

FABRICIA BASTOS BORBA

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DO SOLO DE ÁREAS DE MATA CILIAR
RECUPERADAS PÓS-MINERAÇÃO DE CARVÃO EM SANTA CATARINA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre no Curso de Pós-Graduação em Manejo do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Orientador: Dr^a. Mari Lucia Campos
Co-orientador: Dr. David José Miquelutti

Lages, SC

2013

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária

Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14ª Região
(Biblioteca Setorial do CAV/UDESC)

Borba, Fabricia Bastos

Caracterização química e física do solo de áreas de mata ciliar recuperadas pós-mineração de carvão em Santa Catarina . / Fabricia Bastos Borba; orientadora: Mari Lucia Campos . – Lages, 2013. BORBA, Fabricia B. 34f.

Inclui referências.

Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias / UDESC.

1. Propriedades edáficas . 2. Carvão. 3. Mata Ciliar. I. Título.

CDD – 631.4

FABRICIA BASTOS BORBA

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DO SOLO DE ÁREAS DE MATA CILIAR RECUPERADAS
PÓS-MINERAÇÃO DE CARVÃO EM SANTA CATARINA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre no Curso de Pós-Graduação em Manejo do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Banca Examinadora:

Orientador: _____

Dr. Mari Lucia Campos
UDESC/Lages – SC

Co-orientador: _____

Dr. David José Miquelutti
UDESC/Lages – SC

Membro: _____

Dr^a. Leticia Sequinatto
UDESC/Lages – SC

Membro: _____

Dr^a. Luciane Costa de Oliveira
IFSC/Lages – SC

Lages, SC 25/05/2013.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me traz força e me guia para caminhos certos.

Aos meus pais, Luiz e Claudete, pela educação que recebi e pelo exemplo de vida.

A minha irmã Jéssica, por ser além de irmã, uma grande amiga, sempre me incentivando. Aos grandes e verdadeiros amigos, tanto os que me acompanham por toda a vida como os novos amigos que surgiram ao longo do projeto, que não irei citar nomes, pois eles sabem que se encaixam aqui, agradeço os momentos de trocas de experiência e informações, ou simplesmente de conversa “jogada fora” e descontração tanto em momentos bons como nos não tão bons.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias da Universidade do Estado de Santa Catarina – CAV, pela oportunidade de realização do curso. Ao Ministério Público pelo financiamento do projeto e concessão da bolsa.

Aos professores do CAV/UDESC, pelo convívio, conhecimentos transmitidos e sanar dúvidas. De maneira especial a professora Mari Lucia Campos pela orientação, pelo incentivo e ensinamentos que ultrapassaram os científicos.

À Edilane Rocha Nicoleite, pelo constante apoio nas atividades práticas do projeto.

Aos colegas do Laboratório de Levantamento e Análise Ambiental, e principalmente aos voluntários do meu projeto no CAV, Vinicius, Cássia, Aline, Natalia, Leandro, Eduardo, Guilherme M. e Guilherme V., em conjunto aos colegas da SATC pelo auxílio, companheirismo e dedicação de muitas horas no meu projeto. À SATC pela oportunidade e pelo apoio na condução do experimento. Caso tenha esquecido de citar alguém não foi intencionalmente, deste modo, agradeço a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para que eu chegasse onde estou e ser quem eu sou.

Agradeço sinceramente.

“Não importa onde estamos. Não importa como estamos.
O que importa é onde queremos chegar.”

Autor Desconhecido.

RESUMO

BORBA, Fabricia B. Caracterização química e física do solo de áreas de mata ciliar recuperadas pós-mineração de carvão em Santa Catarina. 2012. 34f. Dissertação (Mestrado em Manejo do solo). Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Programa de Pós Graduação em Ciências Agrárias, Lages.

No contexto mundial, se por um lado, a atividade de mineração de carvão trouxe significativas contribuições socioeconômicas, por outro é amplamente discutida pelos impactos negativos no aspecto ambiental. Esta matriz energética carbonífera representa milhões de toneladas que suprem uma grande demanda da energia para vários ramos industriais nos três estados do Sul do Brasil. Entretanto, a mineração de carvão mineral em Santa Catarina gerou um passivo ambiental que precisa ser recuperado. Neste sentido o Ministério Público Federal com a finalidade de fazer com que as empresas executem projeto de mitigação dos danos ambientais provocados pela atividade de mineração, estabeleceu o Termo de Ajustamento de Conduta - TAC (BRASIL, 2000) e firmou também o Protocolo de Intenções nº 24/2004. Para fundamentar cientificamente os processos de recuperação vários trabalhos têm sido conduzidos nas instituições de ensino e pesquisa do sul do Brasil. Neste contexto o objetivo do presente trabalho avaliar as propriedades químicas, físicas e a fauna do solo de áreas de mata ciliar recuperadas pós-mineração de carvão em Lauro Müller e Siderópolis, SC. O estudo foi conduzido em quatro áreas, sendo três áreas localizadas em Lauro Muller com as coordenadas UTM 655947N e 6852570E (A, B, C) e uma área em Siderópolis, UTM 654709N e 6837052E (área D), todas pertencentes à Associação dos Municípios da Região Carbonífera - Amrec. As áreas avaliadas possuem entre 9 e 10 parcelas de 30 x 10 m dispostas perpendicularmente a leito do rio. Em cada parcela foram coletadas três amostras de solo para análise química nas profundidades 0-10 e 10-20 cm e duas amostras para análise física e fauna. As propriedades químicas avaliadas foram pH em água, índice SMP, teor de Matéria Orgânica (MO), H+Al, teores de P, K, Na, Al⁺³, Ca e Mg. Os atributos físicos avaliados foram teor de argila, silte e areia, densidade e porosidade do solo. Para análise da macrofauna foi utilizado o protocolo estabelecido pelo programa Tropical Soil Biology and Fertility - TSBF. A presença de Al⁺³ nos solos indica que a quantidade de calcário utilizado não levou em consideração a acidez potencial (H+Al⁺³). A densidade do solo das áreas é baixa e isso se deve ao efeito da turfa e da presença de raízes. A presença de formigas, cupins e minhocas pode indicar o início da reestruturação das funções ecológicas do solo.

-- **Chaves:** Propriedades edáficas. Carvão. Mata Ciliar.

ABSTRACT

BORBA, Fabricia B. Chemical and physical characterization of riparian areas soil, restored after mining of coal in Santa Catarina. In 2012. 34 p. Dissertation (MSc in Soil Management). University of the State of Santa Catarina (UDESC). Post-Graduation Course in Agricultural Sciences, Lages.

In global context, the activity of coal mining brought significant socioeconomic contributions, on the other hand, is widely discussed by the negative impacts on the environmental aspect. Coal energy matrix represents millions of tons supplying a large energy demand for many industries in the three southern states of Brazil. However, the mining of coal in Santa Catarina has generated an environmental liability that needs to be recovered. Thus, the Federal Public Ministry, in order to make the companies run a mitigation program of environmental damage caused by mining activity, established the Term of Conduct Adjustment – TAC (BRAZIL, 2000) and it was also established The Letter of Intent 24/2004. The aim of this study was to evaluate the chemical, physical and soil fauna of riparian areas reclaimed after coal mining in Lauro Muller and Siderópolis, SC. The study was conducted in four areas, three located in Lauro Muller with the coordinates UTM 655947N and 6852570E (A, B, C) and an area in Siderópolis, UTM 654709N e 6837052E (D), all belonging to the City Association of the Coal Region. AMEREC. The areas assessed are between 9:10 parcels of 30 x 10m arranged perpendicular to the riverbed. In each plot were collected three soil samples for chemical analysis in the 0-10 and 10-20 cm depths and two samples to physical analysis and fauna. The chemical properties were pH in water, SMP index, content of organic matter (OM), H+ Al, P, K, Na, Al +3, Ca and Mg. The physical attributes evaluated were clay content, silt and sand, density and soil porosity. To analyze the macro fauna it was used the protocol established by the program Tropical Soil Biology and Fertility – TSBF. The presence of Al +3 in the soils indicates that in the amount of lime used is not considered the potential acidity (H + Al +3). Soil density of the areas is low and that is due to the peat effect and the presence roots. The presence of ants, termites and earthworms may indicate the beginning of the restructuring of the ecological functions of soil.

