Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Análise da Variabilidade Espacial Horizontal e Vertical dos Atributos do Solo e sua Relevância para o Parque Natural Chico Mendes, SP

Vanessa Cezar Simonetti¹, Débora Zumkeller Sabonaro², Roberto Wagner Lourenço³, André Henrique Rosa⁴, Darllan Collins da Cunha e Silva⁵

¹ Doutoranda em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Professora Assistente na Universidade de Sorocaba, Rodovia Raposo Tavares, Km 92,5, CEP 18023-000, Sorocaba, São Paulo, vanessa.simonetti@unesp.br. ² Dra. Pesquisadora, Professora Colaboradora do Programa de Pós em Biotecnologia e Monitoramento Ambiental, Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba - Centro de Ciências e Tecnologias para a Sustentabilidade-CCTS, Rodovia João Leme dos Santos, SP-264, Km 110 - Itinga, CEP 18052-780, Sorocaba, São Paulo, dzsabonaro@hotmail.com. ³ Professor Dr. Adjunto, Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, Av. Três de Março, 51, Alto da Boa Vista, CEP 18087180, Sorocaba, São Paulo, roberto.lourenco@unesp.br. ⁴ Professor Dr. Adjunto, Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, Av. Três de Março, 51, Alto da Boa Vista, CEP 18087180, Sorocaba, São Paulo, ahrosa@unesp.br. ⁵ Professor Assistente Doutor, Departamento de Engenharia de Pesca, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus Experimental de Registro, Av. Nelson Brihi Badur, 430 - Vila Tupy, CEP 11900-000, Registro, São Paulo, darllan.collins@unesp.br (autor correspondente).

Artigo recebido em 21/08/2019 e aceito em 18/12/2019

RESUMO

A manutenção da qualidade ambiental depende de intrínsecas relações entre os compartimentos ambientais. Assim, a manutenção de espaços verdes preservados e um manejo adequado do solo pode contribuir com a qualidade de vida da população. Sendo assim, o estudo avaliou a heterogeneidade espacial horizontal e vertical dos atributos dos solos do Parque Natural Chico Mendes, sob a ótica da importância dos parques urbanos para manutenção da qualidade ambiental e conservação dos solos. Para tanto, foram analisadas três zonas do parque com distintas fitofisionomias, sendo denominadas zona de mata conservada (ZMC); zona de mata (ZM) e zona de eucalipto (ZE). As análises físico-químicas foram realizadas nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm, segundo as metodologias propostas pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e EMBRAPA. A espacialização dos dados foi realizada no *software* ArcGis 10.4.1 pelo método Inverso do Quadrado da Distância (IQD). Os resultados demonstraram a heterogeneidade espacial dos atributos químicos do solo nas diferentes fitofisionomias do parque, revelando que mesmo as áreas com pequenas extensões podem apresentar significativa diferenciação de atributos físico-químicos do solo, corroborando com a importância em se obter um manejo adequado do solo visando a manutenção da qualidade ambiental.

Palavras-chave: parques urbanos, manejo do solo, análise espacial, análise de componentes principais.

Horizontal and Vertical Spatial Variability Analysis of Soil Attributes and their Relevance to Natural Park Chico Mendes, SP, Brazil

ABSTRACT

Maintenance of environmental quality depends on intrinsic relationships between environmental compartments. Thus, the maintenance of preserved green spaces and proper soil management can contribute to quality of life of the population. Therefore, in this study was evaluated a spatial horizontal and vertical heterogeneity of the soil elements of the Natural Park Chico Mendes, from the perspective of the importance of urban parks for maintaining environmental quality and soil conservation. For this, three zones of the park with distinct phytophysiognomies were analysed, being conserved forest zone (ZMC); zone of forest (ZM) and zone of eucalyptus (ZE). The physicochemical analyses were extracted in depths 0-20 cm, 20-40 cm and 40-60 cm, according to the methodologies of the Agronomic Institute of Campinas (IAC) and EMBRAPA. The data spatialization was performed in the software ArcGis by the Inverse Distance Weighting (IDW) method. The results demonstrated the spatial heterogeneity of soil chemical attributes in different vegetation types of the park revealing that even areas with small extensions can show significant differentiation physico-chemical attributes, corroborating the importance of obtaining an appropriate soil management for the maintenance of environmental quality. Keywords: urban parks, soil management, spatial analysis, principal component analysis.

Introdução

A manutenção da qualidade ambiental depende de intrínsecas relações entre os compartimentos ambientais. Assim, a manutenção de espaços verdes preservados e um manejo adequado do solo pode contribuir com a qualidade de vida da população.

O solo é um compartimento ambiental que possui uma significativa relevância, pois é um recurso básico que serve de suporte para a vida no planeta, permitindo a produção agrícola, suporte à vegetação, recarga de água para ao lençol freático, estocagem de carbono, entre inúmeras outras funções. Por essa razão, é essencial estudos que avaliem o estado de conservação e saúde dos solos, uma vez que há uma constante demanda por alimentos e buscas por novas terras agricultáveis (Gennaro et al., 2015; Mekonnen et al., 2015; Meira et al., 2016; Bogunovic et al., 2017; Capoane et al., 2017; Souza e Galvani, 2017; Xiong et al., 2018; Rinot et al., 2019; Wang et al., 2019).

