



**Identificação de Argilominerais em Solo de Aterro
Sanitário na Região Noroeste no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil**

Identification of Clay Minerals in a Landfill Soil in the
Northwestern Region in the State of Rio Grande do Sul, Brazil

Willian Fernando de Borba¹; José Luiz Silvério da Silva²; Pedro
Daniel da Cunha Kemerich³; Gabriel D'ávila Fernandes⁴; Lueni Gonçalves Terra⁵;
Carlos Alberto Lobler⁶; Helena Wichneski Trombeta⁷ & Éricklis Edson Boito de Souza⁸

¹ Universidade Federal de Santa Maria, BR 386, km 40, interior, 98400-000, Frederico Westphalen - RS, Brasil.

² Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Geociências (DGEO),

Avenida Roraima, 1000, bairro Camobi, 97105-900 Santa Maria - RS, Brasil

³ Universidade Federal do Pampa, Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária,

Avenida Pedro Anunciação, 111, Vila Batista, 96570-000 Caçapava do Sul - RS, Brasil

⁴ Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC),

Avenida Roraima, 1000, bairro Camobi, 97105-900 Santa Maria - RS, Brasil

⁵ Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA),

Avenida Roraima, 1000, bairro Camobi, 97105-900 Santa Maria - RS, Brasil

⁶ Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima, 1000, bairro Camobi, 97105-900, Santa Maria - RS, Brasil

⁷ Universidade Federal de Santa Maria, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS/UFSM),

Avenida Roraima, 1000, bairro Camobi, 97105-900, Santa Maria - RS, Brasil

⁸ Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal (PPGEF),

Avenida Roraima, 1000, bairro Camobi, 97105-900 Santa Maria - RS, Brasil

E-mails: borbawf@gmail.com; silverioufsm@gmail.com; eng.kemerich@yahoo.com.br; enggabrielfernandes@gmail.com;

lueniterra@gmail.com; carloslobler@gmail.com; helenatrombeta@hotmail.com; ericklisboito@gmail.com

Recebido em: 30/11/2018 Aprovado em: 14/02/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_2_178_183

Resumo

O solo apresenta um papel fundamental para a manutenção da vida no planeta. Entretanto, com o passar dos anos, sua capacidade de suporte foi sendo reduzida, principalmente pelos lançamentos de contaminantes. Sendo assim, pesquisas que avaliem o suporte do meio a operação de certas atividades são de suma importância. Esse estudo tem por objetivo identificar os argilominerais presentes em um solo de aterro sanitário, localizado em Seberi, noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Para isso, foram coletadas amostras em três perfis, em dois horizontes. Para a identificação dos argilominerais, foi separada a fração argila e analisada com auxílio da técnica de Difração de Raios - X. Os resultados indicaram que o solo foi classificado como muito argiloso, e ocorreu o predomínio do argilomineral caulinita (Característica de solos intemperizados), de baixa atividade e baixa CTC. Assim, o solo na área apresenta capacidade limitada para retenção de cátions oriundos de uma possível contaminação da operação do aterro sanitário, resultado da baixa CTC. Por outro lado, o argilomineral caulinita, por não ser expansivo, apresenta baixa dispersão de água no perfil de solo, reduzindo a percolação de água e consequentemente contaminação do aquífero suspenso temporário. Assim, o solo apresenta uma baixa permeabilidade, através de sua característica argilosa e os argilominerais presentes.

Palavras-chave: Caulinita; Formação Serra Geral; Latossolo Vermelho

Abstract

Soil plays a key role in maintaining life on the planet. However, over the years, its support capacity has been reduced, mainly due to the release of contaminants. Thus, research evaluating the medium's support of the operation of certain activities is of paramount importance. This study aims to identify the clay minerals present in a landfill soil, located in Seberi, northwest of the Rio Grande do Sul State, Brazil. For this, samples were collected in three profiles, in two horizons. For the identification of the clay minerals, the clay fraction was separated and analyzed with the aid of the X - Ray Diffraction technique. The results indicated that the soil was classified as very clayey, the predominance of the clay mineral kaolinite (typical of weathered soils), low activity and low CEC. Thus, the soil in the area has limited capacity of cations retention, resulting from a possible contamination of the landfill operation, result of low CEC. On the other hand, the kaolinite, which is a no expansive clay mineral, presents low dispersion of water in the soil profile, reducing the percolation of water and consequently contamination of the temporary suspended aquifer. Thus, the soil presents a low permeability, through its clayey characteristic and the present clay minerals.