Key words: soil properties. Coal. Riparian Forest.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Localização das áreas de Estudo em Lauro Müller e Siderópolis. As áreas definidas com A, B, C e D..... | 16 |
| Figura 2 – Localização das Áreas A, B e C em Lauro Müller, SC..... | 17 |
| Figura 3 – Localização da Área D em Siderópolis, SC..... | 18 |
| Figura 4 – Esquema de amostragem para análise química do solo da área B..... | 19 |
| Figura 5 – Coleta de amostras de solo para análise química (A), física (B) e de macrofauna (C).... | 19 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Parâmetros estatísticos (médias, máximo, mínimo e coeficiente de variação) para propriedades químicas dos solos coletadas na profundidade de 0-20 cm nas áreas recuperadas A, B, C e D | 21 |
| Tabela 2 – Parâmetros estatísticos para as propriedades físicas dos solos nas áreas recuperadas A, B, C e D..... | 22 |
| Tabela 3 – Número de indivíduos por ordem coletadas nas áreas A, B, C e D no verão..... | 23 |
| Tabela 4 – Número de indivíduos por ordem coletas nas áreas A, B, C e D no inverno..... | 24 |
| Tabela 5 – Parâmetros estatísticos (média e desvio padrão) para índices de diversidades de Shannon-Wiener (H') e Simpson (Ds') para o inverno e o verão para as áreas recuperadas..... | 25 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|--|
| AMREC | Associação dos Municípios da Região Carbonífera |
| APP | Área de Preservação Permanente |
| CAV | Centro de Ciências Agroveterinárias |
| CSN | Companhia Siderúrgica Nacional |
| DNPM | Departamento Nacional de Produção Mineral |
| Dsolo | Densidade do solo |
| FATMA | Fundação do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina |
| IBAMA | Instituto Brasileiro do Meio Ambiente |
| IPM | Índice de Produção Mineral |
| MAC | Macroporosidade do solo |
| MIC | Microporosidade do solo |
| MO | Matéria Orgânica |
| pH | Potencial de Hidrogênio |
| PRADs | Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas |
| R | Desenvolvimento Core Team |
| SAS | Sistema de Análise Estatística |
| SC | Santa Catarina |
| SEMC | Secretaria de Energia, Minas e Comunicação do Estado do Rio Grande do Sul |
| SIECESC | Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina |
| SMP | Método de potencial de Hidrogênio, cujo se referem aos criadores do método Shoemaker, Mac Lean e Pratt |
| TAC | Termo de Ajustamento de Conduta |
| TFSA | Terra Fina Seca ao Ar |
| UDESC | Universidade do Estado de Santa Catarina |
| UFSC | Universidade Federal de Santa Catarina |
| UNESC | Universidade do Extremo Sul Catarinense |
| URGS | Universidade Federal do Rio Grande do Sul |
| UFPEL | Universidade Federal de Pelotas |
| UTM | Universal Transversa de Mercator |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|--------------------------------|--|
| % | Percentual |
| ° C | Graus Centígrados |
| CV | Coefficiente de Variação |
| A moderado | Refere-se característica do horizonte A de um solo. |
| Al ⁺³ | Alumínio trocável |
| Ca | Cálcio |
| cm | Centímetros |
| cmolc kg ⁻¹ | Centimols de Carga por quilograma |
| CTCefetiva | Capacidade de troca de cátions efetiva |
| CTCpH7 | Capacidade de troca de cátions a pH 7 |
| Ds | Índice de Simpson |
| DP | Desvio Padrão |
| Fe | Ferro |
| g | Gramas |
| g kg ⁻¹ | Gramas por quilogramas |
| H | Hidrogênio |
| H' | Índice de Shannon-Wiener |
| H ₂ O | Água |
| K | Potássio |
| Kg | Quilogramas |
| Kpa | Quilos Pascal |
| m | Metros |
| m | Saturação por alumínio |
| m ³ m ⁻³ | Metro cúbico por metro cúbico |
| Mg | Magnésio |
| mg dm ⁻³ | Miligramas por decímetro cubico |
| mg m ⁻³ | Miligramas por metro cúbico |
| mL | Militros |
| mm | Milímetros |
| Na | Sódio |
| O | Oxigênio |
| P | Fósforo |
| S | Enxofre |
| SB | Soma de bases |
| spp | Relevante aos diversos gêneros de uma espécie |
| Tb | Relevante a classificação do solo para atividade de argila baixo |
| TSBF | Tropical Soil Biology and Fertility |
| V | Saturação por bases |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA | 12 |
| 2.1 HISTÓRICO DA MINERAÇÃO DE CARVÃO..... | 12 |
| 2.2 DEGRADAÇÃO AMBIENTAL..... | 13 |
| 2.3 SOLOS DE MINERAÇÃO DE CARVÃO..... | 14 |
| 3 OBJETIVO | 15 |
| 4 HIPOTESE | 15 |
| 5 MATERIAL E MÉTODOS | 15 |
| 5.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO..... | 15 |
| 5.2 HISTÓRICO DAS ÁREAS..... | 16 |
| 5.2.1 Área A: Lauro Müller..... | 16 |
| 5.2.2 Área B: Lauro Müller..... | 16 |
| 5.2.3 Área C: Lauro Muller..... | 17 |
| 5.2.4 Área D: Siderópolis..... | 17 |
| 5.3 ANÁLISES QUÍMICAS, FÍSICAS E DE FAUNA DO SOLO..... | 18 |
| 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 20 |
| 7 CONCLUSÃO | 26 |
| 8 REFERÊNCIAS | 27 |

1 INTRODUÇÃO

No contexto mundial, se por um lado, a atividade de mineração de carvão trouxe significativas contribuições socioeconômicas, por outro é amplamente discutida pelos impactos negativos no aspecto ambiental.

A China é um dos países que se destaca pelas consequências da extração e beneficiamento do carvão. No Brasil, a atividade carbonífera é predominantemente desenvolvida na região Sul, com destaques para os estados de Santa Catarina (SC) e Rio Grande do Sul, aonde o processo de mineração acontece de maneira similar com ganhos socioeconômicos e prejuízos socioambientais.

Esta matriz energética carbonífera representa milhões de toneladas que suprem uma grande demanda da energia para vários ramos industriais nos três estados do Sul do Brasil. Além disso, é uma energia alternativa que contribui para o aumento da disponibilidade juntamente com a energia proveniente da água e do vento, sendo economicamente viável, pela geologia apresentada e pelos recursos nele empregados.

Enriquez (2009) afirma que a tecnologia empregada atualmente na mineração pode ser sustentável se ela minimizar os impactos ambientais relacionados à extração e o beneficiamento do carvão, sendo, no caso uma alternativa viável, a imobilização de elementos tóxicos presentes tanto no material estéril, como nos recursos hídricos que são utilizados na atividade mineradora.

O Ministério Público Federal com a finalidade de fazer com que as empresas executem projeto de mitigação dos danos ambientais provocados pela atividade de mineração, estabeleceu o Termo de Ajustamento de Conduta - TAC (BRASIL, 2000) e firmou também o Protocolo de Intenções nº 24/2004, onde estabeleceu condições e prazos para a adequação legal das atividades de mineração e transformação de carvão na região Sul de Santa Catarina. Em 2006, foi proposto uma padronização dos projetos de recuperação das áreas que já sofreram o processo de mineração, através da Informação Técnica n. 003/2006.

Nesse contexto, várias instituições de ensino e pesquisa como a UDESC-CAV (CAMPOS *et al.*, 2003; LUNARDI *et al.*, 2008; MAÇANEIRO, 2001; CORREIA, 2010), UFSC, UNESC, URGs, UPEL veem desenvolvendo pesquisas que abordam reabilitação, recuperação e/ou restauração de áreas impactadas pela mineração. Existem muitos questionamentos a respeito dos modelos de recuperação de áreas de mineração de carvão, a escolha de indicadores de qualidade e critérios de monitoramento. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho de pesquisa é avaliar os atributos químicos, físicos e de fauna edáfica de áreas de mata ciliar recuperadas pós-mineração de carvão em Lauro Müller e Siderópolis, SC.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 HISTÓRICO DA MINERAÇÃO DE CARVÃO

O carvão mineral é uma rocha sedimentar combustível, formada a partir de determinados vegetais que sofreram soterramento em bacias originalmente pouco profundas. Fatores como a pressão, a temperatura, a tectônica e o seu tempo de atuação, determinaram a carbonificação gradativa da matéria vegetal original, que sofreu modificações significativas com a perda de O₂ e H₂O e enriquecimento em carbono (DNPM, 1987; Campos *et al.*, 2010).

Para Schumann (1985, p. 134) rochas de carvão mineral “[...] são de origem orgânica e, portanto, segundo definição geológica, não são rochas autênticas. Entretanto, como são componentes sólidos da crosta terrestre e estão tão alterados que não é possível reconhecer sua origem orgânica, são incluídos em rochas sedimentares.”

