

ESTIMATIVA DA COMPOSIÇÃO DO SOLO CONSTRUÍDO NA ÁREA DE MINERAÇÃO DE CARVÃO DE CANDIOTA (RS) E A TENDÊNCIA DE GERAÇÃO DE DRENAGEM ÁCIDA

Renata PINTO ALBERT¹; Luiz Fernando SPINELLI PINTO²; Pablo MIGUEL³; Jeferson Diego LEIDEMER⁴; Leonir ALDRIGHI DUTRA JUNIOR⁵; Eloy Antonio PAULETTO⁶; Lizete STUMPF⁷

¹Universidade Federal de Pelotas, rp.albert@hotmail.com; ²Universidade Federal de Pelotas, lfpin@uol.com.br; ³Universidade Federal de Pelotas, pablo.ufsm@gmail.com; ⁴Universidade Federal de Pelotas, jeferson.leidemer@gmail.com; ⁵Universidade Federal de Pelotas, leonirdutrajr@gmail.com; ⁶Universidade Federal de Pelotas, pauletto_sul@yahoo.com.br; ⁷Fundação Universidade do Rio Grande, zete.stumpf@gmail.com

RESUMO

Em Candiota (RS) a mineração de carvão é realizada à céu aberto em tiras pela Companhia Riograndense de Mineração (CRM). Nesta, são retiradas o solo e as camadas geológicas situadas acima das camadas de carvão. A recomposição topográfica é feita recolocando as camadas geológicas na cava aberta quando da escavação da próxima tira; após, as pilhas de estéril são reconformadas e sobre a superfície nivelada é colocada a camada de solo superficial ("topsoil"), compondo um solo "construído". A pirita, encontrada no carvão e em rochas associadas, ao entrar em contato com o ar e água, reage rapidamente, formando ácido sulfúrico, desencadeando a acidificação das águas e a solubilização de metais, processo conhecido como drenagem ácida de mina (DAM). Este trabalho teve por objetivo estimar a provável composição do solo construído e a predisposição desse em gerar DAM através da caracterização química dos materiais da coluna geológica de áreas que virão a ser mineradas na área de mineração de carvão de Candiota (RS), de forma a fornecer subsídios para prevenir/mitigar a geração de drenagem ácida nas áreas futuras. Foram selecionados seis furos de sondagem e amostradas as principais litologias que irão compor o perfil de solo construído (camada de "topsoil" e estéril). Os materiais foram triturados e tratados como "solo", sendo realizada a caracterização básica do complexo trocável, determinando-se os atributos pH em H₂O, pH em CaCl₂, cátions básicos (Ca, Mg, K, Na), Al e acidez potencial (H + Al). O potencial de acidificação (PA) e neutralização (PN) dos materiais geológicos foram estimados utilizando o método do peróxido de hidrogênio adaptado para determinação do PN. Os dados da composição química do complexo trocável desses materiais indicam que praticamente todas as camadas de carvão irão fornecer às camadas de estéril do solo construído uma reação fortemente ácida. Isso é relevante pois geralmente as camadas exploradas, por sua maior espessura e continuidade, são a do BS (Banco Superior) e a do BI (Banco Inferior), sendo frequentemente a do BL (Banco Louco) incorporada aos materiais do estéril. Nas minerações futuras, se o mesmo tipo de ação for realizada com as camadas de carvão S2, S3, S4 e S5, os problemas de acidificação poderão se amplificar. Além disso, algumas camadas de folhelho carbonoso e de arenito acima do carvão BL também apresentam reação ácida, o que significa que mesmo explorando todos os carvões, a reação ácida no estéril pode persistir. Por outro lado, outras camadas apresentam reação alcalina, podendo neutralizar parte dessa acidez. A estimativa dos potenciais de acidificação e de neutralização desses materiais permitem prever o balanço do processo e a tendência de evolução do sistema em função das decisões tomadas em relação às camadas de carvão que serão mineradas e a disposição controlada ou não controlada dos materiais geológicos que irão compor o perfil do solo construído.

Palavras-chave: área degradada; carvão; solos construídos, drenagem ácida.

ABSTRACT

In Candiota (RS) coal mining is carried out in surface strip mining by Companhia Riograndense de Mineração (CRM). The soil and geological layers above the coal seams are removed and the topographic recomposition is done by replacing the geological layers in the previously opened pit when the next strip is excavated; Afterwards, the overburden piles are reconformed and on the leveled surface is placed a layer of surface soil (topsoil), composing a "constructed" minesoi. Pyrite, found in coal and associated rocks, reacts rapidly to sulfuric acid, triggering acidification of water and solubilization of metals, a process known as acid mine drainage (AMD). The objective of this work was to estimate the probable composition of the constructed soil and its predisposition to generate AMD through the chemical characterization of the materials of the geological column of areas that will be mined in the coal mining area of Candiota (RS), in order to provide

subsidies to prevent / mitigate the generation of acid drainage in future areas. Six drill holes were selected and the main lithologies that will compose the future constructed minesoil profile (topsoil and overburden layers) were sampled. The core sample materials were ground and treated as soil, and the basic characterization of the exchangeable complex was carried out, determining the following attributes: water and CaCl_2 pH, basic cations (Ca, Mg, K, Na), Al and potential acidity (H+Al). The acidification potential (AP) and neutralization potential (NP) of the geological materials were estimated using the hydrogen peroxide method adapted for NP determination. Data on the chemical composition of the exchangeable complex of these materials indicate that practically all the coal layers will provide the overburden layer with a strongly acidic reaction. This is relevant because, generally, the layers explored, due to their greater thickness and continuity, are the BS (Superior Seam) and the BI (Inferior Seam), being the BL layer (Louco Seam) incorporated into the overburden materials of the constructed minesoil profile. In future mining, if the same type of action is carried out with the S2, S3, S4 and S5 coal layers, the problems of acidification will be intensified. In addition, some layers of carbonaceous shale and sandstone above the BL coal also exhibit acidic reaction, which means that even by exploiting all the coals, the acid reaction in the overburden minesoil profile layer could persist. On the other hand, other layers present alkaline reaction, which can neutralize part of this acidity. The estimation of the acidification and neutralization potentials of these materials makes it possible to predict the process balance and the trend of the system to evolve depending on the decisions taken regarding the unmined coal layers and the controlled or uncontrolled disposal of the geological materials that will compose the constructed minesoil profile.

Key-Words: degraded area; coal; constructed minesoils, acid drainage.