Segundo estudos realizados por Wall et al. (2015), um manejo adequado possibilita na manutenção de microrganismos que atuam nos processos de estabilização do solo, minimizando a propagação de poeiras que podem afetar a saúde da população.

No entanto, os solos, quando pobres em nutrientes, podem acarretar a diminuição da sua produção. Ainda, os prejuízos relacionados à degradação dos solos são diversos, e a perda de sua capacidade produtiva estão relacionadas à deterioração física, química e biológica, e esses processos influenciam na fertilidade dos solos e nas suas condições estruturais, podendo, ainda, desencadear processos erosivos (Silva et al., 2018; Simonetti et al., 2018; Xiong et al., 2018).

O desenvolvimento de pesquisas que avaliem a distribuição espacial dos atributos solo pode trazer inúmeros benefícios, uma vez os solos, mesmo em áreas relativamente pequenas, podem apresentar uma significativa heterogeneidade espacial. De acordo com Piedade et al. (2014), o conhecimento da distribuição espacial do solo, bem como os fatores que condicionantes que podem estar envolvidos nos processos de distribuição, possuem uma importância fundamental no tocante às pesquisas de recursos naturais, assim como na fomentação de estratégias de manejo do solo.

Estudos realizados por Liu et al. (2012) que avaliaram a distribuição de espécies florestais em gradientes do solo, constataram que existe uma grande variação interespecífica entre as espécies florestais, motivados pela disponibilidade de

nutrientes, aspectos do relevo, condições climáticas e exigências nutricionais das plantas. Somado a isso, outro fator importante nos estudos do solo consiste nas análises do perfil vertical, que também contribui na seleção de espécies vegetais no solo e na distribuição dos nutrientes (Dai et al., 2018).

Os atributos representativos dos solos concernentes ao seu estado de conservação são estudados diante diferentes óticas. Nesse sentido, Simonetti et al. (2018) avaliaram os atributos físico-hídricos do solo de uma importante Unidade de Conservação do município de Sorocaba utilizando geoprocessamento como ferramenta de auxílio na avaliação do solo do parque. Os autores constataram que os solos na UC possuíam uma erodibilidade média, e partir dos resultados espacializados forneceram importantes subsídios para ações de gestão e manejo do parque.

Estudos que retratem o estado de conservação dos solos são importantes em diversos aspectos. Embora a modalidade de parque urbano não esteja prevista no Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) (MMA, 2000), essas áreas possuem um importante papel para as cidades.

Nesse sentido, Silva et al. (2018) analisaram as áreas verdes urbanas do município de Salto de Pirapora (SP), e verificaram que as florestas urbanas são importantes no fornecimento de abrigo para a fauna, pois melhoram significativamente a qualidade do ambiente através de serviços ecossistêmicos inerentes à vegetação, conforto térmico, qualidade do ar, barreiras contra a poluição sonora, entre outros.

De acordo com Dai et al. (2018), os parques são promotores de bem-estar aos cidadãos por possuírem áreas verdes e espaços de recreação, além de servirem como ferramenta de educação ambiental.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar a heterogeneidade espacial horizontal e vertical dos atributos dos solos do Parque Natural Chico Mendes, sob à ótica da importância dos parques urbanos para manutenção da qualidade ambiental e conservação dos solos.

Material e métodos

Localização e Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo contemplou o Parque Natural Chico Mendes, localizado no município de Sorocaba, possuindo uma área de 15,17 ha, apresentando distintas fitofisionomias que são

compostas por pequenos fragmentos de mata, sendo diferenciados no presente estudo em três

zonas: zona de mata conservada (ZMC); zona de mata (ZM) e zona de eucalipto (ZE) (Figura 1).

Figura 1. Localização do Parque Natural Chico Mendes, Sorocaba-SP.

O clima dominante é do tipo "Cfa", sendo caracterizado como clima subtropical quente, e inverno não muito seco com precipitação pluviométrica variando entre 30 e 60 mm no mês mais seco. Sua faixa mais ao norte é de clima tipo "Cwa", com clima temperado chuvoso e quente cuja média pluviométrica é inferior a 30 mm no mês mais seco e temperatura média dos meses mais quentes sendo superior a 22°C, enquanto nos meses mais frios é inferior a 18°C. A precipitação média anual da região é de 1.400 mm (Simonetti et al., 2018).

As unidades pedológicas em que o parque está inserido são classificadas como Argissolos Vermelho-Amarelos, sendo Distróficos e Eutróficos ambos A moderado e relevo ondulado e forte ondulado (Sorocaba, 2011).

O parque é amplamente utilizado para lazer devido ao seu efeito paisagístico e por conter atrativos para a população, tais como lago, área de recreação e, também, um importante viveiro de

mudas de espécies nativas. Por estar situado a 2 km a leste do Rio Sorocaba, o parque exerce uma importante função ecológica, auxiliando na recarga do lençol freático, servindo como corredor ecológico para a fauna e favorecendo a manutenção da qualidade ambiental do município.

O Parque Natural Chico Mendes foi instituído como parque ecológico pela Lei nº 3.034, de 1989 (Sorocaba, 1989). No entanto, o parque também possui atributos que o enquadram na categoria de Unidade de Conservação de Uso Sustentável, tais como tamanho mínimo; área de interesse ambiental e cobertura mínima de área de interesse ambiental.

