

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
CÂMPUS SÃO LUÍS DE MONTES BELOS, GO
PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO RURAL SUSTENTÁVEL
MESTRADO PROFISSIONAL

JEFFERSON ROGÉRIO MARQUES MACHADO

**MINERAIS DO SOLO INDICADORES DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM ÁREAS DE
DESCARTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO BIOMA CERRADO**

São Luís de Montes Belos

2018

JEFFERSON ROGÉRIO MARQUES MACHADO

**MINERAIS DO SOLO INDICADORES DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM ÁREAS DE
DESCARTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO BIOMA CERRADO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás Câmpus São Luís de Montes Belos para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Rural Sustentável.

Linha de pesquisa: Produção Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Adriana Aparecida Ribon

São Luís de Montes Belos
2018

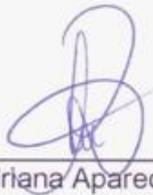
JEFFERSON ROGÉRIO MARQUES MACHADO

**MINERAIS DO SOLO INDICADORES DE IMPACTO AMBIENTAL EM ÁREA COM
DESCARTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO BIOMA CERRADO**

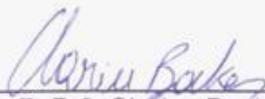
Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás - Campi São Luís de Montes Belos, para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Rural Sustentável.

Aprovado em: 09 de agosto de 2018.

BANCA EXAMINADORA



Prof.ª. Dr.ª. Adriana Aparecida Ribon – UEG



Prof.ª. Dr.ª. Clárice Backes – UEG



Prof. Dr. José Milton Alves – IFG

*Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais
Joel e Rosa, a minha linda e amada esposa
Élida Naiane, e também a todos os meus
amigos e familiares.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu Senhor que me proporcionou a persistência de Jacó para levar o curso a sério, a fé de Abraão para não desistir de tudo por qualquer coisa atoa, a sabedoria de Salomão para saber o que era certo e o errado, a confiança de Noé para acreditar em mim mesmo, a paciência de Jô, ousadia de Paulo e sinceridade de José para saber lidar com os colegas, e agradecer ainda mais por não ter me dado à força de Sansão. E apesar de tudo eu ainda ter um coração puro igual ao de Davi, para ti agradecer todos os dias.

Agradeço muito a minha bela e amada esposa, pois sem o teu apoio e carinho tudo seria diferente.

A minha mãe Maria Marques “Rosa” que sempre me auxiliou em todas as etapas de minha vida. Ao meu pai, Joel Machado, pessoa com quem eu aprendi a lutar muito e nunca desistir. “E Deus disse: Honrar pai e mãe” Matheus 15, 4. Saibam que tudo que sempre fiz e ainda faço é para honra-los.

Aos meus irmãos Joelcio Machado, Bruna Ellen, Enzo Gabriel “nosso caçulinha”, sou muito grato em tê-los com irmãos.

A todos da minha família muito obrigado pelo carinho e incentivo concedidos em todos os momentos.

Agradeço a todos da Universidade Estadual de Goiás Câmpus de São Luís de Montes Belos. Agradeço também todos os professores e colaboradores que fazem parte do Programa de Pós-graduação Stricto sensu em Desenvolvimento Rural Sustentável.

À professora Dra. Adriana Aparecida Ribon, pelos bons ensinamentos, incentivos, pela confiança, e orientação neste trabalho. Muito obrigado!

A todos os amigos e colegas que conheci durante o curso: Lucas Ferreira, Carlos Arnaldo, Eli Márcio, Camila Silva, Odair Neto, Mariana Nogueira, Sammes Antônio, Lorryne Lays, Israel Ivo, Tiago Assis, Paulo Renato e Luana Rodrigues. Muito obrigado a todos!

À Universidade Federal de Goiás, em especial a todos do laboratório de solos pelo auxílio nas análises químicas.

À Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária (UNESP/FCAV), campus de Jaboticabal – SP, em especial ao Professor Dr. José Marques e também a Kathleen Lourenço. Muito obrigado.

Agradeço ao Luís Rodrigo e Marcel Getaruck pelo espaço cedido durante minha estadia em Jaboticabal-SP.

Muito obrigado!

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características mais prováveis de chorume em aterros brasileiros.	22
Tabela 2. Classificação dos valores de χ_{FD}	36
Tabela 3. Atributos morfológicos do perfil do município de Jandaia – Goiás.....	37
Tabela 4. Atributos morfológicos do perfil do município de Paraúna – Goiás.....	37
Tabela 5. Atributos morfológicos do perfil do município de Palminópolis – Goiás.....	37
Tabela 6. Textura dos perfis estudados.....	40
Tabela 7. Atributos químicos e metais pesados dos perfis estudados.....	43
Tabela 8. Análise de ferro cristalino e não cristalino, mineralogia e valor de χ_{FD}	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Classificação dos resíduos conforme sua periculosidade.....	16
Quadro 2. Classificação dos resíduos conforme sua composição física e química.....	17

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ilustração de funcionamento de um aterro sanitário.	16
Figura 2 – Evolução da geração de RSU entre os anos de 2007 a 2016.	20
Figura 3 – Disposição de RSU em área de lixão.	20
Figura 4 – Disposição de RSU em área de lixão.	20
Figura 5 – Descarte de RSU no Brasil em 2015 e 2016.	21
Figura 6. (Capítulo 2) Delimitação da área de estudo: 1 (Longitude: 17°1'21.02", Latitude: 50°8'23.05"); 2 (Latitude: 16°46'49.67", Longitude: 50°9'39.64"); 3 (Latitude: 16°54'50.11", Longitude :50°27'40.07").	34
Figura 7. (Capítulo 2) A. Caracterização de horizonte utilizando martelo de borracha e canivete. B. Uso de papel branco para auxílio na caracterização dos horizontes do solo.	35

RESUMO

O nome resíduo sólidos tornou-se tema de grandes discussões nos últimos anos. No cotidiano nacional muitos conhecem apenas como lixo. A definição de resíduos sólidos é bem diversificada, sendo bastante ampla variando de acordo com autor. No Brasil, a maioria dos municípios brasileiros descartam seus resíduos gerados em locais inadequados, locais estes conhecidos como lixão. Devido à esta problemática, objetivou-se com este trabalho avaliar a capacidade de adsorção de Cd, Ni e Pb presente no chorume pelos minerais da fração argila (Gt e Hm) em três diferentes áreas com descarte de resíduos sólidos. Este trabalho foi realizado nas cidades de Jandaia, Palminópolis e Paraúna, todas pertencentes ao estado de Goiás. Inicialmente, caracterizaram-se os horizontes em cada perfil e, em seguida, foram coletadas 1 kg de amostra de solos. Os atributos físicos analisados foram: estrutura, consistência e também a transição de todos os horizontes, a cor do solo, textura do solo. Já as análises químicas foram: pH em CaCl₂, P (Mehl), K, Ca, Mg, H+Al, Al, CTC, M, V% e M.O. Também foram analisados os níveis de Cd, Ni e Pb. Além das análises supracitadas, realizou-se análises mineralógica bem como suscetibilidade magnética de todos os solos. Os solos foram classificados como: Jandaia: ARGISSOLO Vermelho distrófico (PVd); Paraúna: CAMBISSOLO HÁPLICO Ta distrófico (CXvd); Palminópolis: PLINTOSSOLO Argilúvico eutrófico (FTe). Dentre todos os solos, o PVd foram os solos com maior quantidade de argila. Conforme análise química e metais pesados, todos os solos estudados não apresentaram características de contaminação. Contudo, concluiu-se que: os solos dos três municípios não apresentaram contaminação por nenhum dos metais estudados quando comparado com as leis e normas vigentes.

Palavras-chave: Aterro Sanitário. Chorume. Contaminação do solo.

ABSTRACT

The name solid waste has become the subject of major discourses in recent years. In the daily national many know only as trash. The definition of solid waste is well diversified, being quite broad according to the author. In Brazil, most Brazilian municipalities discard their generated waste in unsuitable places, known as dump sites. Due to this problem, the objective of this work was to evaluate the adsorption capacity of Cd, Ni and Pb present in the slurry by the minerals of the clay fraction (Gt and Hm) in three different areas with solid waste disposal. This work was carried out in the cities of Jandaia, Palminópolis and Paraúna, all belonging to the state of Goiás. Initially, the horizons were characterized in each profile and then 1 kg of soil sample was collected. The physical attributes analyzed were: structure, consistency and also the transition of all horizons, soil color, soil texture. The chemical analyzes were: pH in CaCl₂, P (Mehl), K, Ca, Mg, H + Al, Al, CTC, M, V% and M.O. The levels of Cd, Ni and Pb were also analyzed. In addition to the aforementioned analyzes, mineralogical analyzes as well as magnetic susceptibility of all soils were carried out. Soils were classified as: Jandaia: ARGISSOL Dystrophic red (PVd); Paraúna: HABPLIC CHAMBERSHIP Dystrophic Ta (CXvd); Palminópolis: PLINTOSOLO Argilúvico eutrófico (FTe). Among all soils, the PVd were the soils with the highest amount of clay. According to chemical analysis and heavy metals, all the studied soils did not present characteristics of contamination. However, it was concluded that: the soils of the three municipalities did not present contamination by any of the metals studied when compared to the laws and regulations in force.

Keywords : Landfill. Slurry. Ground contamination.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE QUADROS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMO	x
SUMMARY	Erro! Indicador não definido.
CAPÍTULO 1- CONSIDERAÇÕES GERAIS	13
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	14
2.1 Resíduos sólidos.....	14
2.1.1 Classificação dos resíduos	16
2.1.2 Evolução da geração de resíduos no Brasil.....	18
2.1.2 Destinação final de RSU no Brasil.....	20
2.1.3 Definição e características do chorume	21
2.2 Mineralogia do solo.....	23
2.2.1 Mineralogia da fração areia e silte.....	23
2.2.2 Mineralogia da fração argila	24
2.4 Adsorção de poluentes	25
REFERÊNCIAS.....	27
CAPÍTULO 2 – ARTIGO 1	31
RESUMO.....	31
ABSTRACT	31
INTRODUÇÃO	32
MATERIAL E MÉTODOS	33
RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
CAPÍTULO 3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	50

CAPÍTULO 1- CONSIDERAÇÕES GERAIS

No último século o Brasil passou por um acelerado processo de urbanização. Nas primeiras décadas do século XX, a maioria da população brasileira vivia na zona rural e logo, com o processo de industrialização e o êxodo rural, chegou ao final do século XX como um país predominantemente urbano. Essa rápida inversão provocou um enorme déficit no setor de saneamento, tornando-se um dos principais problemas ambientais do país.

Com maior concentração da população na zona urbana, tem-se a geração de um volume maior de resíduos sólidos urbanos (RSU) (OLIVEIRA & GALVÃO JÚNIOR, 2016). Fato este é confirmado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2017), onde, conforme pesquisa realizada em 2016, a geração per capita chegou a 1,040 kg/habitante/dia.

Com aumento na geração de RSU no país, tem-se a preocupação com o destino final deste, pois, não havendo disposição e tratamento adequado, os RSU podem trazer várias consequências negativas ao meio ambiente. Reichert & Mendes (2014) destacam que este problema é mais notório nos pequenos municípios. Nos países que estão em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, o descarte e a disposição final dos resíduos ainda é um grande problema a ser resolvido, devido à cultura da população e da falta de investimento do poder público.

Além da contaminação dos córregos e dos rios, o descarte irregular dos RSU têm impactos significantes no solo, podendo tal contaminação chegar até o lençol freático caso sua disposição seja em locais impróprios. A contaminação do solo e água ocorre devido à decomposição dos resíduos, gerando um subproduto conhecido como lixiviado e/ou chorume.