1 INTRODUÇÃO

Na cidade de Candiota, no Rio Grande do Sul, são realizadas atividades de mineração de carvão à céu aberto em tiras pela Companhia Riograndense de Mineração (CRM). Para realizar essa atividade são retiradas o solo e as camadas geológicas sotopostas às camadas de carvão com uma escavadeira de grande porte - Dragline. A primeira etapa da recomposição topográfica da área é feita recolocando as camadas geológicas na cava aberta quando do escavação da próxima tira. Após, as pilhas das camadas, denominadas de estéril, são reconformadas com trator de esteira e sobre a superfície nivelada é colocada a camada de solo superficial ("terra vegetal" ou solo "orgânico") retirada com retroescavadeira da área pré-minerada, compondo um tipo de solo antropogênico, chamado de solo construído.

O solo construído pode apresentar contaminação por pirita (FeS_2), oriunda de camadas não aproveitadas de carvão e de outras litologias, que em contato com a água e com o oxigênio atmosférico forma ácido sulfúrico (H_2SO_4) gerando o processo chamado de drenagem ácida de mina (DAM), que acidifica o solo e as águas de drenagem a pHs abaixo de 3,0 (Pinto & Kämpf, 2002). A DAM também solubiliza íons metálicos, como Al, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni etc, contaminando tanto as águas superficiais como subterrâneas. Havendo presença de bases e de carbonatos nas litologias do estéril, essa acidificação pode ser neutralizada parcial, ou totalmente, dependendo da proporção carbonatos/sulfetos.

Pode-se determinar a predisposição do solo em gerar a DAM através de testes estáticos e cinéticos. Com testes estáticos pode-se determinar o potencial de acidificação (PA) com base nos sulfetos presentes na amostra e o potencial de neutralização (PN) com base nos carbonatos. Já com os testes cinéticos tenta-se imitar as reações naturais, gerando informações sobre a taxa oxidação dos sulfetos e indicações sobre a qualidade da água e geralmente são utilizados para confirmar os resultados dos testes estáticos.

Este trabalho teve como objetivo quantificar a qualidade química dos materiais geológicos que irão compor as futuras camadas de estéril nos solos construídos, através da identificação da capacidade de troca de cátions e do equilíbrio ácido/base presente nos mesmos e da estimativa do potencial de acidificação (PA) devida aos sulfetos (pirita) e do potencial de neutralização (PN) devida aos carbonatos e bases trocáveis, podendo assim fornecer subsídios para prevenir a geração de drenagem ácida nas áreas que serão mineradas na jazida de carvão de Candiota/RS.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 MATERIAL E MÉTODOS

Para este trabalho foram selecionados seis furos de sondagem da coluna geológica de áreas que serão mineradas nas próximas décadas na jazida de carvão de Candiota (RS) (Figura 1) nas seguintes malhas de concessão da mineração pela Companhia

de Mineração Riograndense (CRM): (a) sondagem F435 (Malha IV) - 21 amostras, representativos de uma coluna geológica até 37,7m de profundidade (Tabela 1); (b) sondagem F344 (Malha VII) - 21 amostras, representativos de uma coluna geológica até 46,0m de profundidade (Tabela 2); (c) sondagem F530 (Malha VIII) - 16 amostras, representativos de uma coluna geológica até 35,0m de profundidade (Figura 3, Tabela 3); (d) sondagem MXII06 (Malha XII) - 18 amostras, representativos de uma coluna geológica até 28,9m de profundidade (Tabela 4); (e) sondagem MIII29 (Malha III) - 18 amostras, representativos de uma coluna geológica até 32,6m de profundidade (Tabela 5); (f) sondagem F377 (Malha XIII) - 16 amostras, representativos de uma coluna geológica até 36,5m de profundidade (Tabela 6).

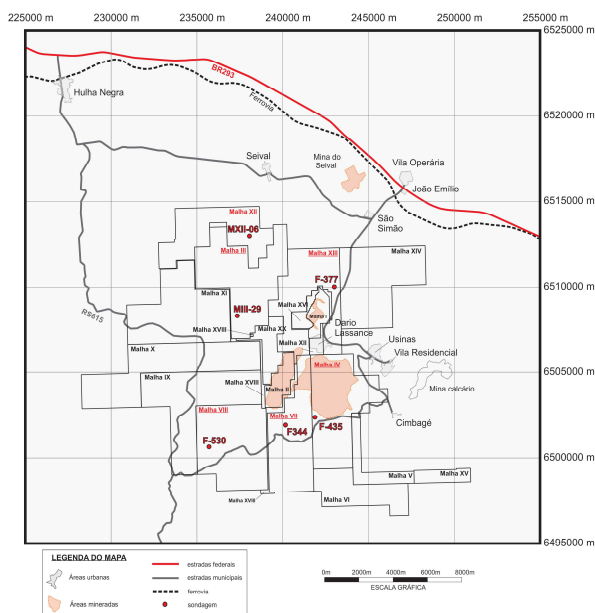


Figura 2. Localização dos furos de sondagem e das malhas de concessão de mineração da Companhia Riograndense de Mineração em Candiota - RS.

Nos testemunhos de sondagem foram selecionadas e amostradas as principais litologias que irão compor a futura camada de estéril, conforme mostrado no exemplo da sondagem F-530 (Malha VIII) (Figura 3).

Cada uma das amostras foi triturada e passada em peneira de 2 mm e armazenada de forma individual. Os materiais triturados foram tratados como “solo”, visto que esses materiais serão dispostos nas pilhas de estéreis e passarão a fazer parte dos solos construídos. Para a caracterização básica do complexo trocável, conforme a metodologia da Embrapa (2011), foram determinados os

seguintes atributos: pH em H₂O, pH em CaCl₂, cátions básicos (Ca, Mg, K, Na), Al, acidez potencial (H + Al) com acetato de cálcio 0,5M a pH 7.