Seleção das zonas amostradas do Parque Natural Chico Mendes

As zonas do parque foram amostradas de acordo com as áreas que apresentavam maior relevância, sendo separadas em zonas distintas que

representam os diferentes usos e manejos do parque.

Para tanto, foram considerados na elaboração e seleção do plano de amostragem a distribuição, o número de pontos de amostragem, a profundidade, a quantidade de amostra necessária para traduzir as condições do solo e a extensão das áreas. Deste modo, a seleção dos pontos amostrais levou em consideração o histórico da área bem como o tipo de cobertura vegetal, sendo denominadas: Zona de Mata Conservada (ZMC), Zona de Mata (ZM) e Zona de Eucalipto (ZE).

Zona de Mata Conservada (ZMC)

A ZMC foi denominada de acordo com as espécies encontradas no fragmento amostrado sendo assim atribuída de acordo com relevância das espécies identificadas, tais como *Schinus terebinthifolius*; *Schinus molle*; *Inga edulis*; *Cecropia hololeuca*; *Centroludium tomentosum*; *Caesalpinia leiostachya*; *Caesalpinia leiostachya*; *Piptadenia gonoacantha*; *Eugenia Uniflora*; *Tibouchina granulosa e*; *Croton urucurana*, sendo espécies representativas do bioma Mata Atlântica (Figura 2).

Figura 2. Zona de Mata Conservada (ZMC).

Zona de Mata (ZM)

As zonas de mata foram assim denominadas por apresentarem espécies arbustivas e arbóreas, e devido às características de um estado inicial de recuperação, com pouca variabilidade de espécies e composição florística (Figura 3).

Figura 3. Zona de Mata (ZM).

Apesar do estado inicial, a área foi considerada relevante para estudo por possuir um importante papel na conservação do solo, como cobertura vegetal e abrigo para a fauna.

Zona de Eucalipto (ZE)

A zona de eucalipto foi selecionada para fins de representação dos diferentes aspectos do parque, sendo uma zona fortemente antropizada, e que pode expressar de forma significativa os impactos concernentes à pobreza de espécies vegetais e possíveis impactos no solo (Figura 4).

Figura 4. Zona de Eucalipto (ZE).

Métodos estatísticos e de amostragem

As amostras de solos do Parque Natural Chico Mendes foram coletadas nas três zonas selecionadas, sendo ZMC, ZM e ZE. Para tanto, foram considerados na elaboração do plano de amostragem do solo os fatores como distribuição dos pontos, número e profundidade de amostragem, quantidade de amostras e as técnicas de amostragem.

As análises químicas foram realizadas nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm, segundo as metodologias propostas pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) (Camargo et al., 2009). Para cada zona e profundidade foram coletadas 20 subamostras de solo, sendo homogeneizadas e enviadas ao laboratório certificado de Química Agrícola (S&F). Para diminuir possíveis interferências, as coletas foram repetidas nos meses de dezembro de 2017 e abril de 2018, sendo utilizadas as médias dos valores obtidos nas amostragens de solo.

As análises granulométricas foram mensuradas pelo método da pipeta (Camargo et al., 2009) pelo laboratório certificado, enquanto as amostras para análise de densidade e porosidade foram enviadas ao laboratório do Núcleo de Estudos Ambientais (NEAs), da Universidade de Sorocaba, sendo mensurados pelo método da EMBRAPA (2017).

Para correlacionar os dados obtidos com as zonas estudadas e a as respectivas profundidades foi realizada a análise multivariada por meio da Análise de Componentes Principais (ACP), que permite reduzir a dimensionalidade de atributos físico-químicos do solo. Para tanto, as análises foram realizadas nos *softwares* Excel e Past 3.21 (Hongyu et al., 2016).

Análise espacial do Parque Natural Chico Mendes

A análise da distribuição da espacial dos parâmetros químicos do solo foi realizada através do *software* ArcGis 10.4.1. A interpolação dos dados coletados in situ foi realizada por meio do interpolador Inverso do Quadrado da Distância

(IQD) que é um interpolador univariado de médias ponderadas pela distância conforme apresentado pela Equação (1).

$$xp = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} * xi \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} \right)} \quad (1)$$

Sendo:

Xp: atributo interpolado;

Xi: valor do atributo do i-ésimo ponto de amostragem;

di: distância euclidiana entre o i-ésimo ponto de vizinhança e o ponto amostrado;

n: número de amostras.

A escolha deste interpolador é devido aos bons resultados apresentados em estudos envolvendo a distribuição espacial de atributos do solo (Silva et al., 2008; Simonetti et al., 2018).

Resultados e discussão

Caracterização granulométrica do Parque Natural Chico Mendes

O conhecimento dos atributos físicos do solo relacionados à sua composição granulométrica apresenta suma importância, uma vez que essas propriedades influenciam no crescimento das raízes das plantas, assim como na capacidade de retenção de água (Silva et al., 2018). Assim, as propriedades granulométricas das zonas distintas do Parque Natural Chico Mendes são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Frações granulométricas das zonas do Parque Natural Chico Mendes. Os limites dos diâmetros de partículas e as respectivas frações são caracterizadas como argila (<0,002 mm); silte (0,002-0,02 mm); areia fina (0,02-0,2 mm); areia grossa (0,2-2,0 mm).

