

INFLUÊNCIA DA MUDANÇA DO PH NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE SOLOS TROPICAIS: ESTUDO DE CASO EM ÁREA ADJACENTE AO LIXÃO DA ESTRUTURAL, BRASÍLIA – DF

INFLUENCE OF PH CHANGE ON THE CHEMICAL COMPOSITION OF TROPICAL SOILS: CASE STUDY IN THE AREA OF THE LIXÃO DA ESTRUTURAL, BRASÍLIA - DF

Florencia das Graças MOURA¹, José Eloi Guimarães CAMPOS², Ricardo Avelino COSTA²

¹Instituto Federal de Goiás. Rua 75, 46 - Centro, Goiânia – GO. E-mail: florenca.moura@ifg.edu.br

²Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte. Brasília, DF-Brasil. E-mail: eloi@unb.br; avelinoricardo3@gmail.com

Introdução
Localização e caracterização da área de estudo
Materiais e métodos
 Experimentação
 Análises químicas e mineralógicas
 Análises estatísticas
Resultados
 Análises mineralógicas
 Mudança do pH do solo após adição de pó de dolomito
 Comportamento individual dos elementos dos solos
 Análises multivariadas e testes estatísticos
Discussões
Conclusão
Referências

RESUMO - Os resíduos sólidos podem ser fonte de metais pesados que afetam os solos. A capacidade de adsorção de cátions e ânions pelos solos depende das características físicas do meio, das concentrações dos elementos em solução, das cargas do complexo de troca e do pH. O objetivo desse trabalho foi analisar o comportamento químico de um Latossolo localizado em uma área adjacente ao Lixão da Estrutural, Distrito Federal, a partir da elevação do pH com a adição de pó de dolomito. Foram realizadas análises químicas de três conjuntos de amostras do solo, uma amostragem previa a adição do pó de dolomito e duas posteriores (após três e 12 meses). Para interpretação dos dados, foram realizadas análises individuais dos teores médios dos elementos, análise de correspondência com remoção do efeito do arco (DCA), análise de componentes principais (PCA) e teste estatístico de Mann-Whitney. Tais análises evidenciaram que a adição do pó de dolomito gerou aumento do pH e alteração dos teores dos elementos constituintes do solo e que as variações dos teores foram significativas ao longo de todas as campanhas de amostragem, indicando que o pH é um fator importante no controle de contaminação dos solos.

Palavras-chave: Lixão da Estrutural. Latossolos. pH. Geoquímica de solos. Geoestatística.

ABSTRACT - Solid waste can serve as a source of heavy metals that affect soils. The adsorption capacity of cations and anions by soils depends on the soil physical characteristics, the concentrations of elements in solution, the charges of the exchange complex, and the soil pH. The objective of this work was to analyze the chemical behavior of a Latosol located in an area adjacent to the Estrutural Landfill, Federal District - Brazil, from the increase of pH with the addition of dolomite powder. Chemical analyses were performed on three sets of soil samples, one sampling prior to the addition of the dolomite powder and two subsequent samplings (after three and 12 months). For data interpretation, individual analyses of the average element contents, detrended correspondence analysis (DCA), principal component analysis (PCA) and Mann-Whitney statistical test were conducted. These analyses revealed that the addition of dolomite powder increased the soil pH and altered the levels of its constituent elements significantly across all sampling campaigns, indicating pH as a crucial factor in controlling soil contamination.

Keywords: "Lixão da estrutural". Latosols. Ph. Soil Geochemistry. Geostatistics.

INTRODUÇÃO

Desde os anos de 1960, e até o ano de 2018, o Lixão da Estrutural foi a principal área de deposição de resíduos sólidos urbanos do Distrito Federal (CODEPLAN, 2022). A localização, o formato de disposição dos resíduos e as atividades associadas ao tratamento do lixo se iniciaram de forma não planejada, sendo a proximidade com os principais centros produtores de lixo à época o único critério utilizado para a escolha do local. Com o crescimento

urbano e populacional da região, o lixão se consolidou como o principal destino dos resíduos sólidos domésticos durante as décadas seguintes (IBRAM,2012; SLU, 2015).

Aliada ao desenvolvimento do Distrito Federal (DF) e à crescente expansão do lixão, as invasões de terras e ocupações irregulares nas proximidades da área ocorreram devido à atração das pessoas pela atividade de reciclagem (Moura et al., 2016). Em janeiro de 2004, a região do

lixão e suas ocupações adjacentes foram oficializadas como uma região administrativa do Distrito Federal (DF), RA XXV – Estrutural /SCIA (GDF, 2004). Hoje, a região tem aproximadamente 27.000 habitantes, sendo a comercialização de materiais recicláveis uma forma de renda da população (CODEPLAN, 2022). Os lançamentos de resíduos sólidos no Lixão da Estrutural foram encerrados em 2018 e no local, atualmente, opera uma Unidade de Recebimento de Entulho (URE), que recebe resíduos gerados pelas atividades de construção civil, demais resíduos são destinados ao Aterro Sanitário de Brasília (GDF, 2016; GDF, 2018; CODEPLAN, 2022).

As questões sociais e ambientais associadas aos lixões, de maneira geral, são bastante delicadas, incluindo: condições insalubres de trabalho dos catadores (Hoefel, et al., 2013; Galon & Marziale, 2016), más condições de moradia dos habitantes nas imediações (Moura et

al., 2016; CODEPLAN, 2017), contaminação do solo (Moreira et al., 2010; Morita et al., 2021), contaminação atmosférica (Salami & Popoola, 2023) e contaminação das águas superficiais e subterrâneas (Del Rey et al., 2022; Moreira et al., 2010; Iravanian & Ravari, 2020; Morita et al., 2021).

A capacidade de adsorção de cátions e ânions pelos solos depende de suas características (como textura, estrutura, porosidade e mineralogia), das concentrações dos elementos em solução, das cargas do complexo de troca e do pH do meio (Kabata-Pentias & Adriano, 1995; Bronick & Lal, 2005; Wypych & Satyanarayana, 2004; Donagemma et al., 2003; Pinto et al., 2020; Mazucato et al., 2020). Desta forma, este trabalho tem o objetivo de analisar o comportamento químico do solo de uma área adjacente ao Lixão da Estrutural, a partir da elevação do pH nos horizontes superficiais e subsuperficiais.

LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Localizado na região centro-oeste do Distrito Federal, a 20 km do centro de Brasília, o Lixão da Estrutural se estende por aproximadamente 200 hectares (ha), tem uma elevação média de

1.120 metros e está limitado a nordeste pelo Parque Nacional de Brasília, a oeste pelo Córrego Cabeceira do Valo e a sul pela Cidade Estrutural (Figura 1a).

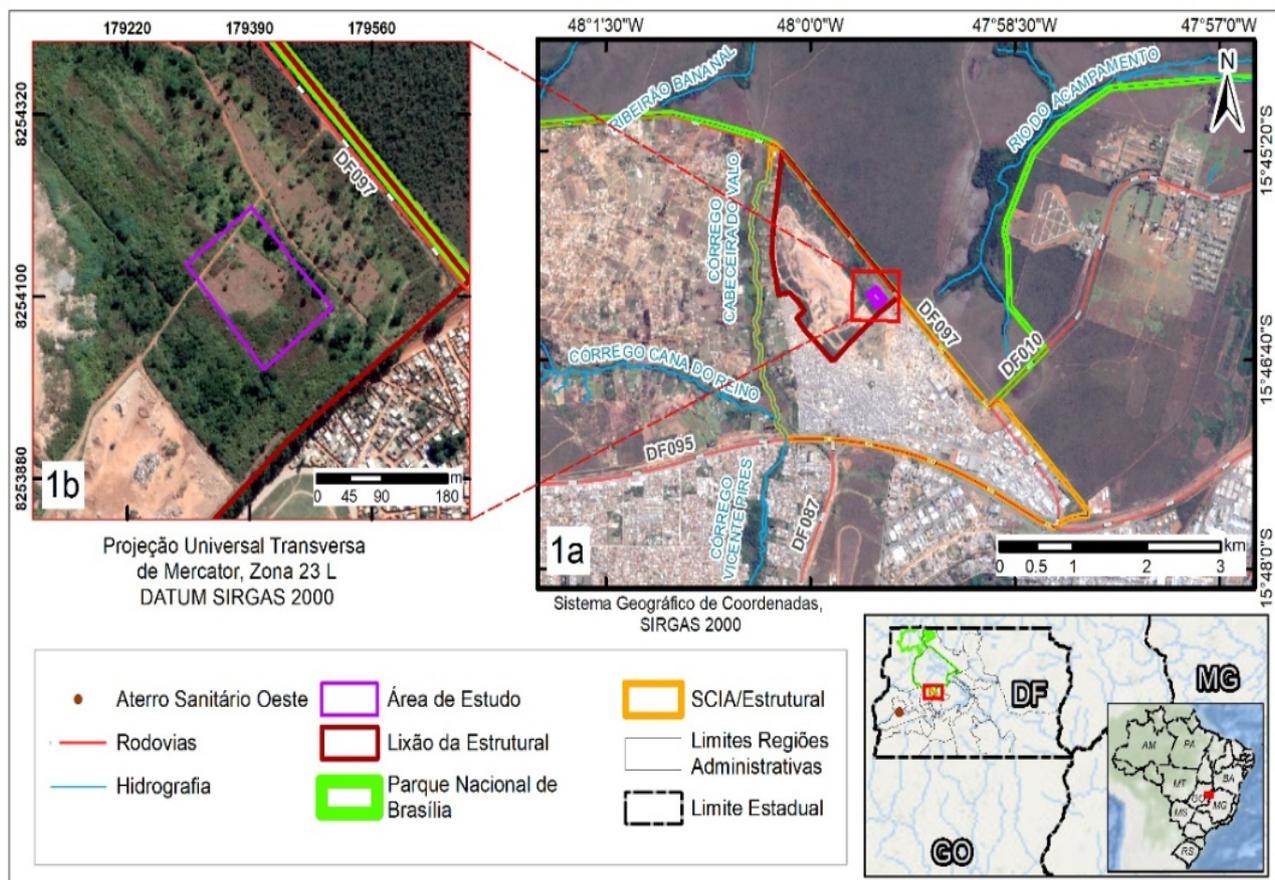


Figura 1 - Localização do Lixão da Estrutural, na porção centro-oeste do Distrito Federal e da área de estudo.

