

ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE SOLOS EM ÁREA DE CEMITÉRIOS NA AMAZÔNIA, BRASIL

ATRIBUTOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE SUELOS EN ÁREAS DE CEMENTERIOS EN LA AMAZONÍA, BRASIL TÍTULO EM ESPANHOL

PHYSICAL AND CHEMICAL ATTRIBUTES OF SOILS IN CEMETERY AREAS IN THE AMAZON, BRAZIL

Rafael Bel Prestes Silva

Elyenayara Nogueira Pinheiro

Milton Cesar Costa Campos

Alan Ferreira Leite de Lima

Luis Antônio Coutrim dos Santos

Elilson Gomes de Brito Filho

Jose Mauricio da Cunha

Universidade Federal do Amazonas, Humaitá, AM, Brasil

Resumo

O sepultamento de cadáveres em cemitérios é uma prática que pode ocasionar alterações e possíveis contaminações do solo e água. O trabalho buscou determinar os atributos físicos e químicos do solo de duas áreas de cemitérios em Humaitá, AM. O estudo foi desenvolvido em dois cemitérios municipais em Humaitá, Amazonas, foram abertas trincheiras, com dimensões de 0,60 x 1,00 m e 1,20 m de profundidade. As amostras foram coletadas em camadas de 0,0-0,40; 0,40-0,80 e 0,80-1,20 m, em seguida foram realizadas análises físicas: textura e químicas: pH, alumínio trocável, acidez potencial, cálcio, magnésio, potássio, fósforo e carbono orgânico do solo, posteriormente os dados obtidos foram submetidos à análise descritiva, sendo feito o teste t de Student, a 5% de probabilidade, bem como análise de componentes principais por meio da análise multivariada. Os resultados encontrados para os atributos dos solos são característicos da região e estão relacionados com o ambiente de formação dos solos. Os valores de carbono orgânico foram maiores no cemitério São João Batista II. No estudo não foi possível detectar alterações nos atributos dos solos que possam ser provenientes da atividade cemeterial, desta forma, estudos mais detalhados devem ser realizados para verificar possíveis alterações nos atributos do solo.

PALAVRAS CHAVE: Atividade cemeterial, Alterações antrópicas, Necrochorume, Solos amazônicos.

Resumen

El entierro de cadáveres en los cementerios es una práctica que puede causar cambios y la posible contaminación del suelo y el agua. El trabajo buscó determinar los atributos físicos y químicos del suelo en dos cementerios en Humaitá, AM. El estudio se realizó en dos cementerios municipales en Humaitá, Amazonas, se abrieron trincheras, con dimensiones de 0.60 x 1.00 m y 1.20 m de profundidad. Las muestras fueron recolectadas en 0.0-0.40 capas; 0.40-0.80 y 0.80-1.20 m, luego se realizaron análisis físicos: textura y química: pH, aluminio intercambiable, acidez potencial, calcio, magnesio, potasio, fósforo y carbono orgánico del suelo, posteriormente Los

datos obtenidos se sometieron a un análisis descriptivo, con la prueba t de Student realizada con un 5% de probabilidad, así como el análisis de componentes principales mediante análisis multivariado. Los resultados encontrados para los atributos del suelo son característicos de la región y están relacionados con el entorno de formación del suelo. Los valores de carbono orgánico fueron más altos en el cementerio de São João Batista II. En el estudio, no fue posible detectar cambios en los atributos del suelo que pueden provenir de la actividad del cementerio, por lo tanto, se deben realizar estudios más detallados para verificar posibles cambios en los atributos del suelo.

PALABRAS CLAVE: Actividad de cementerio, Cambios antrópicos, Necrocloro, Suelos amazónicos.

Abstract

The burial of corpses in cemeteries is a practice that can cause changes and possible contamination of soil and water. The work sought to determine the physical and chemical attributes of the soil in two cemetery areas in Humaitá, AM. The study was carried out in two municipal cemeteries in Humaitá, Amazonas, trenches were opened, with dimensions of 0.60 x 1.00 m and 1.20 m in depth. The samples were collected in 0.0-0.40 layers; 0.40-0.80 and 0.80-1.20 m, then physical analyzes were performed: texture and chemical: pH, exchangeable aluminum, potential acidity, calcium, magnesium, potassium, phosphorus and soil organic carbon, subsequently the data obtained were subjected to descriptive analysis, with the Student t test being performed at 5% probability, as well as principal component analysis through multivariate analysis. The results found for soil attributes are characteristic of the region and are related to the soil formation environment. The organic carbon values were higher in the São João Batista II cemetery. In the study it was not possible to detect changes in the attributes of the soils that may come from graveyard activity, therefore, more detailed studies should be performed to verify possible changes in the attributes of the soil.

KEYWORDS: Cemetery activity, Anthropic changes; Necrochorume, Amazonian soils.

1. Introdução

O termo cemitério, tem sua origem no grego Koumeterian, possuindo o significado de dormitório, lugar onde se dorme, recinto onde se enterram ou se guardam os mortos (SILVA et al., 2020). Os cemitérios existem há milhares de anos e, a partir de épocas históricas ganharam mais espaços tornando-se assim comum sua atividade (SILVA et al., 2018). O sepultamento de cadáveres é tradição desde a Idade Média, a qual significa uma aproximação entre os cadáveres (KEMERICH et al., 2014). Nesta época era comum a ocorrência de inúmeras epidemias, e as vítimas eram enterradas em locais abertos e de maneira imprópria, acarretando na disseminação de agentes patogênicos, sendo posteriormente, por uma questão de saúde pública, constatado a necessidade da implantação de cemitérios, e a proibição de enterros em locais impróprios, como igrejas e terras dos familiares (KEMERICH et al., 2014).

Normalmente, os cemitérios são implantados em locais mais próximos da urbanização, podendo levar a epidemias de doenças, como a febre tifoide, ocasionadas pela contaminação do solo (SILVA et al., 2017). Por outro lado, a poluição do solo oriunda das áreas cemiteriais muitas vezes está relacionada à forma inadequada de como os corpos humanos são dispostos no ambiente, e conseqüentemente ocorre a poluição dos corpos hídricos subterrâneos (NEIRA et al., 2008).

O local de implantação de um cemitério deve ser escolhido com base nas características do ambiente em que o mesmo será inserido, seguindo uma série de critérios, dentre eles podemos citar as características do meio físico, como relevo e hidrologia, e atributos do solo, tais como textura, profundidade efetiva, densidade aparente, mineralogia da fração de argila, capacidade de adsorção de metais, entre outros

(BARROS et al., 2008). Para Silva; Malagutti Filho (2009), caso a implantação dos cemitérios não ocorra em local adequado e o meio físico local for vulnerável, o necrochorume poderá contaminar o subsolo. Ainda de acordo com os autores, necrochorume (líquido viscoso, de cor castanho-acinzentada, contendo água, sais minerais e substâncias orgânicas degradáveis) é o principal responsável pela poluição ambiental causada pelos cemitérios.