Vale ressaltar que além das contaminações, tanto do solo quanto da água, o chorume pode trazer diversas preocupações na vida das populações que residem nas proximidades de áreas com descarte de RSU. MACHADO et al., (2015) citam que dentre as várias doenças que as populações estão expostas destaca-se a diarreia.

No Brasil o aterro sanitário é o local mais apropriado para dispor os RSU quando estes não têm mais utilização. Porém, como se observa nos dados

divulgados pela ABRELPE (2017), mais de 29 milhões de toneladas de lixo ainda seguem para locais inadequados, ou seja, em aterros controlados e/ou lixão.

Devido ao grande número de cidades que não dispõem de um ambiente adequado para fazer o descarte de resíduos, neste caso os aterros sanitários, tem-se a necessidade de aprimoramento das técnicas que diminuem a contaminação do solo com metais pesados presentes no chorume. Neste contexto, destacam-se os estudos com minerais da fração argila do solo, o qual pode ser uma alternativa eficiente e viável.

O estudo da mineralogia do solo, em especial à mineralogia da fração argila, tem-se destacado no contexto ambiental devido seu grande potencial de adsorção de contaminantes químicos, evitando contaminações mais severas do solo e, conseqüentemente, da água.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Resíduos sólidos

O nome resíduo sólidos tornou-se tema de grandes discursões nos últimos anos. No cotidiano nacional muitos conhecem apenas como lixo. A definição de resíduos sólidos é bem diversificada, sendo bastante ampla variando de acordo com autor. Dentre as várias definições de resíduos sólidos, destaca-se a da NBR 10.004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2004), o qual define resíduos sólidos como:

Resíduos nos estados sólidos e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Na prática, os resíduos são gerados em diversos ambientes, seja ele na

rotina doméstica, no âmbito das indústrias, dos diversos serviços praticados em vários ambientes. No âmbito dos resíduos sólidos urbanos (RSU), sua geração está associada a diversos fatores, tais como nível educacional da população, hábitos, poder aquisitivo, dentre outros. Godecke et al (2012) descreveram que a geração de RSU está mais associada aos hábitos de cada população, sendo que o poder aquisitivo não interfere, de forma significativa, no quesito geração.

Os RSU são constituídos, principalmente, por materiais orgânicos, recicláveis e rejeitos domésticos. Segundo Marques (2011) a composição dos RSU é bastante diversificada, compreendendo desde restos de alimentos, papéis, metais, vidros e plástico, até elementos considerados perigosos por serem prejudiciais ao meio ambiente e à saúde pública.

Além dos RSU, têm-se também os resíduos de origem industrial, resíduos de serviços de saúde (RSS), da agricultura e também os resíduos da construção civil (RCC). De ponto de vista ambiental, todos os resíduos outrora mencionados apresentam maior risco de contaminação e degradação quando comparado aos RSU. Devido o grande potencial poluidor, todos os resíduos classificados como não domésticos necessitam de cuidados mais específicos quanto a sua coleta, acondicionamento, transporte e disposição final.

Os resíduos considerados industriais normalmente possuem diversos metais pesados em sua composição, tais como chumbo (Pb), níquel (Ni), cádmio (Cd), mercúrio (Hg), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), que, ao serem descartados em locais sem nenhuma proteção, como é o caso dos lixões, os metais presentes nos resíduos são carregados, e, conseqüentemente, contaminam o solo e pode chegar até o lençol freático (KEMERICH et al., 2013).

Cotidianamente os RSU podem ser reutilizados e/ou reciclados. Quando não se tem a prática descrita anteriormente, os RSU devem ser descartados em aterros sanitários (Figura 1), local mais apropriado para fazer a disposição final destes. Os aterros sanitários são construídos seguindo normas de engenharia e possui boa infraestrutura, sendo que nesses locais os impactos ambientais são considerados insignificantes (CARVALHO & OLIVEIRA, 2010).

Figura 1 – Ilustração de funcionamento de um aterro sanitário.



Fonte: www.infoenem.com.br

2.1.1 Classificação dos resíduos

Os resíduos podem ser classificados conforme sua origem, periculosidade, características física, química e biológica (ABNT, 2004). Para melhor definição dos itens mencionados, abaixo estão apresentados todas as definições separadamente dos itens supracitados.

Quanto a origem ou natureza dos RS, são aqueles gerados durante as atividades cotidianas dos seres humanos, advindos da limpeza dos logradouros urbanos, resíduos gerados nos estabelecimentos comerciais, resíduos advindos dos serviços de saneamento básico (BARTHOLOMEU et al., 2011), todos os resíduos gerados durante as atividades das indústrias, resíduos de agrotóxicos, resíduos dos serviços de saúde, resíduos da construção civil, bem como os demais resíduos gerados nas diversas atividades para a manutenção da vida dos seres humanos.

A classificação dos resíduos quanto sua periculosidade pode ser observada conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação dos resíduos conforme sua periculosidade.

Categoria	Especificação	
Classe 1 – Perigosos	São resíduos que podem representar risco à saúde pública e ao meio ambiente, ou apresentam uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.	
Classe II – Não perigosos	II A – Não inertes	Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - Perigosos ou de resíduos classe II B - Inertes, nos termos desta Norma. Os resíduos classe II A – Não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
	II B – Inertes	Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Fonte: ABNT, 2004.

Conforme mencionado, além da classificação dos resíduos quanto a sua origem e periculosidade, tem-se também a classificação quanto à composição química e física dos resíduos. Conforme apresentado no Quadro 2, os resíduos, quanto à composição física, podem ser caracterizados como secos e molhados. Com relação à caracterização química, os resíduos podem ser orgânicos e também os inorgânicos.

Quadro 2 – Classificação dos resíduos conforme sua composição física e química.

Classificação	Tipos	Descrição
Quanto à composição física	Secos	Papéis, plásticos, metais, couros tratados, tecidos, madeiras, guardanapos e toalhas de papel, pontas de cigarro, isopor, lâmpadas, parafina, cerâmica, porcelana, espumas, cortiças, plásticos, vidros, borracha, tecidos, metais (alumínio, ferro, etc.), dentre outros.
	Molhados	Resto de comida, cascas, pó de café e chá, cabelos, resto de alimentos, cascas e bagaços de frutas e verduras, ovos, legumes, alimentos estragados, ossos, aparas e podas de jardim, dentre outros.
Quanto às características químicas	Orgânicos	Originados principalmente da decomposição de plantas e animais, matéria orgânica, resíduos e esgotos domésticos, resíduos de podas e jardinagem, lodos de ETE, excrementos humanos e animais.
	Inorgânicos	Substâncias químicas minerais ou bioquímicas, relativamente estáveis ou capazes de alterar as condições físico-químicas e biológicas do meio, são praticamente os resíduos industriais de metalúrgicas, refinaria de petróleo, mineração.

Fonte: Adaptado de CARIBÉ, (2015); ABNT, (2004).

2.1.2 Evolução da geração de resíduos no Brasil

A geração de RS no Brasil apresenta aumento significativo em seu volume gerado a cada ano. Dentre os principais fatores que contribuem para este aumento, destaca-se o avanço de novas tecnologias, o aumento da

industrialização. Com tal aumento, afim de não provocar danos ao meio ambiente e saúde da população, a disposição final adequada dos RS é indispensável (URBAN, 2016). Mucelin e Bellini (2008) destacam que tal aumento se da pelo crescente consumo de produtos industrializados pela população. Godecke et al., (2012) relatam que devido ao maior poder aquisitivo das pessoas e da facilidade em adquirir algo a sociedade atual é considerada consumista, o que, conseqüentemente, tem-se o aumento na geração dos RS.

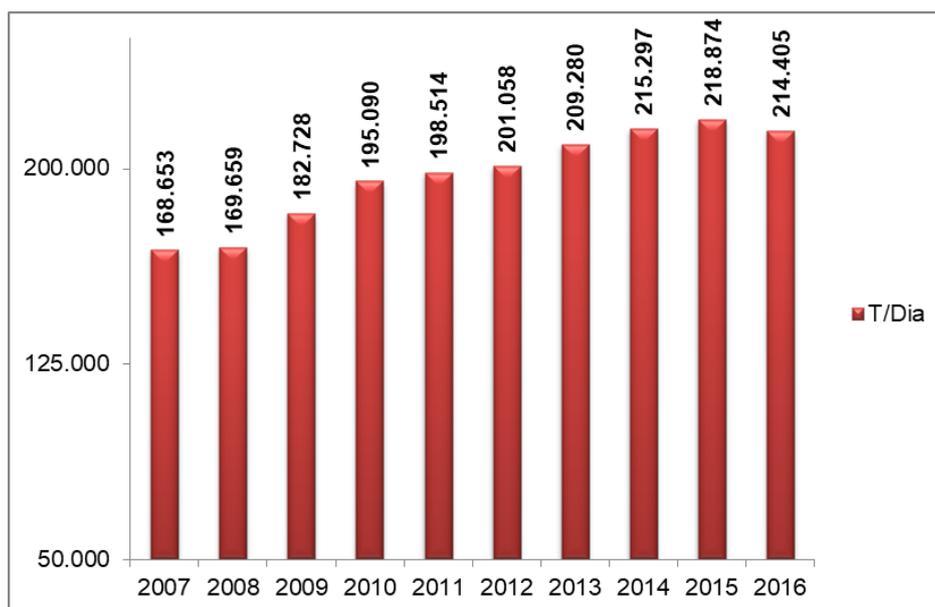
Com crescimento constante na geração de RS, se faz necessário ter controle e o conhecimento sobre esta geração. O conhecimento sobre a evolução da geração dos RS é relevante não somente para o cumprimento das leis brasileiras bem como para o planejamento das atividades de manejo dos RS, coleta, tratamento e disposição final (CAMPOS, 2012).

Nos últimos anos nota-se que a geração per capita de resíduos sólidos, ou seja, a quantidade gerada por cada habitante está superior à taxa de crescimento da população do país (MEDEIROS et al., 2015). Em pesquisa sobre as condições de saneamento básico realizada no ano 2.000, concluiu-se que quantidade de resíduos gerados diariamente no Brasil era de 125.281 toneladas/dia, ou seja, 45.727.565 milhões de toneladas/ano (PNSB, 2000).

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Publica e Resíduos Especiais – ABRELPE, no ano de 2016, último ano que fora realizado pesquisa sobre a geração de RS no Brasil, a geração total de RS teve queda de 2% quando comparado com ano de 2015, chegando a 214.405 t/dia de RSU, com montante de 78.257.825 t/ano (ABRELPE, 2017). Neste mesmo período a população brasileira apresentou um crescimento de 0,8% entre 2015 e 2016 (IBGE, 2017), enquanto a geração per capita de RSU registrou queda quase 3% para o mesmo período.

Ao comparar a geração de RSU atual (2016) com a geração de RSU em 2000, nota-se que houve crescimento de mais de 58% na geração anual, passando de 45 milhões de t/ano para mais de 78 milhões de t/ano.

Figura 2 – Evolução da geração de RSU entre os anos de 2007 a 2016.



Fonte: Adaptado de Abrelpe (2008 a 2017).

2.1.2 Destinação final de RSU no Brasil

No Brasil, principalmente após o avanço de novas tecnologias, observa-se que a disposição final de resíduos ainda é um grande problema, sendo realizada, na maioria das vezes, em lixões. Mondelli et al., (2016) relataram que são vários os locais em que os resíduos estão acondicionados inadequadamente, abrangendo grandes áreas, não observando as limitações legais e desobedecendo as normas e técnicas de manejo adequado.

Figura 3 – Disposição de RSU em área de lixão.



Fonte: Autor (2017).

Figura 4 – Disposição de RSU em área de lixão.



Fonte: Autor (2017).