Os maiores produtores mundiais de carvão, segundo Araújo (Apud DNPM, 2012) em 2011 foram: China (45,7%), EUA (12,9%), Índia (7,6%), Austrália (5,4%), Rússia (4,3%), Indonésia (4,3%), África do Sul (3,3%) e Alemanha (2,4%).

A mineração de carvão começou no Brasil no final do século XIX e visava inicialmente suprir combustível para as estradas de ferro. As maiores reservas brasileiras de carvão mineral estão concentradas nos estados do Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC), sendo a mina de Candiota (RS) a maior do país (FRANCO, 2010). As jazidas de maior importância são oito: Sul-Catarinense (SC), Santa Terezinha, Chico Lomã, Charqueadas, Leão, Iruí, Capané e Candiota (RS) (SÜFFERT, 1997).

Santa Catarina e Rio Grande do Sul possuem conjuntamente 99 % das reservas conhecidas de carvão brasileiro, contudo, apesar de SC possuir menos de 10 % das reservas totais conhecidas, sua produção é quase a mesma deste estado vizinho, graças a melhor facilidade de exploração de seus depósitos (Peterson, 2008).

A reserva em Santa Catarina representa 3,36 bilhões de toneladas (SIECESC, 2001). Do faturamento de R\$ 278 milhões do 2º semestre de 2008, vieram das Minas de Santa Catarina o total de 51,36% sendo, sua valoração tão elevada, devido ao seu alto poder calorífico (DNPM, 2009). Em SC, as reservas se concentram numa área alongada no sentido Norte/Sul, situada entre os municípios de Araranguá e Lauro Müller, com aproximadamente 70 km de comprimento por 15-20km de largura (BRASIL, 1987; CAMPOS *et al.*, 2003). São várias as camadas de carvão da Bacia Carbonífera de Santa Catarina, que estão inseridas na formação Rio Bonito

e a camada a Barro Branco sendo a mais facilmente explorável. O carvão que é extraído em Santa Catarina tem como principais finalidades a utilização em termoeletrônica, siderurgia, cimento e cerâmica.

Em Santa Catarina, as primeiras minas foram abertas nas margens do rio Tubarão, no município de Lauro Müller, no fim do século passado, quando pela crise da comercialização do petróleo, na década de 70 o governo brasileiro propôs metas para aumentar a produção de carvão mineral (VOLPATO, 2001). A mineração de carvão em Siderópolis - SC tem início no ano de 1941, com a primeira mina de carvão da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) e seu processo de extração processava-se a céu aberto (SANTA CATARINA, 1997).

Como nesta época não houve qualquer preocupação com a recuperação de áreas mineradas de carvão tornando improdutiva cerca de 3.000 hectares de terras férteis no Estado (PETERSON, 2008), a referida região sofre os impactos ambientais desta exploração descuidada de carvão mineral que acontece após o esgotamento das atividades mineradoras. Pois independentemente da forma de extração, a mineração de carvão gera uma quantidade enorme de rejeitos, que são depositados em pilhas ou barragens próximas às áreas mineradas (CAMPOS *et al.*, 2010). Por consequência as terras cobertas com rejeitos de carvão tornam-se impróprias para agricultura dificultando o surgimento de qualquer vegetação como também pela deposição de rejeitos próximos aos rios, descaracterizando as áreas de mata ciliar.

2.2 DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

Em geral, a mineração provoca um conjunto de efeitos são: alterações ambientais, conflitos de uso do solo, depreciação de imóveis circunvizinhos, geração de áreas degradadas e transtornos ao tráfego urbano (FARIAS, 2002).

A lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981 que institui a Política Nacional de Meio Ambiente, artigo 3, inciso II, define o seguinte conceito alusivo ao termo degradação ambiental: “degradação da qualidade ambiental, a alteração adversa das características do meio ambiente.” Seguindo os conceitos modernos dos estudos ambientais, a definição se refere a uma mudança artificial ou perturbação de causa humana – é geralmente uma redução percebida das condições naturais ou do estado de um ambiente (GOMES, 2008). Para Sanchez (2008), a degradação ambiental é qualquer alteração adversa dos processos, funções ou componentes ambientais, sendo a síntese dos resultados da degradação do solo, vegetação e muitas vezes da água, caracterizando-se como um impacto ambiental negativo.

A degradação do solo é considerada como perda das condições desejáveis, relacionado ao crescimento de plantas e ao ambiente e sua (REINERT, 1997). Interferindo na perda de produtividade dos solos decorrente da diminuição da quantidade de nutrientes, matéria orgânica, mudanças dos atributos físicos e outras consequências adversas. (CRUZ *et al.*, 2003).

A degradação ambiental através da mineração a céu aberto advém da escavação de uma grande quantidade de solo/material rochoso, gerando um grande volume de material estéril, resultando em uma alteração topográfica com um considerável impacto visual nas feições topográficas da área. São observados também processos de erosão, assoreamento e perdas de solos, dificulta o surgimento de qualquer vegetação pela alteração das características naturais do solo, como a diminuição da fertilidade e aumento da acidez. Altera a estrutura do solo pela impermeabilização da camada superficial, aumenta a compactação e reduz a infiltração de água no solo. Os recursos hídricos, principalmente os superficiais, podem ser altamente impactados com a formação de drenagem ácida e de lagoas ácidas nas cavas abandonadas, algumas vezes utilizadas para a deposição de rejeitos, com a presença de metais, metais tóxicos e aumento da turbidez (QUINONES, 2004; Campos *et al.*, 2010;).

A drenagem ácida provém da presença de sulfetos, mais comumente encontrado o sulfeto de ferro (FeS_2) denominado de Pirita, presentes no minério e nas rochas circundantes à área minerada. A pirita em contato com o ar e a umidade sofre o processo de oxidação, ocasionando a alteração das características da água e do solo, como redução do pH e influenciando no aumento da solubilização de diversos metais que auxiliam na acidez dos recursos hídricos (CAMPANER & SILVA, 2009). Os rejeitos da camada carbonífera Barro Branco que recobrem as regiões de Lauro Müller e Siderópolis apresentam teores de pirita que variam de 10 a 12% (VIGÂNICO, 2009). As reações de acidificação interferem na função nutricional do solo para as plantas, já que os cátions básicos são lixiviados e elevação da concentração de alguns elementos considerados tóxicos, aumento da acidez do solo (QUINONES, 2004).

Este passivo ambiental até hoje causa danos aos recursos hídricos e edáficos da região (FARIAS, 2002). O correto seria a utilização do material pertencente à própria coluna estratigráfica da região minerada, ou ainda, que se aproxime ao máximo das características anteriores ao processo de degradação ambiental como garantia de desenvolvimento da flora e retorno da fauna a área. Atualmente, pela importância da recuperação dessas áreas, determinou-se a obrigação de reparo dos danos causados, seja por culpa ou dolo, conforme a Lei n. 6.938/81, devido aos prejuízos decorrentes da mineração de carvão.

Devido ao quadro de degradação ambiental, que é notório, o governo federal classificou a região da Bacia Carbonífera de Santa Catarina como a 14ª área crítica nacional, para fins de controle de poluição ambiental, conforme o Decreto Federal 85.206 de 25 de outubro de 1980 (PETERSON, 2008).

Segundo Stahl *et al.* (2002), dentre os impactos causados pelo processo de lavra, pode-se citar a perda completa da vegetação da superfície do solo, destruição da estrutura do solo e eliminação do habitat dos organismos do solo, expulsando a fauna existente no local.

Dentro do contexto de recuperação ambiental, os objetivos podem seguir a linha de restauração, onde a recuperação do ambiente degradado leva à condição original de função e de estrutura; reabilitação com apenas algumas características desejáveis que foram alteradas; substituição ou criação de um novo ecossistema totalmente distinto do original; e abandono da área, o que pode levar a um processo normal de sucessão ou a uma degradação futura se o ecossistema está sujeito à erosão ou a outro agente debilitante (BRADSHAW, 1984; CAIRNS JUNIOR, 1986).

A restauração de ecossistemas degradados ou recomposição florestal tem como meta reconstruir um novo ecossistema o mais semelhante possível ao original, de modo a criar condições de biodiversidade renovável, onde as espécies regeneradas artificialmente tenham condições de ser autossustentáveis (KAGEYAMA & GANDARA, 2004).

Devido às variantes condições e níveis de degradação da atividade mineradora, a restauração é factível num maior período de tempo, pois há necessidade de obras de regularização topográfica e de drenagem que aumentam consideravelmente o custo da restauração. A importância da recuperação de áreas de esgotamento de mineração permite que, o processo torne as áreas autossustentáveis, baseadas na utilização do solo nas suas condições mínimas de desenvolvimento físico-químico (IBAMA, 1990).