Neste contexto, diversos autores já constataram a capacidade de contaminação que os cemitérios apresentam, Barros et al. (2013) avaliando os teores de metais pesados e caracterização mineralógica dos solos do cemitério municipal do Boqueirão, Curitiba, observaram maiores teores de chumbo e zinco em relação a solos de mesmo material de origem, evidenciando uma branda contaminação no local. Kemerich et al. (2012) estudando valores anômalos de metais pesados em solo de cemitério no município de Seberi-RS, verificaram que os metais bário e cobre apresentaram concentrações elevadas, indicando contaminação do solo. Santos et al. (2018) verificaram que os solos analisados do Cemitério São Sebastião, em João Pessoa-PB, apresentam um impacto negativo à comunidade adjacente no período de chuvas, pois o mesmo alaga e transborda podendo carrear contaminantes como ácidos e alumínio. Desta forma, fica evidente que a implantação de um cemitério em local inapropriado poderá acarretar inúmeros problemas.

Para Kemerich et al. (2014), os agentes causadores de contaminação do solo e da água subterrânea como patógenos e metais pesados, em razão da implantação sem estudo de avaliação ambiental e da má conservação dos túmulos, podem ser considerados os principais problemas estruturais dos cemitérios. Atualmente, as principais fontes de contaminação de solos em cemitérios são o verniz e os conservantes da madeira e as partes metálicas dos caixões, como alças, pregos e adereços, que podem liberar vários metais, como Pb, Zn, Cu, Cr, Ni e Fe (SPONGBERG; BECKS, 2000), além da contaminação provocada pelo necrochorume (SILVA; MALAGUTTI FILHO, 2008).

Neste contexto, merecem destaque o tipo de solo, as formas de relevo e as características hidrológicas do local de implantação de um cemitério, pois estas características irão determinar o caminho destes contaminantes, sendo as características dos solos ainda mais importante, por ser o primeiro a receber a carga contaminante, desta forma, o solo por meio das suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas é o responsável pela retenção da carga poluidora ou pela forma e intensidade de circulação de tais substâncias (BARROS et al., 2013).

Os cemitérios são icognitas quanto a sua periculosidade, danos ao ambiente e indiretamente ao homem, logo, o solo é um excelente indicador de qualidade e situação atual, acrescenta-se ainda, que os dois cemitérios encontram-se no perímetro urbano de Humaitá e verifica-se presenças de moradias e proximidade dos afluentes do Rio Madeira, sendo esse diagnóstico de importância social e ambiental. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi determinar os atributos físicos e químicos dos solos em duas áreas de cemitérios, São João Batista I e São João Batista II, no município de Humaitá, Amazonas, Brasil.

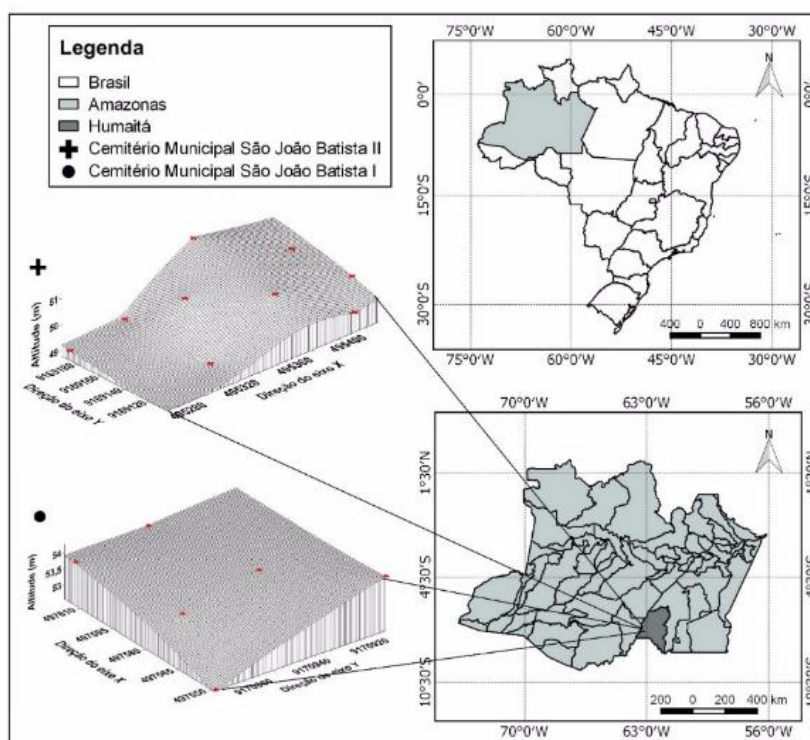
2. Materiais e métodos

2.1. Localização e caracterização do meio físico

O estudo foi desenvolvido em dois cemitérios municipais de Humaitá, Amazonas (Figura 1) no início do período chuvoso (outubro). O cemitério São João Batista I (inativo) está localizado nas coordenadas geográficas 7° 30' 01,7" S e 63° 01' 17,6" W, possuindo uma área total de aproximadamente 7.274 m², por sua vez, o cemitério São João Batista II (ativo) situa-se nas coordenadas geográficas 7° 30' 58,8" S e 63° 02' 27,9" W e uma área total de 66.522 m². Em ambos os casos, houve autorização da Secretaria Municipal de Desenvolvimento Ambiental Sustentável da Prefeitura Municipal de Humaitá, AM, para a realização da pesquisa.

Humaitá possui uma população estimada em 55 mil habitantes, possuindo uma densidade demográfica de 1,66 habitantes/km², sendo o décimo município mais populoso do estado, e o segundo mais populoso da microrregião sul do Amazonas (IBGE, 2020).

Figura 1. Mapa de localização dos dois cemitérios municipais em Humaitá, AM.



O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é tropical chuvoso, subtipo climático Am (chuvas do tipo monção), com período seco de pequena duração, com temperatura anual entre 25° e 27°C e pluviosidade variando de 2.800 a 3.100 mm ao ano, com umidade relativa do ar bastante elevada, variando de 85 a 90%, possuindo altitude média de 90 m acima do nível do mar (ALVARES et al., 2013). Os solos dos Cemitérios Municipais São João Batista I e II foram classificados como Cambissolo Háplico Alítico plúntico.