Zonas	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
ZMC	380	359	65	196
ZM	338	501	40	121
ZE	378	363	67	192

A partir dos resultados dos valores de cada fração do solo do parque, foi realizada a sua classificação textural (Figura 5).

Figura 5. Classificação textural segundo a EMBRAPA (2011). Os pontos em vermelho indicam a classificação do solo analisado para cada zona estudada do Parque Natural Chico Mendes.

De acordo com a Figura 5 foi verificada a variação textural das zonas analisadas, onde a ZMC e ZE obtiveram a mesma classificação, sendo ambas franco-arenosas, segundo a classificação EMBRAPA (2011), enquanto a ZM apresentou-se na classe areia-franca devido o percentual de areia (83,9%) e menor percentual de argila (12,1%) se comparada às zonas ZMC e ZE. Tais características interferem diretamente em algumas propriedades e reações químicas do solo (Raij, 2011).

Os solos de climas tropicais são heterogêneos em razão das condições climáticas, como altas temperaturas, relevos, geomorfologia, entre outros fatores, além das práticas de manejo adotadas (Dai et al., 2018).

As propriedades granulométricas podem influenciar, entre outras características, na erodibilidade dos solos em zonas desprovidas de vegetação. O estudo realizado por Silva (2008) avaliou o potencial natural de erosão laminar no município de Sorocaba, identificando que os solos do município possuem erodibilidade classificada como média-forte; enquanto Simonetti et al. (2018) encontrou valores médios de erodibilidade para o Parque Natural Municipal Corredores de Biodiversidade.

Com o intuito de verificar a possível heterogeneidade da área de estudo, foi realizada a distribuição espacial dos atributos químicos do solo em função do espaço e profundidade do Parque Natural Chico Mendes (Figuras 6, 7 e 8).

A partir da Figura 6 (A1), (A2) e (A3) foi possível verificar a distribuição espacial da matéria orgânica (M.O) ao longo do perfil do solo, sendo

possível observar que as distintas fitofisionomias influenciam na disposição da matéria orgânica no parque. Na camada 0-20 cm, o valor encontrado foi de 18,5 g/dm³ para a zona de mata conservada (ZMC), 11 g/dm³ para a zona de mata (ZM) e zona de eucalipto (ZE), enquanto na profundidade 20-40 cm, os valores obtidos variaram entre 9,5 g/dm³ na ZMC, 5,5 g/dm³ para a ZM e 8,5 g/dm³ para a ZE. Já na profundidade 40-60 cm, os valores obtidos variaram entre 7,5 g/dm³ na ZMC, com um valor de 4,0 g/dm³ na ZM e 7,0 g/dm³ na ZE. Portanto, foi possível observar um decréscimo nos valores de matéria orgânica ao longo do perfil. Esse resultado evidencia a importância da vegetação para a manutenção da matéria orgânica do solo do parque, corroborando com a necessidade de ações de manejo no parque, que deve priorizar o plantio de mudas de espécies nativas, objetivando garantir condições semelhantes à anterior das intervenções antrópicas, garantindo dessa forma a diversidade da região e melhores condições para a fauna local.

O pH apresentou alta acidez na ZM na profundidade 0-20 cm (4,7), enquanto a ZMC apresentou um pH de 5,2 (acidez média) e a ZE obteve 5,8 (acidez baixa). Na profundidade 20-40 cm os valores mais ácidos foram para as áreas ZM e ZE, sendo 4,15 e 4,5, respectivamente. Já na profundidade 40-60 cm, a ZMC apresentou o valor de pH mais ácido, com 4,05. Os resultados demonstraram que os valores de pH decresceram de forma mais acentuada na ZMC e ZE, mantendo-se mais estável na ZM.

Figura 6. Distribuição da MO, pH, Al e H+Al do solo em função do espaço e profundidade.

Esses resultados são influenciados pelas diferentes fitofisionomias presentes nas áreas analisadas, corroborando com a hipótese levantada neste estudo de que áreas relativamente pequenas podem apresentar uma significativa distinção espacial dos atributos físico-químicos do solo, sendo de extrema importância estudos que contemplem essas distribuições espaciais.

O H+Al apresentou valores mais elevados em função da profundidade em todas as zonas, sendo esperado esse resultado, pois as camadas mais profundas tendem a reter esses íons que são mais facilmente lixiviados nas camadas superiores.

A capacidade de troca de cátions (CTC) constitui um atributo do solo de fundamental importância, pois fornece informações sobre a

capacidade do solo em reter íons, e isso influencia na disponibilidade de nutrientes para as plantas, além de auxiliar na retenção de minerais que podem ser lixiviados (Raiji, 2011).

Na Figura 7 (A1), (A2) e (A3) foram ilustrados os respectivos valores de CTC obtidos no estudo.

Figura 7. Distribuição do CTC, SB, m% e V% do solo em função do espaço e profundidade.

Os valores de CTC foram superiores na ZE, que apresentou 95,5 mmolc/dm³, seguido pela ZMC (85,5 mmolc/dm³), sendo a ZM a zona que apresentou o valor mais baixo, com 45,5 mmolc/dm³.