Para aprimorar as técnicas de disposição final de RSU, em 2010 foi homologada a Lei nº 12.305, o qual institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). Tal lei tinha como objetivo acabar com as destinações clandestinas de RSU até agosto do ano de 2014. Porém, devido vários problemas, tal como a falta de iniciativa dos municípios, os lixões ainda são os principais destinos de RSU dos pequenos municípios (REICHERT & MENDES, 2014).

Conforme apresentado na Figura 5, nota-se que houve diminuição na quantidade de RSU disposto em lixões e/ou aterro controlados, porém mesmo com tal redução muitos municípios ainda fazem tal descarte em lixões. URBAN (2016) relata que houve diminuição da quantidade diária de resíduos dispostos inadequadamente, assim como um crescimento dos resíduos lançados em aterros sanitários.

Figura 5 – Descarte de RSU no Brasil em 2015 e 2016.



Fonte: Adaptado de ABRELPE, (2017).

2.1.3 Definição e características do chorume

Segundo CELERE et al., (2007) chorume é um líquido escuro de composição físico-química e microbiologia variada. KAWAHIGASHI et al., (2014) definiram chorume como todo líquido escuro gerado a partir da decomposição da matéria orgânica presente nos resíduos, podendo apresentar como característica concentrações de nitrogênio, matéria orgânica, composto

orgânico de difícil degradação.

No que se refere à contaminação do solo e da água, o chorume é um dos responsáveis por tal degradação ao meio ambiente. Devido sua elevada concentração de matéria orgânica e de metais, o chorume constitui-se como um poluente extremamente nocivo ao ambiente, necessitando de um tratamento antes ao seu lançamento no corpo hídrico (SÁ et al., 2012).

SOUTO & POVINELLI (2007) fizeram um estudo visando o conhecimento das características mais prováveis do chorume provenientes dos aterros das cidades brasileiras e observaram. Conforme apresentado na Tabela 1, dentre as substâncias químicas com maior potencial poluidor presente no chorume destacaram-se o Cu, Ni, Cr, Cd, Pb, Zn. Além dos metais pesados, é possível observar que o chorume possui alta Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO e Demanda Química de Oxigênio – DQO.

Tabela 1. Características mais prováveis de chorume em aterros brasileiros.

Variável	Faixa Máxima	Faixa mais Provável	*FVMP (%)
pH	5,7 – 8,6	7,2 – 8,6	78
Alcalinidade total (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	750 - 11400	750 - 7100	69
Dureza (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	95 - 3100	95 - 2100	81
Condutividade (µS/cm)	2950 - 25000	2950 - 17660	77
DBO (mg.L ⁻¹)	<20 - 30000	<20 - 8600	75
DQO (mg.L ⁻¹)	190 - 80000	190 - 22300	83
Óleos e Graxas (mg.L ⁻¹)	10 - 480	10 - 170	63
Fenóis (mg C ₆ H ₅ OH.L ⁻¹)	0,9 – 9,9	0,9 – 4,0	58
N-NTK (mg.L ⁻¹)	80 - 3100	Não há	-
N-amoniacal (mg.L ⁻¹)	0,4 - 3000	0,4 - 1800	72
N-orgânico (mg.L ⁻¹)	5 - 1200	400 - 1200	80
N-nitrito (mg.L ⁻¹)	0 - 50	0 - 15	69
N-nitrato (mg.L ⁻¹)	0 - 11	0 – 3,5	69
P-total (mg.L ⁻¹)	0,1 - 40	0,1 - 15	63
Sulfeto (mg.L ⁻¹)	0 - 35	0 - 10	78
Sulfato (mg.L ⁻¹)	0 - 5400	0 - 1800	77
Cloreto (mg.L ⁻¹)	500 - 5200	500 - 3000	72
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)	3200 - 21900	3200 - 14400	79
Sólidos totais voláteis (mg.L ⁻¹)	630 - 20000	630 - 5000	60
Sólidos totais fixos (mg.L ⁻¹)	2100 - 14500	2100 - 8300	74
Sólidos suspensos totais (mg.L ⁻¹)	5 - 2800	5 - 700	68
Sólidos suspensos voláteis (mg.L ⁻¹)	5 - 530	5 - 200	62
Ferro (mg.L ⁻¹)	0,01 - 260	0,01 - 65	67
Manganês (mg.L ⁻¹)	0,04 – 2,6	0,04 – 2,0	79
Cobre (mg.L ⁻¹)	0,005 – 0,6	0,05 – 0,15	61

Variável	Faixa Máxima	Faixa mais Provável	*FVMP (%)
Níquel (mg.L ⁻¹)	0,03 – 1,1	0,03 – 0,5	71
Cromo (mg.L ⁻¹)	0,003 – 0,8	0,003 – 0,5	89
Cádmio (mg.L ⁻¹)	0 – 0,26	0 – 0,065	67
Chumbo (mg.L ⁻¹)	0,01 – 2,8	0,01 – 0,5	64
Zinco (mg.L ⁻¹)	0,01 – 8,0	0,01 – 1,5	70

*FVMP: Frequência de ocorrência dos valores mais prováveis.

Fonte: Adaptado de SOUTO E POVINELLI, 2007.

2.2 Mineralogia do solo

A formação dos solos se origina da junção de materiais minerais e orgânicos que estão em constante transformação através da ação dos agentes do intemperismo, tais como a umidade, ventos, temperatura, organismos vivos, dentre outros (CASTRO et al., 2014).

A mineralogia do solo é, dentre outros aspectos, quem mais influencia nos fenômenos químicos e físicos que ocorrem no solo. A composição e as transformações mineralógicas dos materiais dos solos possibilitam um melhor conhecimento da evolução dos sistemas de intemperismo (MOTA, 2004). Mata et al., (2011) relataram que o conhecimento da mineralogia do solo é de suma importância, sendo possível estudar seus minerais até em níveis atômicos pelo método da difração de raios-x, sendo possível delimitar e descobrir sua estrutura.

A fração mineral do solo é dividida em lotes de dimensões que apresentam diferenças em relação à mineralogia e ao comportamento químico. Os minerais do solo pertencem a dois grupos: minerais primários e minerais secundários. Os minerais primários encontrados no solo provêm da rocha a partir da qual este solo se originou, persistindo inalterados na sua composição, já os minerais secundários ocorrem nos solos formados, principalmente, a partir do intemperismo de minerais preexistentes (Zanello, 2006).

2.2.1 Mineralogia da fração areia e silte

A mineralogia da fração areia dos solos é constituída por minerais herdados da rocha mãe que resistiram ao processo de intemperização e

formação dos solos (TEIXERA & PINTO, 2006). Segundo Mota (2004) a mineralogia das frações areia e silte são constituídas, em geral, por minerais resistentes ao intemperismo como quartzo, além de outros minerais primários em quantidades variáveis tais como olivinas, anfibólios, piroxênios, feldspatos e micas.

ZANELLO (2006) estudou três diferentes tipos de solos na cidade de Curitiba-PR e evidenciou a presença de quartzo, feldspato potássico e muscovita, sendo o quartzo o principal mineral identificado em todas as classes de solos da fração areia. Já com relação ao silte, nesse mesmo estudo a fração silte de todos os solos estudados apresentou-se rico em quartzo e caulinita.

Diferentes autores estudaram os minerais da fração areia e silte do solo em diferentes estados e tipos de solos. Como resultados obtiveram que os principais minerais encontrados foram: Quartzo (mineral mais predominante dentre todos os solos estudados), muscovita, caulinita, hematita, mica, bayerita, plagioclásio e gibbsita (LAGES et al., 2008; MATA et al., 2011; GOMES et al., 2007) Contudo, nota-se que os minerais da fração areia e silte são compostos por vários minerais, sendo o quartzo o mais predominante dentre todos.

2.2.2 Mineralogia da fração argila

A fração argila de um solo representa a maior parte da fase sólida do solo sendo constituída de uma gama variada de minerais que apresentam cargas elétricas negativas responsáveis pela capacidade de troca de cátions (CTC). Segundo CAMARGO et al., (2009) os solos em clima tropical mais intemperizados possuem minerais da fração argila caracterizada pela predominância de argilominerais do tipo 1:1 e de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio.

Dentre os principais minerais da fração argila destacam-se caulinita, hematita, goethita, gibbsita, estando presente em quase todas as classes de solos. Ao estudar a mineralogia da fração argila e atributos físicos de um argissolo em curvaturas de relevo, CAMARGO (2009) evidenciou a presença de caulinita, gibbsita e goethitas e hematitas e o reflexo do mineral anatásio em todas as amostras estudadas.

Ao estudar diversos solos no bioma cerrado, ARAÚJO (2016) evidenciou

a presença caulinita, quartzo, gibbsita, goethita, hematita, anatásio, magnetita, cristobalita, rutilo e diásporo, sendo os cinco primeiros minerais encontrados com maior frequência e intensidade. Em estudo semelhante realizando análise mineralógica em três solos de diferente áreas no Estado de Goiás, OLIVEIRA et al., (2010) concluíram que a mineralogia das argilas têm, como principal mineral a caulinita, seguida de gibbsita, hematita, illita e magnetita.

ABREU et al., (2011) realizou alguns estudos em solos do bioma cerrado e observaram os seguintes minerais da fração argila: caulinita; gibbsita; goethita; hematita; maghemita; anatásio, sendo a caulinita com maior relevância. ZANELLO et al., (2009) obtiveram resultados semelhantes com os autores anteriores ao estudar a mineralogia da fração argila na cidade de Curitiba – Paraná.

2.4 Adsorção de poluentes

A adsorção de poluentes é o processo onde o soluto adere às superfícies das partículas do solo, especialmente dos argilominerais e da matéria orgânica, devido a forças de atração decorrentes de cargas desequilibradas nas superfícies dessas partículas, resultantes de imperfeições ou substituições iônicas na estrutura cristalina dos minerais (FREEZE & CHERRY, 1979, citado por OLIVEIRA et al., 2010).

A capacidade de retenção de metais pesados no solo é diferente para cada tipo de solo, variando de acordo com suas características. A determinação da capacidade de adsorção de metais contaminantes no solo é de fundamental importância quando relacionada à solubilidade e à disponibilidade do poluente no meio (GONÇALVES et al., 2013).

ALLEONI, (2005) relatou que a adsorção de metais pesados pelo solo é dependente de vários fatores, sendo os teores de argila, a quantidade de material orgânico, os óxidos de Fe, de Al e de Mn, o pH, e a constituição mineralógica do solo os principais. Neste contexto, muitos estudos tem-se destacado buscando evidenciar os fatores acima citados com diferentes metais pesados lançados indevidamente no solo.

Dentre os principais modelos de isotermas existentes que descrevem a adsorção de metais no solo, destacam-se os modelos propostos por Langmuir

e Freundlich (GONÇALVES et al., 2013).

O modelo de isoterma de Langmuir assume que todas as forças que atuam na adsorção são similares em natureza àquelas que envolvem uma reação química e que a sorção se resume em uma única camada de moléculas da substância sobre a superfície das partículas sólidas (TAGLIAFERRO et al., 2011).

Já o modelo de Freundlich considera que a adsorção ocorre em diversas camadas e é útil para descrever a adsorção em superfícies altamente heterogênea (TAGLIAFERRO et al., 2011).

Atualmente alguns estudos focam apenas na adsorção de alguns metais presente no chorume, sendo estes na maioria das vezes feita de forma isolada, ou seja, não evidenciando todos os metais pesados, o que dificulta a tomada de decisão.

GONÇALVES et al., (2008) ao avaliar a adsorção de Cd em solos cauliniticos no estado de Rio Grande do Sul, concluíram que os solos apresentaram características diferentes em adsorver o metal estudado, sendo que a classe de latossolos estudadas foram mais eficientes na adsorção de Cd do que a classe de nitossolo.