2.2. Metodologia de campo

Para a amostragem das áreas, foram selecionados pontos representativos em cada cemitério, sendo seis pontos no Cemitério Municipal São João Batista I e nove pontos para o Cemitério Municipal São João Batista II, todos os pontos foram georreferenciados. Para cada ponto de amostragem, foi aberta uma trincheira, de acordo com Barros et al. (2008), sendo suas medidas de 0,60 x 1,00 m de largura e 1,20 m de profundidade. Amostras de solos foram coletadas nas camadas de 0,0-0,40 m, 0,40-0,80 m e 0,80-1,20 m, com auxílio de faca de aço inox, afins de preservar a individualidade de cada amostras, após cada amostra coletada foi realizado procedimento de esterilização de todo equipamento utilizando solução de álcool a 70%.

2.3. Análises físicas e químicas

As amostras coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos, e imediatamente identificados e armazenadas. Após perderem o excesso de umidade o material foi destorroado, homogeneizado e passado em peneira de 2,0 mm de abertura de malha, obtendo-se terra fina seca ao ar, seguindo posteriormente para o laboratório, para realização das análises físicas e químicas.

A análise granulométrica foi determinada pelo método da pipeta, utilizando solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de alta rotação. A fração argila e silte foram separadas por sedimentação e a fração areia por tamisação (TEIXEIRA et al., 2017).

O pH foi determinado potenciométricamente, utilizando-se a relação 1:2,5 de solo e água. A acidez potencial (H + Al) foi extraída com solução tamponada a pH 7,0 de acetato de cálcio, tendo determinação por titulação com solução de NaOH em presença de fenolftaleína como indicador. O

alumínio trocável (Al^{3+}) foi determinado utilizando-se KCl $1\text{ mol}\cdot L^{-1}$ como extrator e $NaOH$ $0,025\text{ mol}\cdot L^{-1}$ como titulante em presença de azul de bromotimol como indicador colorimétrico (TEIXEIRA et al., 2017).

Os teores de cálcio e magnésio trocáveis foram extraídos com KCl $1\text{ mol}\cdot L^{-1}$, e determinados por titulação com EDTA. Fósforo e potássio foram extraídos com Mehlich-1, determinando-se o K^+ por fotometria de chama e P por espectrometria no UV visível (TEIXEIRA et al., 2017). O carbono orgânico (CO) foi determinado pelo método da oxidação via úmida, com aquecimento externo com modificações conforme Yeomans; Bremner (1988).

2.4. Análises estatísticas

A princípio foi realizado à análise de variância. Para fins de comparação de média, foi empregado o teste t de Student, a 5% de probabilidade. Após a identificação de médias os dados obtidos foram submetidos à estatística descritiva calculando-se a média, mediana, mínimo, máximo e desvio padrão. Todas as análises estatísticas foram processadas no software livre R versão 0.99.903 (R CORE TEAM, 2016).

Para a multivariada, foi realizada uma análise fatorial dos componentes principais (ACP), aos quais foram efetivadas a fim de analisar a significância estatística dos conjuntos dos atributos do solo que mais discriminam os ambientes, com relação as duas áreas em estudo, tendo como resposta os ambientes cujos atributos sofrem maior influência antrópica.

A adequabilidade da análise fatorial foi realizada pela medida de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), que avalia as correlações simples e parciais das variáveis, e pelo teste de esfericidade de Bartlett, onde pretende-se rejeitar a igualdade entre a matriz correlação com a identidade. A extração dos fatores foi determinada pela análise de componente principal, incorporando as variáveis que apresentaram comunalidades igual ou superior a cinco (5,0). A escolha do número de fatores utilizado foi realizada através do critério de Kaiser (fatores que apresentam autovalores superiores a 1,0). Com o intuito de simplificar a análise fatorial, foi realizado a rotação ortogonal (varimax) e representada em um plano fatorial das variáveis e dos escores para os componentes principais. Nos gráficos de dispersão da ACP após rotação varimax, os escores foram construídos com valores padronizados, de tal forma que a média é zero e a distância entre os escores é medida em termos do desvio padrão. Com isso, as variáveis em um mesmo quadrante (1° , 2° , 3° e 4°) e mais próximas no gráfico de dispersão das ACP são mais bem correlacionadas.

3. Resultados e discussão

Os resultados da estatística descritiva da análise granulométrica são apresentados na Tabela 1. Observe-se que não houve diferença significativa para os solos de nenhum dos cemitérios analisados. Por sua vez, quando se compara as médias entre os dois cemitérios distinguimos que há diferença significativa apenas para fração areia (Tabela 1), de forma que os maiores teores de areia ocorreram no solo do Cemitério Municipal São João Batista I para os extratos mais superficiais (0,0-0,40 m e 0,40-0,80 m).

Tabela 1. Estatística descritiva da análise granulométrica das áreas dos dois cemitérios municipais em Humaitá, AM.

Estatística	Cemitério Municipal São João Batista I			Cemitério Municipal São João Batista II		
	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila
	$g\cdot kg^{-1}$					
	0,0 – 0,40 m					
Média	330,12 ^a	206,04 ^a	463,84 ^a	211,82 ^b	268,19 ^a	519,99 ^a
Desvio Padrão	37,62	126,65	108,40	100,81	128,47	138,55
Mediana	340,14	189,47	470,39	179,20	279,97	467,59
Mínimo	261,11	46,52	317,86	99,44	60,22	349,45

Máximo	364,05	372,09	589,43	414,24	432,97	794,25
0,40 – 0,80 m						
Média	278,22a	180,16a	541,61a	151,68b	310,37a	537,95a
Desvio Padrão	49,90	122,33	134,81	74,66	115,42	92,21
Mediana	280,70	182,04	530,89	127,44	245,21	548,50
Mínimo	206,70	9,00	400,26	85,06	192,38	402,06
Máximo	333,75	341,27	691,72	293,67	498,41	650,85
0,80 – 1,20 m						
Média	248,23a	181,74a	570,03a	192,23a	214,30a	593,47a
Desvio Padrão	70,37	64,28	105,66	99,49	106,24	73,03
Mediana	251,78	174,62	564,74	168,26	257,39	578,53
Mínimo	172,23	96,22	447,60	92,15	77,47	499,51
Máximo	331,14	259,32	731,55	423,02	366,34	724,95

*Médias com letras iguais em linha não diferem pelo teste t de Student, a 5% de significância realizado entre os cemitérios.

A argila foi a fração predominante nos solos em ambos os cemitérios, seguida pela fração areia no cemitério São João Batista I, e pela fração silte no cemitério São João Batista II. Em ambos os casos, a textura dos solos foi classificada como argilosa. Os maiores valores de argila encontrados divergem de outros trabalhos da região, em diversos autores como Campos et al. (2010); Santos et al. (2012); Mantovanelli et al. (2015), encontraram a dominância da fração silte na granulometria do solo. Na região, os maiores valores de silte são justificados pela natureza do material de origem do solo ser formado por sedimentos aluviais (BRASIL, 1978).