O m% obteve valores mais elevados na profundidade 40-60 cm para todas as zonas estudadas, sugestivo de solos alumínicos, indicando uma potencial toxidez por alumínio uma vez que o m% é o atributo referente à proporção de Al³⁺ trocável contido na capacidade de troca efetiva.

Já na camada 0-20 cm, os valores obtidos variaram de 0% para a ZE e 15,5% para a ZM, enquanto na profundidade 20-40 cm, os valores mais elevados foram encontrados na ZM. Portanto, a distribuição espacial e vertical do alumínio trocável apresentou grande heterogeneidade.

O V% (D1) apresentou valores mais elevados na profundidade 0-20 cm para a ZMC (58%) e ZE (65%), sugestivo de solos eutróficos,

enquanto o solo da ZM revelou-se distrófico (24,5%).

Baixos valores de V% podem indicar que íons H⁺ Al³⁺ podem estar neutralizando os cátions Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺. Isso é corroborado na ZM pelos valores elevados de pH e baixa CTC. Ainda, a ZM apresentou a maior fração de areia das zonas analisadas (839 g/Kg) e menor valor de M.O, fatores que corroboram com o diagnóstico de baixa fertilidade dessa zona.

Nas profundidades 20-40 cm e 40-60 cm, os valores decresceram de forma significativa, apresentando uma saturação por bases muito baixa em todas as zonas analisadas, corroborando com a maior atividade dos processos químicos que acontecerem na camada arável do solo (Raij, 2011; Piedade et al., 2014).

Devido a importância dos cátions relacionados ao macronutrientes K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺, estes foram espacializados e apresentados na Figura 8.

Figura 8. Cátions trocáveis do solo do Parque Natural Chico Mendes.

Os valores de K foram mais elevados na profundidade 0-20 cm na ZMC (2,05 mmolc/dm³), classificados como valores médios (Raiji, 2011), enquanto a ZM e ZE obtiveram valores inferiores, sendo 1,4 e 1,5 mmolc/dm³, respectivamente, sendo considerados baixos. Em níveis mais profundos, os valores de K foram decrescentes em todas as zonas analisadas.

O Ca apresentou valores mais expressivos na ZE, sugestivo da intervenção realizada por calagem, sendo encontrados valores na camada 0-20 de 61 mmolc/dm³, com valores decrescentes nas camadas 20-40 cm, com 7,0 mmolc/dm³ e 6 mmolc/dm³, respectivamente.

A ZMC apresentou valores de 38 mmolc/dm³ na camada 0-20 cm, 6,5 mmolc/dm³ na 20-40 cm e 2,5 mmolc/dm³ na 40-60 cm, enquanto a ZM apresentou um valor de 7,0 mmolc/dm³ na camada 0-20 cm e 2,0 mmolc/dm³ nas camadas 20-40 cm e 40-60 cm.

Análise estatística multivariada

Os resultados das análises de componentes principais (ACP) dos atributos do solo analisados em diferentes profundidades foram expressos na Figura 9.

A análise de componentes principais explicou 79,3 % das correlações do estudo, sendo que a Componente 1 obteve 59,1%. Para as correlações também foram utilizados os micronutrientes, como Cu, Zn, Mn, Fe e B.

Foi possível verificar uma significativa distinção entre as zonas estudadas, assim como as profundidades, onde 0-20 cm da ZM, ZMC e ZE foram as que mais se distinguiram das demais analisadas no estudo.

Nesse sentido, nas correlações obtidas na profundidade 0-20 cm, o Mg obteve um coeficiente de correção igual a 0,97, assim como o V%. O K obteve um coeficiente igual a 0,93, enquanto a SB e CTC obtiveram um valor de 0,92. O B apresentou um valor de 0,77 e o Zn foi igual a 0,78. Já a M.O e o pH apresentaram um coeficiente igual a 0,72.

Figura 9. Análise de Componentes Principais (ACP) dos atributos do solo em diferentes profundidades.

Al = alumínio; B = boro; Cu = Cobre; CTC = capacidade de troca de cátions; Fe = ferro; pH = potencial hidrogeniônico; S-SO₄ = enxofre; P = fósforo; H + Al = hidrogênio + alumínio; M.O = matéria orgânica; Mg = magnésio; K = potássio; Mn = manganês; SB = soma de bases; V% = saturação por bases; m% = saturação por alumínio; Z = zinco.

As correlações fortemente negativas foram encontradas nas profundidades 20-40 da ZE, com m% apresentando um coeficiente de correlação igual a -0,93 e o Al igual a -0,87. Nesse sentido, quanto maior a profundidade, mais inversamente proporcionais são as correlações entre os atributos químicos relacionados à fertilidade do solo.

Estudos realizados por Jobbágy e Jackson (2001) apontaram uma significativa variabilidade dos atributos do solo em profundidade e obtiveram resultados contundentes em relação à seleção realizada pelas espécies vegetais em relação aos nutrientes essenciais. Os autores analisaram dez mil perfis de solo em diversas condições ambientais, e obtiveram um resultado global no

tocante à disponibilidade de nutrientes em um perfil vertical; nesse sentido, os autores constataram que os elementos mais facilmente ciclados pelas plantas são encontradas em maior quantidade no perfil superior do solo (0-20 cm). Ainda, os resultados demonstraram que a profundidade 0-20 cm é a camada que contém a

maior quantidade de nutrientes do solo, sendo considerada por diversos autores a camada fértil e, portanto, a camada que contém a maior efetividade nas trocas dinâmicas entre o solo-vegetação (Liu et al., 2012; Piedade et al., 2014; Silva et al., 2018). Por essa razão, a Figura 10 contempla os resultados da ACP nesta profundidade (0-20 cm).