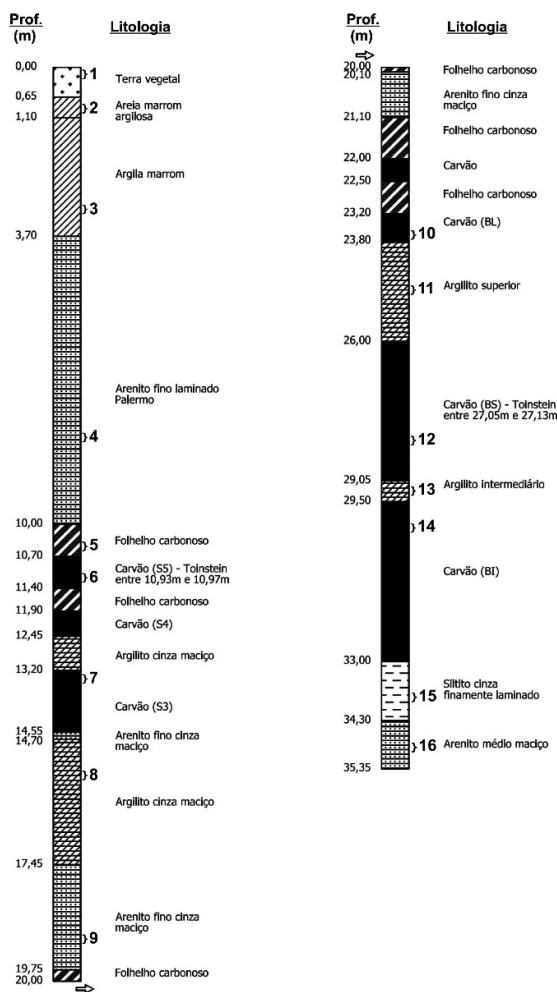


Figura 3. Coluna geológica presente no furo de sondagem F-530, na Malha VIII de concessão da Companhia Riograndense de Mineração (CRM) e identificação das litologias amostradas.

O potencial de acidificação (PA) e neutralização (PN) dos materiais geológicos foram estimados utilizando o método do peróxido de hidrogênio de O'SHAY et al. (1990), adaptado por Pinto (1997) para determinação do PN a partir da mesma amostra utilizada para determinação do PA. Essas modificações utilizam uma dissolução menos ácida e mais eficiente dos carbonatos, que são removidos com HCl 0,5M ao invés de 6M, permitindo a determinação do PN por titulação com NaOH do sobrenadante. Essas determinações foram realizadas para quatro furos de sondagem (F435 – Malha IV, F530 – Malha VIII, MXII-06 e MIII-29).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises químicas básicas do complexo trocável dos materiais geológicos dos seis furos de sondagem são apresentados nas Tabelas 1 a 6.

Os dados dos furos F435 (Tabela 1 – Malha IV) e F344 (Tabela 2 – Malha VII), representativos da área que será minerada nos próximos anos (Figura 1), indicam que nas camadas de 30-40m de estéril

acima das camadas de carvão Candiota (BS e BI) há um pacote de litologias da Formação Palermo de 13 a 19m de espessura com reações neutras a alcalinas e outro do Rio Bonito superior entre as camadas de carvão S2 e S5 de 7 a 11m de espessura com reações fortemente ácidas (pH<4), além do carvão BL. O restante, composto principalmente pelo folhelho carbonoso acima do carvão BL e pelo argilito superior, também é de reação neutra a alcalina.

Tabela 1 – Caracterização básica do complexo trocável dos materiais geológicos da sondagem F435, da malha MIV de concessão da CRM, Candiota-RS.

Coluna	Amostra	Profun- didade	Litologia	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	Ca	Mg	K	Na	S	Al	H	CTC	V%	Al%	P
----- cmolc kg ⁻¹ ----- % ----- mg kg ⁻¹																
MIV-F435	1	0,0-0,2	Solo horizonte A	5,00	4,33	2,87	0,61	0,20	0,15	3,83	0,84	4,92	9,58	39,94	17,93	2,05
MIV-F435	2	0,6-0,7	Solo horizonte B	6,96	5,84	7,45	1,64	0,15	0,01	9,26	0,00	1,18	10,44	88,69	0,00	0,37
MIV-F435	3	2,20-2,4	Solo horizonte C	5,84	4,50	10,33	3,06	0,18	0,01	13,58	0,98	1,30	15,87	85,59	6,75	0,22
MIV-F435	4	4,4-4,6	Arenito intemperizado	6,24	5,24	3,57	1,19	0,16	0,07	5,00	0,10	0,57	5,66	88,27	1,93	10,16
MIV-F435	5	8,5-8,6	Palermo intemperizado	6,32	5,26	3,19	1,25	0,14	0,09	4,68	0,05	0,62	5,34	87,56	1,04	0,80
MIV-F435	6	11,5-11,7	Palermo são bioturbado	6,46	6,25	3,84	1,77	0,23	0,13	5,98	0,05	2,31	8,34	71,67	0,82	18,06
MIV-F435	7	13,5-13,7	Carvão S4	2,31	2,21	9,74	5,32	0,06	0,01	15,13	12,69	18,03	45,85	33,01	45,61	1,24
MIV-F435	8	14,2-14,3	Folhelho carbonoso	3,03	2,90	14,01	6,25	0,37	0,34	20,98	5,77	5,91	32,66	64,23	21,57	0,95
MIV-F435	9	15,2-15,3	Carvão S3	2,10	1,78	11,79	6,30	0,05	0,01	18,16	61,14	15,00	94,29	19,26	77,10	0,51
MIV-F435	10	17,0-17,1	Argilito RB superior	2,85	2,70	9,86	5,44	0,27	0,26	15,82	2,31	5,05	23,17	68,26	12,73	1,02
MIV-F435	11	20,0-20,2	Arenito com pirita	2,84	2,75	0,38	0,23	0,16	0,03	0,81	10,38	5,62	16,81	4,80	92,79	1,17
MIV-F435	12	21,7-21,8	Carvão	2,03	2,17	7,62	2,84	0,15	0,11	10,71	13,84	14,28	38,83	27,59	56,37	0,15
MIV-F435	13	22,8-22,9	Arenito	4,12	3,87	0,24	0,07	0,03	0,01	0,35	3,46	0,00	3,81	9,17	90,83	0,51
MIV-F435	14	25,3-25,4	Carvão S2	2,70	2,66	10,85	2,94	0,17	0,17	14,12	3,46	15,14	32,72	43,15	19,68	0,44
MIV-F435	15	26,9-27,0	Folhelho carbonoso	5,39	5,05	10,04	2,87	0,35	0,25	13,52	1,15	2,09	16,77	80,63	7,86	25,23
MIV-F435	16	27,8-28,0	Carvão BL	5,56	5,21	10,01	2,75	0,16	0,30	13,21	0,58	10,64	24,43	54,08	4,18	3,44
MIV-F435	17	28,2-28,3	Argilito superior	7,34	7,03	13,90	5,33	0,42	0,26	19,91	0,58	0,00	20,49	97,18	2,82	2,41
MIV-F435	18	30,8-30,9	Carvão BS	5,92	5,51	12,90	3,76	0,32	0,40	17,38	1,73	5,62	24,74	70,27	9,05	4,39
MIV-F435	19	33,0-33,1	Argilito intermediário	7,61	7,31	16,34	5,06	0,49	0,34	22,22	1,15	0,00	23,38	95,07	4,93	3,95
MIV-F435	20	34,8-34,9	Carvão BI	4,75	4,52	10,82	3,40	0,25	0,42	14,89	6,34	5,34	26,57	56,04	29,88	8,77
MIV-F435	21	37,5-37,7	Arenito	7,42	7,44	9,57	2,28	0,27	0,18	12,30	1,73	0,00	14,03	87,67	12,33	6,14