O experimento desenvolvido neste estudo foi realizado em uma área de aproximadamente 2 ha, localizada na porção sudeste do antigo lixão, próximo a DF-097 (Figura 1b). A geologia do Distrito Federal inclui quatro grandes conjuntos litoestratigráficos representados pelos grupos Paranoá e Canastra de idade Mesoproterozoica, e Bambuí e Araxá de idade Neoproterozoica (Campos et al., 2012). Na área de estudo ocorrem, sob os solos espessos, rochas atribuídas às formações Ribeirão do Torto e Ribeirão Piçarrão do Grupo Paranoá, respectivamente representadas por ardósias e por metassiltitos com lentes e camadas de quartzitos grossos (Campos et al., 2013).

A Região Administrativa da Estrutural situa-se majoritariamente sobre Latossolo Vermelho, com presença de Latossolo Vermelho-Amarelo em menor proporção e de Gleissolo Háptico em estreitas faixas nos vales dos córregos Cabeceira do Valo e do Acampamento (Reatto et al., 2004). Vale ressaltar que por se tratar de uma área há anos antropizada, os solos no lixão e imediações comumente incluem aterros, porções alóctones pedogenizadas ou apresentam a retirada de

horizontes superficiais.

O compartimento geomorfológico em que se localiza a área de estudo é denominado de Região de Dissecação Intermediária, na Depressão do Paranoá (Novaes Pinto, 1994).

O padrão de relevo local e regional é predominantemente plano a suave ondulado, com altitudes variando de 1050 a 1150 metros (CODEPLAN, 2017). O clima do Distrito Federal, segundo a classificação de Köppen, é tropical, em que são nítidas duas estações, a primavera/verão representando um período chuvoso e o outono/inverno que marca o período seco (CODEPLAN, 2017). A temperatura média é de 21,1°C, e a média anual de pluviosidade é de 1668 mm (CLIMATE-DATA.ORG). Em relação à hidrografia, a região está situada no interflúvio de duas sub-bacias hidrográficas (Córrego do Acampamento e Córrego Cabeceira do Valo).

A hidrogeologia local predomina com aquíferos freáticos porosos associados a latossolos, mas ocorrem também aquíferos fraturados diretamente relacionados à geologia local (Campos e Gonçalves, 2015).

MATERIAIS E MÉTODOS

Experimentação

O experimento desenvolvido foi dividido em três etapas: amostragem prévia do solo (1SO) com subsequente adição de pó de dolomito na área do experimento e duas amostragens posteriores a calagem (2SO e 3SO). Em cada ponto foram coletadas duas amostras em diferentes profundidades: Amostra A, de 0 a 20 cm e Amostra B, de 40 a 60 cm.

Após a primeira amostragem (04 de janeiro de 2020), o terreno foi arado e gradeado, para posterior adição do pó de dolomito (4,5t). Os teores obtidos na análise do dolomito utilizado na experimentação são os seguintes: K: 0,02 cmol/dm³; Ca: 2,6 cmol/dm³; Mg: 0,8 cmol/dm³; Na: 0,01 cmol/dm³; Al: zero; Fe: 45,1 mg/kg; Cu: 0,9 mg/kg; Zn: 0,1 mg/kg; Pb: 0,1 mg/kg; Cd: < 0,01 mg/kg; As: < 0,01 mg/kg e Hg: < 0,01 mg/kg.

Com o intuito de simular uma precipitação, houve aspersão de água no terreno, pois o aumento da água infiltrada no solo auxilia na incorporação do dolomito em profundidade e, conseqüentemente, gera o aumento do pH e otimização das reações químicas em subsuperfície.

A segunda campanha de amostragem aconteceu

três meses após a adição de pó de dolomito (11 de junho de 2020) e a terceira campanha ocorreu após um ano (15 de janeiro de 2021).

Análises químicas e mineralógicas

Foram realizadas análises mineralógicas em duas amostras da primeira campanha de amostragem (1SO), no Laboratório de Raios-X do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG/UnB).

O material foi moído, com o auxílio de gral e pistilo de porcelana e preparado de duas maneiras: amostra total - pó prensado sobre a lâmina e fração argila - seca ao ar e orientada sobre a lâmina. Após a preparação, as leituras das amostras foram realizadas no Difrátômetro de Raios-X, da marca Rigaku.

As análises químicas de solo, das três campanhas de amostragem, foram realizadas no laboratório Soloquímica, em Brasília-DF. Os procedimentos analíticos utilizados foram os mesmos para os três conjuntos de amostras, incluindo os métodos de extração e de leitura dos analitos, de modo a dar maior segurança na comparação dos resultados.

A preparação das amostras se deu com o

destorroamento de forma manual, secagem em estufa (40°C), separação das frações do solo por tamisação e homogeneização da fração menor que 2 mm (terra fina seca ao ar – TFSA). Em todas as etapas de amostragem foram analisados os seguintes metais: potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), alumínio (Al), ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), chumbo (Pb), cádmio (Cd), arsênio (As) e mercúrio (Ag).

A medição do pH em solução de KCl se deu depois do processo de extração de 10 cm³ da TFSA em 100 ml de solução de KCl. Após as leituras do pH, houve o procedimento de extração para análises subsequentes, utilizando duas metodologias distintas: solução de KCl e método de extração Mehlich I.

A extração pelo método Mehlich I desenvolveu-se com 10 cm³ de TFSA em 100 ml de solução extratora duplo-ácida (HCl 0,05M + H₂SO₄ 0,0125M). Posteriormente, essas soluções foram agitadas por 5 minutos em agitador horizontal circular e decantada durante uma noite, e por fim, despeitos os montículos de fundo no dia seguinte. As extrações por solução de KCl foram feitas para a análise de K, Ca, Mg, e Al e as extrações pelo método Mehlich I para Na, Fe, Cu, Zn, Pb, Cd, As e Hg. Após as extrações, as amostras foram levadas ao Espectrofotômetro de absorção atômica para a leitura dos teores. O pó de dolomito incorporado no solo também foi analisado, seguindo essa mesma metodologia.

Análises estatísticas

Para a interpretação dos resultados químicos foram utilizados métodos de análises estatísticas multivariadas (PCA - *Principal Component Analysis* e DCA - *Detrended Correspondence Analysis*) e para a comparação dos dados foi

realizado o teste de Mann-Whitney (MW). Para essas análises foram utilizados os *softwares* Past e Excel (suplemento *Real Statistics*).

A *Detrended Correspondence Analysis* (DCA), também chamada de análise de correspondência com remoção do efeito do arco, permite a visualização das relações mais importantes de um grande conjunto de variáveis entre si. Os resultados são apresentados sob forma de gráficos, onde se pode observar as relações das variáveis, através da distância entre os pontos desenhados (Gauch Jr, 1982). Já a *Principal Component Analysis* (PCA) reduz o número de variáveis a um pequeno número de índices (denominado, componente principal), preservando as relações existentes nos dados originais e assim permitindo a análise conjunta de uma grande quantidade de informações (Jolliffe, 2002).

O teste estatístico não paramétrico de Mann-Whitney (MW) foi utilizado para verificar se as análises químicas das três campanhas de amostragem apresentam mudanças estatisticamente significativas após a alteração do pH. Esse teste estatístico é aplicado em dados que não apresentam uma distribuição normal, sendo a comparação realizada pelos valores das medianas das amostras (Mann & Whitney, 1947; Wilcoxon, 1945).

O nível de significância utilizado no teste de MW foi de 0,05 ($\alpha=5\%$), desta forma, se o valor de “p” (*p-value*) dado a partir do teste de MW for menor ou igual ao valor de α (0,05) a diferença entre as medianas das populações analisadas são estatisticamente significativas, entretanto se o valor de “p” for maior que o valor de α indica que não há evidências suficientes para concluir que exista diferença significativa para as duas amostras comparadas.

RESULTADOS

Análises mineralógicas

A localização dos pontos amostrados, das três campanhas (1SO, 2SO e 3SO), estão representadas na figura 2. As amostras 1SO-01 (A e B) e a 1SO-13 (A e B) foram selecionadas para caracterização mineralógica do solo por Difração de Raios-X. Os difratogramas das quatro amostras (Figura 3) apresentaram os mesmos picos, portanto os mesmos minerais, sendo eles: quartzo, caulinita, gibbissita, goethita, hematita, anatásio e rutilo. O solo da área foi caracterizado de acordo com o Sistema Brasileiro de Caracterização de Solo como um Latossolo

Vermelho (Embrapa, 2013).

Mudança do PH do solo após adição de pó de dolomito

Os valores de pH dos solos, medido por solução em KCl, estão apresentados na tabela 1. Nas amostradas coletadas entre 0 e 20cm, percebe-se um aumento médio de 4,09% entre a primeira e a segunda campanha, e de 16,76% da segunda para a terceira. Esse aumento, é mais significativo nas amostras coletadas entre 40 e 60 cm, sendo observado um aumento de 5,30% da primeira para segunda campanha e de 19,94% da segunda para a terceira.

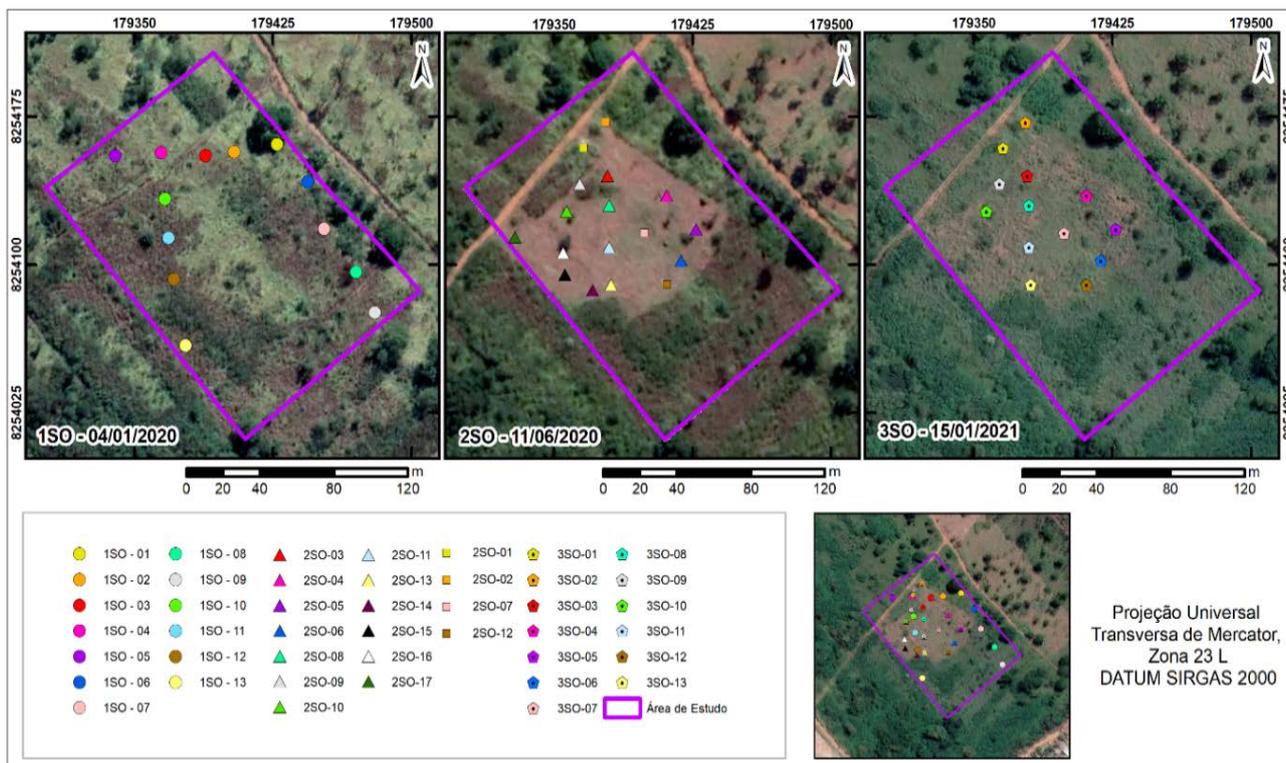


Figura 2 - Mapa de localização dos pontos de amostragem.