Keywords: Kaolinite; Serra Geral Formation; Oxisol



1 Introdução

O solo é um recurso natural que possui as mais diversas atribuições, sejam elas ligadas ao suporte para crescimento de plantas, ou até mesmo em servir de meio de descarte para rejeitos e resíduos, atuando como filtro e inativador de componentes (Streck *et al.*, 2008). Esse solo desempenha uma série de funções, dentre elas, segundo BRASIL (2009), destaca-se como servir como meio básico para a sustentação da vida e habitats, manter o ciclo hidrológico e biogeoquímicos, meio para produção de bens de consumo, filtro natural, proteção aos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, servir como fonte de informação e recursos minerais e meio básico para ocupação territorial.

Nesse sentido, o solo foi considerado, durante muito tempo como um receptor de resíduos com capacidade ilimitada de recebimento, aponta Santos (2004). Porém, esse pensamento mudou ao longo do tempo, principalmente pelos crescentes aumentos de áreas contaminadas. Assim, o monitoramento das atividades com potencial contaminante desempenha um importante papel na prevenção da contaminação do meio.

No que se refere à disposição de resíduos sólidos urbanos, somente com a implantação da Lei Federal 12.305/2010 em BRASIL (2010), essa questão começou a ser objeto de debates nos cenários regionais e nacionais. Dentre uma série de informações contidas nessa Lei, destaca-se a eliminação dos lixões e recuperação das áreas contaminadas, com um horizonte específico de prazo para adequação dessas áreas, conforme essas legislações.

O desenvolvimento de pesquisas que visam analisar o suporte do meio ambiente, ou a situação de áreas, principalmente de disposição de resíduos sólidos, é de suma importância. Dentre os vários estudos existentes, destacam-se aqueles que identificam os argilominerais presentes, além da granulometria do solo. Nesse sentido, a fração argila desempenha uma importante função no que se refere a retenção/dispersão de possíveis contaminantes no meio, principalmente quando se relaciona com os argilominerais presentes e a sua Capacidade de Troca de Cátions (Drever, 1997).

Baseado nesses fatos, esse estudo tem por objetivo identificar os argilominerais presentes em um solo de aterro sanitário localizado no município gaúcho de Seberi. Para isso, foram coletadas amostras de perfis de solo e analisadas pela técnica de Difração de Raios - X (DRX).

2 Metodologia

2.1 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo está localizada no município de Seberi (Figura 1), situado no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, na latitude 27° 28' 4" S e longitude 53° 24' 09", oeste de Greenwich. Situa-se em uma altitude média de 546 m acima do nível médio do mar, e abrange uma área de 301 km², com uma população de 11.098 habitantes, segundo dados do IBGE (2010).