Tabela 2 – Caracterização básica do complexo trocável dos materiais geológicos da sondagem F344, da malha MVII de concessão da CRM, Candiota-RS.

Coluna	Amostra	Profun- didade	Litologia	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	Ca	Mg	K	Na	S	Al	H	CTC	V%	Al%	P

cmolc kg ⁻¹ ----- % ----- mg kg ⁻¹																
MVII- F344	1	0,0-0,2	Solo horizonte A	4,96	4,74	4,06	0,96	0,34	0,08	5,43	0,53	6,56	12,52	43,36	8,94	1,94
MVII- F344	2	0,7-0,8	Solo horizonte B	4,92	4,39	2,70	1,47	0,09	0,10	4,37	0,87	4,00	9,24	47,23	16,65	0,28
MVII- F344	3	2,7-2,8	Solo horizonte C	4,98	4,35	2,35	1,21	0,11	0,08	3,75	0,51	3,04	7,29	51,37	11,96	0,76
MVII- F344	4	6,0-6,1	Saprolito	6,30	5,48	12,58	7,72	0,15	0,28	20,73	0,51	0,82	22,06	93,97	2,40	0,55
MVII- F344	5	8,5-8,6	Siltito	6,38	5,94	6,41	4,62	0,36	0,26	11,65	0,05	1,28	12,98	89,75	0,41	0,21
MVII- F344	6	10,7-10,8	Arenito conglomerático	6,94	5,92	0,66	0,30	0,05	0,05	1,05	0,00	0,35	1,40	75,08	0,00	1,66
MVII- F344	7	19,0-19,2	Siltito	7,25	6,83	4,15	1,43	0,24	0,22	6,04	0,00	0,07	6,12	98,78	0,00	10,52
MVII- F344	8	20,9-21,0	Carvão S5	4,17	4,02	14,93	3,58	0,26	0,57	19,35	1,85	5,98	27,18	71,19	8,73	7,61
MVII- F344	9	22,8-22,9	Siltito	3,52	3,47	25,78	7,47	0,41	0,51	34,17	5,13	5,51	44,81	76,25	13,05	0,97
MVII- F344	10	24,0-24,2	Carvão S3	2,56	2,46	16,53	4,11	0,14	0,38	21,16	12,52	24,28	57,96	36,50	37,18	1,87
MVII- F344	11	26,0-26,1	Siltito	3,27	3,17	16,52	7,89	0,47	0,49	25,37	2,47	5,95	33,80	75,07	8,88	0,83
MVII- F344	12	27,0-27,5	Folhelho carbonoso	3,09	3,02	4,00	0,90	0,17	0,27	5,34	4,10	22,95	32,39	16,50	43,39	30,04
MVII- F344	13	30,0-30,1	Arenito	5,16	4,58	0,12	0,05	0,06	0,03	0,26	0,12	1,21	1,59	16,11	32,17	0,97
MVII- F344	14	33,5-33,7	Folhelho carbonoso	5,22	5,01	19,05	4,12	0,32	0,29	23,77	0,05	9,71	33,53	70,91	0,20	7,96
MVII- F344	15	36,0-36,2	Carvão BL	2,92	2,9	24,34	5,48	0,33	0,18	30,33	9,84	24,30	64,47	47,04	24,49	2,77
MVII- F344	16	36,7-3,8	Argilito superior	7,86	7,41	17,58	3,54	0,43	0,37	21,91	0,05	0,39	22,36	98,02	0,22	2,84
MVII- F344	17	39,3-39,4	Lente de calcário (c. BS)	8,19	7,77	6,35	0,60	0,12	0,20	7,28	0,00	0,00	7,28	100,00	0,00	0,28
MVII- F344	18	40,0-40,2	Carvão BS	5,76	5,57	19,34	2,65	0,31	0,57	22,87	0,63	10,90	34,40	66,49	2,68	5,12
MVII- F344	19	41,4-41,5	Argilito intermediário	7,64	7,48	20,11	4,36	0,46	0,37	25,30	0,05	0,00	25,34	99,81	0,19	3,46
MVII- F344	20	42,2-42,4	Carvão BI	4,94	4,65	16,23	3,02	0,26	0,50	20,01	0,29	16,56	36,86	54,29	1,43	4,08
MVII- F344	21	45,8-46,0	Siltito	7,71	7,44	10,41	2,99	0,32	0,21	13,93	0,00	0,00	13,93	100,00	0,00	7,20

No caso do furo F530, da malha VIII, que deverá ser minerada nas próximas décadas (Figura 1), a situação geológica continua semelhante, com cobertura de litologias da Formação Palermo, de reação neutra a alcalina; porém, no pacote do Rio Bonito superior que contém as camadas de carvão S3 a S5, há um argilito com reação alcalina, sem contar que a camada de carvão S5 não possui uma

reação fortemente ácida (pH 5,3 – Tabela 3). O carvão BL, da mesma forma, também não demonstra uma reação tão ácida (pH 5,4). Assim, esses dados indicam que nessa malha, o perfil do solo construído deverá apresentar, pelo menos em um primeiro momento, uma menor acidificação em relação às malhas anteriores.

Tabela 3 – Caracterização básica do complexo trocável dos materiais geológicos da sondagem F530, da malha MVIII de concessão da CRM, Candiota-RS.