Figura 10. Análise de Componentes Principais (ACP) na profundidade 0-20cm. DP = densidade de partículas; DA = densidade aparente; CTC = capacidade de troca de cátions; AF = areia fina; AG = areia grossa; Arg = argila; pH = potencial hidrogeniônico; S-SO₄ = enxofre; P = fósforo; H + Al = hidrogênio + alumínio; M.O = matéria orgânica; Mg = magnésio; K = potássio; Fe = ferro; Mn = manganês; SB = soma de bases; V% = saturação por bases; m% = saturação por alumínio.

A análise da Componente 1 explicou 69,7% dos resultados da correlação, enquanto a Componente 2 apresentou 30,3%, sendo que, juntas, as componentes explicaram 100% das correlações, resultado altamente efetivo no tocante aos dados utilizados na avaliação.

A ACP demonstrou uma expressiva distinção espacial entre as áreas estudadas, o que corroborou com os critérios de seleção das áreas objeto deste estudo, uma vez que foram priorizados os diferentes aspectos fitofisionômicos, como padrão de distribuição das espécies, relevância de espécies e densidade dos indivíduos arbóreos.

Estudos realizados por Setälä et al. (2016) avaliaram a influência de diferentes tipos de vegetação em solos de um parque urbano em três diferentes profundidades. Os autores verificaram que a vegetação influi significativamente nos atributos físico-químicos do solo, identificando que as árvores perenes, devido suas propriedades recalcitrantes e exsudatos radiculares, tendem a

provocar um aumento da acidez do solo e da matéria orgânica.

Os atributos relacionados à matéria orgânica (M.O), ferro (Fe) e potássio (K) se correlacionaram fortemente com a porosidade do solo. A matéria orgânica possui uma elevada contribuição nos processos de agregação das partículas do solo, melhorando significativamente sua fertilidade (Raij, 2011; Piedade et al. 2014; Wang et al., 2019). Ainda, foi possível verificar a maior correlação da M.O com a zona de mata conservada, corroborando com os estudos de Setälä et al. (2016).

Enquanto os atributos físicos relacionados às frações de silte e argila se correlacionaram fortemente com os atributos químicos Mg, CTC, P e V% e S-SO₄. As argilas e as partículas coloidais do solo possuem superfície carregada eletricamente, e, por essa razão, atraem os íons e as demais moléculas polarizadas, adsorvendo os cátions mais reativos. Esses processos foram

constatados em estudos de solos em diversas regiões (Bae e Ryu, 2015; Setälä et al., 2016; Dai et al., 2018).

A fração correspondente à areia fina (AF) se correlacionou com fortemente com o cobre (Cu), alumínio (Al) e saturação por alumínio (m%).

Os atributos físicos relacionados à densidade de partículas e densidade aparente possuem fortes correlações negativas com os elementos químicos, sugestivo de que a compactação do solo pode prejudicar o desenvolvimento de espécies arbóreas mais seletivas.

Estudos realizados por Prevedello et al. (2013) avaliaram a hidrofobicidade, que consiste na repelência do solo sob cultivo de *Pinus* e *Eucalyptus*, e inferiram que essas espécies produzem determinadas substâncias, como ceras, óleos aromáticos e resinas, que potencializam o secamento do solo, portanto, esses fatores podem contribuir significativamente no aumento dos valores de densidade do solo. Ainda, estudos relacionaram a matéria orgânica com valores de densidade do solo (Pelissari et al., 2013; Suzuki et al., 2014). Segundo os autores, o aumento da densidade do solo nas camadas mais profundas do solo está intimamente relacionado à diminuição da matéria orgânica ao longo do perfil do solo.

Segundo Dalchiavon et al. (2011), a variabilidade espacial da amostragem é essencial e, na maioria das vezes, não é considerada nos estudos. Portanto, considerar a heterogeneidade do parque foi fundamental para uma melhor acurácia dos resultados.

Foi possível verificar que as zonas do parque selecionadas para este estudo possuem características distintas em relação aos parâmetros físicos e químicos analisados, evidenciando a necessidade estudos pontuais mesmo em parques com áreas pouco expressivas como a deste estudo para fins de conservação.

Nesse sentido, as diferenças mais significativas encontradas entre as zonas analisadas foi em relação à ZM, regidas, principalmente, pelas características texturais com predominância da fração de areia (83,9%), fator que influencia nas reações do solo. Portanto, a referida zona apresentou o pH mais ácido, reagindo com os cátions de Al^{3+} , e influenciando na CTC, uma vez que as frações de argila dessa zona foram as menores, com 12%. Ainda, a ZM apresentou os menores valores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} , e maiores valores de Al^{3+} , se comparado às demais zonas, sendo a única zona com V% inferior a 50%, classificada como distrófica (Raij, 2011).