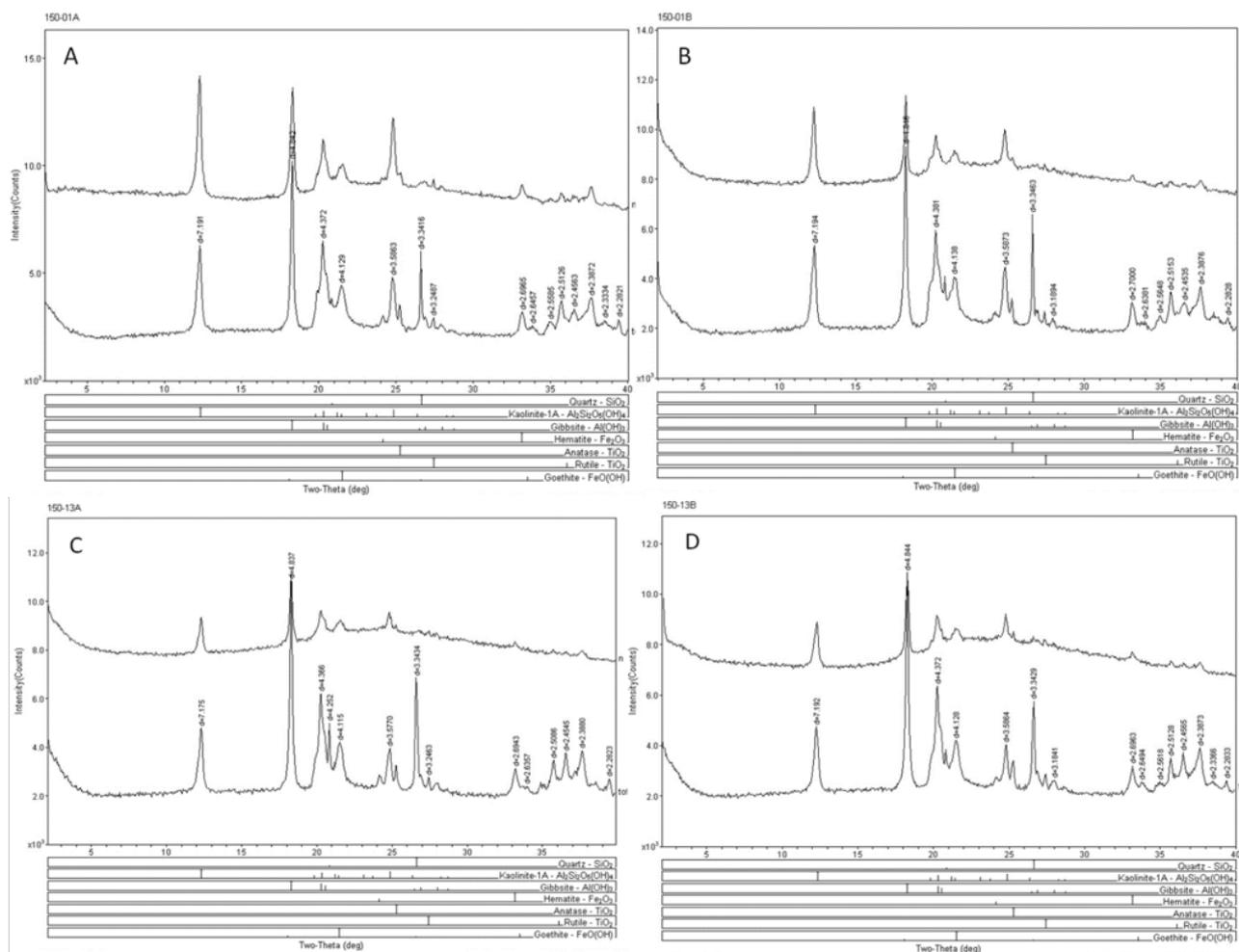


Figura 3 - Difratomogramas de Raios X das amostras 1SO-01A (Figura 3A), 1SO-01B (Figura 3B), 1SO-13A (Figura 3C) e 1SO-13B (Figura 3D). Legenda: tot = Total - pó prensado sobre a lâmina; e n = Normal - fração argila separada seca ao ar e orientada sobre a lâmina.

Tabela 1 - Valores de pH do solo, nas três campanhas de amostragem.

1 SO		2 SO		3 SO	
Identificação	pH	Identificação	pH	Identificação	pH
1SO - 1A	5,1	2SO - 1A	5,1	3SO - 1A	6,6
1SO - 2A	5,3	2SO - 2A	5,5	3SO - 2A	7,0
1SO - 3A	5,3	2SO - 3A	5,8	3SO - 3A	6,9
1SO - 4A	5,5	2SO - 4A	5,6	3SO - 4A	6,8
1SO - 5A	5,4	2SO - 5A	5,6	3SO - 5A	6,8
1SO - 6A	5,6	2SO - 6A	5,6	3SO - 6A	6,9
1SO - 7A	5,5	2SO - 7A	5,7	3SO - 7A	6,8
1SO - 8A	5,6	2SO - 8A	5,7	3SO - 8A	6,6
1SO - 9A	5,5	2SO - 9A	5,6	3SO - 9A	6,6
1SO - 10A	5,4	2SO - 10A	5,5	3SO - 10A	6,7
1SO - 11A	5,4	2SO - 11A	5,4	3SO - 11A	6,7
1SO - 12A	5,3	2SO - 12A	5,6	3SO - 12A	6,7
1SO - 13A	5,1	2SO - 13A	5,9	3SO - 13A	6,6
1SO - 1B	5,2	2SO - 14A	5,7	3SO - 1B	6,5
1SO - 2B	4,9	2SO - 15A	5,8	3SO - 2B	6,9
1SO - 3B	5,3	2SO - 16A	5,6	3SO - 3B	7,0
1SO - 4B	5,4	2SO - 17A	5,7	3SO - 4B	7,1
1SO - 5B	5,5	2SO - 1B	5,2	3SO - 5B	7,2
1SO - 6B	5,4	2SO - 2B	5,7	3SO - 6B	7,3
1SO - 7B	5,5	2SO - 3B	5,6	3SO - 7B	7,3
1SO - 8B	5,7	2SO - 4B	5,6	3SO - 8B	7,4
1SO - 9B	5,4	2SO - 5B	5,7	3SO - 9B	7,1
1SO - 10B	5,5	2SO - 6B	5,7	3SO - 10B	7,0
1SO - 11B	5,2	2SO - 7B	5,8	3SO - 11B	7,0
1SO - 12B	5,4	2SO - 8B	5,6	3SO - 12B	7,1
1SO - 13B	5,4	2SO - 9B	5,6	3SO - 13B	7,1
		2SO - 10B	5,7		
		2SO - 11B	5,9		
		2SO - 12B	5,8		
		2SO - 13B	5,8		
		2SO - 14B	5,6		
		2SO - 15B	5,6		
		2SO - 16B	5,7		
		2SO - 17B	5,7		

Comportamento individual dos elementos dos solos

Ao analisar os dados, de forma individualizada nas três campanhas de amostragem, foi possível observar que os teores médios dos elementos Mg, Ca, Na e Al apresentaram comportamentos semelhantes, evidenciando um aumento dos teores com a adição do pó de dolomito (Figura 4 e Tabela 2). O Mg e o Ca tiveram um aumento, respectivamente, de 0,39 para 0,68 cmol/dm³ e de 1,53 para 2,25 cmol/dm³ entre a primeira e a terceira campanha nas amostras coletadas entre 0-20cm, e de 0,07 para 0,73 cmol/dm³ e 0,77 para 2,72 cmol/dm³ entre 40-60cm (Figura 4b e 4c). O Al teve um aumento

médio de 32% no seu teor disponível entre a 1SO e a 3SO, variando de 0,025 para 0,017 cmolc/dm³ (Figura 4e).

O Na teve um aumento médio de 250%, com variação média dos teores de 0,01 para 0,025 cmolc/dm³ da primeira para a segunda campanha, chegando a teores médios de 0,28 cmolc/dm³ na terceira campanha de amostragem (Figura 4d). Este acréscimo na concentração disponível do Na está relacionado à fonte do material utilizado na calagem (Na pó de dolomito: 0,01 cmol/dm³). O K teve um aumento médio de 0,03 para 0,07 cmolc/dm³ da 1SO para a 2SO (Figura 4a), seguindo a mesma tendência do Na em relação a fonte (K pó de dolomito: 0,02 mg/kg).