As atividades de recuperação das áreas, que passam por estudos e projetos, por algumas vezes, identificam procedimentos descritos, que não são seguidos na prática. Em outros casos, seus resultados ficam aquém do esperado (BITAR, 1997). Uma delas é a dificuldade de se estabelecerem parâmetros ou critérios para avaliação do desempenho das empresas ao executarem a recuperação de áreas degradadas (PELÁEZ *et al.*, 2005).

2.3 SOLOS DE MINERAÇÃO DE CARVÃO

A variabilidade natural do solo é perturbada durante a mineração de carvão alterando o equilíbrio estabelecido durante anos. No processo de extração de carvão, as camadas e horizontes de solo deveriam ser separados para melhorar o processo de construção do solo, entretanto em muitas minas isto não é feito, originando áreas construídas com características indesejáveis (elevada acidez do solo, desestruturação física, baixa atividade biológica etc.) Resultando dessa maneira em uma alteração tanto nas características físico-químicas, quanto na variabilidade espacial dos atributos do solo. (NETO LUNARDI, 2006; SPIAZZI, 2011). As características físicas, químicas e de fauna do solo pós-mineração, refletem o tipo de projeto empregado na recuperação da área (MAÇANEIRO, 2001).

A avaliação da qualidade do solo construído pós-mineração de carvão deve considerar as propriedades físicas, químicas e biológicas. Contudo, os indicadores a serem utilizados devem ser facilmente quantificados e seus efeitos de fácil interpretação, viabilizando a aplicação dos técnicos no campo (LIMA, 2007). Há inúmeros atributos que podem ser utilizados como indicadores, mas o grande desafio é desenvolver ou adaptar critérios válidos para monitorar e avaliar a funcionalidade da área, bem como discriminar os indicadores que forneçam as informações desejadas com exatidão e a custos aceitáveis.

Para avaliar a qualidade do solo, os indicadores químicos, físicos e biológicos devem ser identificados e analisados quanto à sua sensibilidade a mudanças pela atividade realizada (CHAER & TÓLOLA, 2007). Os melhores indicadores da qualidade do solo podem ser aqueles que integram os efeitos combinados de diversos atributos ou processos do solo, os quais devem ser precisos e simples, estando associados à função para a qual se pretende usar o solo (GOMES, 2010; ANDREOLA, 2011). Definiu Gomes (2010), que há quatro grupos de indicadores de qualidade do solo, sendo eles: Visuais, físicos, químicos e biológicos. Havendo que se buscar atributos específicos para cada situação e cada ambiente a ser recuperado, sendo improvável que se possa desenvolver um indicador de uso universal (RODRIGUES & GANDOLFI, 2001). Os indicadores de qualidade química do solo apresentam grande relevância na construção topográfica, pois estão relacionados à prática de recuperação realizada, através da alteração do pH e da capacidade de troca de cátions (CTC) e da presença de cátions necessários a nutrição vegetal e da fauna do solo.

Lunardi Neto (2006) avaliou atributos químicos (nos teores de saturação por Al, pH, de Ca, Mg, K, a soma de bases, a saturação de bases e a CTC pH7) Esse autor concluiu que as Características físicas e químicas podem ser melhoradas através da adição decorretivos, fertilização mineral e orgânica, de implantação de plantas de cobertura e de espécies florestais., além de rigoroso acompanhamento técnico do processo de reconstrução topográficas das áreas.

A avaliação de áreas reconstruídas topograficamente pós-mineração de carvão no município de Lauro Müller-SC realizado por Andreola (2011) e Spiazzi (2011), indica que as propriedades Ca+Mg, pH em CaCl₂, potencial de acidificação, teores de argila e silte, poderiam ser utilizados como indicadores de qualidade para a mitigação e o monitoramento de danos ambientais.

As propriedades físicas do solo, volume do espaço de poros, da densidade e da distribuição de partículas do solo, na movimentação da água e de soluções do solo e também o desenvolvimento das plantas e raízes são diretamente afetadas pela compactação do solo, resultado do processo da extração e da construção do solo em áreas mineradas (Stahl *et al.*, 2002). Franco (2006) analisou atributos físicos do solo de áreas construídas após mineração de carvão em Candiota/RS, como densidade do solo, porosidade total, macro/microporosidade e não observou diferenças estatísticas nos atributos físicos entre os oito tratamentos (T1-Hemártria, T2 - - Tifton, T3 – Pensacola, T4 – Hemártria + Amendoim Forrageiro, T5 - Tifton + Amendoim, T6 - Pensacola + Amendoim Forrageiro, T7 – Pensacola + braquiária humidícola + braquiária brizanta+ Amendoim Forrageiro; T8 - Solo natural da frente de mineração). Gonçalves (2008) avaliou o efeito de cinco tratamentos (T1 – Hemártria, T2 – Tifton, T3 – Pensacola, T4 - Braquiária brizanta e T5 - Solo natural da frente de mineração) nas propriedades físicas do solo. As amostras de solo foram coletadas nas camadas: 0,0 – 0,05 m; 0,05 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m. O autor concluiu que o efeito das plantas de cobertura sobre os atributos físicos do solo ainda era incipiente e que as plantas de cobertura Hemártria e Grama Tifton destacaram-se dentre as demais.

A macrofauna do solo tem um importante papel nos processos do ecossistema, no que se refere à ciclagem de nutrientes e estrutura do solo: fragmentando os resíduos de plantas, estimulando a atividade microbiana, misturando partículas minerais e orgânicas, redistribuindo a matéria orgânica e os microrganismos, promovendo a humificação e criação de bioporos (HENDRIX *et al.*, 1990). A estrutura das comunidades de formigas pode ser relacionada a estudos de impacto ambiental, pois atuam na redistribuição das partículas, dos nutrientes e da matéria orgânica, melhorando a infiltração de água no solo, através da melhoria da porosidade e aeração do solo (DUTRA, 2009). A aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais pode ter um efeito positivo para a fauna de solo, pois ao promover uma maior biomassa vegetal promove também um retorno da matéria orgânica ao solo. O efeito vai depender da disponibilização de nutrientes tanto no solo como da vegetação implantada na área (ALVES, 2007). Bornhausen (2010), em estudos sobre oligochaetas como indicadores de alteração química em áreas construídas pós-mineração de carvão em Lauro Müller, afirma que aparecimento de minhocas é um indicio da possível restauração das funções ecológicas daquele solo.

3 OBJETIVO

Caracterização dos atributos químicos e físicos e avaliação da fauna edáfica de áreas de mata ciliar recuperadas pós-mineração de carvão em Lauro Müller e Siderópolis, SC.

4 HIPOTESE

As propriedades químicas e físicas e fauna edáfica de solos construídos em áreas de mata ciliar impactadas pela mineração de carvão são resultado do grau de rigor técnico utilizado nos processos de reconstrução topográfica e técnicas de recuperação.

5 MATERIAL E MÉTODOS

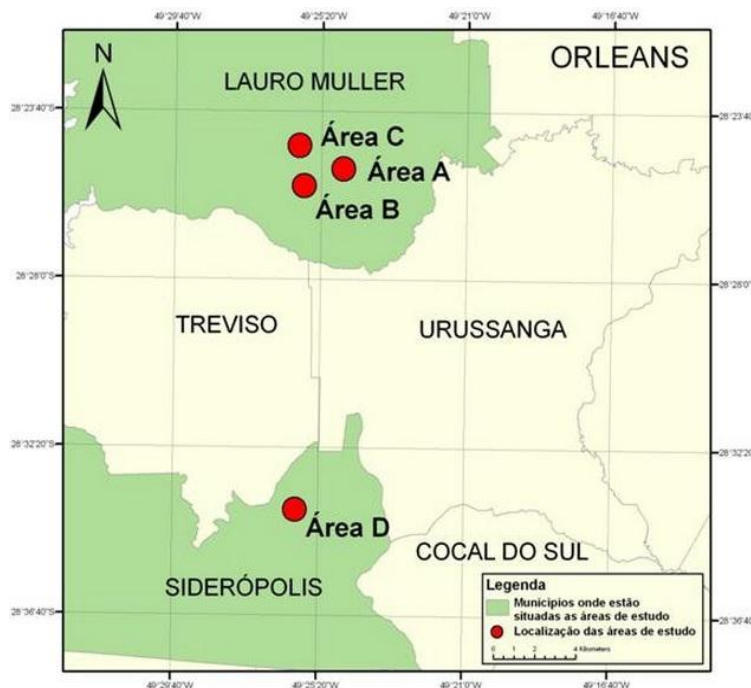
5.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

O presente trabalho foi realizado em áreas de mata ciliar que sofreram recuperação seguindo quesitos dispostos nos seus Planos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRADs), realizadas pelas respectivas empresas autuadas e que veem sendo monitoradas através do estudo fitossociológico das espécies implantadas através de um projeto entre a Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina e o Ministério Público.