Todavia, maiores teores da fração argila são características recomendadas para solos destinados a construção de cemitério, de acordo com Oliveira; Gontijo (2011), solos mais argilosos tornam os cemitérios mais apropriado para a deposição dos corpos, uma vez que, durante o processo de decomposição podem ser liberados substâncias contaminantes neste microambiente. Para Barros et al. (2008), os solos devem apresentar teor e qualidade de argila adequadas para permitir a adsorção de metais pesados em suas camadas mais profundas, especialmente naquelas onde ocorrem os sepultamentos (1,5 a 1,8 m). Nesta conjuntura, Silva e Malagutti Filho (2008) em seu trabalho mostram, que a porcentagem considerada ideal de argila no solo é na faixa de 200 a 400 g.kg⁻¹ para que os processos de decomposição aeróbica e as condições de drenagem do necrochorume sejam favorecidos.

Os resultados da estatística descritiva dos atributos químicos dos solos das áreas dos dois cemitérios são apresentados na Tabela 2. Os valores de pH variaram de 3,84 a 4,87 no cemitério São João Batista I e de 3,74 a 5,51 no São João Batista II, o que caracterizam os solos como ácidos, nas áreas estudadas. Em média, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os cemitérios avaliados. Segundo Reis et al. (2011), os baixos valores de pH nos solos da região Amazônica são em decorrência da concentração de íons H⁺ em consequência da elevada perda de bases trocáveis no solo, provocada pelo processo de intemperismo influenciado pelas altas temperaturas e longos períodos de precipitação.

Neste contexto, em caso de liberação de substâncias contaminantes, os baixos valores de pH poderiam favorecer a adsorção de metais. Isso ocorreria devido a mineralogia dos solos desta região (solos próximos dos cemitérios) apresentarem mineralogia, com predomínio do mineral caulinita (MARTINS et al., 2006), desta forma, o baixo ponto de carga zero (PCZ) da caulinita em solos (PCZ em torno de 4,0) (CAMPOS et al., 2012a), e os valores de pH encontrado neste trabalho com valores superiores a 4,4, contribui para o predomínio de cargas negativas nas bordas da caulinita e o favorecimento da adsorção de metais (BARROS et al., 2008).

Os valores de H⁺Al (Tabela 2) variaram de 5,45 a 9,73 cmolc Kg⁻¹ no Cemitério São João Batista I e de 1,49 a 11,05 cmolc Kg⁻¹ no Cemitério São João Batista II. Assim como para o pH, a acidez potencial não

diferiu significativamente entre os cemitérios analisados. Os teores de alumínio trocável (Al^{3+}) variaram de 2,1 a 5,4 $cmolc\ Kg^{-1}$ no Cemitério São João Batista I e de 2,6 a 7,9 $cmolc\ Kg^{-1}$ no Cemitério São João Batista II. Os altos valores de Al^{3+} e $H+Al$, são característicos da região, sendo constatados por diversos autores (MARTINS et al., 2006; SANTOS et al., 2012; CAMPOS et al., 2012a). Para Mantovanelli et al. (2016), estes resultados evidenciam a natureza ácida do solo, correlacionando diretamente com a baixa concentração de bases trocáveis. Os resultados evidenciam também a natureza ácida do material originário do solo.

Os teores de CO variaram de 5,54 a 18,46 $g\cdot Kg^{-1}$ no Cemitério São João Batista I e de 39,51 a 46,03 $g\cdot Kg^{-1}$ no Cemitério São João Batista II (Tabela 2), diferindo estatisticamente pelo teste t de Student. Os maiores teores de CO foram observados nas camadas superficiais, decrescendo em profundidade, fato comum nos solos da região amazônica (CAMPOS et al., 2012a). Os maiores teores de CO no cemitério São João Batista II pode ser em decorrência do menor tempo de perturbação do sistema solo e do mesmo se encontrar em uma parte mais nova da cidade e que até pouco tempo era coberto por vegetação nativa, por sua vez o cemitério São João Batista I tem aproximadamente 150 anos sem vegetação nativa.

Os teores de K^+ e P disponíveis foram semelhantes, não diferindo significativamente nas médias obtidas para nenhum dos cemitérios analisados. Os teores de Mg^{2+} (Tabela 2) variaram de 0,07 a 0,50 $cmolc\ Kg^{-1}$ no Cemitério I e de 0,10 a 0,30 $cmolc\ Kg^{-1}$ no Cemitério II. Os teores de Ca^{2+} variaram de 0,24 a 1,32 $cmolc\ Kg^{-1}$ no Cemitério I e de 0,36 a 1,44 $cmolc\ Kg^{-1}$ no Cemitério II, não diferindo estatisticamente entre os cemitérios pelo teste t Student. Os baixos teores de fósforo, cálcio, magnésio e potássio encontrados em ambos cemitérios são inerentes dos solos de terra firme da região (CAMPOS et al., 2012b), em virtude da pobreza do material de origem do solo nestes elementos. Todavia, a alta precipitação da região amazônica, contribui de forma significativa para lixiviação dos cátions cálcio, magnésio e potássio, reduzindo ainda mais os teores (CRAVO et al., 2012).

Na Tabela 2, observa-se pelo desvio padrão que a variação ocorrida entre os dados foi entre 0,04 na variável Mg^{2+} no Cemitério Municipal São João Batista II e 5,29 na variável Ca^{2+} no Cemitério Municipal São João Batista I, ambos na camada mais profunda (0,80-1,20 m). Os valores encontrados para o desvio padrão de atributos químicos foram baixos, indicando menor variância para esses atributos.

Tabela 2. Estatística descritiva dos atributos químicos dos solos das áreas dos dois cemitérios municipais em Humaitá, AM.