Coluna	Amostra	Profun- didade	Litologia	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	Ca	Mg	K	Na	S	Al	H	CTC	V%	Al%	P
----- % -----																
mg kg ⁻¹																
MVIII-F530	1	0,0-0,65	Solo horizonte A	6,31	5,52	33,51	7,34	0,38	0,72	41,95	0,20	2,66	44,81	93,62	0,48	6,95
MVIII-F530	2	0,75-0,8	Solo horizonte C	7,48	6,55	35,64	7,40	0,21	1,35	44,60	0,20	0,00	44,80	99,55	0,45	2,69
MVIII-F530	3	3,0-3,1	Saprolito	7,99	6,73	14,69	3,07	0,15	0,46	18,37	0,00	0,00	18,37	100,00	0,00	9,36
MVIII-F530	4	8,0-8,2	Siltito bioturbado (paler.)	7,95	7,60	4,76	1,76	0,25	0,39	7,16	0,00	0,00	7,16	100,00	0,00	36,73
MVIII-F530	5	10,0-10,5	Folhelho carbonoso	2,79	2,33	14,71	4,33	0,12	0,51	19,67	18,02	0,00	37,69	52,19	47,81	6,74
MVIII-F530	6	11,1-11,2	Carvão S5	5,32	4,83	16,37	4,49	0,26	1,45	22,56	3,49	2,59	28,65	78,76	13,40	4,82
MVIII-F530	7	13,3-13,4	Carvão S3	3,28	3,29	18,52	4,10	0,12	1,23	23,97	2,92	9,83	36,72	65,26	10,87	4,40
MVIII-F530	8	15,4-15,5	Argilito cinza maciço	8,16	7,79	17,41	4,32	0,66	1,77	24,16	0,00	0,00	24,16	100,00	0,00	5,53
MVIII-F530	9	19,0-19,2	Arenito	3,33	3,39	0,75	0,14	0,02	0,00	0,92	0,69	0,00	1,61	57,02	42,98	0,50
MVIII-F530	10	23,7-23,8	Carvão BL	5,38	5,27	20,78	4,42	0,19	0,57	25,96	0,12	4,94	31,02	83,69	0,47	8,23
MVIII-F530	11	24,8-24,9	Argilito	5,82	5,75	22,75	6,25	0,49	0,56	30,05	0,16	0,35	30,56	98,32	0,54	4,40
MVIII-F530	12	28,1-28,2	Carvão BS	4,70	4,40	15,15	2,97	0,34	0,66	19,12	1,58	5,53	26,24	72,89	7,65	2,34
MVIII-F530	13	29,2-29,3	Argilito intermediário	4,55	3,91	15,88	3,64	0,49	0,46	20,47	0,93	1,19	22,59	90,59	4,36	3,19
MVIII-F530	14	30,0-30,3	Carvão BI	5,75	5,31	15,72	2,28	0,31	0,56	18,86	0,24	4,89	24,00	78,61	1,27	8,01
MVIII-F530	15	33,7-33,8	Siltito	7,93	7,11	8,76	1,07	0,15	0,11	10,10	0,00	0,00	10,10	100,00	0,00	0,50
MVIII-F530	16	34,9-35,0	Arenito	6,64	6,19	14,83	1,18	0,03	0,00	16,03	0,00	0,73	16,77	95,63	0,00	5,25

Em relação a novas frentes de mineração, ao norte da área de concessão (Figura 1), tem-se uma situação geológica diversa nas malhas XII e III, mostrada nos furos MXII-06 (Tabela 4) e MIII-29 (Tabela 5), onde não há cobertura com litologias da Formação Palermo, atingindo-se as camadas Candiota (carvão BS e BI) a uma menor profundidade

(12-14m). Os estéreis que irão compor o perfil do solo construído, dessa forma, serão predominantemente de reação fortemente ácida (Tabelas 4 e 5). No caso, se forem minerados os carvões inferiores à camada Candiota (Carvões I1 a I4), as litologias entre essas camadas de carvão serão de reação ácida na malha XII (Tabela 4) e menos ácida na malha III (Tabela 5).

Tabela 4 – Caracterização básica do complexo trocável dos materiais geológicos da sondagem MXII-06, da malha MXII de concessão da CRM, Candiota-RS.

Coluna	Amostra	Profun- didade	Litologia	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	Ca	Mg	K	Na	S	Al	H	CTC	V%	Al%	P
cmolc kg ⁻¹ ----- % ----- mg kg ⁻¹																
MXII-06	1	1,5-1,8	Solo horizonte C	4,17	3,95	0,32	0,07	0,14	0,00	0,54	0,00	1,30	1,83	29,25	0,00	0,44
MXII-06	2	6,8-6,9	Arenito intemperizado	5,10	4,60	0,23	0,07	0,11	0,00	0,41	0,10	0,05	0,56	73,64	19,27	0,88
MXII-06	3	7,4-7,6	Arenito cinza	1,88	1,85	0,49	0,25	0,30	0,07	1,11	8,19	54,54	63,83	1,74	88,09	11,55
MXII-06	4	8,0-8,2	Arenito são	3,30	3,30	0,38	0,10	0,08	0,00	0,56	3,10	1,66	5,32	10,47	84,78	0,66
MXII-06	5	9,7-9,8	Argilito	3,84	3,61	6,44	2,34	0,33	0,08	9,19	0,98	1,30	11,48	80,07	9,67	1,83
MXII-06	6	12,8-13,1	Carvão BS	2,18	2,34	10,87	1,71	0,19	0,19	12,95	27,31	7,73	47,99	26,99	67,83	0,29
MXII-06	7	14,1-14,2	Argilito intermediário	2,56	2,46	10,49	2,31	0,16	0,11	13,08	7,58	1,51	22,16	59,00	36,69	1,46
MXII-06	8	15,6-15,7	Carvão BI	4,51	4,14	10,01	2,02	0,36	0,24	12,64	0,84	15,47	28,95	43,66	6,21	1,90
MXII-06	9	17,0-17,2	Siltito	6,89	6,42	6,27	1,10	0,44	0,11	7,92	0,00	0,00	7,92	100,00	0,00	21,35
MXII-06	10	19,9-20,0	Siltito	2,89	2,81	15,53	2,97	0,17	0,21	18,87	5,07	2,29	26,23	71,96	21,17	0,73
MXII-06	11	20,7-20,9	Carvão I1	2,24	1,89	14,22	5,67	0,07	0,05	20,01	49,19	64,58	133,78	14,96	71,08	0,22
MXII-06	12	23,0-23,1	Argilito	3,28	3,26	14,77	3,30	0,27	0,22	18,56	2,80	1,95	23,32	79,59	13,13	0,22
MXII-06	13	24,6-24,8	Carvão I2	5,96	5,58	11,95	4,33	0,33	0,29	16,90	0,05	9,32	26,27	64,32	0,29	4,75
MXII-06	14	25,6-25,7	Argilito	3,26	3,14	13,63	2,84	0,24	0,18	16,90	2,85	2,77	22,52	75,03	14,45	1,32
MXII-06	15	26,6-26,7	Carvão I3	4,46	4,15	8,60	1,29	0,34	0,29	10,52	1,40	12,88	24,80	42,44	11,74	22,89
MXII-06	16	27,5-27,6	Argilito	3,43	3,29	9,03	1,99	0,46	0,14	11,63	3,39	2,23	17,25	67,40	22,60	3,88
MXII-06	17	27,6-27,8	Carvão I4	2,82	2,47	3,25	0,41	0,11	0,09	3,85	11,41	16,70	31,97	12,05	74,77	0,66
MXII-06	18	28,7-28,9	Arenito	4,92	4,59	0,29	0,05	0,07	0,00	0,41	0,05	2,11	2,57	15,92	10,73	1,10