O estudo foi conduzido em quatro áreas, sendo três áreas localizadas em Lauro Muller com as coordenadas UTM 655947N e 6852570E (A, B, C) e uma área em Siderópolis, UTM 654709N e 6837052E (área D), todas pertencentes à Associação dos Municípios da Região Carbonífera - Amrec, (Figura 1).

As atividades de recuperação das áreas incluíram basicamente, a remoção de rejeitos piritosos e deposição de uma camada de argilito, posteriormente a adição de calcário para correção de acidez do solo, adição de turfa com cama de aves para composição do substrato e a implantação da vegetação inicial com o plantio da gramínea *Brachiaria spp.*

Figura 1 - Localização das áreas de Estudo em Lauro Müller e Siderópolis. As áreas definidas como A, B, C e D.



Fonte: SATC - Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina.

Predominam nesses Municípios, solos classificados como um Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico (CAMPOS *et al.*, 2003). A cobertura vegetal original nessa região do Estado é representada pela Floresta Ombrófila Densa, cuja composição florística varia com a mudança nas cotas altimétricas, caracterizando três tipos de formações distintas: Floresta de Terras Baixas (5 a 30 m); Floresta Submontana (30 a 400 m) e Floresta Montana (acima de 450 m) (VELOSO e GOES FILHO, 1982; TEIXEIRA *et al.*, 1986).

5.2 HISTÓRICO DAS ÁREAS

5.2.1 Área A: Lauro Müller

A Área A encontra-se nas coordenadas UTM 6.852.950 N 657.100 E, na localidade de Santa Rosa, município de Lauro Müller – SC pertencente à Carbonífera Criciúma S.A. e é área de mata ciliar caracterizando uma Área de Preservação Permanente (APP). A atividade de impacto nessa área foi devido à deposição de rejeito da Mineração de Carvão. As atividades de recuperação ambiental iniciaram em 2010.

Para sanar o problema de rejeitos na faixa de APP (30 m), foi estabelecido um plano de ação (Protocolo FATMA n.º 4.648 de 20/11/2009), que consistiu na total remoção dos rejeitos remanescentes, por meio da raspagem do mesmo. Com isso, após a exposição do substrato (rocha) original, foi depositado material argiloso, proveniente do próprio local do empreendimento, complementado com argila extraída da Jazida Scarabelotti, distante 1,5 km deste local. O material argiloso passou pelo processo de compactação em camadas de 25 cm através de quatro passagens do rolo compactador sobre o material. Esse processo resultou numa área contínua de 89.665 m² de APP.

Após o término da construção topográfica a área recebeu uma última camada (espessura de 7 a 10 cm) composta da mistura de turfa proveniente da Empresa Florestal S.A. (Araranguá) e cama de aviário. Finalizando com a implantação de graminéa exótica perene e o plantio de mudas florestais nativas.

5.2.2 Área B: Lauro Müller

A Área B encontra-se nas coordenadas UTM 6.852.014 N 655.101 E, na localidade de Santa Rosa, Município de Lauro Müller- SC e pertencente à Carbonífera Criciúma S.A. Possui 5.820 m² de extensão de APP, onde o impacto causado originou-se da deposição de rejeito da mineração. As primeiras ações para recuperação da área tiveram início em 2010. No Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), realizou-se a remoção da

porção dos resíduos piritosos. O processo de construção topográfica e impermeabilização da área de mata ciliar foram precedidos de limpeza da faixa situada junto à margem da drenagem local, com um afastamento de 15 m. O volume total de rejeitos removidos foi equivalente a 34.580 m³ e também, foram movimentados 14.280 m³ de estéreis.

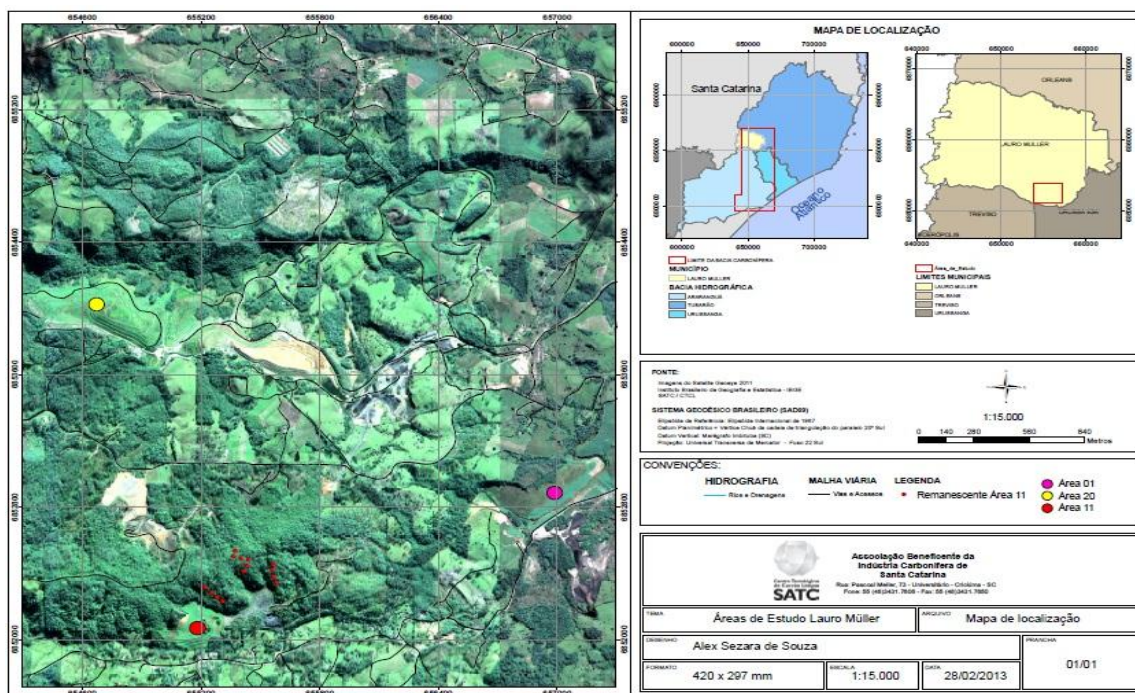
O material impermeabilizante aplicado possuía uma composição síltico argiloso, extraído em terreno adjacente a esta área. Para selamento da área, aplicou-se argila com espessura mínima de 25 cm seguido de compactação.

Para cobertura final, utilizou-se turfa, na espessura média de 7 cm e introduziu-se gramíneas exóticas anuais e mudas de espécies florestais nativas.

5.2.3 Área C: Lauro Müller

A Área C está localizada nas coordenadas UTM 6.858.752N 655.003E, localidade de Guatá (Boa Vista), no município de Lauro Müller-SC e pertence à Carbonífera Criciúma S.A. A área foi utilizada para lavra a céu aberto carvão mineral. As atividades de recuperação iniciaram em 2010, com a reconstrução topográfica da área, recobrimento com argila para cobertura dos rejeitos, com no mínimo 50 cm de espessura, sendo que, nos primeiros 20 cm a argila foi compactada. E finalizou-se com a introdução de espécies herbáceas e posteriormente arbustivas nativas.

Figura 2 - Localização das Áreas A, B e C em Lauro Müller, SC.