A ZMC apresentou os melhores valores de fertilidade, com valores mais elevados de M.O e de

K^{+} . Enquanto os resultados obtidos na ZE são sugestivo de ações pretéritas de manejo em razão da plantação de espécies de eucalipto, podendo ter havido a calagem do solo, visto que o pH médio encontrado foi de 5,8, resultando, assim, em uma CTC mais efetiva, com maior retenção de cátions Ca^{2+} e soma de bases, ausência de Al^{3+} e m% igual a zero.

Todavia, diante dos fatores apresentados, o parque apresenta uma elevada relevância ecológica, cumprindo funções essenciais ao que tange a qualidade ambiental do município, servindo de abrigo à fauna e contemplando espécies relevantes da Mata Atlântica.

Conclusões

Os estudos que contemplam as áreas verdes das cidades, como parques municipais, são de grande relevância para a gestão pública, uma vez que fornecem subsídios para a fomentação de ações de preservação e conservação dessas áreas.

A metodologia utilizada forneceu informações relevantes sobre o estado de conservação dos solos do Parque Natural Chico Mendes, e a partir do diagnóstico das áreas mais degradadas será possível realizar ações de restauração de forma direcionada, priorizando as áreas mais antropizadas e estimulando a conservação e manejo adequado do parque.

Embora a área de estudo analisada não possua uma grande extensão, foi possível verificar a heterogeneidade espacial dos atributos químicos do solo sob as diferentes fitofisionomias avaliadas, fato que corrobora com a importância em se obter um manejo adequado do solo. Portanto, o presente estudo possui grande importância, pois evidencia a variabilidade espacial dos atributos do solo mesmo em uma área relativamente pequena sob diferentes aspectos, e ilustra a importância da conservação ambiental dessas áreas.

De acordo com a classificação granulométrica do solo e com os valores dos atributos físico-químicos do solo do parque, observou-se uma baixa fertilidade do solo advinda das características granulométricas e do histórico de manejo da área. Portanto, recomenda-se o plantio de espécies nativas e adensamento arbóreo, assim como a substituição gradual das espécies de *Eucalyptus* por indivíduos arbóreos relevantes para a fauna local.

O estudo aponta para a importância das áreas verdes estabelecidas em parques municipais, demonstrando que, apesar dos parques muitas vezes não apresentarem grandes extensões, contemplam riquezas florísticas e cumprem funções vitais ao que tange à conservação do solo.

Ainda, esses espaços oferecem abrigo à fauna, suporte para as espécies de vegetação nativa, além de atuar na melhoria da qualidade do ar e como um tampão do ruído emitido pelas atividades antrópicas das cidades, melhorando a qualidade de vida das pessoas também por suas funções recreativas.

Referências

- Bae, J., Ryu, Y., 2015. Land use and land cover changes explain spatial and temporal variations of the soil organic carbon stocks in a constructed urban park. *Landscape and Urban Planning* [online] 136. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.11.015>. Acesso: 20 mar. 2018.
- Bogunovic, I., Pereira, P., Brevik, E.C., 2017. Spatial distribution of soil chemical properties in an organic farm in Croatia. *Science of the total environment* [online] 584. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.062>. Acesso: 12 ago. 2018.
- Camargo, O.A., Moniz, A.C., Jorge, J.A., Valadares, J.M.A.S., 2009. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas. Fundação IAC.
- Capoane, V., Tiecher, T., Santos, D.R. 2017. Variação de atributos do solo ao longo de três topossequências no planalto do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 10. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v10.5.p1435-1454>. Acesso: 21 mar. 2018.
- Dalchiavon, F.C. et al., 2011. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. *Pesquisa Agropecuária Tropical* [online] 41. Disponível: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=253019709005>. Acesso: 15 ago. 2018.
- Dai, W., Li, Y., Fu, W., Jiang, P., Zhao, K., Li, Y., Penttinen, P., 2018. Spatial variability of soil nutrients in forest areas: A case study from subtropical China. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, [online] 181. Disponível: <https://doi.org/10.1002/jpln.201800134>. Acesso: 17 ago. 2018.
- EMBRAPA, 2011. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Rio de Janeiro: Manual de métodos de análises de solos.
- EMBRAPA, 2017. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Rio de Janeiro: Manual de métodos de análises de solos – Revisão ampliada e revisada.
- Gennaro, L.A., Souza, Z.M., Silva, L.F.S., Cooper, M., Campos, M.C.C., 2015. Estrutura do solo sob feijão irrigado e diferentes manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [online] 39. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbcs20140441>. Acesso: 12 abr. 2018.
- Hongyu, K., Sandanielo, V.L.M., Oliveira Junior, G.J. Análise de Componentes Principais: Resumo Teórico, Aplicação e Interpretação, 2016. *Engineering and Science* [online] 5. Disponível: <http://dx.doi.org/10.18607/ES201653398>. Acesso: 15 set. 2018.
- Jobbágy, E.G., Jackson, R.B., 2011. The distribution of soil nutrients with depth: global patterns and the imprint of plants. *Biogeochemistry* [online] 53. Disponível: <https://doi.org/10.1023/A:1010760720215>. Acesso: 23 ago. 2018.
- Liu, X. et al., 2012. Covariation in plant functional traits and soil fertility within two species-rich forests. *PLoS One* [online] 7. Disponível: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034767>. Acesso: 21 jun. 2018.
- Meira, R.T., Sabonaro, D.Z., Silva, D.C.C., 2016. Elaboração de Carta de Adequabilidade Ambiental de uma pequena propriedade rural no município de São Miguel Arcanjo, São Paulo, utilizando técnicas de geoprocessamento. *Engenharia Sanitária e Ambiental* [online] 21. Disponível: [10.1590/S1413-41520201600100133687](https://doi.org/10.1590/S1413-41520201600100133687). Acesso: 12 set. 2018.
- Mekonnen, M., Keesstra, S.D., Stroosnijder, L., Baartman, J.E., Maroulis, J., 2015. Evaluating sediment storage dams: structural off-site sediment trapping measures in northwest Ethiopia. *Land Degradation & Development* [online] 26. Disponível: <http://dx.doi.org/10.18172/cig.2643>. Acesso: 12 jun. 2018.
- MMA, 2000. SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação. Ministério do Meio Ambiente, SNUC, Brasília.
- Pelissari, A.L., Amorim, R.S.S., Jordani, S.A., Guimarães, P.P., 2013. Atributos físico-hídricos e estoque de carbono em neossolo quartzarênico sob plantio de *Eucalyptus urograndis*. *Nativa* [online] 1. Disponível: <http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/1332>. Acesso: 13 abr. 2018.
- Piedade, T.D.C., Melo, V.D.F., Souza, L.C.D.P., Dieckow, J., 2014. Three-dimensional interpolation of soil data: fertility and