LINHARES et al., (2009) estudaram a adsorção de Pb e Cd em quatro latossolos e um argissolo, os autores concluíram que os solos que continham maiores óxidos de ferro e alumínio foram mais eficientes na adsorção dos metais.

SOUZA et al., (2006) investigando a adsorção de Zn em argissolo no estado da Paraíba, concluíram que a classe os argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico e Vermelho Eutrófico foram os solos que apresentaram maiores capacidade de adsorção de Zn em relação aos outro argissolo estudados. Estes autores também observaram que a elevação do pH influenciou diretamente na adsorção de Zn, sendo que os solos ficaram mais eficientes.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2004). **NBR 10004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT.

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014**. São Paulo, 2015.

ABREU, L. B.; CARVALHO, G. S.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J. G. S. M. Sorção de Selênio em Solos do Bioma Cerrado. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 35, p. 1995-2003, 2011.

ALLEONI, L. R. F.; IGLESIAS, C. S. M.; MELLO, S. C.; CAMARGO, O. A.; CASAGRANDE, J. C.; LAVORENTI, N. A. Atributos do Solo Relacionados à Adsorção de Cádmio e Cobre em Solos Tropicais. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 27, n. 4, p. 729-737, 2005.

BARCELAR, H. A. M. **Tratamento de Lixiviados Produzidos em Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos por meio de Evaporação Forçada**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – Rio de Janeiro, 2010, 76 p.

BARTHOLOMEU, D. B.; BRANCO, J. E. H; CAIXETA FILHO, J. . A. **Logística de transporte dos Resíduos Sólidos Domiciliares**. São Paulo: Atlas, 2011.

BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; Altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e da outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>. Acesso em 26 Ago. 2016.

CAMARGO, L. A. **Mineralogia da Argila e Atributos Físicos de Um Argissolo em Curvaturas de Relevô**. Dissertação (Mestrado Produção Vegetal) Universidade Estadual Paulista – UNESP, Jaboticabal – SP, 111p, 2009.

CAMPOS, H. K. T. Renda e Evolução da Geração *per capita* de Resíduos Sólidos no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 171-180, 2012.

CARIBÉ, R. M. **Análise Multivariada no Comportamento dos Recalques em Célula Experimental de Resíduos Sólidos Urbanos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - Paraíba, 2015. 99 p.

CARVALHO, A. R. & OLIVEIRA, M. V. C. (2010) **Princípios básicos do saneamento do meio**. São Paulo: SENAC. 401 p.

CASTRO, P. H. M., VENDRAME, P. R. S., PINESE, J. P. P. Mineralogia da Fração Argila de Solos Localizados em Ilhas no Alto Rio Paraná, PR-MS. **Ciências Exatas e Tecnológicas**. Londrina, v. 35, n. 2, p. 181-188, v. 23, n. 4, p. 939-947, 2014.

CELERE, M. S.; OLIVEIRA, A. S.; TREVILATO, T. M. B.; MUÑOZ, S. I. S. Metais Presente no Chorume Coletado no Aterro Sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e Sua Relevância Para Saúde Pública. **Cad. Saúde Pública**. v. 23, n. 4, p. 939-947, 2007.

GODECKE, M. V.; NAIME, R. H.; FIGUEIREDO, J. A. S. O Consumismo e a Geração de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil. **Rev. Elet. Em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, n. 8, p. 1700-1712, 2012.

GOMES, J. B. V.; CURTI, N.; SCHULZE, D. G.; MARQUES, J. J. G. S. M.; KER, J. C.; MOTA, P. E. F. Mineralogia e Micromorfologia de Solos Esqueléticos do Bioma Cerrado, no Leste De Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V. 31 p. 875-886, 2007.

GONÇALVES, M. S.; BETTIN, J. P.; JUNIOR, L. C. S. S.; SAMPAIO S. C.; BOSCO, T. C. D. Adequação Dos Modelos De Langmuir e Freundlich na Adsorção de Cobre em Solo Argiloso do Sul do Brasil. **Revista Holus**, v.4, 2013.

GONÇALVES, V. C.; CARVALHO, S. A.; TATSCH, F. R. P.; NETO, O. A. S.; MEURER, E. J. Adsorção de Cádmiu em Solos Cauliníticos. **Revista FZVA**, v. 15, n. 2, p 01-10, 2008

JACKSON, M. L. **Soil Chemical Analysis**, 2nd edition., Madison, 1985. 930 p.

KAWAHIGASHI, F.; MENDES, M. B.; ASSUNÇÃO JUNIOR, V. G.; GOMES, V. H.; FERNANDES, F.; HIROOKA, E. Y.; KURODA, E. K. Pós-tratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário com Carvão Ativado. **Eng. Sanitária Ambiental**. v.19, n.3, 235-244, 2014.

KEMERICH, P. D. C.; MENDES, S. A.; VORPAGEL, T. H.; PIOVESAN, M. Impactos Ambientais de Correntes da Disposição Inadequada de Lixo Eletrônico no Solo. **Engenharia Ambiental**, v.10, n. 2, p. 208-219, 2013.

LAGES, S. G.; OLIVEIRA, C. V.; BRITO, W. Mineralogia da Fração Areia Aplicada à Identificação de Descontinuidades Estratigráficas em Perfis Pedológicos. **Revista Geografias**. v. 4, p. 77-86, 2008.

LINHARES, L. A.; FILHO, F. B. E. OLIVEIRA, C. V.; BELLIS, V. M. Adsorção de Cádmiu e Chumbo em Solos Tropicais Altamente Intemperizados. **Rev. Pes. Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 3, p 291-299, 2009.

MACHADO, J. R. M.; UCKER, F. E.; JUNIOR, M. G. SILVA.; ALONSO, R. R. P. Dimensionamento de Uma Estação de Tratamento de Esgoto para o Município

de Mozarlândia – GO. **Revista Eletrônica de Educação da Faculdade Araguaia**, v. 8, n. 2, p. 156-169, 2015.

MARQUES, R. F. P. V. **Impactos Ambientais da Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos no Solo e na Água Superficial em Três Municípios de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas), Universidade Federal de Lavras, Lavras – Minas Gerais, 2011. 96 p.

MATA, J. F.; SILVA, R. R. S.; FONTES, M. P. F.; ERASMO, E. A. L.; FARIAS, V. L. S. Análise Mineralógica, Granulométrica e Química, em solos de Ecótonos do Sudoeste do Tocantins. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.4, n.2, p.152–175, 2011.

MEDEIROS, J. E S. F.; PAZ, A. R.; MORAIS JUNIOR, J. A. Análise da Evolução e Estimativa Futura da Massa Coletada de Resíduos Sólidos Domiciliares no Município de João Pessoa e relação com Outros Indicadores de Consumo. **Eng. Sanitária Ambiental**. v.20 n.1, 119-130, 2015.

MONDELLL, G.; GLACHETL, H. L.; HAMADA, J. Avaliação da Contaminação no Entorno de um Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos Com Base em Resultados de Poços de Monitoramento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. V. 21, n. 1, p. 169-182, 2016.

MOTA, J. C. A. **Caracterização Física, Química e Mineralógica Como Suporte Para o Manejo, dos Principais Solos Explorados Como a Cultura do Melão na Chapada do Apodi – RN**. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – Ceará, 2004, 96 p.

MUCELIN, C. A.; BELLINI, M. Lixo e Impactos Ambientais Perceptíveis no Ecosistema Urbano. **Sociedade & Natureza**. V. 20, n. 1, p. 111-124, 2008.

OLIVEIRA, T. B.; GALVÃO JUNIOR, A. C. Planejamento Municipal na Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos e na Organização da Coleta Seletiva. **Eng Sanitária Ambiental**, v.21 n.1, 55-64, 2016.

OLIVEIRA, L. F. C.; LEMKE-DE-CASTRO, MARA. L.; RODRIGUES, C.; BORGES, J. D. Adsorção e Deslocamento do Íon Cádmi em Solos do Cerrado. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.14, n.8, p.848–855, 2010.

REICHERT, G. A.; MENDES, C. A. B. Avaliação do Ciclo de Vida e Apoio à Decisão em Gerenciamento Integrado e Sustentável de Resíduos Sólidos Urbanos. **Eng. Sanitária Ambiental**. v.19, n.3, 301-313, 2014.

ROSSOL, C. D.; FILHO, H. S.; BERTÉ, L. N.; JANDREY, P. E.; SCHWANTES, D.; JUNIOR, A. C. G. Caracterização, Classificação e Destinação de Resíduos da Agricultura. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 11, n. 4, p. 33-43, 2012.

SÁ, L. F.; JUCÁ, J. F. T.; SOBRINHO, M. A. M. Tratamento do Lixiviado de Aterro Sanitário Usando Destilador Solar. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 1, p. 204-217, 2012.

SOUTO, G. D. B., POVINELLI, J. Características do lixiviado de aterros sanitários no Brasil. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 24, 2007, Belo Horizonte, MG. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 2007.

SOUZA, R. S.; CHAVES, L. H. G.; FERNANDES, J. D. Adsorção de Zinco e Sua Relação com Características de Solos do Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência Agrária**, v. 1, p 1-6, 2006.

TAGLIAFERRO, G. V.; PEREIRA, P. H. F.; RODRIGUES, L. A.; SILVA, M. L. C. P. Adsorção de Chumbo, Cádmio e Prata em Óxido de Nióbio (V) Hidratado Preparado Pelo Método da Precipitação em Solução Homogênea. **Revista Química Nova**, v. 34, n. 1, p 101-105, 2011.

TEIXERA, C. U., PINTO, M. S. Mineralogia da Fração Areia dos Solos Como Indicador do Grau de Intemperização no Distrito de Jaguará - Feira De Santana – Bahia. In: **VI Simpósio Nacional de Geomorfologia**. 2006, Goiânia, GO.

URBAN, R. C. Índice de Adequação ao Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos Como Ferramenta Para o Planejamento: Aplicação no Estado de São Paulo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 367-377, 2016.

ZANELLO, S. **Caracterização Mineralógica e Avaliação dos Teores de Cr, Ni, Cu, Zn e Pb dos Solos do Entorno do Aterro Sanitário da Caximba em Curitiba (PR)**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal do Paraná, Curitiba - Paraná, 2006. 102 p.

ZANELLO, S.; MELO, V. F.; WÓWK, G. I. T. H. Mineralogia e Teores de Cromo, Níquel, Cobre, Zinco e Chumbo nos Solos no Entorno do Aterro Sanitário da Caximba em Curitiba – PR. **Scientia Agraria**, v. 10, n. 1, p. 51-60, 2009.

CAPÍTULO 2 – ARTIGO 1

Capacidade de adsorção de Cd, Ni e Pb presente no chorume pelos minerais da fração argila (Gt e Hm) em três diferentes áreas com descarte de resíduos sólidos*

Adsorption capacity of Cd, Ni and Pb present in the slurry by the minerals of the clay fraction (Gt and Hm) in three different areas with solid waste disposal

RESUMO

Com vista a grande necessidade de técnicas de aprimoramento para atenuar os impactos nos solos e água por contaminantes dos resíduos sólidos, objetivou-se com este trabalho avaliar a capacidade de adsorção de Cd, Ni e Pb presente no chorume pelos minerais da fração argila (Gt e Hm) em três diferentes áreas com descarte de resíduos sólidos. Em todos os solos foram realizadas análises física, química, metais pesados, suscetibilidade magnética e quantificação da Hm e Gt. Os solos foram classificados como: Jandaia (PVd); Paraúna (CXvd); Palminópolis (FTe). Após análises de todos os resultados, conclui-se que nenhuns dos solos estudados estão contaminados, estando todos dentro dos padrões de qualidade exigidos Além da não contaminação, apenas o PVd possui quantidade de argila suficiente para áreas com descarte de resíduos.