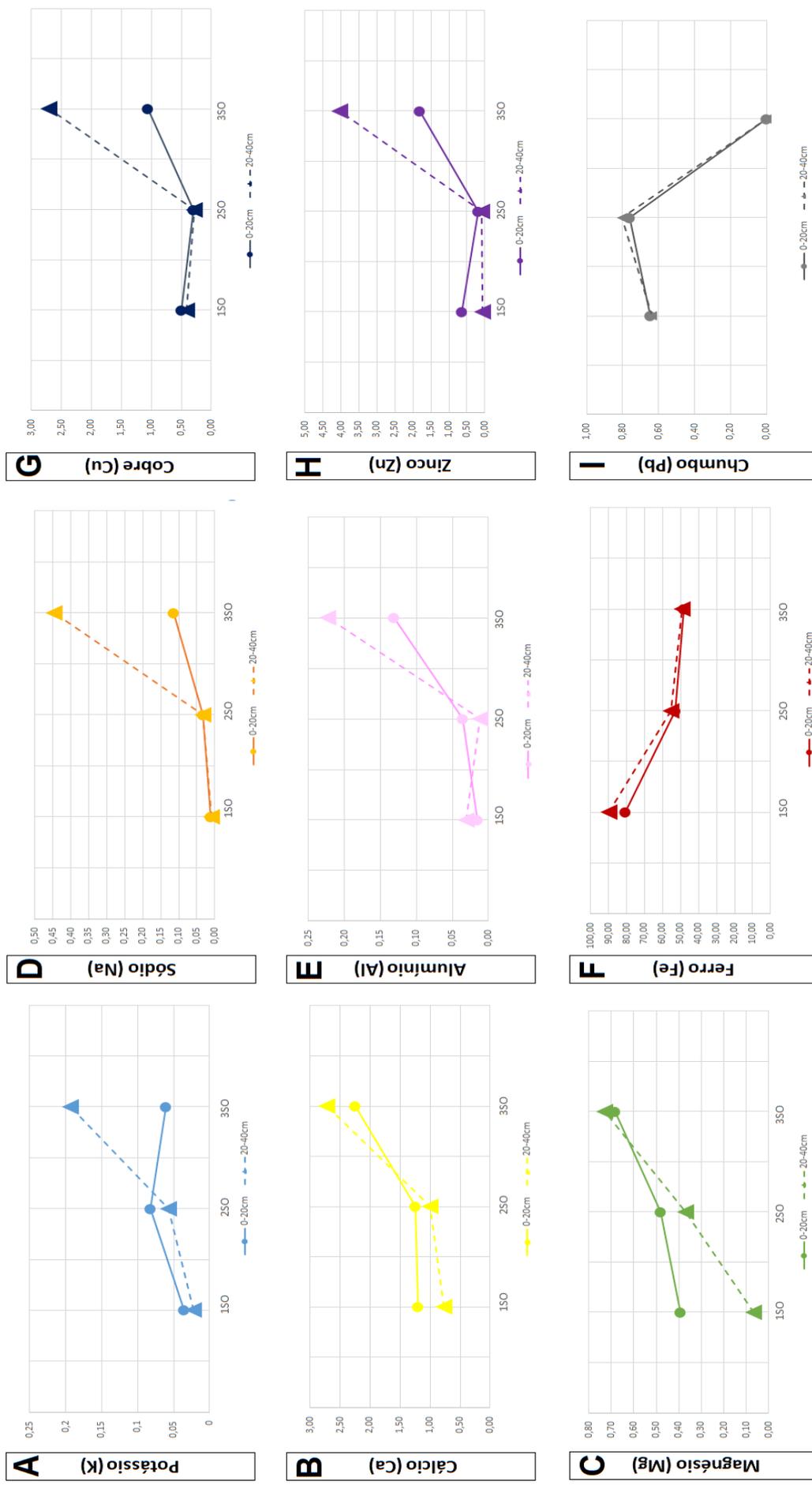


Figura 4 - Comportamento dos elementos (teor médio), de forma individualizada, nas três campanhas de amostragem.

Tabela 2 - Valores médios dos teores de cada elemento nas três campanhas de amostragem e nas duas profundidades analisadas.

Média	0-20cm			40-60 cm		
	1SO	2SO	3SO	1SO	2SO	3SO
K (cmol/dm³)	0,04	0,08	0,06	0,02	0,06	0,19
Ca (cmol/dm³)	1,53	1,25	2,25	0,77	1	2,72
Mg (cmol/dm³)	0,39	0,48	0,68	0,07	0,37	0,73
Na (cmol/dm³)	0,01	0,02	0,11	0,01	0,03	0,45
Al (cmol/dm³)	0,02	0,04	0,13	0,03	0,01	0,22
Fe (mg/kg)	80,66	52,79	28,75	89,66	55,61	68,97
Cu (mg/kg)	0,5	0,31	1,05	0,41	0,28	2,71
Zn (mg/kg)	0,65	0,18	1,81	0,06	0,08	4,03
Pb (mg/kg)	0,65	0,76	<0,01	0,64	0,81	<0,01

Entretanto, na terceira campanha de amostragem, os teores médios de K apresentaram comportamentos distintos nas duas profundidades analisadas, nas amostras coletadas entre 0-20cm houve uma redução (0,06 mg/kg) e nas coletadas entre 40-60cm um aumento (0,019 mg/kg).

O Zn teve uma queda média de 62,9% (0,35 para 0,13 mg/kg) no seu teor disponível da 1SO para a 2SO, mas apresentou valores médio de 2,92 mg/kg na 3SO (Figura 4h). De forma semelhante, o Cu apresentou decréscimo médio de 35,6% (de 0,45 para 0,29 mg/kg) no seu teor disponível da primeira para a segunda campanha de amostragem e um aumento na terceira campanha, com teor médio de 1,88 mg/kg (Figura 4g).

O Fe apresentou uma redução progressiva dos valores após a adição do pó de dolomito, tanto nas amostras coletadas entre 0-20cm quando entre 40-60cm (Figura 4f). A redução média do Fe foi de 57% (de 85,16 para 48,86 mg/kg). A ocorrência desse elemento é natural nos Latossolos (Figura 3), na forma de óxido (hematita) e hidróxido (goethita).

O Pb apresenta um comportamento seme-

lhante nas duas profundidades analisada (Figura 4i). Ao analisar os valores médios das amostras nas duas profundidades, os teores de Pb mostraram um aumento geral de 21,87% (de 0,64 para 0,78 mg/kg) da primeira para segunda campanha de amostragem, esse aumento na concentração é atribuído à fonte do material utilizado para a calagem do solo, pois o pó de dolomito aplicado para a elevação do pH apresentou 0,1 mg/kg de Pb.

Entretanto, na terceira campanha de amostragem os teores de Pb caíram consideravelmente, apresentando valores <0,01mg/kg em todas as amostras, indicando que o aumento do pH no solo provocou uma imobilização deste metal.

Análises multivariadas e testes estatísticos

A análise multivariada DCA (Figura 5) mostra que o eixo 1 apresentou autovalor de 0,591, enquanto o eixo 2 apresentou autovalor de 0,212. Os eixos 1 e 2 foram retidos para interpretação, como recomendado por Matthews (1998). A terceira campanha de amostragem (3SO) foi separada das demais em relação ao eixo 1 e o eixo 2 separou a 1SO da 2SO.

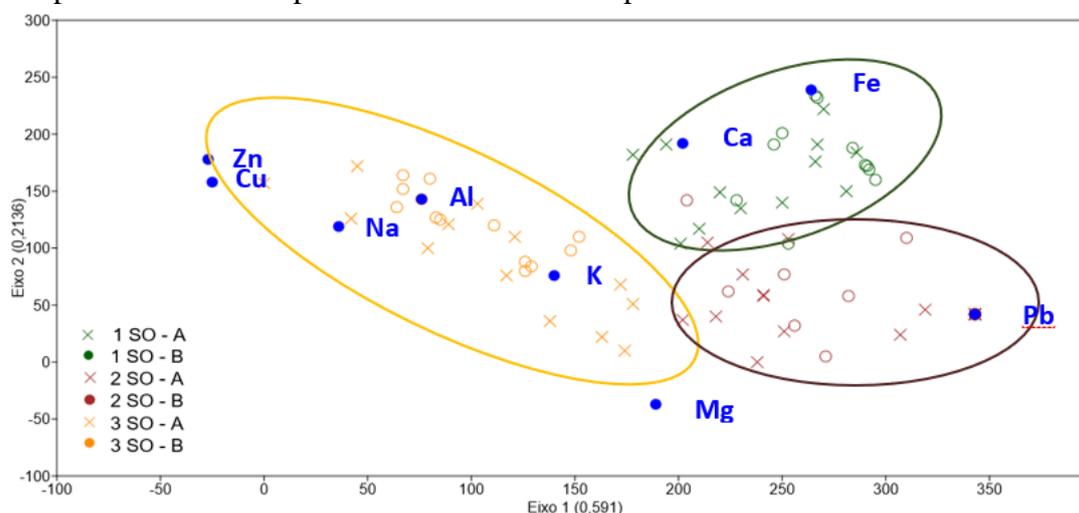


Figura 5 - Análise estatística multivariada DCA dos dados de solos das três campanhas e das duas profundidades amostradas.

A DCA indica que os teores de Zn, Cu, Na, Al e K são mais expressivos na última campanha, enquanto que o Fe apresenta teores mais elevados na primeira campanha e o Pb na segunda. Esse resultado vai ao encontro com o que foi observado nas análises individuais dos teores médios dos elementos (Figura 4 e Tabela 2). O Ca e o Mg ficaram em uma posição intermediária entre as duas primeiras campanhas e a última, esse resultado pode indicar que a incorporação, de forma mais significativa, desses elementos se deu a partir da adição do pó de dolomito (os teores de Ca e Mg no pó de dolomito são, respectivamente, 2,6 cmol/dm³ e 0,8 cmol/dm³).

A PCA (Figura 6), sumarizou todos os dados

químicos, onde somente os PC1 (*Principal Component 1*) e PC2 (*Principal Component 2*) apresentaram autovalores (PC1:4,64; PC2:1,82) maiores que aqueles do modelo de *broken stick* (PC1: 2,92 e PC2: 1,70), portanto, foram retidos para interpretação. O PC1 explicou 51,60% da variabilidade dos dados, enquanto o PC2 explicou 20,22%, ou seja, os dois primeiros componentes principais explicam cerca de 71,82% da variância original dos dados. A principal variável que contribuiu para a formação do PC1 foi o Pb com correlação negativa e para a formação do PC2 destacou-se o Ca e o Mg com correlações negativas e o Fe com correspondência positiva (Figura 7).