Tabela 5 – Caracterização básica do complexo trocável dos materiais geológicos da sondagem MIII-29, da malha MIII de concessão da CRM, Candiota-RS.

Coluna	Amostra	Profundidade m	Litologia	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	Ca	Mg	K	Na	S	Al	H	CTC	V%	Al%	P
										cmol _c kg ⁻¹				%		
MIII-29	1	2,5-2,6	Saprolito	5,50	4,51	5,28	2,97	0,14	0,23	8,62	1,79	2,32	12,72	67,73	17,17	0,33
MIII-29	2	5,3-5,5	Arenito	7,08	6,68	0,32	0,19	0,04	0,02	0,57	0,00	0,00	0,57	100,00	0,00	0,46
MIII-29	3	7,7-7,9	Folhelho	2,41	2,12	6,58	2,77	0,08	0,17	9,61	21,80	0,00	31,41	30,59	69,41	3,91
MIII-29	4	8,6-8,8	Carvão S2 ou S3	3,03	2,63	2,73	0,56	0,16	0,21	3,66	3,61	11,12	18,40	19,89	49,69	0,52
MIII-29	5	11,2-11,4	Carvão BL	1,40	1,10	1,74	0,29	0,07	0,16	2,26	32,36	21,97	56,59	3,99	93,47	1,24
MIII-29	6	12,2-12,4	Argilito	2,70	2,29	9,33	3,70	0,24	0,35	13,63	23,29	0,00	36,92	36,92	63,08	1,69
MIII-29	7	13,6-13,8	Carvão BS	3,23	2,81	9,52	2,42	0,33	0,47	12,73	2,31	8,68	23,73	53,65	15,38	1,50
MIII-29	8	17,1-17,2	Argilito intermediário	2,48	2,18	11,36	3,06	0,09	0,28	14,80	4,38	3,76	22,94	64,52	22,83	1,04
MIII-29	9	18,6-18,8	Carvão BI	5,95	5,03	15,67	2,89	0,35	0,54	19,44	0,16	5,92	25,53	76,16	0,83	1,76
MIII-29	10	20,1-20,5	Siltito fossilífero	4,27	3,36	19,43	2,21	0,13	0,11	21,88	2,72	1,31	25,91	84,44	11,06	38,34
MIII-29	11	23,5-23,7	Argilito	7,01	5,77	7,84	1,63	0,51	0,35	10,32	0,08	1,97	12,38	83,41	0,78	8,92
MIII-29	12	25,0-25,2	Carvão I1	6,73	6,06	13,87	2,80	0,31	0,34	17,32	0,16	3,21	20,69	83,70	0,93	21,87
MIII-29	13	26,1-26,2	Argilito	4,39	3,51	13,11	2,91	0,46	0,28	16,77	3,65	0,00	20,42	82,12	17,88	6,77
MIII-29	14	27,2-27,4	Carvão I2	4,00	2,97	40,21	1,34	0,04	0,12	41,71	8,28	6,60	56,59	73,70	16,56	3,45
MIII-29	15	27,7-27,9	Argilito	7,16	5,90	12,48	2,50	0,40	0,23	15,61	0,37	0,00	15,98	97,71	2,29	2,21
MIII-29	16	28,6-28,8	Carvão I3	6,36	5,82	17,53	2,48	0,33	0,37	20,72	0,16	5,78	26,66	77,72	0,78	28,97
MIII-29	17	30,3-30,5	Carvão I4	2,22	1,99	4,45	3,65	0,03	0,03	8,16	28,44	4,77	41,37	19,72	77,71	24,74
MIII-29	18	32,5-32,6	Arenito	7,29	7,09	13,87	4,06	0,11	0,10	18,14	0,08	1,39	19,61	92,52	0,45	1,56

No caso da malha XIII é encontrada uma situação geológica semelhante à da malha VIII, ao sul, com uma cobertura da Formação Palermo, de reação neutra a alcalina, com aproximadamente 10m de espessura, e camadas geológicas menos ácidas, incluindo os carvões S2 a S5, na Formação Rio Bonito acima do carvão BL (Tabela 6).

Tabela 6 – Caracterização básica do complexo trocável dos materiais geológicos da sondagem F377, da malha MXIII de concessão da CRM, Candiota-RS.