- pedomorphological features in southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [online] 38. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000400005>. Acesso: 12 set. 2018.
- Prevedello, J., Vogelmann, E.S., Kaiser, D.R., Reinert, D.J., 2013. A funcionalidade do sistema poroso do solo em floresta de eucalipto sob Argissolo. *Scientia Forestalis* [online] 41. Disponível: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr100/cap13.pdf>. Acesso: 05 ago. 2018.
- Raij, B.V., 2011. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute.
- Rinot, O., Levy, G. J., Steinberger, Y., Svoray, T., Eshel, G., 2019. Soil health assessment: A critical review of current methodologies and a proposed new approach [online] 648. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.259>. Acesso: 18 fev. 2019.
- Setälä, H.M., Francini, G., Allen, J.A., Hui, N., Jumpponen, A., Kotze, D.J., 2016. Vegetation type and age drive changes in soil properties, nitrogen, and carbon sequestration in urban parks under cold climate. *Frontiers in Ecology and Evolution* [online] 4. Disponível: <https://doi.org/10.3389/fevo.2016.00093>. Acesso: 12 jun. 2018.
- Silva, A.M., 2008. Potencial natural de erosão no município de Sorocaba, São Paulo, Brasil. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 8, 5-14.
- Silva, D.M., Grandine, G., Simonetti, V.C., Silva, D.C.C., 2018. Análise espacial da cobertura vegetal no centro urbano do município de Salto de Pirapora (SP). *Caminhos de Geografia* [online] 19. Disponível: <https://doi.org/10.14393/RCG196824>. Acesso: 04 jan. 2019.
- Silva, D.C.C., Albuquerque Filho, J.L., Oliveira, R. A., Lourenço, R.W., 2018. Proposta metodológica para análise espacial de nutrientes do solo em bacias hidrográficas. *Sociedade & Natureza* [online] 30. Disponível: <https://doi.org/10.14393/SN-v30n3-2018-5>. Acesso: 25 abr. 2019.
- Simonetti, V.C., Silva, D.C.C., Oliveira, R.A., Sabonaro, D.Z., Rosa, A.H. Análise da suscetibilidade do solo a processos erosivos do Parque Natural Municipal Corredores de Biodiversidade (PNMCBIO) de Sorocaba (SP). *Raega-O Espaço Geográfico em Análise* [online] 44. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v44i0.48838>. Acesso: 10 dez. 2018.
- Sorocaba, 1989. Lei nº 3.034, de 1989. Sorocaba, Secretaria do Meio Ambiente.
- Sorocaba, 2011. Secretaria do Meio Ambiente. Plano Diretor Ambiental de Sorocaba.
- Suzuki, L.E.A.S., Lima, C.L.R., Reinert, D.J., Reichert, J.M., Pilon, C.N., 2014. Estrutura e armazenamento de água em um Argissolo sob pastagem cultivada, floresta nativa e povoamento de eucalipto no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [online] 38. Disponível: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180230053009>. Acesso: 13 set. 2018.
- Souza, V.; Galvani, E., 2017. Determinação do potencial natural à erosão laminar na Bacia do Rio Jacaré Guaçú (SP). *RA'EGA-O Espaço Geográfico em Análise* [online] 39. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v39i0.40661>. Acesso: 02 jan. 2018.
- Wall, D.H., Nielsen, U.N., Six, J., 2015. Soil biodiversity and human health. *Nature* [online] 528. Disponível: <https://www.nature.com/articles/nature15744>. Acesso: 18 ago. 2018.
- Wang, X., Jelinski, N.A., Toner, B., Yoo, K., 2019. Long-term agricultural management and erosion change soil organic matter chemistry and association with minerals. *Science of the Total Environment* [online] 648. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.110>. Acesso: 21 set. 2019.
- Xiong, M., Sun, R., Chen, L., 2018. Effects of soil conservation techniques on water erosion control: A global analysis. *Science of the Total Environment* [online] 645. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.124>. Acesso: 04 jan. 2019.