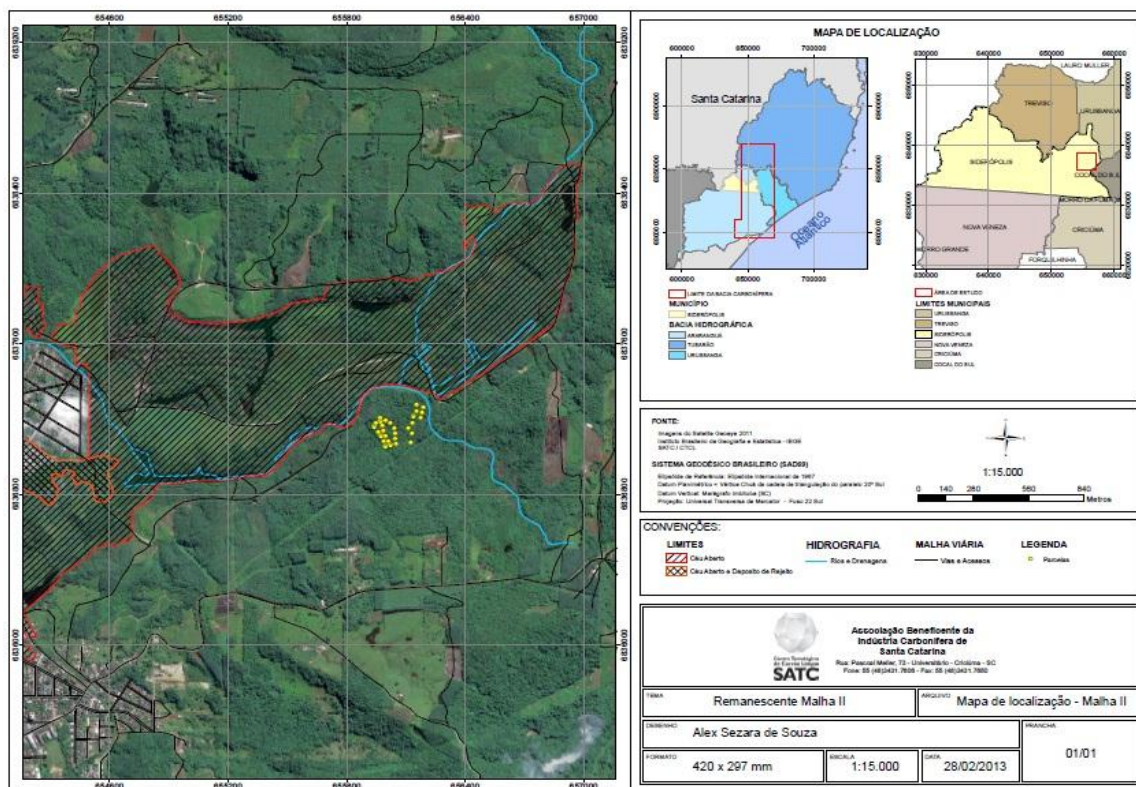


Fonte: SATC - Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina.

5.2.4 Área D: Siderópolis

A Área D está localizada na coordenada UTM 6.836.914 N 654.468 E, em Rio Florita, Município de Siderópolis-SC e pertencente à Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). Possui 3.360 m² de APP e as atividades de recuperação iniciaram no ano de 2004. Possuía em sua área lagoas ácidas e depósitos de rejeitos de beneficiamento de carvão a céu aberto. A atividade de construção do solo iniciou com a remoção e confinamento dos rejeitos carbonosos, remodelagem topográfica do relevo, com suavização de suas declividades e cobertura com solo para suporte da cobertura vegetal. Adição de calcário aos estéreis, o uso da adubação orgânica com cama de aves e também utilização de turfa para criação de um substrato. Na seqüência, foram cobertos com solo argiloso, seguindo-se adubação química e orgânica e a introdução da vegetação herbácea e arbórea na área.

Figura 3 - Localização da Área D em Siderópolis, SC.



Fonte: SATC - Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina.

5.3 ANÁLISES QUÍMICAS, FÍSICAS E DE FAUNA DO SOLO

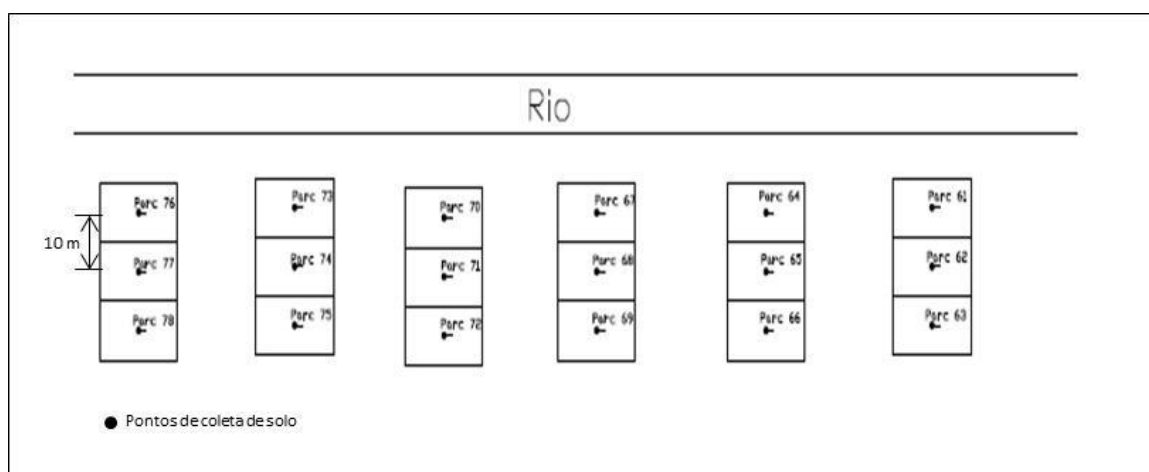
As áreas avaliadas possuem entre 9 e 10 parcelas de 30 x 10 m dispostas perpendicularmente a leito do rio. Para análise química do solo foram coletados três amostras de solo em pontos equidistantes a cada 10 m (figura 4) e em duas profundidades 0-10 e 10-20 cm. As amostras de solo para análise química foram coletadas com auxílio de uma pá reta (Figura 5A). As análises das propriedades químicas, físicas e macrofauna foram conduzidas nos laboratórios de Física e Manejo do Solo e de Levantamento e Análise Ambiental no Centro de Ciências Agroveterinárias - CAV/UEDESC.

As amostras para análise química foram secas em estufa de 60 °C, por 24 horas. Em seguida, foram destorroadas, moídas e peneirada com abertura de malha de 2,00 mm, obtendo-se assim a terra fina seca ao ar (TFSA). Os parâmetros químicos avaliados foram pH em água, o índice SMP, o teor de Matéria Orgânica (MO), H+Al, os teores de P, K, Na, Al⁺³, Ca e Mg (TEDESCO, 1995). Determinação de pH em água e índice SMP por potenciometria, MO, H+Al e Al⁺³ por titulação, K e Na por fotometria de chama, P por colorimetria, e Ca e Mg por espectrometria de absorção atômica.

Os atributos físicos avaliados foram textura (argila, silte e areia), densidade e porosidade do solo. Para determinação da textura utilizou-se o protocolo por Day (1965) e Gee e Bauder (1986), para densidade e porosidade do solo (macro e microporos) o protocolo EMBRAPA (1997).

A catação e a triagem da macrofauna seguiram protocolo estabelecido pelo programa Tropical Soil Biology and Fertility - TSBF (ANDERSON e INGRAM, 1993). Os indivíduos coletados foram classificados quanto à ordem. Para a análise de Fauna do foram calculados para os índices de Simpson (Ds') e de Shannon (H'). As diferenças entre o valor médio para o índice de Simpson (Ds') e de Shannon (H') é atribuído ao peso que o índice de Shannon tem sobre a riqueza de espécies, índice de Simpson da maior importância para a equabilidade. (HURLBERT, 1971; TÓTHMÉRÉSZ, 1995).

Figura 4 - Esquema de amostragem para análise química do solo da área B. Três pontos de coleta, equidistantes a cada 10 m, em cada parcela. Totalizando 36 amostras (18 pontos x 2 profundidades).



Fonte: Produção do próprio autor.

Enquanto que para análise das propriedades físicas e de macrofauna do solo foram sorteados dois pontos dos três coletados para química. Para a coleta de amostras de solo da análise física, utilizou-se o anel volumétrico (Figura 5B), feito de cilindro de aço com 5 cm de diâmetro e 2,5 cm de altura, onde se acondicionou a amostra de solo indeformada. A coleta para análise da macrofauna presente no solo foi feita segundo o método manual, proposto pelo programa Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) (ANDERSON e INGRAM, 1993) (Figura 5C).

Na análise dos dados químicos, físicos e fauna obtidos, foram utilizados alguns parâmetros da estatística descritiva como média, máximo, mínimo, e coeficiente de variação.

Figura 5 - Coleta de amostras de solo para análise química (A), física (B) e de macrofauna (C).



Fonte: Produção do próprio autor.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de pH dos solos, das quatro áreas avaliadas (Tabela 1), são considerados baixo, o que pode indicar que para as áreas A, B e C a quantidade de calcário adicionado foi muito menor que a necessária para elevar o pH para 5,5. Já para área D o valor de pH está relacionado ao tempo de recuperação e ao efeito residual do calcário. Nos PRADS disponíveis para consulta não há relato da quantidade de calcário utilizada, nem qual parâmetro indicador da necessidade de calcário, índice SMP ou acidez potencial, foi utilizado. Os valores médios de pH encontrados nas áreas assemelham-se aos estudos realizados por Andreola (2011) e Spiazzi (2011) para áreas recuperadas pós-mineração de carvão em Lauro Müller, onde as médias de pH encontradas foram também inferiores a 5,5 variando entre pH 3 e 5.