Palavras-chave: lixão. Metais pesados. contaminação

ABSTRACT

In view of the great need for improvement techniques to mitigate the impacts on soils and water by solid waste contaminants, the objective of this work was to evaluate the adsorption capacity of Cd, Ni and Pb present in the slurry by the minerals of the clay fraction (Gt and Hm) in three different areas with solid waste disposal. Physical, chemical, heavy metal, magnetic susceptibility and Hm and Gt quantification were performed in all soils. Soils were classified as: Jandaia (PVd); Parauna (CXvd); Palminópolis (FTe). After analysis of all the results, it is concluded that none of the studied soils are contaminated, all being within the quality standards required. In addition to non-contamination, only PVd has enough clay for areas with waste disposal.

Key-words: dump. Heavy metals. Contamination

*Trabalho elaborado de acordo com as normas da revista de engenharia agrícola e ambiental.

INTRODUÇÃO

A contaminação dos solos é provocada principalmente pelo descarte irregular dos resíduos sólidos. Nos últimos anos esta prática tem-se intensificado a cada dia. A contaminação se dá pela decomposição dos resíduos, processo no qual é gerado o chorume. O chorume, que também é conhecido como lixiviado, é um líquido que apresenta altas concentrações de nitrogênio amoniacal, matéria orgânica, cloretos e diversos metais pesados (Kawahigashi et al, 2014).

Neste contexto, busca-se atenuar os impactos causados nos solos pela má disposição de resíduos. Vários autores estudam a correlação entre a classe textural dos solos e o grau de contaminação destes em áreas com má disposição de resíduos. Oliveira et al. (2016) verificaram que o solo de um lixão outrora estudado possuem valores abaixo de 56% de argila, tornando-o impróprio para descarte de resíduos. Korf et al. (2008) relataram que solos argilosos possuem maior capacidade de adsorção de metais pesados provenientes do chorume.

A classe textural do solo é formada por diferentes proporções de areia, silte e argila. Esta característica física do solo é de grande importância para estudos de manejo e contaminação. Quanto maior a porcentagem de areia e/ou silte em determinado solo, menor a capacidade de troca catiônica (CTC) (Oliveira et al., 2016), e consequentemente menor é a adsorção de metais pesados presentes no chorume (Korf et al., 2008).

Rocca et al. (1993) relatam que para fins específicos de descarte de resíduos no solo, este deve conter entre 56 a 62% de argila em sua composição, sendo que texturas mais arenosas e/ou argilosas, podem contribuir para contaminação do lençol freático. Kemerich et al. (2014) relatam que a argila é de fundamental importância em áreas de disposição de resíduos, pois auxilia atenuando a contaminação dos solos e do lençol freático.

Neste contexto, vê-se que há grande necessidade de técnicas de aprimoramento no descarte de dejetos, para atenuar os impactos nos solos e água. Portanto objetivou-se com este trabalho avaliar a capacidade de adsorção de Cd, Ni e Pb presente no chorume pelos minerais da fração argila (Gt e Hm) em três diferentes áreas com descarte de resíduos sólidos.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado nas cidades de Jandaia (latitude 17°02'56" S longitude 50°08'45" O), Palminópolis (latitude 16°47'45"S longitude 50°09'54"O) e Paraúna (latitude 16°56'52"S longitude 50°26'56"O), região Oeste do Estado de Goiás. O clima na região, segundo classificação de Köppen, é caracterizado como Clima Tropical (Aw), com período de precipitação de novembro a abril (média anual de 1.464 mm) e de maio a outubro sem quantidades expressivas de chuva.

Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2016), os municípios possuem 6.263, 3.557 e 10.863 mil habitantes respectivamente, sendo todos pertencentes à região hidrográfica do Rio Paranaíba.

A formação geológica da região é constituída pela Bacia do Paraná (formação Aquidauana e formação Botucatu), predominante no município de Paraúna, bem como pela Sequência Metavulcanossedimentar Anicuns-Itaberaí, caracterizado principalmente pela presença de Xistos e Quartzos, geologia predominantes dos municípios de Jandaia e Palminópolis (Moreira et al, 2008). Ainda segundo estes autores, no município de Palminópolis observa-se ainda a unidade litológica Ortognaisse do Oeste Goiano.

A vegetação da região é típica do bioma cerrado. Em campo observou-se a presença de diversas espécies arbóreas como Angico (*Anadenanthera columbrina*), Aroeira (*Lithraea molleoides*), Jenipapo (*Genipa americana*), Pequi (*Caryocar brasiliense*), Angelim do Cerrado (*Andira anthelmia*), Ipês (*Tabebuia ochracea*), Jatobá (*Hymenaea courbaril*), dentre outras espécies em menor expressão.

Tais cidades foram escolhidas por terem solos com características físico-químicas diferentes, porém, em contra partida, apresentam semelhança na disposição final dos resíduos sólidos. Segundo informações obtidas nas sedes municipais, o descarte de resíduos ocorre a mais de vinte anos nos municípios supracitados. Abaixo, conforme apresentado na Figura 6, tem-se a localização dos pontos de coleta. Em cada município foram selecionados três pontos, onde foram abertas as trincheiras, preparados os perfis e coletadas as amostras de solo para cada horizonte do perfil.

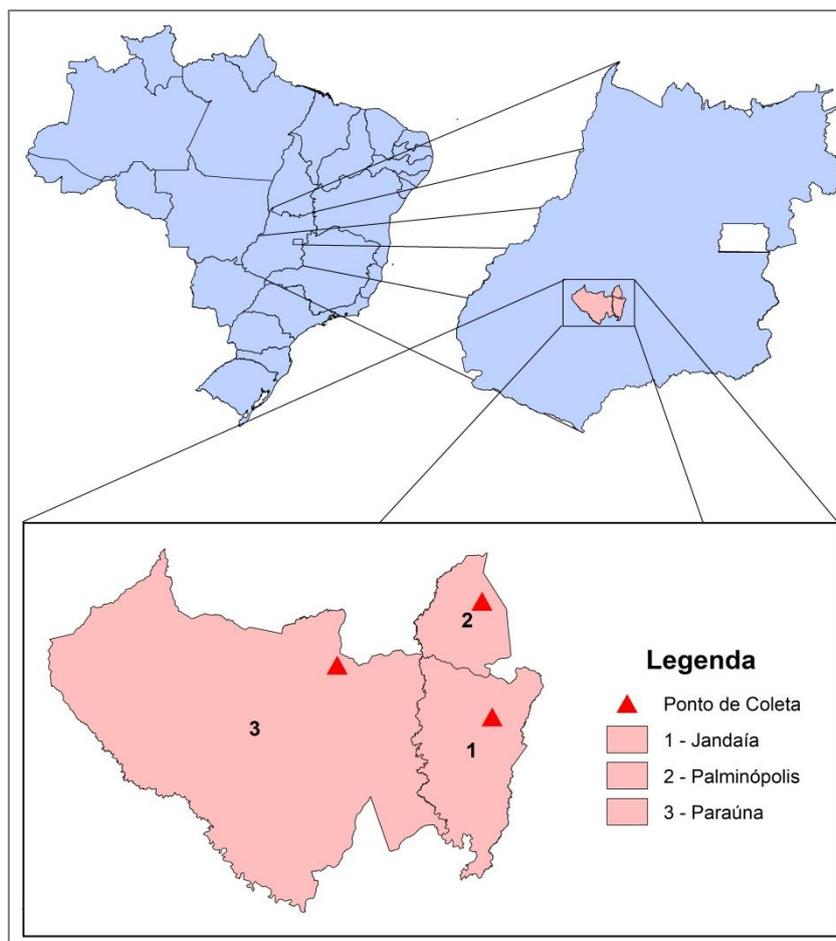


Figura 6. Delimitação da área de estudo: 1 (Longitude: $17^{\circ}1'21.02''$, Latitude: $50^{\circ}8'23.05''$); 2 (Latitude: $16^{\circ}46'49.67''$, Longitude: $50^{\circ}9'39.64''$); 3 (Latitude: $16^{\circ}54'50.11''$, Longitude: $50^{\circ}27'40.07''$).

Para escolha dos pontos de abertura das trincheiras, observou-se primeiramente o relevo das áreas, sendo escolhidos os pontos com menores altitudes. Como áreas de lixões tem-se depositado diversos tipos de resíduos e que estes podem causar cortes e perfurações, bem como infecções, os perfis foram abertos em locais sem grande quantidade expressivas de resíduos.

Após a escolha dos pontos para abertura das trincheiras, foram realizados os procedimentos de limpeza. Foram abertas trincheiras com profundidade total de dois metros, com auxílio de uma retroescavadeira. Após sua abertura, em uma das seções foi preparada o perfil do solo. No perfil foi feita a identificação e separação dos horizontes, utilizando um canivete e um martelo de borracha (Figura 2).

Após as considerações em campo, o perfil de Jandaia foi dividido em 5 horizontes; o perfil de Palminópolis, 7 horizontes e o perfil de Paraúna com 6 horizontes. Em todos os horizontes foi coletado aproximadamente 1 kg de solo para

realização de análises. Todas as amostras coletadas foram armazenadas em embalagens plásticas (plástico filme) e enviadas para laboratórios específicos.



Figura 7. A. Caracterização de horizonte utilizando martelo de borracha e canivete. B. Uso de papel branco para auxílio na caracterização dos horizontes do solo.

Para caracterização morfológica dos perfis, utilizou-se 200 g de solo de cada horizonte. Tal caracterização foi feita no laboratório de solo da Universidade Estadual de Goiás (UEG). Foi caracterizada a estrutura, consistência e também a transição de todos os horizontes, conforme Santos et al. (2013). A cor do solo foi determinada através da Carta de Munsell. Para caracterização da textura do solo, as amostras foram encaminhadas para um laboratório comercial, que utiliza como referência o método do densímetro, conforme determinado pela Embrapa (2011).

Já em relação às análises químicas, todas foram realizadas no laboratório de solo da Universidade Federal de Goiás – UFG. Onde analisou-se os seguintes parâmetros: pH em CaCl_2 , P (Mehl), K, Ca, Mg, H+Al, Al, CTC, M, V% e M.O. Também foram analisados os níveis de Cd, Ni e Pb, afim de avaliar o nível de contaminação do solo por metais pesados presentes no chorume. Todas as análises foram determinadas conforme metodologia indicada pela Embrapa (2011).

Às análises mineralógicas foram realizadas no laboratório de mineralogia e raio x da Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária (UNESP/FCAV), campus de Jaboticabal, SP. A determinação dos teores de ferro relativo à totalidade dos óxidos de ferro pedogenéticos extraídos por ditionito-bicarbonato-citrato (Fed) seguiu a metodologia descrita por Mehra e Jackson (1960) e a determinação dos teores de ferro extraídos por oxalato de amônio (Feo) relativos aos

óxidos de ferro pedogenéticos de baixa cristalinidade seguiu-se a metodologia mencionada por Camargo et al. (1986).

Para a obtenção dos espectros de reflectância difusa, foi moído aproximadamente 1 g de terra fina seca ao ar (TFSA) em almofariz de ágata até obtenção de coloração constante e o conteúdo foi colocado em porta-amostras com espaço cilíndrico de 16 mm de diâmetro. Os valores de reflectância foram determinados em espectrofotômetro Lambda 950 UV/Vis/NIR acoplado com uma esfera integradora de 150 mm de diâmetro. Os espectros foram registrados a cada 0,5 nm, com tempo de integração de 2,43 nm s⁻¹ ao longo do intervalo de 380 a 780 nm (visível).