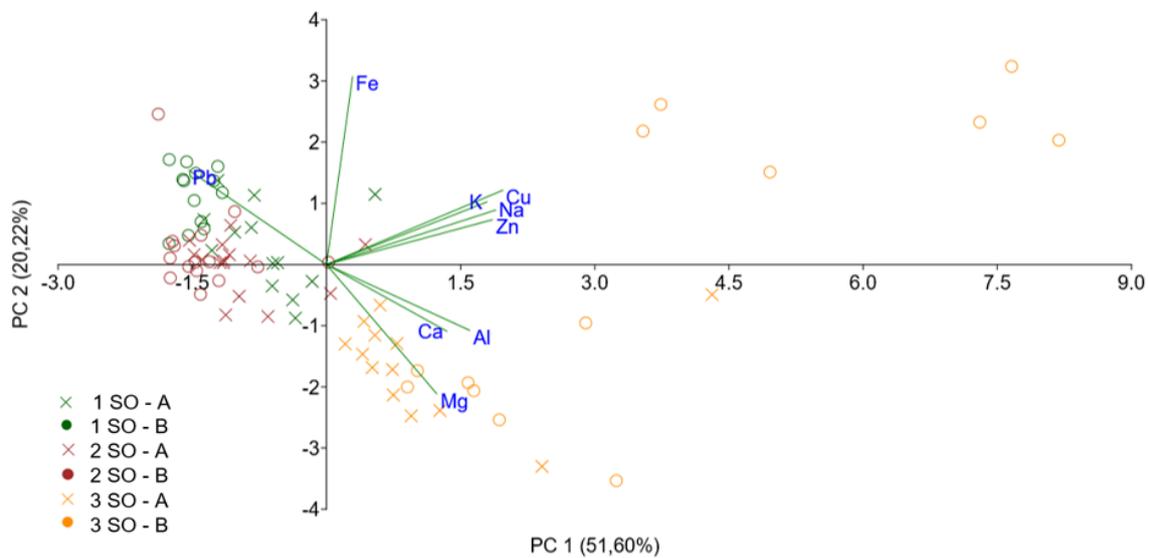


Figura 6 - Análise estatística multivariada PCA dos dados de solos das três campanhas e das duas profundidades amostradas.

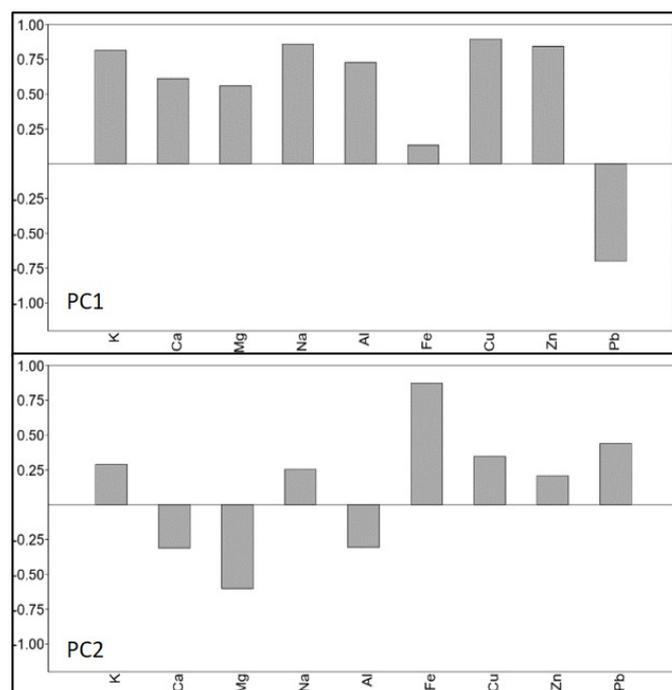


Figura 7 - Contribuição das variáveis dos dados químicos dos solos na PC1 e PC2 da PCA.

Foram realizadas análises PCAs por campanha de amostragem e apresentadas na Figura 8.

Na PCA da 1SO, os dois principais componentes representam 61,54% da variância dos dados, enquanto da 2SO representaram 59,48% e na 3SO 72,93%.

Na primeira campanha de amostragens os

elementos apresentam teores mais elevados nas amostras coletadas na profundidade 0-20cm.

Na segunda campanha os teores dos elementos analisados mostram redução tanto na profundidade de 0-20 cm, quanto na de 40-60 cm, evidenciando que na 2SO os teores dessas duas profundidades são próximos.

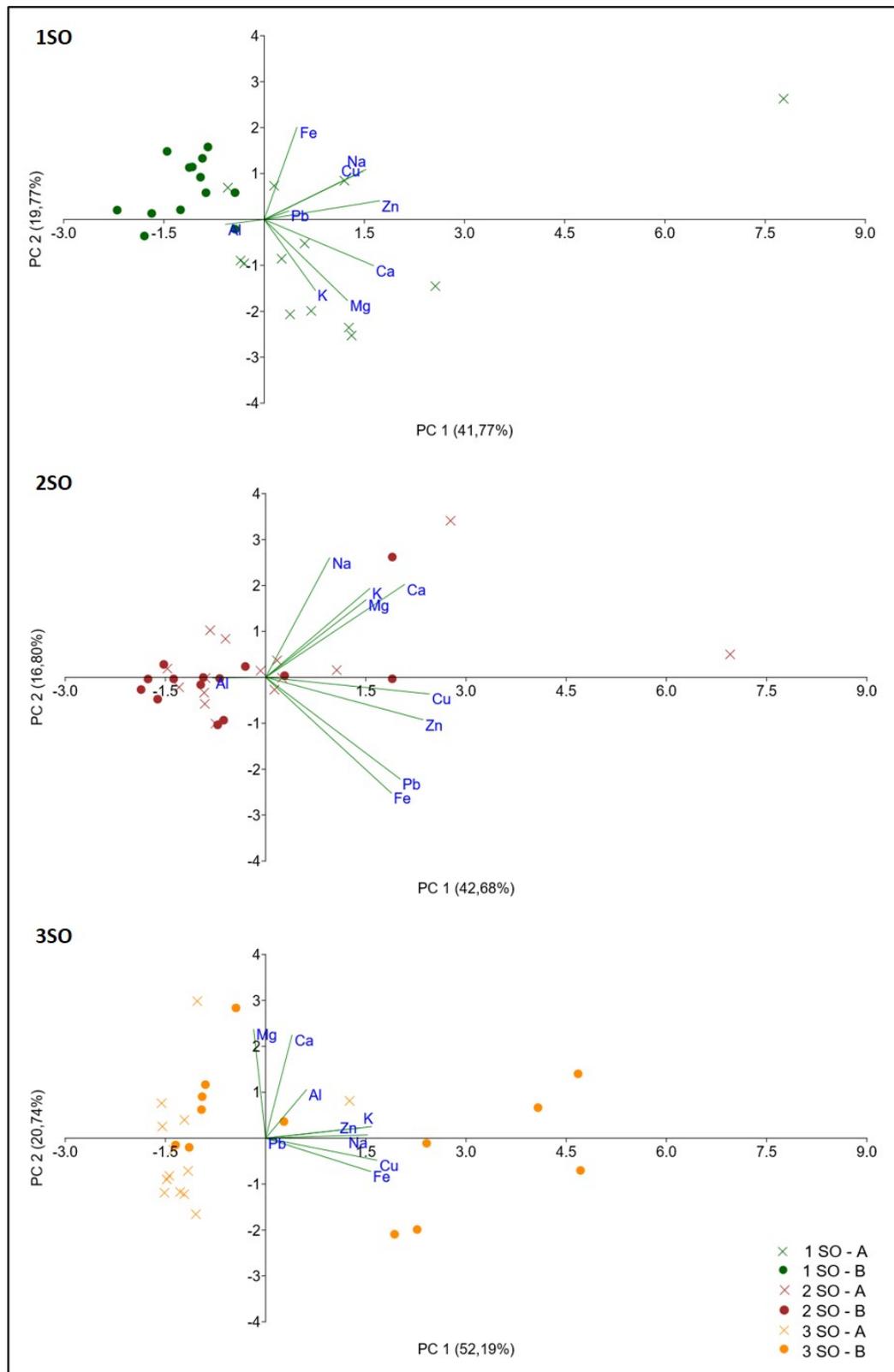


Figura 8 - Análises estatísticas multivariadas PCAs para as três campanhas de amostragem.

Ao analisar a PCA da 3SO, fica claro que há uma inversão da tendência ao comparar com a 1SO, onde os teores da maioria dos elementos analisados ficam maiores na profundidade de 40-60cm.

O teste de Mann-Whitney (MW) foi utilizado para comparar os teores dos elementos analisados em função da mudança de pH.

Esse teste indicou que para todos os elementos foram percebidas variações significativas entre as campanhas de amostragem (ou seja, com o aumento de pH). Uma vez que, ao comparar os teores dos elementos nas diferentes campanhas, os valores de “*p*” foram menores que 0,05 (Tabela 3).

Tabela 3 -Valores de *p* encontrados no Teste de Mann-Whitney

K			Na			Cu		
	Prof. 0-20m	Coleta 20-40m		Prof. 0-20m	Coleta 20-40m		Prof. 0-20m	Coleta 20-40m
1C - 2C	0,00339	0,0215	1C - 2C	0,007416	5,20E-03	1C - 2C	6,2E-06	1,0E-03
1C - 3C	0,0012	2,0E-06	1C - 3C	2,00E-07	4,00E-05	1-C - 3C	1,9E-05	3,7E-05
2C - 3C	0,02128	0,0017	2C - 3C	6,00E-06	1,00E-06	2C - 3C	3,3E-06	6,51E-06
Ca			Al			Zn		
	Prof. 0-20m	Coleta 20-40m		Prof. 0-20m	Coleta 20-40m		Prof. 0-20m	Coleta 20-40m
1C - 2C	0,0281	2,00E-06	1C - 2C	0,5088138	3,85E-01	1C - 2C	1,5E-02	8,0E-01
1C - 3C	0,0035	4,00E-07	1C - 3C	2,673E-05	1,29E-05	1C - 3C	1,0E-02	1,9E-07
2C - 3C	0,0445	0,0003	2C - 3C	0,0004949	2,00E-07	2C - 3C	1,1E-06	1,67E-08
Mg			Fe			Pb		
	Prof. 0-20m	Coleta 20-40m		Prof. 0-20m	Coleta 20-40m		Prof. 0-20m	Coleta 20-40m
1C - 2C	0,01812	2,00E-08	1C - 2C	0,0003	3,3E-04	1C - 2C	1,6E-06	3,24E-06
1C - 3C	0,0035	2,00E-07	1C - 3C	0,0086	6,1E-03	1C - 3C	1,9E-07	1,92E-07
2C - 3C	0,00945	0,0003	2C - 3C	0,0222	3,1E-02	2C - 3C	1,7E-08	3,34E-08

DISCUSSÕES

O comportamento dos elementos e minerais disponíveis no solo é influenciado pela forma que se encontram e pela sua dinâmica neste meio (Bronick & Lal, 2005; Campos, 2010). Analisando os minerais identificados no Latossolos da área de estudo, a partir da difração de raios-X, pode-se considerar que o quartzo, o anatásio e o rutilo são minerais resistentes (Sanaha, 2019), sendo originados do material de partida, metassedimentos do Grupo Paranoá (Campos et al., 2013). Já caulinita, gibbissita, hematita e goethita são minerais derivados dos processos pedogenéticos (Eberl, 1984; Wilson, 1999; Bockheim & Gennadiyev, 2000; Wilson, 2004).

