenoso
C1 (0,48-0,71)	5YR 4/6	gs	Arenoso
C2 (0,71-0,86)	5YR 4/4	gs	Arenoso
C3 (0,86-1,17)	5YR 4/6	mç - gs	Arenoso
C4 (1,17-1,80)	5YR 4/6	gs	Arenoso
T2 - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico latossólico			
Ap (0,00-0,20)	7,5YR 3/4	gr, méd, fra	Arenoso
CA (0,20-0,50)	5YR 3/4	mç - gs	Arenoso
C1 (0,50-0,95)	5YR 4/6	mç	Arenoso
C2 (0,95-1,20)	5YR 4/6	gs	Arenoso
C3 (1,20-1,80+)	5YR 4/6	gs	Arenoso
T3 - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico latossólico			
Ap (0,00-0,19)	5YR 3/3	gr, méd, fra	Arenoso
C1 (0,19-0,40)	7,5YR 4/6	gs	Arenoso
C2 (0,40-0,65)	5YR 4/6	gs	Arenoso
C3 (0,65-0,86)	7,5YR 3/4	gs	Arenoso
C4 (0,86-1,90+)	5YR 4/6	gs	Arenoso
T4 - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico latossólico			
C1 (0,00-0,19)	7,5YR 4/4	gs	Arenoso
C2 (0,19-0,22)	5YR 3/4	mç	Arenoso
C3 (0,22-0,46)	7,5YR 4/4	gs	Arenoso
C4 (0,46-0,49)	7,5YR 4/4	mç	Arenoso
C5 (0,49-0,65)	5YR 4/6	gs	Arenoso
2Ab (0,65-1,00)	5YR 3/4	mç	Arenoso
2ACb (1,00-1,15)	5YR 4/4	mç	Arenoso
2CAb (1,15-1,30)	5YR 4/4	mç	Arenoso
2Cb (1,30-1,79+)	5YR 4/6	mç	Arenoso
T5 - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico latossólico			
A (0,00-0,08)	2,5YR 2,5/4	gr, méd, mod - bs, méd, mod	Arenoso
C1 (0,08-0,16)	5YR 4/4	gs	Arenoso
C2 (0,16-0,35)	7,5YR 4/4	gs	Arenoso
C3 (0,35-0,49)	5YR 4/6	gs - bs, peq, fra	Arenoso
C4 (0,49-0,60)	5YR 4/6	mç	Arenoso
C5 (0,60-0,70)	5YR 4/4	mç	Arenoso
2Ab (0,70-0,75)	5YR 4/4	bs, peq/méd, mod	Arenoso
2C1b (0,75-0,95)	7,5YR 4/4	mç	Arenoso
2C2b (0,95- 1,20)	5YR 4/3	mç	Arenoso
2C3b (1,20- 1,40+)	5YR 4/6	gs	Arenoso
T6 - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico latossólico			
A (0,00-0,03)	2,5YR 2,5/4	gr, peq, mod	Arenoso

C1 (0,03-0,38)	7,5YR 4/6	gs	Arenoso
C2 (0,38-0,50)	5YR 4/6	bs, méd/gra, mod	Arenoso
2Ab (0,50-0,70)	5YR 2,5/2	gr, méd, mod - bs, méd, mod	Arenoso
2ACb (0,70-0,78)	5YR 2,5/2	bs, méd, mod	Arenoso
2C1b (0,78-0,96)	7,5YR 4/4	mç	Arenoso
2C2b (0,96- 1,25)	5YR 4/6	mç	Arenoso
2C3b (1,25- 1,40+)	5YR 4/6	gs	Arenoso

⁽¹⁾ Tipo de estrutura: gs: grão simples; mç: maciça; gr: granular; bs: bloco subangular, ba: bloco angular. Tamanho da estrutura: mpeq: muito pequena; peq: pequena; méd: média; gra: grande. Grau da estrutura: fra: fraco, mod: moderado, for: forte.