Estatística	Cemitério Municipal São João Batista I								Cemitério Municipal São João Batista II							
	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H+Al	P	CO	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H+Al	P	CO
	H ₂ O	cmol _c ·Kg ⁻¹				mg Kg ⁻¹		g·Kg ⁻¹	H ₂ O	cmol _c ·Kg ⁻¹				mg Kg ⁻¹		g Kg ⁻¹
0,0 – 0,40 m																
Média	4,53a	1,01a	0,21a	0,05a	3,35a	6,35a	0,27a	13,27b	4,31a	0,65b	0,18a	0,05a	3,95a	6,05a	0,21a	44,37a
Desvio Padrão	0,33	2,15	1,64	0,06	0,55	0,82	0,90	4,38	0,20	3,07	0,53	0,08	0,93	2,61	0,24	1,15
Mediana	4,54	1,08	0,17	0,05	3,40	6,27	0,25	12,43	4,75	0,60	0,20	0,05	3,8	5,45	0,20	44,55
Mínimo	3,84	0,60	0,07	0,04	2,5	5,61	0,20	8,00	4,32	0,36	0,10	0,04	2,6	1,49	0,20	43,08
Máximo	4,72	1,20	0,50	0,06	4,0	7,75	0,45	18,46	4,89	1,32	0,27	0,06	5,0	9,90	0,26	46,03
0,40 – 0,80 m																
Média	4,47a	0,70a	0,17a	0,05a	4,48b	6,85a	0,21a	9,19b	4,68a	0,99a	0,23a	0,04a	5,93a	7,55a	0,20a	41,93a
Desvio Padrão	0,22	5,06	0,65	0,11	0,55	1,42	0,28	2,02	0,46	2,67	0,37	0,10	0,49	1,04	0,08	0,60
Mediana	4,48	0,66	0,15	0,05	4,25	6,60	0,20	8,92	4,80	1,08	0,235	0,04	6,0	7,75	0,20	41,85
Mínimo	4,16	0,24	0,10	0,04	4,0	5,45	0,20	6,89	3,74	0,60	0,17	0,03	5,2	5,94	0,19	41,35
Máximo	4,73	1,20	0,27	0,07	5,4	8,74	0,25	12,92	5,09	1,44	0,27	0,06	6,4	9,07	0,21	42,83
0,80 – 1,20 m																
Média	4,60a	0,80a	0,15b	0,05a	4,07b	7,42a	0,21a	8,37b	4,70a	0,95a	0,24a	0,05a	6,21a	8,36a	0,34a	41,59a
Desvio Padrão	0,23	5,29	0,70	0,08	1,20	1,52	0,18	1,98	0,60	2,84	0,04	0,09	1,11	2,02	3,90	1,37
Mediana	4,61	0,78	0,15	0,05	4,40	7,34	0,20	8,86	4,93	0,96	0,24	0,06	6,4	8,91	0,20	41,35
Mínimo	4,24	0,24	0,07	0,04	2,1	5,45	0,20	5,54	3,79	0,36	0,17	0,03	4,5	4,62	0,20	39,51
Máximo	4,87	1,32	0,24	0,06	5,3	9,73	0,24	11,08	5,51	1,32	0,30	0,06	7,9	11,05	1,38	43,69

*Médias com letras iguais entre linhas não diferem pelo teste t de Student, à 5% de significância, realizado entre os cemitérios. Ca²⁺ = Cálcio trocável; Mg²⁺ = Magnésio trocável; K⁺ = Potássio; Al³⁺ = alumínio trocável; H + Al = Acidez potencial; P = Fósforo; CO = Carbono orgânico

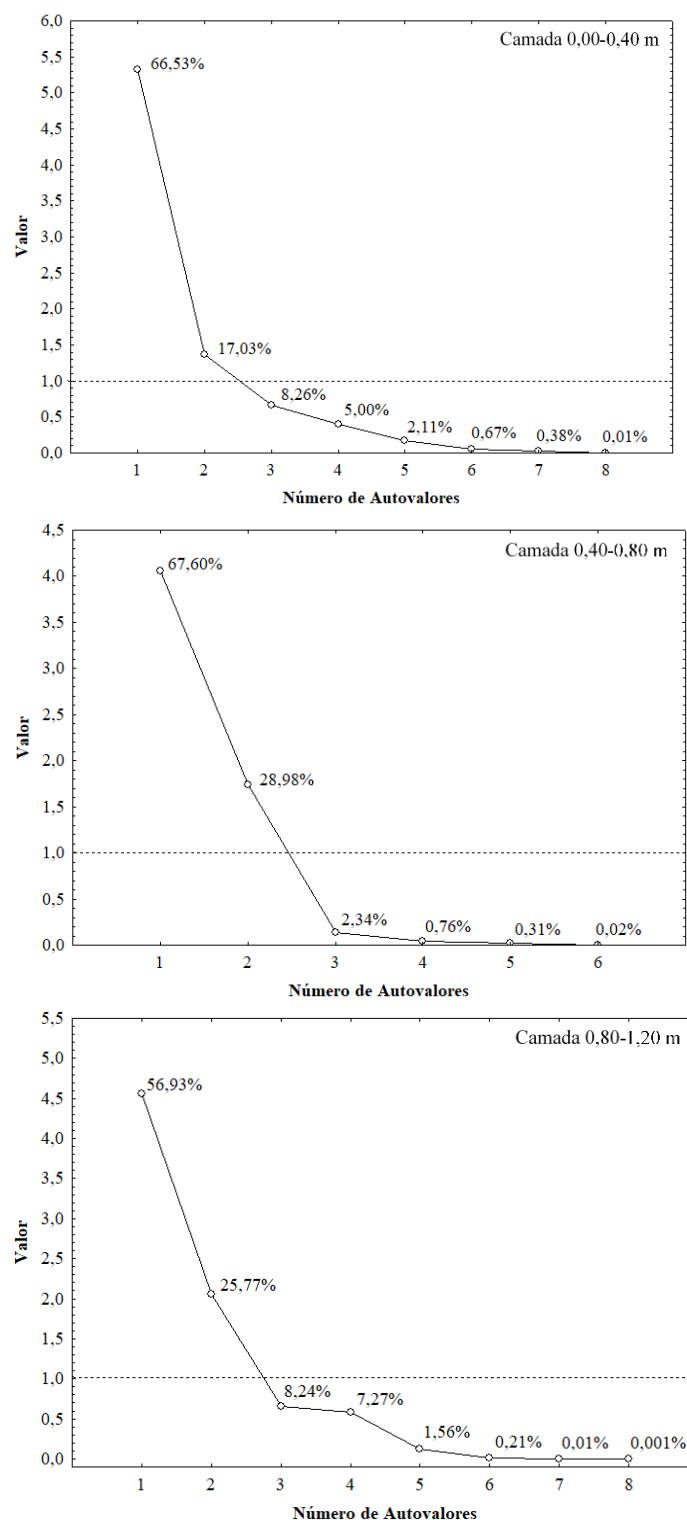
A Tabela 3 apresenta os resultados da análise dos componentes principais (ACP), com os valores próprios e coeficientes de correlação. É possível observar que a maior parte das variáveis apresentam alta correlação com o componente principal 1 (CP1), na camada de 0,0 – 0,40 m, apenas as variáveis pH e K⁺ apresentaram maior correlação na CP2, na segunda camada as variáveis areia e Al³⁺ e na terceira camada 0,80 – 1,20 m, as variáveis areia, H+Al e Al³⁺ apresentaram maior correlação no segundo componente.