Em valores de pH menores que 5,5 ocorre o aumento da disponibilidade de Al^{+3} , Mn^{+2} e outros elementos nas zonas de crescimento de raiz afetando o crescimento vegetal, além da redução da decomposição da matéria (ERNANI, 2008) e da população de bactérias fixadoras de nitrogênio. A presença do Al^{+3} na solução do solo resulta em diminuições no alongamento radicular, na produção de biomassa (raiz e parte aérea), na síntese do DNA, e na absorção de nutrientes, principalmente do fósforo.

O valor médio de Al^{+3} variou entre 0,3 Cmolc kg^{-1} para área C e 0,8 Cmolc kg^{-1} para área B. Os altos coeficientes de variação para esta propriedade revelam uma elevada variabilidade espacial possivelmente devido a aplicação de calcário de forma não homogênea nas áreas A, B, C e D. Além de que, o efeito da calagem perdura por 3 a 5 anos, dependendo das fontes naturais que acidificam o solo, então, para a área D que possui mais de 6 anos de construção, não mais efeito do residual do calcário. Os teores médios de Al^{+3} encontrados diferiram dos estudos feitos por Spiazzi (2011) e Andreola (2011), pois os mesmos obtiveram na média elevados teores de Al^{+3} em áreas de mineração de carvão no distrito de Guatá, com período de recuperação superior as áreas avaliadas nesse trabalho. Cabe informar que as áreas avaliadas por esses autores receberam calcário em quantidades inferiores a necessária para neutralizar a acidez potencial (H +Al).

A área D apresentou baixa saturação por bases (Ca, Mg, K e Na) e alta saturação por Al^{+3} indicando a ação dos processos naturais de acidificação do solo, mineralização e lixiviação dos nutrientes.

Uma estratégia importante nos processos de recuperação de áreas, as quais o solo possui valor pH baixo e altos teores de Al^{+3} é a calagem e a adubação inorgânica ou orgânica. A diminuição da acidez e da disponibilidade de Al^{+3} e o aumento do teor de N, P, K, Ca e Mg garante o estabelecimento e desenvolvimento da vegetação, da fauna edáfica e a restauração das funções ecológicas do solo.

Os altos teores médios de Ca, Mg e K (Tabela 1) das áreas A, B e C refletem o uso de adubação orgânica na forma de cama de aves e baixa lixiviação devido ao menor o tempo de recuperação. Em áreas construídas pós-mineração, à acidez aliada a maiores concentrações de SO_4^{-2} normalmente resultam em aumento da lixiviação de Ca, Mg e K no solo (PITCHEL *et al.*, 1994; CAMPOS *et al.*, 2003). Há também de se considerar o efeito do deslocamento de K da fase sólida para a solução, devido à adição de Ca e Mg (cama de aves), o que pode favorecer a perda de K por lixiviação (Lunardi Neto, 2006).

As áreas A, B, C apresentaram altos teores de P o que está relacionado à adubação com cama de aves. A área D, que tem um maior tempo de recuperação, a disponibilidade de P foi menor.

A alta porcentagem de Matéria Orgânica observada nas áreas A, B e C se deve ao uso de turfa e a alta produção de biomassa da *Brachiaria spp* implantada nessas áreas (Tabela 1). A braquiária exerce função importante através na proteção da camada superficial do solo, pela ciclagem de nutrientes e nos atributos químicos do solo. Cabe informar que a MO quantificada neste caso, advém da turfa, e que ainda não é a MO humificada. Já a área D apresentou, na média, os menores valores de MO, porém ainda considerados altos.

Em média o teor de argila variou entre 31% para área D e 45,5% para área A. O teor médio da argila nessas áreas pode ter sido influenciado pelo material argiloso e a espessura da camada utilizada para construção topográfica da área. O teor médio de areia foi de 53,3% para áreas C e D o que supera do teor de areia do horizonte A do Argissolo Vermelho-Amarelo alítico (22-30% de argila), classe de solo predominante em Lauro Muller (Campos *et al.*, 2003).

Em média o teor de argila variou entre 31% para área D e 45,5% para área A. O teor médio da argila nessas áreas pode ter sido influenciado pelo material argiloso e a espessura da camada utilizada para construção topográfica da área. O teor médio de areia foi de 53,3% para áreas C e D o que supera do teor de areia do horizonte A do Argissolo Vermelho-Amarelo alítico (22-30% de argila), classe de solo predominante em Lauro Muller (Campos *et al.*, 2003).

Tabela 1 – Parâmetros estatístico (médias, máximo, mínimo e coeficiente de variação) para propriedades químicas dos solos coletadas na profundidade de 0-20 cm nas áreas recuperadas A, B, C e D.

| Parâmetros | pH agua | pH SMP | Ca | Mg | Al | H+Al | Na | K | CTC efetiva | SB | P | V | m | M.O |
|---------------|---------|--------|------|------|-------|------|-------|------|-------------|------|-------|------|-------|------|
| | | | | | | | | | | | | | | |
| Área A | | | | | | | | | | | | | | |
| Media | 4,9 | 5,2 | 18,8 | 9,9 | 0,6 | 13,5 | 33,7 | 1,5 | 30,9 | 28,2 | 280,1 | 69,0 | 4,5 | 14,6 |
| Máximo | 5,8 | 6,4 | 30,3 | 31,1 | 3,8 | 48,6 | 151,0 | 5,1 | 53,0 | 52,5 | 363,5 | 92,0 | 79,1 | 24,9 |
| Mínimo | 3,7 | 3,9 | 0,6 | 0,1 | 0,0 | 2,8 | 3,0 | 0,0 | 4,2 | 0,2 | 4,7 | 3,9 | 0,0 | 0,7 |
| CV % | 9,3 | 11,0 | 32,7 | 57,1 | 153,0 | 69,4 | 82,6 | 74,5 | 31,6 | 43,7 | 40,0 | 29,8 | 324,6 | 55,4 |
| Área B | | | | | | | | | | | | | | |
| Media | 4,8 | 4,7 | 9,6 | 7,0 | 0,8 | 21,4 | 32,6 | 0,9 | 18,0 | 17,5 | 229,3 | 47,5 | 4,8 | 15,5 |
| Máximo | 5,4 | 5,8 | 13,7 | 11,0 | 2,7 | 43,3 | 65,0 | 1,8 | 22,9 | 22,3 | 363,3 | 75,6 | 15,4 | 22,8 |
| Mínimo | 4,3 | 4,0 | 1,6 | 4,5 | 0,1 | 5,5 | 16,0 | 0,4 | 11,2 | 10,2 | 71,1 | 25,8 | 0,8 | 6,1 |
| CV % | 6,8 | 10,2 | 28,0 | 22,5 | 83,6 | 44,0 | 39,2 | 40,3 | 19,3 | 19,0 | 29,7 | 25,3 | 95,0 | 28,5 |
| Área C | | | | | | | | | | | | | | |
| Media | 5,3 | 5,4 | 12,8 | 5,8 | 0,3 | 9,5 | 25,1 | 0,8 | 19,8 | 19,5 | 328,0 | 65,4 | 3,7 | 16,3 |
| Máximo | 5,6 | 5,8 | 20,1 | 8,2 | 2,7 | 24,4 | 61,0 | 1,6 | 29,9 | 29,9 | 363,5 | 81,7 | 32,5 | 25,5 |
| Mínimo | 4,0 | 4,5 | 0,4 | 0,2 | 0,0 | 5,5 | 13,0 | 0,2 | 1,2 | 0,9 | 231,4 | 7,7 | 0,0 | 8,1 |
| CV % | 6,9 | 6,1 | 40,2 | 34,9 | 179,3 | 49,2 | 35,4 | 40,8 | 34,5 | 36,9 | 6,8 | 29,7 | 220,3 | 28,1 |
| Área D | | | | | | | | | | | | | | |
| Media | 5,5 | 5,6 | 7,5 | 6,7 | 0,6 | 8,8 | 15,2 | 0,3 | 15,2 | 64,6 | 51,4 | 22,9 | 45,0 | 7,2 |
| Máximo | 6,4 | 6,6 | 11,0 | 17,7 | 4,2 | 30,7 | 28,4 | 0,5 | 28,3 | 88,9 | 118,4 | 31,0 | 36,3 | 10,4 |
| Mínimo | 4,6 | 4,3 | 3,8 | 3,0 | 0,0 | 2,2 | 9,5 | 0,2 | 9,4 | 19,5 | 10,7 | 19,0 | 0,0 | 3,0 |
| CV % | 9,9 | 10,5 | 31,5 | 51,2 | 185,2 | 78,4 | 30,1 | 32,2 | 4,6 | 28,9 | 69,5 | 14,2 | 191 | 27,0 |

Notas: Áreas recuperadas A, B e C em Lauro Müller; e área D, em Siderópolis.

SB= soma de bases; V= saturação por bases; m= saturação por alumínio; MO = matéria orgânica; CV = coeficiente de variação.