A origem dos metais no solo pode ser de origem natural ou de fonte antropogênica, sendo a origem natural diretamente relacionada à composição mineralógica do material parental (Silva, 2019; Melo Junior et al., 2015). O Fe e o Al encontrados no solo da área de estudo são vinculados a rocha mãe, ardósias e metassiltitos (Campos et al., 2013), entretanto esses elementos ocorrem na forma de óxidos e hidróxidos ligados aos minerais neoformados (hematita, goethita, gibbissita). Já os metais como cobre, chumbo e zinco têm origem vinculada à disposição de resíduos sólidos uma vez que não ocorrem naturalmente nos minerais que compõem as rochas ou

o perfil de solo (Carmo et al., 2003; Valloso & Costa, 1999; Boaventura et al., 1995).

Dentre as propriedades que afetam a estabilização dos metais, Kabata-Pendias & Adriano (1995) afirmam que o pH é um dos fatores influenciadores, segundo os autores a elevação do pH causa o aumento da CTC pela desprotonação dos agrupamentos ácidos da matéria orgânica e da superfície dos óxidos, a formação de hidróxidos, carbonatos e fosfatos insolúveis com os metais traço e a complexação mais efetiva pela matéria orgânica.

O aumento do pH ocorreu nas três campanhas de amostragem e nas duas profundidades amostradas, sendo maior nas amostras de profundidades entre 40-60 cm, esse comportamento pode ser justificado pelo fato das camadas superficiais do solo passarem pelo processo de lixiviação de forma mais expressiva, de modo que, nas camadas mais profundas o pó de dolomito foi melhor preservado e incorporado pela percolação das águas de chuva (Van Raij et al., 1997; Staut & Kurihara, 1998; Santos, 2020).

Os baixos valores de Na, Ca, Mg e K (bases trocáveis do complexo sortivo) corroboram com as características dos solos com maior grau de intemperismo (Sobral et al., 2015) como o Latossolo Vermelho observado na área. O aumento

dos teores de Na ocorreram devido a adição do pó de dolomito e pode estar disponível no solo como íons simples, complexos em solução ou cátions de troca (Bronick & Lal, 2005).

Como no trabalho de Malavolta (1978), os teores de K nas duas primeiras campanhas de amostragem apresentaram relação direta com o aumento do pH, entretanto na terceira campanha os teores apresentaram nas amostras de 0-20cm uma redução dos valores, que pode ser explicada pela lixiviação desses elementos pela ação das chuvas (Rosolem et al., 2003; Werle et al., 2008), enquanto que nas amostras de 40-60cm ocorreu um aumento gerado devido ao contato mais efetivo com o pó de dolomito (Toscani & Campos, 2017). O aumento dos teores de Ca e Mg nas três campanhas de amostragem está vinculado a adição, incorporação e tempo de contato do solo com o pó de dolomito (Santos, 2020).

A redução dos teores de Fe, a partir do aumento do pH, foi descrita no trabalho de Malavolta (1979) e pode ser explicada pelo aumento da CTC e precipitação de cátions em solução na forma de hidróxidos insolúveis (Bronick & Lal, 2005). Em relação ao comportamento dos teores do Al, Soratto & Crusciol (2008) e Bayer & Amaral (2003) mostram que a calagem possibilita uma redução desse elemento apenas nas primeiras amostragens, porque o efeito é temporário e os ácidos orgânicos podem ser rapidamente transformados pelos microrganismos do meio e adsorvidos nos constituintes do solo.

Malavolta (1979) ainda indica que em solos com pH menor que 6,7 esse elemento tende a diminuir e à medida que o solo fica mais alcalino (pH>6,7) o Al volta a se elevar.

O comportamento do Pb foi semelhante nas duas profundidades, com aumento dos teores da primeira para segunda campanha, provocado pela adição do pó de dolomito que apresenta Pb em sua composição. Entretanto, na terceira campanha ocorreu uma redução dos teores de Pb, uma vez

que esse elemento apresenta afinidade em formar ligações estáveis no solo (Melo et al., 2008; Alloway, 1990; McBride, 1994). Malavolta (1979) evidenciou também comportamento semelhante aos valores encontrados de Zn e do Cu entre as campanhas 1SO e 2SO (redução dos teores com o aumento do pH), já o aumento dos valores desses elementos na 3SO pode estar relacionado a soluções contaminadas, geradas pelos resíduos sólidos, que são carregadas no período chuvoso até a área de estudo (Boaventura et al., 1995; Velloso & Costa, 1999).

As análises estatísticas multivariadas DCA e PCA foram ferramentas importantes na interpretação dos dados de forma conjunta. A partir dessas análises foi possível perceber que na 1SO e 2SO houve uma redução dos teores de acordo com o que é descrito por Malavolta (1979), com exceção do Ca e Mg, que teve seus teores aumentados devido a incorporação pó de dolomito no solo (Santos, 2020).

A separação das campanhas, observada na DCA, está relacionada a mudanças dos teores dos elementos analisados provocada pela variação do pH do solo e pelo período do ano em que cada conjunto de amostras foi coletado, indicando a influência do clima (Van Raij et al. 1997). Com a PCA e o teste de Mann-Whitney foi possível observar que os teores das três campanhas de amostragem e nas duas profundidades amostradas apresentaram tendências estatísticas distintas.

Vale destacar que a redução dos teores de alguns elementos químicos, não implica necessariamente na remoção ou inatividade permanente do metal (como observado para Cu, Zn e Al). A proximidade com fontes contaminantes e a mudança da paisagem, principalmente devido à retirada da vegetação, torna o solo mais suscetível a modificações, uma vez que a matéria orgânica tem alta capacidade de adsorção e complexação com diferentes elementos (Bronick & Lal, 2005).

CONCLUSÕES

Pelo histórico de uso e ocupação da área do antigo Lixão da Estrutural pode-se concluir que o passivo ambiental existe e é necessário o monitoramento contínuo dos solos, da qualidade do ar e das águas superficiais e subterrâneas na região, de modo a complementar a interpretação da dinâmica da contaminação. Com os resultados apresentados neste trabalho, pode-se concluir que o aumento do pH dos solos induz mudanças

no comportamento químico dos elementos constituintes desse meio. Entretanto, fatores como proximidade com fontes de contaminação, períodos chuvosos e processos na zona crítica também podem interferir na dinâmica dos elementos no solo.

As análises estatísticas multivariadas foram ferramentas importantes na análise dos dados de forma conjunta. A partir da DCA foi possível

separar as três campanhas de amostragem e com o teste de Mann-Whitney concluiu-se que os teores dos elementos encontrados nessas amostragens são estatisticamente distintos. A PCA indicou a mudança do comportamento dos elementos nas duas profundidades amostrais.

Por fim, vale pontuar que para garantir a permanência efetiva da estabilização dos metais, é necessário o controle e monitoramento do pH e assegurar que as fontes de contaminação não liberem mais metais a ponto de superar a capacidade de retenção do solo. É sugerido ao poder público a incorporação do pó de dolomito na área do antigo Lixão da Estrutural pelo menos uma vez ao ano, antes do período de chuvas,

principalmente nas proximidades do limite do Parque Nacional de Brasília e do Córrego Cabeceira do Valo, de modo a permitir maior estabilização dos metais encontrados nos solos até o total controle e remediação da contaminação gerada pelo acúmulo de lixo na área. A calagem é uma técnica acessível e de fácil aplicação, que pode ser utilizada em outras áreas degradadas para controle de contaminações. Estudos ambientais, como o aqui apresentado, são necessários, pois mesmo ocorrendo o encerramento da disposição dos resíduos sólidos em áreas de lixões, essas áreas normalmente apresentam danos ambientais provenientes de anos de acumulação inadequada de lixo.