Os teores de hematita (Hm) e goethita (Gt) foram estimados a partir da segunda derivada da função de Kubelka-Munk. Nas curvas da segunda derivada, identificaram-se as bandas de absorção características aos óxidos de ferro. Para a identificação da goethita, utilizaram-se os intervalos mínimos de 415-425 nm e máximos de 440-450 nm, com relação a hematita, intervalos mínimos de 530-545 nm e máximos de 575-590 nm. Foi realizada também a análises de suscetibilidade magnética. A porcentagem da suscetibilidade magnética de frequência dependente (χ_{FD}) foi classificada de acordo com Dearing (1994) (Tabela 2).

Tabela 2. Classificação dos valores de χ_{FD}

Classe de variação	$\chi_{FD}\%$	Características da amostra
Baixa	$\chi_{FD}\% \leq 2$	Praticamente não existem grãos SP (<10%)
Média	$2 < \chi_{FD}\% \leq 10$	Mistura de grãos SP e grãos não SP ou grãos SP < 0,005 μm
Alta	$10 < \chi_{FD}\% \leq 14$	Praticamente todos os grãos são SP (>75%)
Muito alta	$\chi_{FD}\% \geq 14$	Valores raros, medições erradas, anisotropia magnética, contaminação por metal ou efeito do fogo

Fonte: Dearing (1994); SP - superparamagnético (diâmetro $\sim 0,03 \mu\text{m}$).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Seguindo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SBCS (2013), os solos foram classificados como: Jandaia (Perfil 1) – ARGISSOLO Vermelho distrófico (PVd); Paraúna (Perfil 2) – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta distrófico (CXvd); Palminópolis (Perfil 3) – PLINTOSSOLO Argilúvico eutrófico (FTe). Abaixo conforme apresentado nas Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5, tem-se o resultado da morfologia dos três perfis estudados. Ribeiro et al. (2012) relataram que as características morfológicas dos solos são bases para definição de qualquer corpo natural, correspondendo a

anatomia e ao exame da constituição física do perfil de solo, pelo detalhadamente das propriedades destes.

Tabela 3. Atributos morfológicos do perfil do município de Jandaia – Goiás.

Horizonte	Profundidade; Cor (úmido/seco); Textura; Estrutura; Consistência (seco, húmido e molhado); Transição.
Ap	0-0,13 m; 10 R 3/3 vermelho escuro acinzentado; 10 YR 4/4 Bruno amarelado escuro; Argila; Blocos subangulares, moderado; Ligeiramente dura, firme, friável, plástico; Plana, gradual.
AB	0,13-0,34 m; 2,5 YR 2,5/4 Bruno avermelhado escuro; 2,5YR 3/4 Bruno avermelhado escuro; Argila; Blocos subangulares, moderado; Ligeiramente dura, friável, plástico; Ondulada, gradual
Bw1	0,34-1,11 m; 2,5YR 2,5/4 Bruno avermelhado escuro; 2,5 YR 3/6 vermelho escuro; Argila; Blocos subangulares, moderado; Ligeiramente dura, friável, plástico; Plana, clara.
Bw2	1,11-1,64 m; 2,5 YR 3/3 Bruno avermelhado escuro; 10 R 3/3 Bruno escuro; Argila; Blocos subangulares, moderado; Ligeiramente dura, friável, plástico; Plana, difusa.
Bw3	1,64-2,00 m; 10 R 3/3 Bruno escuro; 2,5 YR 3/6 Vermelho escuro; Argila; Blocos subangulares, moderado ; Ligeiramente dura, friável, plástico; Plana, difusa.

Tabela 4. Atributos morfológicos do perfil do município de Paraúna – Goiás

Horizonte	Profundidade; Cor (úmido/seco); Textura; Estrutura; Consistência (seco, húmido e molhado); Transição.
Ap	0-0,03; 2,5 YR 2,5/3 Bruno muito escuro; 7,5 YR 5/3 Bruno; Franco arenoso; Blocos subangulares, moderado; Macia, friável, não plástico, ligeiramente pegajoso; Plana, gradual.
BA	0,03-0,10; 7,5 YR 3/3 Bruno escuro; 5 YR 3/3 Bruno escuro; Areia; Blocos subangulares, moderado; Macia, friável, não plástico, ligeiramente pegajoso; Ondulada, gradual.
Bw1	0,10-0,23; 5 YR 3/4 Bruno amarelado; 5YR 5/6 Vermelho – amarelado; Areia; Blocos subangulares, moderado; Macia, friável, não plástico, ligeiramente pegajoso; Plana, clara.
Bw2	0,23-0,72; 5 YR 4/6 Vermelho-amarelado; 5 YR 5/6 Vermelho-amarelado; Areia; Blocos subangulares, moderado; Macia, friável, não plástico, ligeiramente pegajoso; Plana, difusa.
Bw3	0,72-1,39; 5 YR 4/6 Vermelho- amarelado; 2,5 YR 5/6 Vermelho; Areia; Blocos subangulares, fraco; Macia, friável, não plástico, ligeiramente pegajoso; Plana, difusa.
Bw4	1,39-2,00; 5 YR 4/6 Vermelho; 5 YR 6/6 Vermelho; Areia; Blocos subangulares, fraco; Macia, friável, não plástico, ligeiramente pegajoso; Plana, difusa

Tabela 5. Atributos morfológicos do perfil do município de Palminópolis – Goiás.

Horizonte	Profundidade; Cor (úmido/seco); Textura; Estrutura; Consistência (seco, húmido e molhado); Transição.
A	0-0,15 m; 10 YR 3/4 Bruno amarelado escuro; 7,5 YR 5/6 Bruno forte; Franco argilo arenoso; Blocos subangulares, fraco; Muito dura, firme, plástico, ligeiramente pegajoso; Plana, gradual.
AB	0,15-0,51 m; 7,5 YR 4/3 Bruno; 10 YR 5/4 Bruno amarelado; Franco argilo arenoso; Blocos subangulares, fraco; Muito dura, firme, plástico, ligeiramente pegajoso; Ondulada, gradual.
BA	0,51-0,80 m; 10 YR 4/4 Bruno amarelado escuro; 10YR 5/3 Bruno; Franca; Blocos subangulares, fraco; Muito dura, firme, plástico, ligeiramente pegajoso; Plana, clara.

Bi1	0,80-1,20 m; 7,5 YR 5/8 Bruno forte; 7,5 YR 8/4 Rosado; Argila; Blocos subangulares, fraco; Muito dura, firme, plástico, ligeiramente pegajoso; Plana, difusa.
Bi2	1,20-1,52 m; 7,5 YR 6/8 Amarelo avermelhado; 7,5 YR 7/6 Amarelo avermelhado; Franco argilo arenoso; Blocos subangulares, fraco; Muito dura, firme, plástico, ligeiramente pegajoso; Plana, difusa.
Bi3	1,52-1,76 m; 7,5 YR 5/8 Bruno forte; 10 YR 6/6 Bruno amarelado; Argila arenosa; Blocos subangulares, fraco; Dura, friável, plástico; ligeiramente pegajoso; Plana, difusa.
Bi4	1,76-2,00 m; 10 YR 5/4 Bruno amarelado; 5 YR 8/2 Branco rosado; Franco argila arenosa; Blocos subangulares, fraco; Dura, friável, plástico; ligeiramente pegajoso; Plana, difusa.

Conforme apresentado na Tabela 3, o estudo morfológico do PVd demonstra que a textura é argilosa em toda extensão do perfil. A estrutura do perfil é em blocos subangulares moderados em todos os horizontes. À consistência, no horizonte Ap foi ligeiramente dura e firme com solo seco; friável com solo húmido, e plástica com solo molhado. Os demais horizontes têm consistência ligeiramente dura, friável e plástica. Com relação à transição, os horizontes Ap, AB e Bw1 tem transição plana e gradual, ondulada e gradual, e plana e clara respectivamente. Já nos horizontes Bw2 e Bw3 a transição é plana e difusa.

A matiz, da cor do solo, variaram de 10 R à 10 YR no horizonte Ap. Nos horizontes subsequentes, AB e Bw1, as matizes foram as mesmas, 2,5 YR. No horizonte B2 com solo úmido obteve-se matiz de 2,5 YR, já com solo seco a matiz obtida foi 10 R. E, por fim, no horizonte Bw3 as matizes encontradas foram 10R com solo seco e 2,5 YR com solo úmido. Este solo apresentou cores mais escuras na parte superior do perfil, tornando-se suavemente mais claro ao longo de sua extensão.

A Tabela 4 apresenta os resultados das características morfológicas do CXvd. O perfil possui textura franco arenoso no horizonte Ap e nos demais horizontes a textura é arenosa. Tem com blocos subangulares moderados nos horizontes Ap à Bw₃, e blocos subangulares fraco no horizonte Bw₄. A consistência avaliada foi à mesma em todos os horizontes. O solo tem consistência macia e friável, com solo úmido tem consistência não plástica, e quando molhado consistência ligeiramente pegajosa. Com relação à transição, nos horizontes Ap, BA e Bw₁ é plana e gradual, ondulada e gradual, e plana e clara, respectivamente. Nos demais horizontes a transição é plana e difusa.

Os matizes referentes às cores dos solos variaram conforme profundidade do perfil. Com solo seco os horizontes Ap e BA possuem matizes de 2,5 YR, 7,5 YR respectivamente, nos demais horizontes a matiz encontrada foi a 5 YR. Já com solo úmido, no horizonte Ap a matiz foi de 7,5 YR, no horizonte BA, Bw₁, e Bw₂ matiz de 5

YR, e nos demais horizontes as matizes encontradas foram de 2,5 YR e 5 YR respectivamente.

Conforme apresentado na Tabela 5 o FTe, os horizontes A e AB tem a textura de franco argilo arenoso, franco arenoso respectivamente. Em todos os demais horizontes tem-se textura argilosa. Todos os horizontes têm estrutura de blocos subangulares fracos. A consistência nos horizontes A à Bi₂ é muito dura e firme quando o solo estava seco, plástico com solo úmido, e ligeiramente pegajoso com solo molhado. No horizonte Bi₃ tem-se consistência dura e friável, plástica, e ligeiramente pegajoso respectivamente. Já no horizonte Bi₄ tem-se consistência dura e friável, plástico, e ligeiramente pegajoso.

As matizes das cores variaram entre 5 YR, 7,5 YR e 10 YR ao longo de todo perfil. No horizonte A tem-se matiz 10 YR com solo úmido e 7,5 YR com solo seco; no horizonte AB 7,5 YR e 10 YR respectivamente; no horizonte BA tem-se 10 YR tanto com solo úmido quanto com solo seco; horizonte Bi₁ e Bi₂ 7,5 YR nas duas análises; horizonte Bi₃ 7,5 YR e 10 YR respectivamente; e, por fim, no horizonte Bi₄ tem-se 10 YR com solo úmido e 5 YR com solo seco.

Os dados obtidos referentes à textura dos solos estudados estão apresentados na Tabela 6. Meurer (2007) cita que a textura tem relação direta com capacidade de troca catiônica (CTC), a retenção e infiltração da água no solo, a drenagem, a erodibilidade, dentre outros aspectos. No PVd, nota-se maior proporção de argila em todos os horizontes, variando entre 480 a 580 g kg⁻¹, tendo maior quantidade nos horizontes AB, Bw₂ e Bw₃, com valores de 580, 540 e 560 g kg⁻¹, respectivamente. Os valores de areia variaram de 220 a 400 g kg⁻¹, os maiores valores foram observados nos horizontes Ap e Bw₁, com 400 e 340 g kg⁻¹, respectivamente. Os valores de silte não ultrapassaram 240 g kg⁻¹ ao longo de todo perfil.