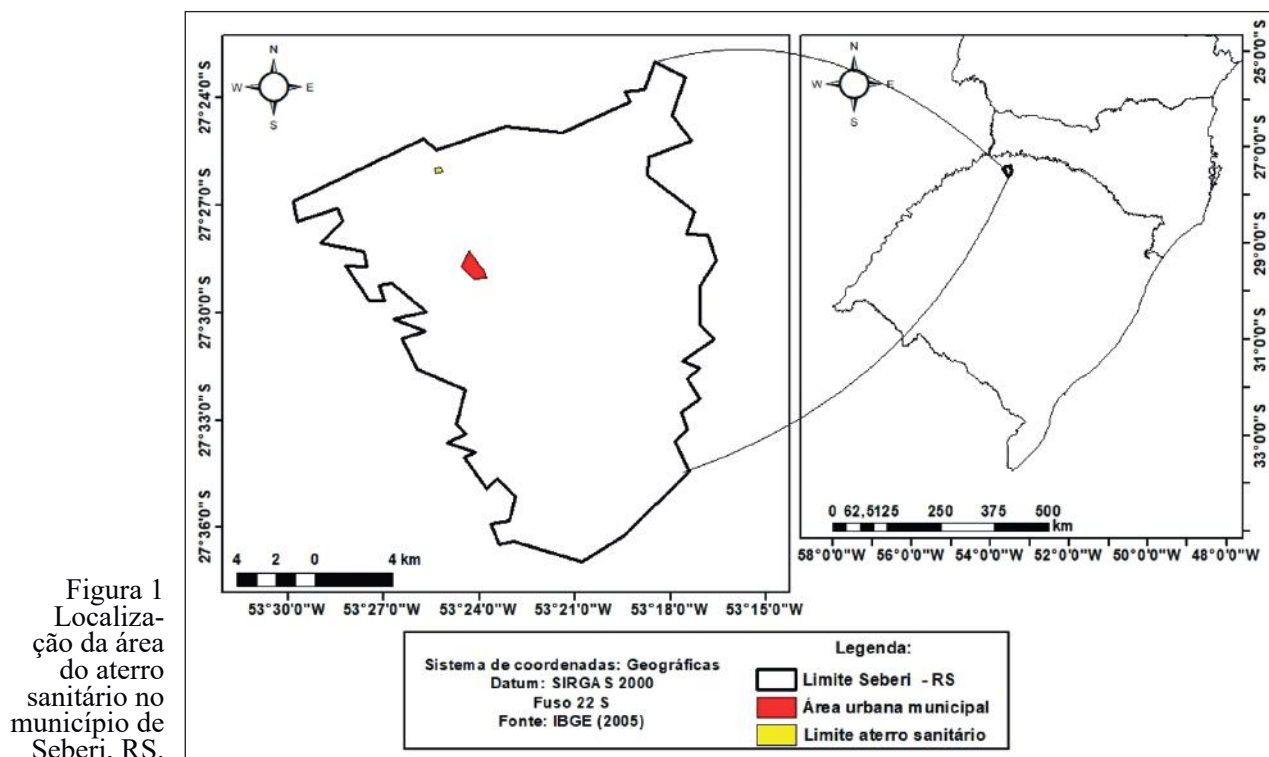
O município pertence à região Hidrográfica do Rio Uruguai (U), Bacia Hidrográfica do Rio da Várzea - U100, destacado pelo SEMA (2004). Segundo a classificação de Köppen, apresenta um clima cfa2, subtropical úmido, apontado por Moreno (1961), com um total de chuvas anuais médias de 1.900 mm, sendo que as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano, segundo Sotério *et al.* (2005).

O município está situado em área de afloramento da Formação Serra Geral, Fácies Paranapanema, constituída por derrames basálticos granulares finos, melanocráticos, contendo horizontes vesiculares, espessos preenchidos com quartzo (ametista), zeólitas, carbonatos, seladonita, cobre nativo e barita, segundo dados da CPRM (2006). Portanto, os solos são originários do intemperismo de rochas vulcânicas da Província das Rochas Vulcânicas do Planalto (FEPAM, 2014).

Em relação à hidrogeologia, na área de estudo ocorre o Sistema Aquífero Serra Geral I (sg1). Segundo Machado & Freitas (2005a, 2005b) a unidade hidroestratigráfica sg1 delimita-se pelos municípios de Soledade, Tupanciretã, Santo Antônio das Missões, Santa Rosa, Tenente Portela, Nonoai, Erechim e Passo Fundo, onde se constitui principalmente, de litologias basálticas, amigdalóides e fraturadas, capeadas por espesso solo avermelhado.