REFERÊNCIAS

- ALLOWAY, B.J. The origins of heavy metals in soils. **Heavy metals in soils.**, p. 33-39, 1990.
- BAYER, C.; AMARAL, A.S. Amenização da acidez de um latossolo argiloso por extratos aquosos de plantas de cobertura de inverno. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 2, n. 2, p. 88-96, 2003.
- BOAVENTURA, G.R.; BISPO, R.S.; BRITO, V.E.; ARAÚJO, R.N. Geoquímica de solo e água no aterro sanitário (lixão) do Distrito Federal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, V, Niterói, 1995. **Anais...**Niterói: Sociedade Brasileira de Geoquímica, 1995.
- BOCKHEIM, J.G. & GENNADIYEV, A.N. The role of soil-forming processes in the definition of taxa in Soil Taxonomy and the World Soil Reference Base. **Geoderma**, v. 95, n. 1-2, p. 53-72, 2000
- BORBA, R. P.; CAMARGO, O.A.; BETTIOL, W.; COSTA, V. L. (2005). Variação do balanço de cargas superficiais ao longo do perfil do solo e sua influência na mobilidade de ânions (no₃, so₄, cl) na zona não saturada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 10., SIMPÓSIO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DO MERCOSUL, 2., 2005, Porto de Galinhas/PE. **Anais...** Porto de Galinhas: Sociedade Brasileira de Geoquímica, p. 1-4, 2005.
- BRONICK, C.J. & LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, n. 1-2, p. 3-22, 2005.
- CAMPOS, J.E.G., GONÇALVES, T.D. **Diretrizes para o desenvolvimento de recarga artificial de aquíferos no Distrito Federal**. Relatório de Consulta Técnica. Brasília-DF: Adasa, 2015.
- CAMPOS, J.E.G.; BOGOSSIAN, J.; CARVALHO, R.M. Sedimentology of the Psammo-pelitic-carbonate Unit, Paranoá Group, and SeteLagoas Formation, Bambuí Group: examples of mixed carbonate-siliciclastic sedimentation in the Proterozoic of the Brasília Fold Belt. **Brazilian Journal of Geology**, v. 42, n. 3, p. 513-522, 2012.
- CAMPOS, J.E.G.; DARDENNE, M.A.; FREITAS-SILVA, F.H.; MARTINS-FERREIRA, M.A.C. Geologia do Grupo Paranoá na porção externa da Faixa Brasília. **Brazilian Journal of Geology**, São Paulo, v. 3, n. 43, p. 461-476, 2013.
- CAMPOS, M.C.C. Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais Soil attributes and risk of leaching of heavy metals in tropical soils. **Ambiência**, v. 6, n. 3, p. 547-565, 2010.
- CARMO, M.S.; BOAVENTURA G.R.; ANGÉLICA R.S. Estudo Geoquímico de Sedimentos de Corrente da Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto (BHRD), Brasília/DF. **Geochimica Brasiliensis**, v. 17, n. 2, p. 106-20, 2003.
- CAVALCANTI, M.M.; BORGES, W.R.; ROCHA, M.P.; CUNHA, L.S.; SEIMETZ, E.X. Investigação Geofísica (Eletrorresistividade e GPR) nos Limites do Lixão da Estrutural e do Parque Nacional de Brasília-DF (Resultados Preliminares). In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, 12th, Brasília, 2011. Actas...Brasília: European Association of Geoscientists & Engineers, 2011.
- CLIMATE-DATA.ORG. **CLIMA BRASÍLIA: Temperaturas e Precipitações médias**. Disp.: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/distrito-federal/brasilia-852/>. Acesso em: 20 jun. 2020.
- CODEPLAN. **Atlas do Distrito Federal**. Brasília-DF. Secretaria de Educação e Cultural/CODEPLAN. 114 p., 2017.
- CODEPLAN. **Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílio, 2021**. Brasília/DF. Secretaria de Economia/CODEPLAN/GDF. 2022.
- COSTA, C.N. **Biodisponibilidade de metais pesados em solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2005. 126 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- DEL REY, G.O.; SANTOS, R.V.; CUNHA, L.S.; FERREIRA, G.S. Seasonal variations of geochemical parameters for a tropical landfill: Implications for landfill stabilization. **Applied geochemistry**, v. 121, p. 104686, 2020.
- DONAGEMMA, G.K.; RUIZ, H.A.; FONTES, M.P.F.; KER, J.C.; SCHAEFER, C.E.G.R. Dispersão de Latossolos em resposta à utilização de pré-tratamentos na análise textural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 765-772, 2003.
- EBERL, D.D. Clay mineral formation and transformation in rocks and soils. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences**, v. 311, n. 1517, p. 241-257, 1984.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos solos**. Org. Santos – 3 ed. Brasília-DF. 2013.
- GALON, T. & MARZIALE, M.H.P. Condições de trabalho e saúde de catadores de materiais recicláveis na América Latina: uma revisão de escopo. **Pereira BCJ, Goes FL. Catadores de materiais recicláveis: um encontro nacional. Rio de Janeiro: Ipea**, p. 169-99, 2016.
- GAUCH, JR. & HUGH, G. Noise reduction by eigenvector ordinations. **Ecology**, v. 63, n. 6, p. 1643-1649, 1982.
- GDF. **Lei nº 3.315 de janeiro de 2004**. Cria a Região Administrativa e as Subadministrações Regionais que especifica, e dá outras providências. 2004.
- GDF. **Decreto nº 37.130 de fevereiro de 2016**. Aprova o Plano de Intervenção para encerramento das atividades irregulares no Aterro Controlado do Jóquei. 2016.
- GDF. **Resolução nº 18 de agosto de 2018**. Estabelece diretrizes

- e procedimentos para a implantação, operação, manutenção, monitoramento e encerramento de aterros sanitários destinados à disposição final de rejeitos originários dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos do Distrito Federal. 2018.
- HOEFEL, M.D.G.; CARNEIRO, F.F.; SANTOS, L.M.P.; GUBERT, M.B.; AMATE, E.M.; SANTOS, W.D. Acidentes de trabalho e condições de vida de catadores de resíduos sólidos recicláveis no lixão do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 16, p. 774-785, 2013.
- IBRAM. **Planos de Manejo das Áreas de Proteção da Vila Estrutural - Produto 4 – Plano de Manejo ARIE da Vila Estrutural**. Greentec tecnologia ambiental. 2012.
- IRAVANIAN, A.; RAVARI, S.O. Types of contamination in landfills and effects on the environment: A review study. In: **IOP conference series: Earth and environmental science**. IOP Publishing, 2020.
- JOLLIFFE, I.T. **Principal component analysis**. 2 ed. New York: Springer-Verlag, 2002.
- KABATA-PENDIAS, A.; ADRIANO, D.C. Trace metals. **Soil amendments and environmental quality**, p. 139-167, 1995.
- MALAVOLTA, E. – **ABC da Adubação**. Editora Agronômica CERES Ltda. São Paulo (SP), 256 p. 1979.
- MANN, H.B. & WHITNEY, D.R. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. **The annals of mathematical statistics**, p. 50-60, 1947.
- MATTHEWS, W.J. **Patterns in freshwater fish ecology**. New York: Chapman & Hall, 1998.
- MAZUCATO, V.S.H.; SANTOS, V.B.; CAVALHERI, P.S.; MAGALHÃES FILHO, F.J.C. Comportamento de wetland construído de fluxo vertical com fundo parcialmente saturado na remoção de matéria orgânica nitrogenada e fósforo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 56506-56520, 2020.
- MCBRIDE M.B. **Environmental chemistry of soil**. Oxford University Press, Inc., 200. New York, NY. 406 p. 1994.
- MELO JÚNIOR, J.C.F.; AMORIM, M.W.; SEVERINO, A.L.; OLIVEIRA, T.M.N.; BARROS, V.G. Diversidade e estrutura comunitária da vegetação em regeneração natural em uma área de lixão desativado. **Acta Biológica Catarinense**, v. 2, n. 1, p. 32-47, 2015.
- MELO, É.E.C.D.; NASCIMENTO, C.W.A.D.; SANTOS, A.C.Q.; SILVA, A.S.D. Disponibilidade e fracionamento de Cd, Pb, Cu e Zn em função do pH e tempo de incubação com o solo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 776-784, 2008.
- MOREIRA, D.A.; MARTINEZ, M.A.; SOUZA, J.A. R.; MATOS, A.T.; REIS, C. REIS, E.L. Determinação das características de resíduo sólido urbano aterrado. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 7, n. 1, 2010.
- MORITA, A.K.; IBELLI-BIANCO, C.; ANACHE, J.A.; COUTINHO, J.V.; PELINSON, N.S.; NOBREGA, J.; ROSALEM, L.M.P.; LEITE, C.M.C.; NIVIADONSKI; MONASTELLA C.; WENDLAND, E. Pollution threat to water and soil quality by dumpsites and non-sanitary landfills in Brazil: A review. **Waste Management**, v. 131, p. 163-176, 2021.
- MOURA, G.R.; SERRANO, A.L.M.; GUARNIERI, P. Análise socioeconômica dos catadores de lixo no Distrito Federal. **Holos**, v. 3, p. 251-273, 2016.
- NOVAES PINTO, M.N. Caracterização geomorfológica do Distrito Federal. **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília. Editora UnB, v. 2, p. 285-320, 1994.
- PINTO, L.A.S.R.; BEUTLER, S.J.; ASSUNÇÃO, S.A.; ROSSI, C.Q.; GUARESCHI, R.F.; ZANDONÁ, S.R.; SANTOS, O.A.Q.; PEREIRA, G.P. Extração e quantificação das frações de fósforo orgânico no solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 34260-34278, 2020.
- REATTO, A.; Martins, E.S.; Farias, M.F.R.; Silva, A.V.; Carvalho Júnior, O.A. Mapa pedológico digital-SIG atualizado do Distrito Federal escala 1: 100.000 e uma síntese do texto explicativo. **Embrapa Cerrados**. 2004.
- ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 355-362, 2003.
- SALAMI, L. & POPOOLA, L.T. A comprehensive review of atmospheric air pollutants assessment around landfill sites. **Air, Soil and Water Research**, v. 16, p. 11786221221145379, 2023.
- SANAHA, S.C.F. **A quartzilização em perfis de intemperismo tropical**. 2019. xxi, 159 p., il. Dissertação (mestrado em Geotecnica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2019.
- SANTOS, R.A. **Avaliação da capacidade de troca de cátions (CTC) em pó de rocha e solo que recebeu aplicação**. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Ecologia de Agro ecossistemas, University of São Paulo, Piracicaba, 2020.
- SILVA, B.C.M. **Recuperação da área do antigo lixão da Estrutural - DF através da utilização de espécies arbóreas fito remediadoras e de leguminosas nativas do cerrado**. Brasília. 2019. 76 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal). Universidade de Brasília.
- SLU – Serviço de Limpeza Urbana. **Plano de intervenção do Lixão do Jóquei**. Governo de Brasília. Brasília/DF. 2015.
- SOBRAL, L.F; BARRETO, M.C.V; SILVA, A.J; ANJOS, J.L. Guia prático para interpretação de resultados de análise de solo. 13 p. **Embrapa Tabuleiros Costeiros**: Aracaju, 2015.
- SORATTO, R.P. & CRUSCIOL, C.A.C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 675-688, 2008.
- STAUT, L. A. & KURIHARA, C. H. **Calagem, nutrição e adubação**. Embrapa. 1998.
- TOSCANI, R.G.S. & CAMPOS, J.E.G. Uso de pó de basalto e rocha fosfatada como remineralizadores em solos intensamente intemperizados. **Geociências**, v. 36, n. 2, p. 259-274, 2017.
- VAN RAIJ, B. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997.
- VELLOSO, A.C.X.; COSTA, L.M.D. Lixiviação de Pb, Zn, Cd e Ni em solo podzólico vermelho amarelo tratado com resíduos siderúrgicos. **Floresta e Ambiente**, v. 6, n. 1, p. 65-75, 1999.
- WERLE, R.; GARCIA, R.A.; ROSOLEM, C.A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2297-2305, 2008.
- WILCOXON, F. Some uses of statistics in plant pathology. **Biometrics Bulletin**, v. 1, n. 4, p. 41-45, 1945.
- WILSON, M.J. The origin and formation of clay minerals in soils: past, present and future perspectives. **Clay minerals**, v. 34, n. 1, p. 7-25, 1999.
- WILSON, M.J. Weathering of the primary rock-forming minerals: processes, products and rates. **Clay Minerals**, v. 39, n. 3, p. 233-266, 2004.
- WYPYCH, F. & SATYANARAYANA, K.G. Raman and infrared spectroscopic studies of kaolinite surfaces modified by intercalation. **Clay Surfaces: Fundamentals and Applications**, p. 184, 2004.