Com relação ao CXvd, com exceção do horizonte Ap, nota-se predominância de areia ao longo dos demais horizontes, variando entre 760 a 960 g kg⁻¹, com maiores valores nos horizontes Bw₁ e Bw₂, 940 e 960 g kg⁻¹ respectivamente, caracterizando o perfil como arenoso. Os valores da argila não ultrapassaram 180 g kg⁻¹, sendo este o maior valor observado no Ap. Nos demais horizontes os valores de argila variaram de 20 a 40 g kg⁻¹. O maior valor de silte foi encontrado no Bw₄, com total de 80 g kg⁻¹. Para o FTe, observa-se as maiores quantidades de areia ao longo de todo o perfil, variando de 440 a 620 g kg⁻¹. O maior valor de argila foi encontrado no Bi₂, com total de 400 g kg⁻¹. Com relação ao silte, os valores obtidos foram de 80 a 240 g kg⁻¹.

Tabela 6. Textura dos perfis estudados.

Hor	Prof	Areia	Silte	Argila	S/A	Textura	AFA (%)
-	m	-----g/Kg-----					
Perfil 1 - Jandaia - Goiás							
Ap	0-0,13	400,0	120,0	480,0	0,25	Argila	11,4 (tb)
AB	0,13-0,34	300,0	120,0	580,0	0,20	Argila	9,13 (tb)
Bw1	0,34-1,11	340,0	140,0	520,0	0,26	Argila	3,46 (tb)
Bw2	1,11-1,64	220,0	240,0	540,0	0,44	Argila	2,96(tb)
Bw3	1,64-2,00	260,0	180,0	560,0	0,32	Argila	5,35(tb)
Perfil 2 - Paraúna – Goiás							
Ap	0-0,03	760,0	60,0	180,0	0,33	Franco Arenoso	20,5 (tb)
BA	0,03-0,10	920,0	60,0	20,0	3,0	Areia	31,5 (ta)
Bw1	0,10-0,23	940,0	40,0	20,0	2,0	Areia	16,5 (tb)
Bw2	0,23-0,72	960,0	20,0	20,0	1,0	Areia	100,0 (ta)
Bw3	0,72-1,39	920,0	40,0	40,0	1,0	Areia	55,0 (ta)
Bw4	1,39-2,00	880,0	80,0	40,0	2,0	Areia	67,5 (ta)
Perfil 3 - Palminópolis – Goiás							
A	0-0,15	480,0	240,0	280,0	0,85	Franco Argilo Arenoso	22,5 (tb)
AB	0,15-0,51	620,0	80,0	300,0	0,26	Franco Argilo Arenoso	18,0 (tb)
BA	0,51-0,80	460,0	280,0	260,0	1,07	Franca	19,2 (tb)
Bi1	0,80-1,20	440,0	160,0	400,0	0,4	Argila	9,75 (tb)
Bi2	1,20-1,52	520,0	140,0	340,0	0,41	Franco Argilo Arenoso	8,5 (tb)
Bi3	1,52-1,76	540,0	80,0	380,0	0,21	Argila Arenosa	10,0 (tb)
Bi4	1,76-2,00	620,0	140,0	240,0	0,58	Franco Argilo Arenoso	20,0 (tb)

*Prof.: Profundidade; Hor.: Horizonte; S/A: relação silte/argila; AFA: atividade da fração argila.

Kemerich et al (2014) relataram que a presença de argila é muito importante nas áreas com descarte de resíduos, pois reduz a contaminação de aquíferos. Korf et al., (2008) relataram que os baixos teores de argila, o que se verifica em todos os perfis estudados, corroboram para menor CTC e, conseqüentemente, tem-se menor adsorção de metais pesados.

Rocca et al. (1993) descreveram que para fins específicos de disposição de resíduos sólidos, o solo deve conter teores de argila em torno de 56 a 62%. Rouse e Pyrih (1993) também afirmaram que solos argilosos agem como barreira geoquímica amenizando o movimento de diversos constituintes químicos. Com mesmo raciocínio, Young et al. (1992) apontam que vários estudos demonstraram que solos argilosos tende-se à alta capacidade de retenção de metais pesados, fato este confirmado por Oliveira et al. (2002) o qual observaram a retenção de metais pesados em solos argilosos de provenientes de aterros sanitários.

Conforme demonstrado na Tabela 6 (perfil 1 - PVd), apenas os horizontes AB e Bw₃ apresentaram valores entre 56 a 62% de argila. Com maior totalidade de areia ao longo dos perfis 2 (CXvd) e 3 (FTe), tais locais apresentam inadequações para fins de descarte de resíduos, pois solos com características arenosas corroboram para maior lixiviação e menor retenção de poluentes (KORF et al. 2008).

Os valores da química e metais pesados dos solos estão descritos na Tabela 7. Observa-se que o pH tende a acidez em praticamente todos os horizontes avaliados (PVd, PVad e FTe), sendo observado alcalinidade apenas no horizonte A do FTe. O PVd e também o CXvd apresentaram valores semelhantes de pH, variando entre 4,1 a 5,0. Dentre todos os solos estudados, o FTe apresentou menor acidez quando comparado com PVd e CXvd, com valores entre 5,7 a 7,1.

Oliveira et al. (2016) citam que valores elevados de acidez, como é o caso dos perfis estudados, proporcionam quantidades menores de nutrientes minerais tornando o local impróprio para a vida microbiana do solo, o qual são responsáveis pela decomposição da matéria orgânica e fixação de nitrogênio. Milhome et al. (2018) descreveram que a acidez de um solo em lixões demonstram que estes sofrem grande influência da contaminação com descarte impróprio dos resíduos.

Oliveira et al. (2016) ressaltam que o processo de decomposição e de mineralização dos resíduos levam à produção de substâncias orgânicas com caráter ácido, diminuindo o pH do solo nas camadas superficiais do solo.

Os maiores teores de CTC foram observados no horizonte BA (CXvd) e horizonte A (FTe), com valores de 6,3 cmolc/dm³ nos dois horizontes. No geral, as amostras apresentaram pequenas variações e predominância maior de CTC nos horizontes superficiais. Os teores de CTC estão bem abaixo daqueles descritos por Medeiros et al. (2008), o qual obtiveram valores de 36,1 em 2007 e 130,4 cmolc/dm³ no ano de 2008 numa área de lixão em Engenheiro Coelho, SP. Os baixos valores de CTC se justificam devido à pequena quantidade de argila dos solos estudados, o que, além de contribuir para menor CTC, tem-se menor adsorção de metais pesados (ALCÂNTARA et al. 2011).

Com relação a M.O, observa-se que o TFe foi o que apresentou maior valor. Em todos os solos, nota-se maior concentração de MO nos primeiros horizontes, tendo seu decaimento nos demais. Estes valores divergem daqueles encontrados em superfície por Barros et al. (2015), o qual encontraram maiores valores.

Os valores de acidez potencial foram maiores nos primeiros horizontes do PVd, com valores de 4,8 nos horizontes Ap e AB. Neste perfil a acidez potencial variou entre 1,2 a 4,8. No CXvd e o FTe os valores foram semelhantes, com menor valor igual a 1,0 e maior valor de 3,0, ambos no FTe.

A quantidade de P foram maiores nos horizontes Bw₂ e Bw₃ do CXvd, com valores de 45,1 e 46,5 respectivamente. No PVd e FTe os valores foram de 0,3 a 16,2. Valores semelhantes de P foram encontrados por Oliveira et al. (2016).

Com relação aos valores de K, observou-se maiores valores no TFe, com elevados valores nos dois primeiros horizontes, 450 e 153 mg/dm³ respectivamente. Nos demais horizontes, os valores foram de 45 mg/dm³ (PVd) e 95 mg/dm³ no CXvd. Os maiores teores foram observados sempre nos primeiros horizontes. Os valores de K foram maiores do que aqueles encontrados por Barros et al. (2015). O alto valor de K no nos três solos está correlacionado com os baixos valores de Mg e Ca (Oliveira et al. 2015).

O Mg e o Al não apresentaram diferença nos diferentes tipos de solos estudados, tanto em cobertura como em profundidade. Os valores de Ca foram maiores nas superfícies do que em profundidade, divergindo do dados obtidos por Oliveira et al. (2016), o qual observaram maiores valores de Ca em profundidade do que em profundidade.

Para o parâmetro de H+Al não observou-se valores significativos. No PVd observou maiores teores em superfície. Já no PVad e também no FTe, maiores valores foram observados em profundidade. Os valores de H+Al divergem daqueles encontrados por Alcântara et al. (2011), o qual obtiveram valores entre 5,99 a 6,66 cmolc/dm³.

Tabela 7. Atributos químicos e metais pesados dos perfis estudados

Hor	Prof	pH	Cd	Ni	Pb	P(Mehl)	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	M	V	M.O.
-	m	(CaCl ₂)	-----mg/dm ³ -----				-----cmolc/dm ³ -----					-----%-----			
Perfil 1 - Jandaia - Goiás															
Ap	0-0,13	4,2	0,0	0,0	0,0	0,9	45,0	0,3	0,3	4,8	0,5	5,5	41,1	13,0	2,6
AB	0,13-0,34	4,1	0,0	0,0	0,0	0,6	25,0	0,1	0,3	4,8	0,0	5,3	0,0	8,8	2,6
Bw1	0,34-1,11	4,7	0,0	0,0	0,0	0,3	11,0	0,0	0,4	1,4	0,0	1,8	0,0	23,4	1,5
Bw2	1,11-1,64	5,0	0,0	0,0	0,1	0,9	5,0	0,1	0,3	1,2	0,0	1,6	0,0	25,6	1,8
Bw3	1,64-2,00	4,3	0,0	0,0	0,0	0,9	10,0	0,0	0,2	2,8	0,0	3,0	0,0	7,5	0,6
Perfil 2 - Paraúna - Goiás															
Ap	0-0,03	4,2	0,0	0,0	0,0	1,2	97,0	1,4	0,4	1,7	0,1	3,7	4,7	54,6	1,7
BA	0,03-0,10	4,1	0,0	0,0	0,2	0,3	28,0	4,0	0,3	1,9	0,0	6,3	0,0	69,7	1,7
Bw1	0,10-0,23	4,2	0,0	0,0	0,0	0,3	2,0	0,5	0,3	2,5	0,1	3,3	11,0	24,4	0,6
Bw2	0,23-0,72	4,6	0,0	0,0	0,0	45,1	4,0	0,1	0,2	1,7	0,3	2,0	49,2	15,4	0,6
Bw3	0,72-1,39	4,8	0,0	0,0	0,0	46,5	2,0	0,1	0,2	1,9	0,4	2,2	56,7	13,8	0,3
Bw4	1,39-2,00	5,0	0,0	0,0	0,0	3,4	3,0	0,0	0,2	2,5	0,2	2,7	49,1	7,7	0,3
Perfil 3 - Palminópolis - Goiás															
A	0-0,15	7,1	0,1	0,1	0,1	6,8	450,0	4,1	0,0	1,0	0,0	6,3	0,0	84,0	3,0
AB	0,15-0,51	6,9	0,0	0,0	0,0	1,8	153,0	3,8	0,0	1,2	0,0	5,4	0,0	77,7	2,0
BA	0,51-0,80	6,7	0,0	0,0	0,0	0,6	95,0	3,6	0,0	1,2	0,0	5,0	0,0	76,2	1,8
Bi1	0,80-1,20	6,4	0,0	0,0	0,0	16,2	25,0	2,4	0,0	1,4	0,0	3,9	0,0	63,8	1,8
Bi2	1,20-1,52	6,3	0,0	0,0	0,0	2,4	87,0	1,5	0,0	1,2	0,0	2,9	0,0	58,9	1,8
Bi3	1,52-1,76	6,1	0,0	0,0	0,0	1,5	27,0	1,4	0,0	2,3	0,0	3,8	0,0	39,0	1,8
Bi4	1,76-2,00	5,7	0,0	0,0	0,0	0,9	28,0	1,6	0,0	3,1	0,0	4,8	0,0	35,0	0,3

*Prof.: Profundidade; Hor.: Horizonte; MO%: Matéria orgânica; V%: Saturação por bases; m%: saturação por alumínio;

Conforme apresentado na Tabela 7, os metais pesados analisados apresentaram valores abaixo daqueles estabelecidos pela resolução CONAMA n° 420 de 2009. Para o PVd e também o PVAd não contatou-se Cd e Ni. Estes metais estavam presentes apenas no TFe. Já o Pb foi constatado no horizonte Bw₂ do PVd, BA do PVAd e no horizonte A do TFe, com valores de 0,1, 0,2 e 0,1, mg/dm³ respectivamente.