Tabela 3. Análise de correlação entre cada componente principal.

Atributos	Variância Comum	Fatores	
		CP1	CP2
Camada 0,00 - 0,40 m			
Areia	0,84	0,87*	0,01
pH	0,39	-0,11	0,84*
K	0,42	0,16	0,80*
Ca ²⁺	0,96	0,98*	-0,01
SB	1,00	0,98*	-0,01
t	1,00	0,93*	0,00
V%	0,92	0,91*	0,16
m%	0,99	-0,95*	-0,03
Camada 0,40 - 0,80 m			
Areia	0,87	-0,15	-0,96*
Ca ²⁺	1,00	0,97*	0,22
Al ³⁺	0,90	0,07	0,97*
SB	1,00	0,97*	0,22
V%	0,95	0,98*	0,05
m%	0,98	-0,99*	0,01
Camada 0,80 - 1,20 m			
Areia	0,54	0,13	0,76*
H+Al	0,99	0,07	-0,78*
Ca ²⁺	1,00	0,98*	0,05
Mg ²⁺	0,99	0,87*	-0,23
Al ³⁺	0,99	-0,12	-0,87*
SB	1,00	0,99*	0,01
V%	1,00	0,92*	0,28
m%	1,00	-0,92*	-0,33

A correlação entre as variáveis e os componentes principais admitiu a caracterização destas variáveis que foram mais discriminantes na formação e diferenciação dos solos (Figura 2). O gráfico do scree-plot, exibe os autovalores de uma matriz, sendo utilizado para descobrir o número de autovalores importantes é também utilizado para subsidiar cada variável através da explicação de sua variância total. Este em conformidade com os autovalores, é útil na tomada de decisão quanto ao número de componentes devem ser retidos para futura aplicação da ACP. Os dois CPs permitiram uma classificação bidimensional das variáveis nos dois cemitérios, o que permitiu a construção do gráfico biplot (Figura 3).

Figura 2. Screeplot da análise de componentes principais, expressando os autovalores, nas camadas 0,00-0,40 m; 0,40-0,80 m e 0,80-1,20 m.

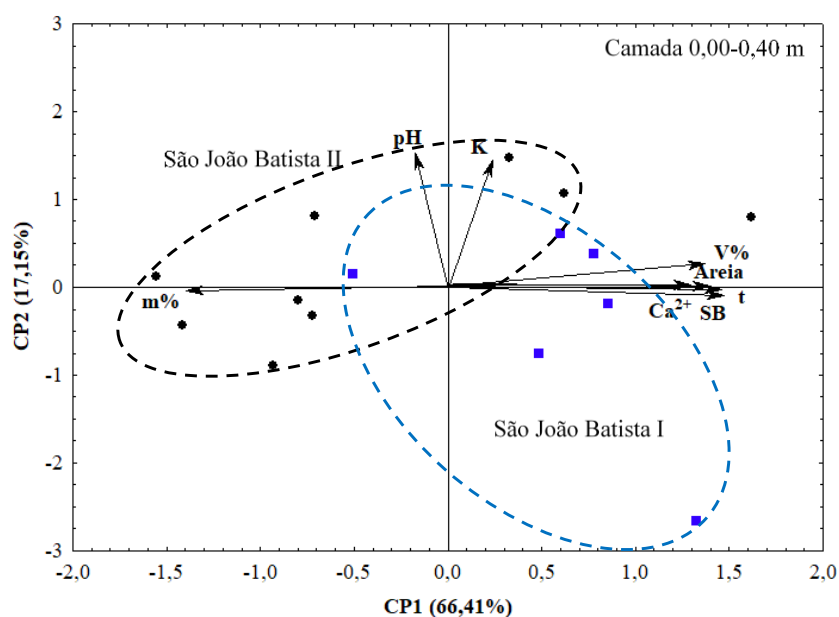


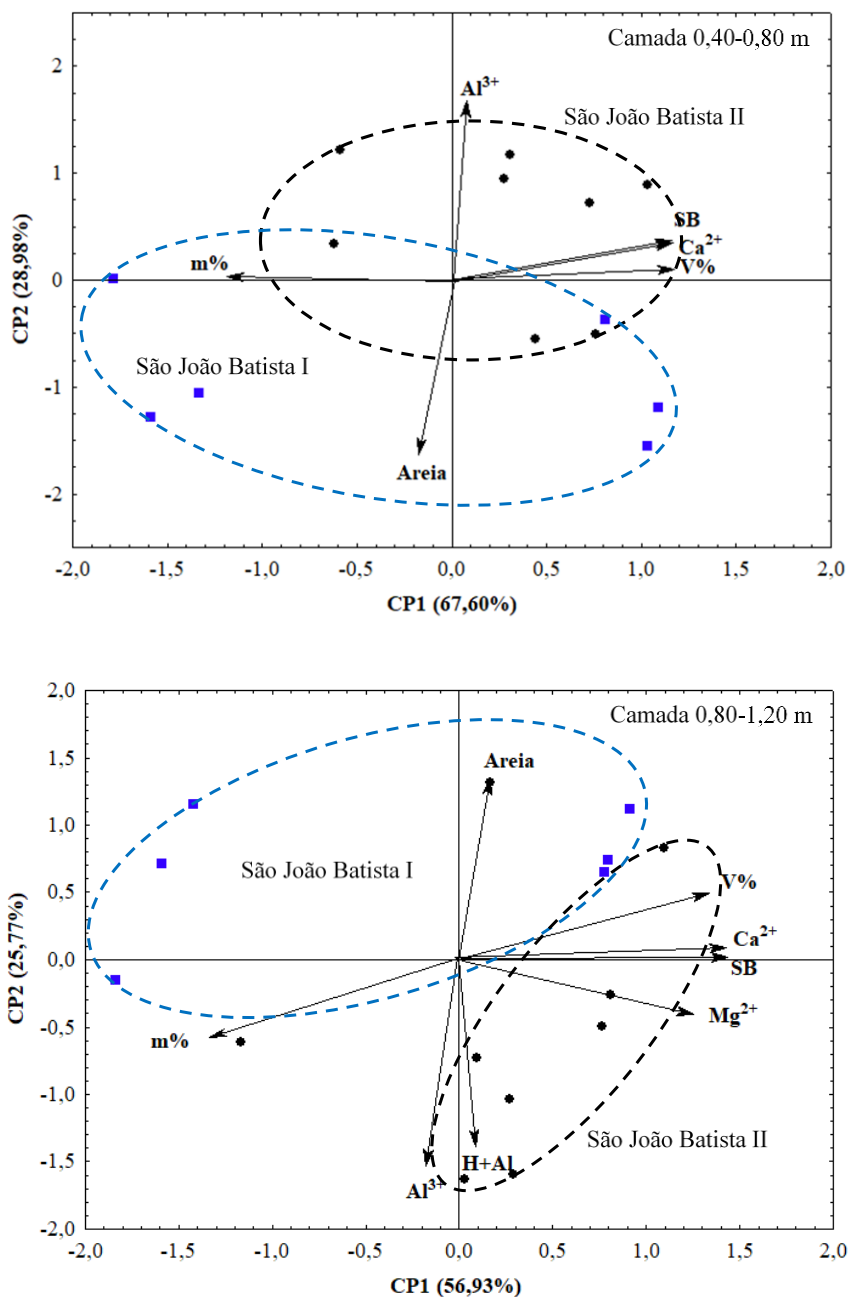
O agrupamento de informação das variáveis originais, armazenadas pelos dois CPs nas três camadas 0,0 a 0,40 m, 0,40 a 0,80 m e 0,80 a 1,20 m foram de 83,56% (66,41 % no CP1 + 17,15 % no CP2), 96,58% (67,60% no CP1 + 28,98 no CP2) e 82,70% (56,93% no CP1 + 25,77% CP2), respectivamente (Figura 3 a, b e c). Como podemos observar em todas as camadas, a ACP explicou nos dois primeiros