Coluna	Amostra	Profundidade m	Litologia	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	Ca	Mg	K	Na	S	Al	H	CTC	V%	Al%	P
										cmol _c kg ⁻¹				%		
MXIII-F377	1	0,1-0,2	Solo horizonte A	5,83	5,30	10,90	1,79	0,17	0,08	12,94	0,38	3,09	16,41	78,86	2,86	21,33
MXIII-F377	2	0,7-0,8	Solo horizonte B	5,31	4,55	10,86	4,12	0,15	0,12	15,25	3,43	0,00	18,67	81,65	18,35	0,48
MXIII-F377	3	4,0-4,1	Saprolito	5,84	5,14	9,61	1,45	0,14	0,13	11,34	0,24	0,87	12,45	91,11	2,06	8,03
MXIII-F377	4	10,5-10,7	Siltito palermo	8,59	8,12	8,22	1,78	0,14	0,14	10,29	0,10	0,00	10,39	99,08	0,92	48,61
MXIII-F377	5	14-14,1	Carvão	4,95	4,67	28,13	3,96	0,25	0,59	32,93	1,09	12,75	46,78	70,41	3,22	3,19
MXIII-F377	6	15,2-15,3	Carvão S4	2,21	2,18	17,21	6,19	0,05	0,05	23,51	22,47	13,87	59,84	39,28	48,87	2,22
MXIII-F377	7	17,1-17,2	Carvão S3	4,01	3,93	35,72	6,25	0,20	0,53	42,69	4,71	19,51	66,92	63,80	9,94	1,52
MXIII-F377	8	17,6-17,7	Siltito	7,74	7,56	50,94	6,81	0,47	0,44	58,67	0,14	0,00	58,81	99,76	0,24	3,25
MXIII-F377	9	21,0-21,1	Carvão S2	4,06	3,87	29,91	2,29	0,18	0,41	32,80	4,47	14,56	51,84	63,28	12,00	37,74
MXIII-F377	10	23,5-23,6	Arenito	6,09	5,41	1,04	0,12	0,02	0,01	1,19	0,14	0,30	1,63	72,82	10,74	1,45
MXIII-F377	11	27,8-27,9	Carvão B2	2,21	2,18	19,59	1,57	0,10	0,36	21,62	11,82	17,59	51,04	42,37	35,35	0,00
MXIII-F377	12	28,8-28,9	Argilito	7,84	7,78	56,58	6,49	0,63	0,41	64,11	0,19	0,67	64,97	98,67	0,30	1,59
MXIII-F377	13	30,6-30,8	Carvão BS	4,49	4,34	37,53	8,41	0,25	0,51	46,70	2,09	12,61	61,41	76,05	4,29	5,05
MXIII-F377	14	33,5-33,6	Argilito intermediário	7,91	7,74	57,20	4,70	0,47	0,46	62,83	0,14	0,00	62,97	99,77	0,23	3,60
MXIII-F377	15	34,6-34,8	Carvão BI	5,69	5,15	50,75	5,75	0,29	0,60	57,40	0,62	12,59	70,61	81,29	1,07	1,18
MXIII-F377	16	36,3-36,5	Siltito	8,28	7,97	41,15	4,33	0,37	0,41	46,26	0,10	0,00	46,36	99,79	0,21	4,15

As tabelas 7 a 10 apresentam os resultados das determinações dos potenciais de neutralização (PN) e de acidificação (PA) dos quatro furos de sondagem selecionados (F435 – Malha IV, F530 – Malha VIII, MXII-06 e MIII-29).

Os dados do furo F435 mostram que as camadas da Formação Palermo, apesar da reação neutra a alcalina do complexo trocável (Tabela 1), indicativos do comportamento esperado inicial do solo, possuem relativamente baixo PN (Tabela 7),

valor este se relaciona com as baixas somas de base (S) (Tabela 1). Por outro lado, todas as camadas de carvão (S2 a S4 e BL), bem como o arenito, do pacote do Rio Bonito superior, mostram alto PA (Tabela 7). Neste caso, portanto, as camadas alcalinas a neutras possuem baixa capacidade de neutralização para contrabalançar o potencial de acidificação. Isto significa que, mesmo havendo uma reação inicial não tão ácida na camada de estéril do perfil do solo, em relativamente pouco tempo esse irá acidificar fortemente se as camadas de carvão não forem

aproveitadas e se alguma outra medida de controle não for adotada.

Tabela 7 – Estimativas dos potenciais de neutralização (PN), de acidificação (PA) e o potencial líquido (PL) dos materiais geológicos da sondagem F435, da malha MIV de concessão da CRM, Candiota-RS.

Amos- tra	Profun- didade	Litologia	PN	PA	PL
	m				
1	0,0-0,2	Solo horizonte A	1,69	0,12	1,57
2	0,6-0,7	Solo horizonte B	2,65	0,00	2,65
3	2,2-2,4	Solo horizonte C	2,65	0,24	2,41
4	4,4-4,6	Arenito intemperizado	1,93	0,24	1,69
5	8,5-8,6	Palermo intemperizado	1,45	0,00	1,45
6	11,5-11,7	Palermo são bioturbado	2,17	1,09	1,08
7	13,5-13,7	Carvão S4	-8,20	42,26	-50,46
8	14,2-14,3	Folhelho carbonoso	7,47	0,36	7,11
9	15,2-15,3	Carvão S3	-40,02	74,87	-114,89
10	17,0-17,1	Argilito RB superior	-6,75	1,09	-7,84
11	20,0-20,2	Arenito com pirita	-8,33	18,11	-26,44
12	21,7-21,8	Carvão	7,47	57,96	-50,49
13	22,8-22,9	Arenito	-27,65	0,24	-27,89
14	25,3-25,4	Carvão S2	-1,09	0,97	-2,06
15	26,9-27,0	Folhelho carbonoso	-7,61	0,24	-7,85
16	27,8-28,0	Carvão BL	-4,71	89,36	-94,06
17	28,2-28,3	Argilito superior	-0,36	0,61	-0,97
18	30,8-30,9	Carvão BS	0,12	117,13	-117,01
19	33,0-33,1	Argilito intermediário	6,75	0,24	6,51
20	34,8-34,9	Carvão BI	9,89	82,11	-72,22
21	37,5-37,7	Arenito	74,62	0,12	74,50

No caso da malha VIII (Furo F530), a situação se mostra um pouco mais favorável, dado que as litologias da Formação Palermo apresentam um maior PN (Tabela 8). Por outro lado, os carvões BL e S3 a S5 apresentam um PA mais elevado do que no furo F435 (Tabela 7), que leva o balanço final também em direção a acidificação. Dessa forma, igualmente se não forem aproveitados os carvões do pacote do Rio Bonito superior, o perfil do solo construído também deverá desenvolver drenagem ácida, apesar de não tão intensa em um primeiro momento quanto na malha IV (Furo F435).

Tabela 8 – Estimativas dos potenciais de neutralização (PN), de acidificação (PA) e o potencial líquido (PL) dos materiais geológicos da sondagem F530, da malha MVIII de concessão da CRM, Candiota-RS.