Em estudo realizado por Milhome et al. (2018), os valores de Cd e Ni foram semelhantes aos encontrados neste. Para os valores de Pb, os valores obtidos pelos mesmos autores divergem dos aqui encontrados.

Os teores de Cd corroboram com valores encontrados por Cavallet et al (2013). Para os níveis de Pb os mesmo autores encontraram valores superiores. Todos os valores de Cd, Ni e Pb obtidos por Machado et al. (2011) divergem do presente trabalho.

Os dados de metais pesados obtidos no presente trabalho, quando comparado com resolução n° 420 de 2009 do Conama, estão abaixo dos valores máximos permitidos, não sendo caracterizada contaminação em nenhum dos horizontes estudados. Estes dados podem está diretamente relacionados à pequena quantidade de argila dos solos, tendo em vista que apenas o horizonte Bw₃ do PVd tem quantidade de argila indicada para área de lixão (Rocca et al. 1993).

Os valores de frequência de suscetibilidade magnética $\chi_{FD}\%$ tiveram variação entre 0,00 a 11,43%. Os maiores valores são observados nos horizontes Bi₄, Bi₃ e BA do TFe, com valores de 11,43, 11,25 e 11,24% respectivamente. Nos perfis de PVa e PVAd os valores não ultrapassaram 8,21%. A partir dos resultados nota-se predominância dos minerais superparamagnético (SP) de diâmetro $\sim 0,03 \mu m$. Spokas et al. (2015) relataram que os valores encontrados podem estar relacionados a anisotropia magnética e também o efeito do fogo na formação dos minerais.

Os valores de Fe_d variaram de 3,41 a 51,89 g Kg⁻¹, com maiores valores sendo observados nos horizontes Bi1 e Bi2 do FTe. Já os valores de Fe_o não ultrapassaram 9,47 g Kg⁻¹. Nota-se maior predominância dos valores de Fe_d quando comparado com Fe_o. Silva (2016) relata que solos com maiores teores de Fe_d indicam solos mais desenvolvidos e sem restrições hídricas.

Com relação aos valores de Hm e Gt, nota-se maior predominância de Hm em quase todos os horizontes dos perfis estudados. Os maiores valores de Hm foram

obtidos nos horizontes Bi₂, Bi₃ e Bi₄, todos do FTe. O maior valor de Gt foi observado no horizonte Bi1 do FTe.

Tabela 8. Análise de ferro cristalino e não cristalino, mineralogia e valor de χ_{FD} .

Hor	Prof	Fe _d	Fe _o	Hm	Gt	χ_{FD}
-	m	-----g/Kg-----				%
Perfil 1 - Jandaia - Goiás						
Ap	0-0,13	28,87	3,99	27,11	9,40	8,21
AB	0,13-0,34	15,68	2,48	11,87	7,79	5,77
Bw1	0,34-1,11	16,20	2,33	11,40	9,37	6,67
Bw2	1,11-1,64	13,59	3,21	10,23	5,13	7,14
Bw3	1,64-2,00	5,96	1,94	3,56	2,42	6,25
Perfil 2 - Paraúna - Goiás						
Ap	0-0,03	3,41	3,80	-0,49	-0,07	0,00
BA	0,03-0,10	3,46	1,73	0,63	2,04	0,00
Bw1	0,10-0,23	4,63	3,41	1,00	0,83	4,55
Bw2	0,23-0,72	5,55	1,74	2,10	3,72	3,33
Bw3	0,72-1,39	6,02	3,26	2,08	2,07	0,00
Bw4	1,39-2,00	11,63	3,41	6,45	5,90	3,85
Perfil 3 - Palminópolis - Goiás						
A	0-0,15	8,50	1,30	3,85	7,17	5,88
AB	0,15-0,51	8,39	2,33	4,70	4,41	5,88
BA	0,51-0,80	50,50	6,83	26,84	39,59	11,24
Bi1	0,80-1,20	51,31	5,32	29,61	40,20	10,84
Bi2	1,20-1,52	51,89	6,39	47,01	20,07	11,09
Bi3	1,52-1,76	49,23	9,47	41,39	17,18	11,25
Bi4	1,76-2,00	49,00	8,79	31,63	28,76	11,43

Fed - ferro extraído por ditionito-citrato-bicarbonato; Feo - ferro extraído por oxalato ácido de amônio;

Hm = hematita; Gt = goethita;

CONCLUSÃO

1. Os solos dos três municípios não apresentaram contaminação por nenhum dos metais estudados quando comparado com a Resolução 420 de 2009 do Conama.
2. Devido a pequena quantidade de argila nos perfil do PVAd e também do Fte, estes solos estão mais suscetíveis à contaminação do lençol freático por metais pesados presentes no chorume.
3. Os minerais da fração argila de todos os solos não apresentaram características de adsorção dos metais pesados pesquisados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, A.J.O.; PIERANGELI, M.A.P.; SOUZA, C.A.; SOUZA, J.B. (2011) **Teores de As, Cd, Pb, Cr e Ni e atributos de fertilidade de Argissolo Amarelo distrófico usado como lixão no município de Cáceres, estado de Mato Grosso.** Revista Brasileira de Geociências, v.41, n.3, p.539-548.

BARROS, R. G.; DIAS, P. P.; ARAÚJO, V. K. A. **Investigação de Passivo Ambiental na Área do Aterro Sanitário de Hidrolândia, GO.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria, v. 19, n. 3, set-dez. 2015, p. 73-82.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução n.º 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.** Diário Oficial da União. Brasília, DF, 2009.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, L. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física dos solos do Instituto Agronômico de Campinas.** Campinas: Instituto Agronômico, 1986. 96 p. (Boletim Técnico, 106).

CAVALLET, L. E.; CARVALHO, S. G.; NETO, P. F. **Metais pesados no rejeito e na água em área de descarte de resíduos sólidos urbanos.** (2013) Revista Ambiente e Água. v.8, n.3, p.230-238.

DEARING, J. A. **Environmental magnetic susceptibility.** Using the Bartington MS2 system. England: British Library, 1994, 104 p.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo.** 2 eds. Rio de Janeiro: SNLCS, 2011. 225p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 3ed. Brasília: EMBRAPA, 2013. 353p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/mapa_site/mapa_site.php#populacao>. Acesso em: 25 Jun. 2018.

KAWAHIGASHI, F.; MENDES, M. B.; da ASSUNÇÃO JÚNIOR, V. G.; GOMES, V. H.; FERNANDES, F.; HIROOKA, E. Y.; KURODA, E. K.; (2014). **Pós-tratamento de chorume de aterro sanitário com carvão ativado**. Engenharia Sanitária Ambiental v.19, n.3, p 235 – 244.

KEMERICH, P. D. C.; BARROS, G.; BORBA, W. F. B.; GERHARDT D. E.; FLORES C. E. B.; SCHWAAB E. D.; CARDOZO, B.; UCKER, F.E. **Caracterização do solo em área submetida a derramamento de chorume decorrente de aterro sanitário**. Revista Monografias Ambientais – REMOA, v.14, n1, 2014.

KORF, E.P.; MELO, E.F.R.Q.; THOMÉ, A.; ESCOSTEGUY, P.A.V. (2008) **Retenção de metais em solo da antiga área de disposição de resíduos sólidos urbanos de Passo Fundo - RS**. Revista de Ciências Ambientais, v.2, n.2, p.43-60.

MACHADO, M. E.; MENEZES, J. C. S. dos S.; COSTA, J. F. C. L.; SCHNEIDER, I. A. H. **Análise e avaliação da distribuição de metais pesados em um antigo aterro de resíduos sólidos urbanos “Aterro Invernadinha”**. Evidência, Joaçaba, v. 1, n. 2, p. 69-82, 2011.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. **Iron oxide removed from soils and clays by dithionitecitrate system buffered with sodium bicarbonate**. Clays and Clay Minerals, New York, v. 7, n. 1, p. 1317-327, 1960.

MEURER, E. J. **Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, 2007. cap. 2, p. 67-90.

MOREIRA, M. L. O.; MORETON, L. C.; ARAÚJO, V. A.; LACERDA FILHO, J. V.; COSTA, H. F. **Geologia do Estado de Goiás e do Distrito Federal**. Programa

Geologia do Brasil – Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil. Ministério de Minas e Energia. Governo do Estado de Goiás. CPRM, FUNMINERAL. 141 p., 2008.

MILHOME, M. A. L.; HOLANDA, J. W. B.; DE ARAÚJO NETO, J. R.; DO NASCIMENTO, R. F. **Diagnóstico da Contaminação do Solo por Metais Tóxicos Provenientes de Resíduos Sólidos Urbanos e a Influência da Matéria Orgânica.** (2018) Revista Virtual de Química. v.10, n.1, p.59-72.

OLIVEIRA, J. C.; PRIM, E. C. C.; JUNIOR, A. B. C. **Estudo da retenção de poluentes veiculados por chorumes de aterros sanitários em solos argilosos.** In: ALTERNATIVAS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA PEQUENAS COMUNIDADES, 2002, Florianópolis. Trabalho Técnico... Florianópolis: PROSAB, 2002. p. 77-84.

OLIVEIRA, M. A. B.; ROCHA, E. L. L.; CHIANCA, C. G. C.; DOS SANTOS JÚNIOR, J. I.; TIBURTNO, G. L. **Análise do Solo no Lixão e Áreas Circunvizinhas no Município de Caraúbas –RN.** Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2015.

OLIVEIRA, B. O. S.; TUCCI, C. A. F.; NEVES JÚNIOR, A. F.; SANTOS, A. A. **Avaliação dos solos e das águas nas áreas de influência de disposição de resíduos sólidos urbanos de Humaitá, Amazonas.** 2016. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. V.21, n.3.

ROCCA, A.C.C.; IACOVONE, A.M.M.B.; BARROTTI, A.J.; CASARINI, D.C.P.; GLOEDEN, E.; STRAUS, E.L. (1993) **Resíduos sólidos industriais.** 2 ed. São Paulo: CETESB. 234p.

ROUSE, J. V.; PYRIH, R. Z. 1993. Geochemistry. In: DANIEL, D. E. (Org.). **Geotechnical practice for waste disposal.** London: Chapman & Hall, p. 15-32.

CAPÍTULO 3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo avaliar a capacidade de adsorção de metais pesados pelos minerais da fração argila, mais especificamente a Hm e Gt. Não foi foco deste estudo analisar os parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas.

Todos os solos estudados não apresentaram níveis significantes de contaminação por metais pesados. Não é possível dizer a causa real da não contaminação, pois todos os locais recebem diariamente, a mais de vinte anos, toneladas dos mais variados resíduos.

Para os próximos trabalhos, recomenda-se que sejam realizadas análises das águas subterrâneas, pois como não foram observados níveis elevados de metais pesados, estes podem está sendo lixiviado para o lençol freático.