APÊNDICE B

Tabela 1- Área total de poros em porcentagem dos horizontes e camadas da trincheira 4 (T4) USM

T4									
Tipo de Poro ⁽¹⁾	C1	C2	C3	C4	C5	2Ab	2ACb	2CAb	2Cb
Comp_g	50.94	36.71	53.50	49.44	52.40	36.59	52.54	36.29	43.58
Comp_m	0.09	0.49	0.25	0.38	0.31	0.23	0.22	0.19	0.56
Comp_p	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Alon_g	0.22	0.43	0.00	0.06	0.02	0.49	0.13	0.91	0.20
Alon_m	0.51	1.29	0.47	0.64	0.61	0.57	0.51	0.91	1.10
Alon_p	0.00	0.00	0.03	0.05	0.06	0.00	0.00	0.00	0.02
Arr_g	0.07	0.23	0.00	0.00	0.00	0.48	0.00	0.35	0.00
Arr_m	1.87	3.82	0.52	0.46	0.42	3.24	2.12	4.67	1.65
Arr_p	1.22	2.44	0.84	1.37	1.24	1.97	1.37	2.11	1.66
Total	54.93	45.40	55.61	52.41	55.06	43.57	56.89	45.44	48.77

⁽¹⁾ Tipo de poro: Comp_g: complexo grande; Comp_m: complexo médio; Comp_p: complexo pequeno; Alon_g: alongado grande; Alon_m: alongado médio; Alon_p: alongado pequeno; Arr_g: arredondado grande; Arr_m: arredondado médio; Arr_p: arredondado pequeno.

Tabela 2- Área total de poros em porcentagem dos horizontes e camadas da trincheira 5 (T5) USM

T5							
Tipo de Poro ⁽¹⁾	A	C1	C2	C3	C4	C5	2Ab
Comp_g	43.85	37.04	43.25	24.97	30.04	37.80	24.63
Comp_m	0.70	0.74	0.39	2.03	0.55	0.28	0.80
Comp_p	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Alon_g	0.08	0.13	0.12	0.06	0.64	0.48	0.43
Alon_m	1.01	1.07	0.84	2.63	1.47	1.01	2.06
Alon_p	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
Arr_g	0.00	0.06	0.02	0.00	0.25	0.23	0.09
Arr_m	2.05	3.02	2.04	3.21	5.20	4.17	5.53
Arr_p	2.10	2.46	1.53	3.66	2.95	2.24	3.46
Total	49.79	44.53	48.19	36.58	41.09	46.22	37.00

⁽¹⁾ Tipo de poro: Comp_g: complexo grande; Comp_m: complexo médio; Comp_p: complexo pequeno; Alon_g: alongado grande; Alon_m: alongado médio; Alon_p: alongado pequeno; Arr_g: arredondado grande; Arr_m: arredondado médio; Arr_p: arredondado pequeno.

Tabela 3- Área total de poros em porcentagem dos horizontes e camadas da trincheira 6 (T6) USM

Tipo de Poro ⁽¹⁾	T6			
	C1	C2	2Ab	2C1b
Comp_g	48.21	33.60	42.03	36.43
Comp_m	0.38	0.92	0.81	0.58
Comp_p	0.00	0.00	0.00	0.00
Alon_g	0.06	0.37	0.19	0.15
Alon_m	0.71	1.00	1.05	1.34
Alon_p	0.00	0.10	0.03	0.02
Arr_g	0.01	0.49	0.11	0.30
Arr_m	1.76	1.66	1.40	2.41
Arr_p	1.47	3.39	2.04	2.26
Total	52.61	41.53	47.66	43.49

⁽¹⁾ Tipo de poro: Comp_g: complexo grande; Comp_m: complexo médio; Comp_p: complexo pequeno; Alon_g: alongado grande; Alon_m: alongado médio; Alon_p: alongado pequeno; Arr_g: arredondado grande; Arr_m: arredondado médio; Arr_p: arredondado pequeno.