Identificação de Argilominerais em Solo de Aterro Sanitário na Região Noroeste no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil

Willian Fernando de Borba; José Luiz Silvério da Silva; Pedro Daniel da Cunha Kemerich; Gabriel D'ávila Fernandes; Lueni Gonçalves Terra; Carlos Alberto Lobler; Helena Wichineski Trombetta & Éricklis Edson Boito de Souza



O aterro sanitário está localizado às margens da rodovia BR 386/158, no distrito de Osvaldo Cruz, distante cerca de 5 km do perímetro urbano do município de Seberi - RS. Está situado na porção rural do município, onde se localizam basicamente cultivos agrícolas para subsistência (soja, milho, trigo e feijão) além de pastagens. Sua área é de 7,7 ha, sendo um dos pontos de amarração da área com coordenadas 27° 26'06,34" S de latitude e 53° 25'07,33" W de longitude.

A unidade é um consórcio público 31 municípios, atendendo cerca de 160 mil habitantes, sendo que destes, segundo IBGE (2010), 83.383 habitantes residem na zona urbana e 69.258 na zona rural. O empreendimento é responsável pelo processo de triagem, compostagem e destino final dos resíduos sólidos urbanos (RSUs). A unidade recebe entorno de 1.690 toneladas de resíduos sólidos urbanos mensalmente Kemerich *et al.* (2013).

Informações de solo, coleta de amostras e identificação dos argilominerais

No local o solo foi classificado, conforme EMBRAPA (2013), como Latossolo Vermelho Dis-

trófico. Segundo Streck *et al.* (2008), os latossolos são solos bem drenados, profundos, apresentando perfis bem homogêneos, além disso, são solos bem intemperizados. Esses solos, segundo EMBRAPA (2013), possuem uma evolução muito grande, resultante de uma intemperização intensa dos constituintes minerais primários, como os feldspatos (plagioclásios) e mesmo secundário menos resistentes, por exemplo, a hematita. Além disso, sua textura foi classificada como muito argilosa, de acordo com Lemos & Santos (1986a, 1986b). Os teores médios de argila foram de 86,29 %.

Na identificação da mineralogia dos solos/rochas sedimentares foram analisadas amostras de solos de três perfis (P1, P2 e P3) em dois horizontes (A e B), totalizando 6 amostras. Utilizou-se a técnica de Difração de Raios - X (DRX) da fração argila (fração < 0,002 mm). Essas amostras resultaram das análises de granulometria e pipetagem realizadas no Laboratório de Petrografia e Sedimentologia, do Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, sendo que a fração foi coletada com tempo de sedimentação superior a 72 horas. Esse método seguiu o proposto pela NBR 7181/1984

(ABNT, 1984). Após o período de sedimentação, depositou-se gotas de água mais material fino em lâminas de vidro transparentes preparando-se amostras orientadas. Preparou-se duas séries iguais da mesma alíquota, caso houvesse necessidade de uso de Etileno Glicol na avaliação de argilominerais expansíveis, como as esmectitas.

Após a secagem do líquido obteve-se amostras orientadas da fração argila. Esse procedimento faz ressaltar os planos (001, 002 e 003) dos argilominerais. Para a leitura das lâminas, utilizou-se um aparelho modelo *Bruker D8 Advance*, do Laboratório de Magnetismo e Materiais Magnéticos (LMMM), Departamento de Física do CCNE/UFSM, nas condições de análise em tubo de cobre, com 40 kV e 40 mA. A faixa de leitura 2θ foi entre 3 e $32^\circ 2\theta$.

Utilizou-se o princípio da Lei de Bragg $d = \lambda / 2 \sin \theta$, conforme Brindley & Brown (1980a, 1980b). Com isso, obteve-se o difratograma com valores de intensidade dos picos de cristalinidade e valores angulares 2θ . Após os valores foram convertidos em distâncias interatômicas, as quais foram comparadas com valores pré-existentes tabelados e padrões.

Para as análises químicas do solo, as amostras deformadas coletadas nos Perfis P1, P2 e P3, foram analisadas no Laboratório de Análises de Solos, do Centro de Ciências Rurais (CCR), Departamento de Solos, da UFSM. Para cada horizonte, foram determinados os parâmetros químicos, tais como: alumínio trocável, CTC, saturação por bases e o pH do meio. Para esses parâmetros, foram coletadas amostras individuais para cada horizonte, totalizando seis amostras. A determinação desses parâmetros seguiu a metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995).