Amos- tra	Profun- didade	Litologia	PN	PA	PL
	m				
1	0,0-0,65	Solo horizonte A	14,59	0,49	14,10
2	0,75-0,8	Solo horizonte C	25,68	0,24	25,43
3	3,0-3,1	Saprolito	28,09	0,00	28,09
4	8,0-8,2	Siltito bioturbado (paler.)	27,12	0,12	27,00
5	10,0-10,5	Folhelho carbonoso	23,27	5,22	18,05
6	11,1-11,2	Carvão S5	11,69	97,81	-86,11
7	13,3-13,4	Carvão S3	6,39	120,75	-114,36
8	15,4-15,5	Argilito cinza maciço	8,32	3,62	4,70
9	19,0-19,2	Arenito	0,36	3,88	-3,52
10	23,7-23,8	Carvão BL	18,44	169,05	-150,61
11	24,8-24,9	Argilito	5,18	12,08	-6,89
12	28,1-28,2	Carvão BS	8,56	132,83	-124,27
13	29,2-29,3	Argilito intermediário	2,05	1,70	0,35
14	30,0-30,3	Carvão BI	12,90	211,31	-198,41
15	33,7-33,8	Siltito	27,61	0,00	27,61
16	34,9-35,0	Arenito	36,04	0,97	35,07

No caso de uma nova frente de mineração ao norte da área de concessão nas malhas XII e III, a situação mostra-se totalmente desfavorável, não havendo praticamente PN nas litologias da camada de cobertura acima do carvão BS (Furo MXII-06 – Tabela 9 e Furo MIII-29 – Tabela 10). Soma-se a isso o fato de haver no caso da Malha XII uma camada de arenito com alto PA. Dessa forma, alguma medida de controle tem de ser adotada para evitar a geração de drenagem ácida, como por exemplo a disposição controlada da camada de arenito com alto PA e o seu tratamento com adição de materiais carbonáticos. Recomenda-se fortemente, nesse caso, o aproveitamento das camadas de carvão BL e S2, que possuem um PA extremamente elevado.

Tabela 9 – Estimativas dos potenciais de neutralização (PN), de acidificação (PA) e o potencial líquido (PL) dos materiais geológicos da sondagem MXII-06, da malha MXII de concessão da CRM, Candiota-RS.

Amos- tra	Profun- didade	Litologia	PN	PA	PL
	m				
1	1,5-1,8	Solo horizonte C	1,21	0,49	0,72
2	6,8-6,9	Arenito intemperizado	0,00	0,12	-0,12
3	7,4-7,6	Arenito cinza	-33,03	100,22	-133,25
4	8,0-8,2	Arenito são	-1,21	0,36	-1,57
5	9,7-9,8	Argilito	0,48	0,61	-0,12
6	12,8-13,1	Carvão BS	-6,27	88,15	-94,42
7	14,1-14,2	Argilito intermediário	-2,89	1,82	-4,71
8	15,6-15,7	Carvão BI	5,55	119,54	-114,00
9	17,0-17,2	Siltito	3,86	0,73	3,13
10	19,9-20,0	Siltito	0,00	2,18	-2,18
11	20,7-20,9	Carvão I1	-52,56	140,07	-192,63
12	23,0-23,1	Argilito	9,16	28,98	-19,82
13	24,6-24,8	Carvão I2	-0,96	67,62	-68,58
14	25,6-25,7	Argilito	-0,72	0,73	-1,45
15	26,6-26,7	Carvão I3	9,89	206,48	-196,60
16	27,5-27,6	Argilito	-0,24	0,73	-0,97
17	27,6-27,8	Carvão I4	-0,48	89,36	-89,84
18	28,7-28,9	Arenito	0,00	0,24	-0,24

Tabela 10 – Estimativas dos potenciais de neutralização (PN), de acidificação (PA) e o potencial líquido (PL) dos materiais geológicos da sondagem MIII-29, da malha MIII de concessão da CRM, Candiota-RS.

Amos- tra	Profun- didade	Litologia	PN	PA	PL
	m				
1	2,5-2,6	Saprolito	2,53	2,91	-0,38
2	5,3-5,5	Arenito	-0,12	0,36	-0,48
3	7,7-7,9	Folhelho	-8,80	3,15	-11,95
4	8,6-8,8	Carvão S2 ou S3	3,50	277,73	-274,23
5	11,2-11,4	Carvão BL	-43,52	419,00	-462,52
6	12,2-12,4	Argilito	-3,98	3,88	-7,86
7	13,6-13,8	Carvão BS	0,84	57,96	-57,12
8	17,1-17,2	Argilito intermediário	-5,91	2,67	-8,58
9	18,6-18,8	Carvão BI	11,93	182,33	-170,40
10	20,1-20,5	Siltito fossilífero	-0,12	4,37	-4,49
11	23,5-23,7	Argilito	2,29	1,70	0,59
12	25,0-25,2	Carvão I1	10,25	73,66	-63,41
13	26,1-26,2	Argilito	21,82	28,98	-7,16
14	27,2-27,4	Carvão I2	22,54	241,50	-218,96
15	27,7-27,9	Argilito	3,74	0,85	2,89
16	28,6-28,8	Carvão I3	10,73	91,77	-81,04
17	30,3-30,5	Carvão I4	-26,88	103,53	-130,41
18	32,5-32,6	Arenito	0,84	1,09	-0,25

4 CONCLUSÃO

A caracterização básica do complexo trocável aliada às estimativas dos potenciais de acidificação e de neutralização das litologias presentes na coluna geológica permitiu prever o provável comportamento químico do perfil do solo que irá ser construído nas futuras áreas de mineração de carvão de Candiota-RS de concessão da Companhia Riograndense de Mineração. Os dados indicam a tendência geral de acidificação porém com diferentes situações dependendo da área, exigindo e permitindo diferentes abordagens no tratamento do problema, conforme o caso.

5 AGRADECIMENTOS

À Companhia Riograndense de Mineração pela cessão das amostras dos furos de sondagem e apoio do seu corpo técnico; à CAPES pela concessão da bolsa de estudo e ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da UFPel pelo incentivo e estrutura.

6 REFERÊNCIAS

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA CNPS. 2011. 230p.

O'SHAY, T.; HOSSNER, L.R.; DIXON, J.B. A modified hydrogen peroxide oxidation method for determination of potential acidity in pyritic overburden. **Journal of Environmental Quality**, v.19, p.778-782, 1990.

PINTO, L.F.S. **Potencial de acidificação e de neutralização dos materiais geológicos para a composição de solo construído em área de mineração de carvão**. 1997. 186 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 1997.

PINTO, L.F.S.; KÄMPF, N. Contaminação dos solos construídos. In:_____. **Meio ambiente e carvão. Impactos da exploração e utilização**. Porto Alegre: FINEP\CAPES\PADCT\GTM\PUCRS\UFSC\FEPAM, 2002, p. 69-92.