componentes mais de 70% da variância total, desta forma, os CP podem representar graficamente o poder discriminante dos atributos do solo dos cemitérios analisados e a contribuição de cada variável na variância total (HAIR et al., 2005).

Pelo comportamento dos atributos nos dois cemitérios, é possível verificar a relação da areia com o cemitério inativo, evidenciando que o solo possui um teor de areia mais elevado, isso podendo estar relacionado a questões de localização e dos solos da região, em que são comuns em beira de rio solos de material arenosos formados por sedimentos depositados mediante a baixa e subida dos rios no passado (MARQUESI et al., 2010). Ainda é possível observar a positividade da relação entre o cemitério ativo e potássio, indicativo de maior concentração necrochorume na superfície, indicando que a declividade do terreno está influenciando no transporte deste material orgânica para as partes mais baixas do terreno, uma vez que o potássio é um dos elementos que compõe o necrochorume (NASCIMENTO et al., 2019), confirmado pelo pH também correlacionado com o cemitério ativo, considerando que além de produzir nitrogênio, zinco, sódio, potássio e chumbo, no processo de decomposição também libera compostos orgânicos ácidos (BAUM et al., 2020).

Figura 3. Análise de componente principal (ACP) para os solos de cemitérios municipais São João Batista I e II: (a): camada de 0,0 – 0,40 m; (b) camada de 0,40 – 0,80 m; (c) camada de 0,80 a 1,20 m. Areia; H+Al: Acidez Potencial; Ca^{2+} : Cálcio trocável; Mg^{2+} ; Al^{3+} ; Acidez trocável; SB: Soma de base; V%: Saturação de base; m%: saturação por alumínio.





A dependência das variáveis e o aspecto gráfico nos componentes principais permitiram caracterizar as variáveis que mais discriminaram na formação e distinção dos ambientes. O cemitério São João Batista I possui maior correlação com os valores de areia e saturação por alumínio (m%), nas duas camadas inferiores. O cemitério São João Batista II, apresenta maior correlação com os atributos Ca^{2+} , soma de bases (SB) e saturação por bases (V%) nas camadas 0,40 a 0,80 m e 0,80 a 1,20 m. Essa notória correlação de cálcio, magnésio e soma de bases com o cemitério São João Batista II esta diretamente relacionada a decomposição orgânica e produtos utilizados na conservação de cadavres associados a lixiviação das partes mais altas do terreno (FERREIRA et al., 2021), uma vez que este cemitério encontra-se ativo, o que é confirmado pelo maior acúmulo desses elementos na profundidade correspondente ao qual o indivíduo é enterrado (XAVIER et al., 2018).

4. Conclusões

O cemitério ativo (São João Batista II) possui maior acúmulo das bases trocáveis associados a decomposição de cadáveres na camada correspondente a profundidade de enterro dos indivíduos e ao teor de argila elevado do terreno que aumenta o poder de adsorção desse solo. Já nas camadas superficiais essa atribuição é associada ao relevo, esse contribui para transporte de necrochorume para as partes mais baixa do terreno. A textura arenosa do solo e o tempo de inatividade contribuíram para os baixos teores compostos oriundos da decomposição no cemitério I (São João Batista I).

5. Referências bibliográficas

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. vol.22, n.06, p.711–728. 2013.

BARROS, Y. J.; KUMMER, L.; MELO, V. F.; ROMANÓ, E. N. L.; ZANELLO, S. Teores de Metais pesados e caracterização mineralógica dos solos do cemitério municipal do Boqueirão, Curitiba (PR). **HOLOS**. vol.5, n.02, p.69-79. 2013.

BARROS, Y. J.; MELO, V. F.; ZANELLO, S.; ROMANÓ, E. N. L.; LUCIANO, P. R. Teores de metais pesados e caracterização mineralógica de solos do cemitério municipal de Santa Cândida, Curitiba (PR). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. vol.32, n.04, p.1763-1773, 2008.

BAUM, C. A.; BECEGATO, V. A.; VILELA, P. B.; LAVNITCKI, L.; DA COSTA DUMINELLI, E.; XAVIER, J. A. Influência dos cemitérios na contaminação de águas subterrâneas por compostos fenólicos. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 14, n. 3, p. 39-48, 2020.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto Radambrasil, Purus**. v. 20. Rio de Janeiro: Departamento Nacional da Produção Mineral, 1978. 56 p.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R. SOUZA JUNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; ALMEIDA, M. C. Toposequência de solos na transição Campos naturais-floresta na região de Humaitá, Amazonas. **Acta Amazônica**. vol.42, n.03, p.387–398. 2012a.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; ALMEIDA, M. C. Relações solo-superfície geomórfica em uma topossequência várzea-terra firme na região de Humaitá (AM). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. vol. 36, n.04, p. 325-336, 2012b.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; OLIVEIRA, I. A. Interferências dos pedoambientes nos atributos do solo em uma topossequência de transição Campos/Floresta. **Revista Ciência Agronômica**. vol.41, n.02, p.527-535. 2010.