3 Resultados e Discussão

Em relação a algumas propriedades químicas do solo (CTC, pH e matéria orgânica), as informações estão ilustradas na Tabela 1. Como pode ser observado, os solos apresentaram baixos valores de matéria orgânica, pH (ácido) e CTC em pH 7,0.

Em relação a atividade da fração argila segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

(SiBCS), proposto pela EMBRAPA (2013), a argila foi classificada como de baixa atividade (Tb), pois apresenta valores de CTC inferiores a $27 \text{ Cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ de argila.

Nesse sentido, Lopes & Guilherme (1987a, 1987b) dizem que em solos bem intemperizados, com predomínio das argilas de baixa atividade, os valores de CTC são baixos. Esses solos (bem intemperizados, como os identificados na área de estudo), apresentam, em geral, baixos teores de matéria orgânica e tendem a apresentar baixa CTC. Esses mesmos autores, ainda afirmam que, os solos argilosos, com a presença de argilas de alta atividade, podem reter grandes quantidades de cátions. Porém, na área de estudo foi verificada que as argilas apresentam atividade baixa, portanto apresentam um baixo potencial de fixação de metais pesados. Isso pode ocasionar uma menor retenção de possíveis contaminantes por esses argilominerais.

Em áreas de contaminação, como os locais de disposição inadequada de resíduos, essas argilas podem auxiliar na adsorção de possíveis contaminantes, impedindo e/ou reduzindo sua percolação pelo perfil do solo e não causando contaminação da água subterrânea. Nesse sentido, Lopes & Guilherme (1987a, 1987b) dizem que com valores de pH maiores ou iguais a 7, ocorre uma maior liberação das cargas elétricas, onde, possivelmente ocorreria uma maior adsorção de possíveis contaminantes no meio subterrâneo.

Ponto/ Horizonte	%	pH	Cmol _c /dm ³	
	Matéria Orgânica		CTC pH 7,0	CTC Efetiva
P1/HzA	1,20	5,90	8,50	6,00
P1/HzB	0,40	4,80	6,60	2,60
P2/HzA	0,70	4,80	6,80	3,00
P2/HzB	0,40	4,80	5,80	1,90
P3/HzA	0,90	4,50	8,30	3,60
P3/HzB	0,40	4,90	5,60	1,60
MÉDIA	0,67	4,95	6,93	2,54

Tabela 1 Valores das propriedades químicas do solo nos três perfis analisados.

Como esperado, os valores de matéria orgânica nos perfis de solo são baixos e decrescem nos três perfis a partir dos horizontes superficiais em direção

do aumento na profundidade. Esse mesmo comportamento foi identificado com a CTC, tanto em pH 7,0 quanto a efetiva.

A partir da análise em lâminas orientadas da fração argila, utilizando-se a técnica DRX, os resultados estão ilustrados na Tabela 2. Foram identificados os picos 001 e 002 dos argilominerais do grupo da caulinita, mais o pico 100 ou 020 em 4,45 Å. Do grupo dos feldspatos plagioclásios, identificou-se a anortita, aquela que na solução sólida (albita/anortita) apresenta as maiores concentrações de cálcio, nos picos 220; em $d=3,26$ Å, e em $132 d = 2,82$ Å.

Já do grupo dos hidróxidos, foi identificado a goethita ($Fe_2O_3 \cdot H_2O$), com cor castanho a preto em Lupa Binocular de 80X. Ainda foram confirmados os picos de quartzo, o qual também já havia sido identificado em Lupa Binocular de 80X. Esse mineral não faz parte da matriz da rocha vulcânica basalto, uma vez que essa apresenta teor em sílica entre 45 e 52 %, de caráter básico, destacado por Leinz & Amaral (1980a, 1980b). Assim, sua proveniência está associada às amígdalas preenchidas da rocha matriz. Esse mineral, por ser mais resistente ao intemperismo, permanece no solo. Como um resista-to sua forma é hialina, transparente, sem apresentar vestígios de películas de óxidos e/ou hidróxidos de Fe/Mn, comuns em arenitos de climas tropicais.