*Submetido em 12 de março de 2024
Aceito para publicação em 5 de junho de 2024*

APÊNDICE

Identificação	K	Ca	Mg	Na	Al	Fe	Cu	Zn	Pb	Cd	As	Hg
Tipo de Extrator	KCl	KCl	KCl	Mehlich I	KCl	Mehlich I						
Unidades	cmolc/dm ³	mg/kg										
ISO - 1A	0,05	2,7	0,6	0,01	0	57,9	0,5	0,5	0,5	<0,01	<0,01	<0,01
ISO - 1B	0,04	0,9	0,1	0,01	0	103,7	0,5	0,1	0,5	<0,01	<0,01	<0,01
ISO - 2A	0,04	2,9	0,5	0,01	0	62,4	0,4	0,3	0,6	<0,01	<0,01	<0,01
ISO - 2B	0,06	0,7	0,1	0,01	0	97,9	0,4	0,01	0,7	<0,01	<0,01	<0,01
ISO - 3A	0,03	3,3	0,7	0,01	0	75,5	0,5	1,8	0,7	<0,01	<0,01	<0,01
ISO - 3B	0,02	0,6	0	0,01	0,1	71,7	0,3	0,01	0,6	<0,01	<0,01	<0,01
ISO - 4A	0,04	4,8	0,4	0,02	0	127,4	0,9	3,6	0,7	<0,01	<0,01	<0,01
ISO - 4B	0,02	0,8	0	0,01	0,1	117,5	0,4	0,1	0,6	<0,01	<0,01	<0,01
ISO - 5A	0,04	2,1	0,3	0,01	0	79,5	0,4	0,3	0,7	<0,01	<0,01	<0,01
ISO - 5B	0,02	0,8	0	0,01	0	102,9	0,4	0,1	0,8	<0,01	<0,01	<0,01
ISO - 6A	0,07	2,9	0,5	0,01	0	73,4	0,4	0,3	0,7	<0,01	<0,01	<0,01
ISO - 6B	0,03	0,7	0,1	0,01	0	95,4	0,4	0,01	0,7	<0,01	<0,01	<0,01
ISO - 7A	0,04	1,8	0,3	0,01	0,1	70,7	0,5	0,1	0,5	<0,01	<0,01	<0,01
ISO - 7B	0,03	0,6	0,1	0,01	0,1	67,5	0,3	0,01	0,7	<0,01	<0,01	<0,01
ISO - 8A	0,03	1,5	0,3	0,01	0	60,6	0,4	0,1	0,7	<0,01	<0,01	<0,01
ISO - 8B	0,02	0,7	0,1	0,01	0,1	101,7	0,5	0,01	0,6	<0,01	<0,01	<0,01
ISO - 9A	0,03	1,6	0,2	0,01	0	110,5	0,5	0,1	0,7	<0,01	<0,01	<0,01
ISO - 9B	0,02	0,8	0,1	0,01	0	98,8	0,4	0,01	0,7	<0,01	<0,01	<0,01
ISO - 10A	0,03	2,5	0,4	0,01	0	95,5	0,4	0,4	0,7	<0,01	<0,01	<0,01
ISO - 10B	0,01	0,9	0,1	0,01	0	114,7	0,4	0,2	0,7	<0,01	<0,01	<0,01
ISO - 11A	0,02	2,4	0,4	0,01	0	120,3	0,6	0,3	0,7	<0,01	<0,01	<0,01
ISO - 11B	0,01	1,1	0,1	0,01	0	61,2	0,4	0,1	0,6	<0,01	<0,01	<0,01
ISO - 12A	0,03	3,5	0,4	0,01	0,1	42	0,4	0,5	0,7	<0,01	<0,01	<0,01
ISO - 12B	0,01	0,7	0	0,01	0	43,3	0,4	0,1	0,6	<0,01	<0,01	<0,01
ISO - 13A	0,02	0,9	0,1	0,01	0	73,3	0,6	0,1	0,5	<0,01	<0,01	<0,01
ISO - 13B	0,01	0,7	0,1	0,01	0	89,6	0,5	0,01	0,5	<0,01	<0,01	<0,01

Quadro 1 - Resultados das análises dos teores dos elementos na primeira campanha de amostragem.

Identificação Tipo de Extrator	K		Ca		Mg		Na		Al		Fe		Cu		Zn		Pb		Cd		As		
	emole/dm ³	KCl	emole/dm ³	KCl	emole/dm ³	KCl	emole/dm ³	Mehlich I	emole/dm ³	KCl	emole/dm ³	Mehlich I	emole/dm ³										
Unidades																							
2SO - 1A	0,13		2,00		1,00		0,28		0,00		45,20		0,30		0,20		1,00		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 1B	0,04		1,00		0,50		0,03		0,00		128,30		0,50		0,60		1,80		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 2A	0,20		4,00		0,60		0,01		0,00		67,35		1,10		1,00		1,00		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 2B	0,12		3,90		0,40		0,16		0,00		64,85		0,30		0,01		0,70		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 3A	0,06		1,40		0,40		0,06		0,00		49,10		0,30		0,10		0,80		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 3B	0,02		0,70		0,30		0,15		0,00		57,20		0,30		0,00		0,80		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 4A	0,04		0,70		0,40		0,04		0,00		52,60		0,20		0,00		0,70		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 4B	0,05		0,60		0,30		0,01		0,10		38,40		0,20		0,00		0,70		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 5A	0,08		0,90		0,60		0,01		0,00		39,70		0,20		0,10		0,60		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 5B	0,05		0,60		0,30		0,01		0,00		38,60		0,20		0,00		0,70		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 6A	0,02		1,20		0,20		0,01		0,10		68,55		0,30		0,10		0,70		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 6B	0,05		1,40		0,90		0,04		0,00		76,45		0,50		0,08		0,90		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 7A	0,10		1,10		0,70		0,03		0,20		92,60		0,30		0,10		0,80		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 7B	0,11		1,10		0,40		0,01		0,00		67,45		0,40		0,03		0,90		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 8A	0,11		1,20		0,60		0,01		0,00		57,15		0,30		0,30		0,80		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 8B	0,00		0,70		0,30		0,02		0,00		60,40		0,30		0,01		0,80		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 9A	0,04		1,00		0,50		0,02		0,00		59,40		0,30		0,20		0,70		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 9B	0,00		0,90		0,60		0,01		0,00		46,90		0,20		0,01		0,70		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 10A	0,08		0,90		0,40		0,02		0,00		46,10		0,30		0,20		0,70		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 10B	0,01		0,60		0,30		0,02		0,00		54,30		0,30		0,10		0,80		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 11A	0,05		0,80		0,20		0,01		0,00		54,35		0,20		0,10		0,70		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 11B	0,05		0,80		0,30		0,01		0,00		43,80		0,20		0,10		0,70		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 12A	0,10		1,90		0,70		0,01		0,00		49,70		0,30		0,20		0,80		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 12B	0,12		1,40		0,50		0,01		0,10		60,20		0,30		0,10		0,80		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 13A	0,09		1,10		0,60		0,01		0,10		30,80		0,20		0,10		0,70		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 13B	0,02		0,60		0,20		0,01		0,00		41,90		0,20		0,00		0,70		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 14A	0,15		0,80		0,30		0,01		0,00		56,30		0,30		0,10		0,80		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 14B	0,18		0,80		0,20		0,01		0,00		56,60		0,30		0,10		0,80		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 15A	0,05		0,70		0,30		0,01		0,00		48,95		0,20		0,10		0,70		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 15B	0,07		0,60		0,20		0,01		0,00		29,60		0,20		0,10		0,60		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 16A	0,09		0,60		0,20		0,01		0,10		47,05		0,20		0,10		0,70		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 16B	0,07		0,70		0,40		0,01		0,00		48,20		0,20		0,10		0,70		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 17A	0,01		0,90		0,50		0,01		0,10		32,50		0,20		0,10		0,70		<0,01		<0,01		<0,01
2SO - 17B	0,00		0,60		0,20		0,01		0,00		32,20		0,20		0,10		0,60		<0,01		<0,01		<0,01

Quadro 2 - Resultados das análises dos teores dos elementos na segunda campanha de amostragem.

Identificação	K	Ca	Mg	Na	Al	Fe	Cu	Zn	Pb	Cd	As	Hg
	KCl emolc/dm ³	KCl emolc/dm ³	KCl emolc/dm ³	Mehlich I emolc/dm ³	KCl emolc/dm ³	Mehlich I mg/kg						
3SO - 1A	0,14	4,7	1,5	0,23	0,1	19	0,6	0,5	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3SO - 2A	0,09	4,9	0,4	0,12	0,2	37,3	3,1	12,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3SO - 3A	0,04	2,4	0,7	0,1	0,3	21,8	0,8	0,6	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3SO - 4A	0,05	2	1	0,11	0,1	30,3	0,7	0,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3SO - 5A	0,06	2,8	1	0,12	0,1	20,4	0,6	0,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3SO - 6A	0,04	1,5	0,5	0,1	0,1	44,4	1	1,2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3SO - 7A	0,06	1,1	0,4	0,1	0,1	35,55	1,7	1,5	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3SO - 8A	0,05	1,4	0,5	0,1	0,1	28,25	1	2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3SO - 9A	0,05	1,9	0,8	0,1	0,1	31,1	0,9	1,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3SO - 10A	0,04	1,5	0,5	0,1	0,2	23,15	0,7	0,6	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3SO - 11A	0,07	2,2	0,5	0,13	0,1	27,6	0,9	1,7	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3SO - 12A	0,06	1,5	0,6	0,1	0,1	25,9	0,9	0,5	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3SO - 13A	0,04	1,4	0,5	0,08	0,1	29,05	0,8	0,9	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3SO - 1B	0,12	3	1,4	0,17	0,5	29,3	1	0,6	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3SO - 2B	0,12	4	0,4	0,15	0,2	32,45	1,8	6,8	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3SO - 3B	0,05	1,9	0,7	0,1	0,2	22,55	0,8	0,9	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3SO - 4B	0,09	3,9	0,8	0,21	0,1	21,05	1,2	0,9	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3SO - 5B	0,11	3,3	0,8	0,21	0,1	20,45	0,9	1,5	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3SO - 6B	0,03	2,3	0,6	0,11	0,2	31,1	0,9	1,6	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3SO - 7B	0,5	3,8	0,8	1,26	0,1	98,4	3,6	6,8	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3SO - 8B	0,18	1,1	0,4	0,5	0,2	142,55	4,3	4,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3SO - 9B	0,18	1	0,3	0,6	0,2	113,9	3,9	3,6	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3SO - 10B	0,51	1,8	0,6	0,64	0,3	117,65	7	8,2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3SO - 11B	0,3	3,9	0,9	0,78	0,4	136,5	5,3	11,9	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3SO - 12B	0,26	2,8	0,8	0,93	0,1	100,45	3,7	3,8	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3SO - 13B	0,06	2,6	1	0,14	0,3	30,3	0,8	1,7	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Quadro 3 - Resultados das análises dos teores dos elementos na terceira campanha de amostragem.