CRAVO, M. S.; SMYTH, T. J.; BRASIL, E. C. Calagem em Latossolo amarelo distrófico da Amazônia e sua influência em atributos químicos do solo e na produtividade de culturas anuais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. vol.36, n.03, p.895-908. 2012.

FERREIRA, T. C.; DA SILVA, A. V.; ALBANO, L. B.; NOGUEIRA, L. A. P.; ALVES, F. Z.; GOMES, J. W. S.; ZABOTTO, A. R. Análise dos impactos e potencial de danos da composição e percolação do necrochorume no solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 25094-25112, 2021.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre, Brasil, 2005. 593 p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (07 de junho de 2020). «**Estimativas da população residente no Brasil e Unidades da Federação** com data de referência em 1 de julho de 2019» (PDF). Consultado em 07 de junho de 2020.

KEMERICH, P. D. C.; BIANCHINI, D. C.; FRANK, J. C.; BORBA, W. F.; WEBER, D. P.; UCKER, F. E. A questão ambiental envolvendo os cemitérios do Brasil. **Revista Monografias Ambientais**. vol.13, n.05, p.3777-3785, 2014.

KEMERICH, P. D. C.; BORBA, W. F.; SILVA, R. F.; BARROS, G.; GERHARDT, A. E.; FLORES, C. E. B. Valores anômalos de metais pesados em solo de cemitério. **Ambiente e Água**. vol.7, n.01, p.140-156. 2014.

MANTOVANELLI, B. C.; CAMPOS, M. C. C.; ALHO, L. C.; FRANCISCON, U.; NASCIMENTO, M. F.; SANTOS, L. A. C. Distribuição espacial dos componentes da acidez do solo em área de campo natural na região de Humaitá, Amazonas. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**. vol.14, n.02, p.01-09. 2016.

MANTOVANELLI, B. C.; SILVA, D. A. P.; CAMPO, M. C. C.; GOMES, R. P. G.; SOARES, M. D. R.; SANTOS, L. A. C. Avaliação dos atributos do solo sob diferentes usos na região de Humaitá, Amazonas. **Revista de Ciências Agrárias**. vol.58, n.02, p.122-130. 2015.

MARQUESI, J. D. D. O.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M.; CRUZ JUNIOR, O. F.; BATISTA, S. M.; AFONSO, M. A. C. B. Atributos químicos, físico-hídricos e mineralogia da fração argila em solos do Baixo Amazonas: Serra de Parintins. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 1, p. 1-12, 2010.

MARTINS, G. C.; FERREIRA, M. M.; CURI, N.; VITORINO, A. C. T.; SILVA, M. L. N. Campos nativos e matas adjacentes da região de Humaitá (AM): atributos diferenciais dos solos. **Ciência e Agrotecnologia**. vol.30, n.02, p.221-227. 2006.

NASCIMENTO, F. L.; SENHORAS, E. M.; FALCÃO, M. T. Necrópoles e os impactos ambientais: cemitério público municipal, Boa Vista-RR. **Revista Baru-Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos**, v. 4, n. 2, p. 236-256, 2019.

NEIRA, D. F.; TERRA, V. R.; PRATTE-SANTOS, R.; BARBIÉRI, R. S. Impactos do necrochorume nas águas subterrâneas do cemitério de Santa Inês, Espírito Santo, Brasil. **Natureza online**. V. 6, n. 1, p.36-41. 2008.

OLIVEIRA, L. R.; GONTIJO, E. L. Indicadores de qualidade química, física e biológica de solos como critérios de escolha para localização de cemitérios. **Revista Conexão Ciência**. vol.6, n.02, p.7-14. 2011.

R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2016.

REIS, M. S.; FERNANDES, A. R.; GRIMALDI, C.; DESJARDINS, T.; GRIMALDI, M. Características químicas dos solos de uma topossequência sob pastagem em uma frente pioneira da Amazônia Oriental. **Revista de Ciências Agrárias**. vol.52, n.01, p.37-47. 2011.

SANTOS, L. A. C.; CAMPO, M. C. C.; COSTA, H. S.; PEREIRA, A. R. Caracterização de solos em uma toposequência sob terraços aluviais na região do médio rio Madeira (AM). **Ambiência**. vol.8, n.02, p.319-331. 2012.

SANTOS, P. R. A.; ALMEIDA NETO, A. F.; AGUIAR, R. T.; LIMA, W. S. G.; MELO, M. A. R. Caracterização química subsuperficial do solo do cemitério municipal São Sebastião em João Pessoa–PB. **Enciclopédia Biosfera**. vol.15, n.28, p.259-270. 2018.

SILVA, K.T.; SILVA, C.O.; MELO, A. M. M. Reorganização do espaço urbano: a localização do espaço da morte em São José da Laje – Alagoas. **Revista Geografia Acadêmica**. vol.11, n.01, p.47-63. 2017.

SILVA, R. B. P.; CAMPOS, M. C. C.; CUNHA, J. M. Potencial de contaminação do solo decorrente da atividade cemiterial. **Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais**. vol. 9, n.01, p.1-10, 2018.

SILVA, R. B. P; CAMPOS, M. C. C.; SILVA, L. S.; BRITO FILHO, E. G.; LIMA, A. F. L.; PINHEIRO, E. N.; CUNHA, J. M. Concentration of heavy metals in soils under cemetery occupation in Amazonas, Brazil. **Soil and Sediment Contamination: An International Journal**. vol.29, n.01, p.192-208, 2020.

SILVA, R. W. C.; MALAGUTTI FILHO, W. Cemitérios: fontes potenciais de contaminação. **Revista Ciência Hoje**. vol.44, n.262, p.24-29. 2009.

SILVA, R.W.C.; MALAGUTTI FILHO, W. Cemitérios como áreas potencialmente contaminadas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**. v.9, n.04, p.46-58. 2008.

SPONGBERG, A.L.; BECKS, P.M. Inorganic soil contamination from cemeteries leached. **Water, Air, Soil Pollution**. vol.117, n.09, p.313-327. 2000.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; & TEIXEIRA, W. G. (Eds.). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 3ª ed. revista e ampliada. – Brasília, DF: Embrapa, 2017, 573 p.

XAVIER, F. V.; MALAGUTTI FILHO, W.; SILVA, R. W. D. C.; MOREIRA, C. Emprego da sondagem elétrica vertical integrada às análises químicas e microbiológicas no diagnóstico preliminar da contaminação do solo e da água subterrânea no cemitério municipal da cidade de Rio Claro (SP). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 2, p. 333-344, 2018.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**. vol.19, n.13, p.1467-1476. 1988.

Recebido em: 23 de julho de 2020

Aceito em: 13 de abril de 2021

Endereço para correspondência:

Rafael Silva



Esta obra está licenciada sob uma [Licença Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)