Na separação granulométrica da fração maior do que 2 mm restaram minerais resiatatos, os quais em sua identificação em lupa binocular 80 X (magnificações), ocorreu a predominância de magnetita ($FeO \cdot Fe_2O_3$). Notou-se dois tipos, sendo um de minerais primários arredondados e semi-arredondados e/ou octaédricos, de brilho metálico intenso. Já em segundo grupo, apresenta formas variadas anédricas, em cores com tons variados do vermelho, mas ainda magnéticas. Não ocorreram níveis de concreções ferruginosas nos três perfis avaliados/coletados. Esses se ocorressem poderiam ser importantes na relação da porosidade/permeabilidade.

Van Raij (2010) e Primavesi (2002) dizem que em regiões tropicais úmidas, o argilomineral mais importante e frequente é a caulinita, sendo que também apresenta baixos valores de CTC, conforme identificado (Tabela 1). Drever (1997) afirma que o

Pontos/ Horizontes	2 Θ	Pico	d (Å*)	Conta- gens	Y (%)	Mineral
P1/HzA	12,252	001	7,218	1.842	76	Caulinita
	24,878	002	3,576	2.424	100	Caulinita
P1/HzB	12,252	001	7,21	2.517	73	Caulinita
	19,910		4,456	777	22	Caulinita
	21,217		4,184	907	26	Goethita
	24,915	002	3,570	907	100	Caulinita
P2/HzA	12,215		7,240	6.885	72	-
	21,310		4,166	999	10	Goethita
	24,859	001	3,578	9.531	100	Caulinita
	27,324		3,261	1.221	13	Anortita
	31,676		2,822	1.906	20	Anortita
P2/HzB	12,333	001	7,229	5.237	100	Caulinita
	21,366		4,155	1.036	20	Goethita
	24,840	002	3,581	5.200	99	Caulinita
	31,132		2,822	629	12	Anortita
P3/HzA	12,333	001	7,229	4.738	67	Caulinita
	21,273		4,173	907	13	Goethita
	24,896	002	3,573	7.070	100	Caulinita
	31,132		2,822	4.053	67	Anortita
P3/HzB	12,252	001	7,218	2.646	76	Caulinita
	24,840	002	3,581	3.461	100	Caulinita

Tabela 2 Identificação dos argilominerais dos perfis de solo a partir da análise por DRX. Obs.: * 1 Angstrom = 10^{-8} mm.

argilomineral caulinita apresenta CTC a em torno de 10 mEq/100 g de solo ou 10 $Cmol_c/dm^3$. Esses fatos foram identificados nos resultados desse estudo (Tabelas 1 e 2). Esse argilomineral, por possuir baixo potencial de expansão, é indicado para utilização em barreiras impermeáveis (MACAMBIRA, 2002), além de apresentar menor dispersão de água (Denardin *et al.*, 2001).

4 Considerações Finais

O solo analisado apresentou, na maioria das amostras, a presença do argilomineral não expansivo caulinita. Esse argilomineral é comum em solos intemperizados, sendo que apresenta baixa CTC, conforme identificado nessa pesquisa.

No caso de áreas de disposição de resíduos sólidos, pode apresentar carências relacionadas à ad-

sorção de possíveis contaminantes oriundos da atividade em questão. Porém, esse argilomineral reduz a percolação de água pelo perfil de solo, o que pode indicar uma menor taxa de dispersão de um possível contaminante no perfil de solo. Além disso, recomenda-se a ampliação dessa pesquisa, ampliando os resultados obtidos.

5 Agradecimento

O primeiro autor agradece a CAPES/CNPq pelo apoio financeiro concedido através da bolsa de pós-graduação do PPGEAmb/UFSM.

6 Referências

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1984. *NBR 7181 – Solo: Análise granulométrica*. Rio de Janeiro, ABNT. 13p.
- BRASIL. 2009. *Resolução CONAMA nº 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 da União, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>. Acesso em: 10 fev. 2015.
- BRASIL. 2010. *Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; Lei Federal nº 12305 de 2 de agosto de 2010*. Altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 10 fev. 2015.
- Brindley, G.W & Brown, G. 1980. *Crystal structures of clays minerals and their x-ray identification*. Mineralogical Society, London. 495p.
- Caputo, H.P. 1987. *Mecânica dos solos e suas aplicações*. 6ª ed. Rio de Janeiro, LTC - Livros Técnicos e Científicos, 219p.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. CPRM. 2006. *Mapa geológico do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000*. Brasília.
- Denardin, J.E.; Kochham, R.A. & Denardin, N.D. 2001. Calagem compacta do solo? Fatos e hipóteses. In: SIMPÓSIO ROTAÇÃO SOJA/MILHO NO PLANTIO DIRETO, 2, Piracicaba, 2001, *Resumos expandidos*, Piracicaba: Potafos, 2001, p. 1-9.
- Drever, J.I. 1997. *The geochemistry of natural waters: surface and groundwater environments*. Prentice Hall, Upper Saddle River, 436p.
- EMBRAPA. 2013. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema Brasileiro de classificação de solos*. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 3ª ed. Brasília, 353p.
- IBGE. 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo demográfico*. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 12 mar. 2015.
- Kemerich, P.D.C.; Flores, C.E.B.; Borba, W.F.; Flores, B.A.; Preto, P.R.P.; Descovi Filho, L.L.V.; Barros, G. & Rodrigues, A.C. 2013. Variação espacial das concentrações de cádmio e manganês em solo ocupado por aterro sanitário. 2013. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 17(17): 3336-3345.
- Leinz, V. & Amaral, S.E. 1980. *Geologia Geral*. São Paulo: Editora Nacional, 543p
- Lemos R.C. & Santos, R.D. 1996. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. Campinas, SBSC/CNPS, 84p.
- Lopes, A.S. & Guilherme, L.R.G. 1987. *Interpretação de análise de solo: conceitos e aplicações*. Boletim técnico nº 2. São Paulo: ANDA, Disponível em: http://www.anda.org.br/multimedia/boletim_02.pdf Acesso em: 31 Mai. 2016.
- Macambira, I.Q. 2002. *Comportamento hidráulico de alguns solos lateríticos para uso como barreira impermeável*. Universidade de São Paulo, São Carlos, Dissertação de Mestrado em Geotecnia, 140f.
- Machado, J.L.F. & Freitas, M.A. 2005. *Projeto mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul: escala 1:750.000, relatório final*. Porto Alegre: CPRM.
- Moreno, J.A. 1961. *Clima do Rio Grande do Sul. Seção de Geografia*. Secretaria da Agricultura, Porto Alegre, 42p.
- Primavesi, A. 2002. *Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais*. São Paulo, Nobel, 541p.
- Santos, A.P.G. 2004. *Poluição dos solos: contaminação, remediação e prevenção*. 2004. Graduação em Engenharia Civil, Universidade Anhembí Morumbi, 74f.
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. SEMA. 2004. *Mapa das bacias hidrográficas e municípios do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, SEMA.
- Sotério, P.W.; Pedrollo, M.C.R. & Andriotti, J.L. 2005. Mapa de isoietas do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16, João Pessoa, 2005. *Resumo expandido*. João Pessoa/PB: ABRH.
- Streck, E.V.; Kämpf, N., Dalmolin, R.S.D.; Klamt, E.; Nascimento, P.C.; Schneider, P.; Giasson, E. & Pinto, L.F.S. 2008. *Solos do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, EMATER/RS – ASCAR, 222p.
- Tedesco, M.J.; Gianello, C.; Bissani, C.A.; Bohnen, H. & Volkweiss, S.J. 1995. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre, UFRGS, 170p.
- Van Raij, B. 2010. *Fertilidade do solo no Brasil - Contribuições do instituto agrônomo de Campinas*. Informações agrônomicas, São Paulo, 132:1-13.