A densidade do solo observada na área A, B e C é considerada baixa (Tabela 2), fato importante para crescimento das raízes. Importante informar que a determinação dessa propriedade se deu na camada de 0-10 cm onde há influência da turfa que recobre a área, maior quantidade de raízes e não compactação da camada superficial durante a construção topográfica. Avaliação da densidade de profundidades variáveis (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm) se faz necessário para identificação de camadas compactadas que impeçam o crescimento radicular dentro dos primeiros 40 cm de solo. A D_s , e a distribuição de tamanho de poros dos solos construídos são condicionadas pelo material utilizado e pelo processo de construção (KÄMPF *et al.*, 1997). As médias de D_s foram inferiores as médias encontradas nos estudos realizados por Franco (2006) em áreas de mineração de carvão construídas em Candiota/RS sobre diferentes tratamentos com plantas de cobertura. E superiores as médias de D_s encontradas por Neto Lunardi (2006), em estudos com áreas recuperadas de pós-mineração de carvão em Lauro Müller/SC.

As áreas B e C apresentam relação entre Macroporosidade e porosidade total (Macro/Pt) igual a 0,25, o que é inferior ao ideal estabelecido por Genro Júnior *et al.* (2009) de 0,33. Segundo estes autores esta relação indica capacidade de aeração e retenção de água no solo. A recuperação de solos fisicamente degradados pode ser alcançada através do manejo adequado do solo, levando em consideração o fator tempo (SEQUINATTO, 2010).

O teor de Macroporos foi inferior aos Microporos para todas as áreas recuperadas e isso é reflexo da ausência de agregação física do solo. O menor teor de macroporosidade conduz a uma menor capacidade de infiltração de água no solo, favorece o escoamento superficial e a erosão. Solos com poucos macroporos apresentam restrições ao crescimento vegetal, às trocas gasosas e à infiltração de água, (LUNARDI *et al.*, 2008).

As limitações físicas resultantes dos processos de construção de áreas mineradas incluem estrutura fraca e baixa permeabilidade da camada superficial à água (PICHTEL, 1994). A construção do solo resulta em sérias modificações nos atributos morfológicos e físicos, e por consequência um inadequado desenvolvimento da vegetação e perdas de solo por erosão (NUNES, 2002).

Tabela 2 – Parâmetros estatísticos para propriedades físicas dos solos nas áreas recuperadas A, B, C e D.

| Parâmetros | D_s g cm ⁻³ | Macro ----- cm ³ cm ⁻³ | Micro cm ³ cm ⁻³ | Pt ----- | Argila | Silte % | Areia |
|---------------|-----------------------------|--|---|-------------|--------|------------|-------|
| Área A | | | | | | | |
| Media | 1,0 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 45,5 | 12,6 | 40,9 |
| Máximo | 1,6 | 0,4 | 0,6 | 0,9 | 66,9 | 36,1 | 67,8 |
| Mínimo | 0,3 | 0,1 | 0,3 | 0,4 | 14,3 | 3,7 | 26,3 |
| DP | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 14,6 | 8,3 | 12,9 |
| CV % | 38,3 | 32,4 | 21,3 | 19,8 | 32,1 | 65,9 | 31,7 |
| Área B | | | | | | | |
| Media | 1,0 | 0,2 | 0,5 | 0,7 | 37,7 | 16,7 | 45,4 |
| Máximo | 1,5 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 56,1 | 45,0 | 74,2 |
| Mínimo | 0,4 | 0,1 | 0,4 | 0,5 | 20,4 | 5,1 | 29,8 |
| DP | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 10,8 | 12,1 | 12,0 |
| CV % | 36,7 | 46,2 | 11,5 | 16,2 | 28,6 | 72,4 | 26,5 |
| Área C | | | | | | | |
| Media | 0,9 | 0,2 | 0,5 | 0,7 | 35,4 | 11,4 | 53,3 |
| Máximo | 1,9 | 0,3 | 0,6 | 0,8 | 70,4 | 52,2 | 72,0 |
| Mínimo | 0,5 | 0,1 | 0,3 | 0,4 | 14,6 | 1,7 | 25,8 |
| DP | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 12,6 | 11,7 | 12,4 |
| CV % | 34,5 | 30,8 | 16,5 | 15,7 | 35,6 | 103,0 | 23,2 |
| Área D | | | | | | | |
| Media | 1,1 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 31,2 | 15,6 | 53,2 |
| Máximo | 1,3 | 0,3 | 0,5 | 0,7 | 45,3 | 41,1 | 67,3 |
| Mínimo | 0,7 | 0,1 | 0,4 | 0,5 | 21,3 | 4,9 | 27,7 |
| DP | 0,2 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 6,6 | 10,1 | 9,5 |
| CV % | 21,0 | 38,8 | 9,6 | 9,4 | 21,0 | 64,6 | 17,8 |

Notas: Áreas A, B e C áreas recuperadas localizadas em Lauro Müller e área D em Siderópolis; Ds = Densidade do solo; MACRO = Macroporosidade; MICRO = Microporosidade do solo; DP = Desvio padrão; CV = Coeficiente de variação.

Nas áreas avaliadas neste estudo destacasse o número de formigas (Formicidae), besouros (Coleoptera) e minhocas (Oligochaeta) coletadas no inverno e no verão, principalmente na área C (Tabelas 3 e 4) e de cupins (Isoptera) para área D. As comunidades de formigas e besouros são sensíveis ao manejo do solo, a exploração industrial e a poluição, porém também podem indicar o sucesso de um programa de recuperação (Andersen, 2002 e Baretta, 2007). O maior número de formigas na área C, aliado as propriedades químicas e físicas apresentadas acima podem indicar que o processo de recuperação desta área foi mais eficiente que para as áreas A e B. Dentro da macrofauna do solo são indicadores de qualidade as formigas, os cupins, os besouros, as aranhas, as minhocas, entre outros (Baretta, 2007). Esses organismos influenciam o funcionamento do solo por ações biológicas, mecânica (bioturbação) e química (humificação, mineralização da matéria orgânica).

Tabela 3 - Número de indivíduos por ordem coletas nas áreas A, B, C e D no verão.

| ORDEM | A | B | C | D |
|-------------------|----------|----------|--------------|----------|
| | | | Verão | |
| Acarina | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Aranae | 6 | 3 | 5 | 7 |
| Blattaria | 1 | 1 | 4 | 2 |
| Chilopoda | 1 | 0 | 1 | 5 |
| Colembola | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Coleoptera | 81 | 28 | 116 | 8 |
| Dermaptera | 0 | 0 | 0 | 10 |
| Diplopoda | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Dipluria | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Diptera | 4 | 3 | 6 | 4 |
| Formicidae | 132 | 53 | 488 | 299 |
| Gastropoda | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Hemiptera | 14 | 3 | 30 | 0 |
| Himenoptera | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hyrudinea | 8 | 0 | 0 | 0 |
| Isópoda | 2 | 0 | 0 | 3 |
| Isoptera | 0 | 0 | 0 | 472 |
| Larva Outro | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lepidoptera | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Mollusca | 1 | 0 | 1 | 9 |
| Nínta Himenoptera | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Oligochaeta | 15 | 3 | 30 | 3 |
| Opilião | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Orthoptera | 0 | 1 | 2 | 0 |
| Outros | 3 | 1 | 2 | 2 |
| Paupoda | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Plotura | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Scorpiones | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Symphila | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Thysanoptera | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tricoptera | 0 | 0 | 0 | 0 |

A área A apresentou tanto no inverno quanto no verão o maior número de minhocas coletadas (oligochaetas, tabela 3 e 4), o que pode estar relacionado a melhores condições químicas e físicas do solo quando comparada as outras áreas avaliadas. Bornhausen (2010), em sua pesquisa na Mina do Apertado em Lauro Müller, mesmo encontrando restrições físicas como compactação do solo também encontraram oligochaetas. A presença de minhocas esta relacionada diretamente as propriedade químicas e físicas do solo e no caso de alguns gêneros específicos a ausência de quantidades significativas de poluentes ambientais (metais pesados, poluentes orgânicos, entre outros).

Tabela 4 - Número de indivíduos por ordem coletas nas áreas A, B, C e D no inverno.

| ORDEM | A | B | C | D |
|-------------------|----------------|----------|----------|----------|
| | Inverno | | | |
| Acarina | 0 | 0 | 14 | 0 |
| Aranae | 10 | 2 | 4 | 1 |
| Blattaria | 2 | 0 | 3 | 6 |
| Blattodea | 0 | 0 | 2 | 4 |
| C. Staphylinidae | 9 | 3 | 5 | 2 |
| Chilopoda | 0 | 0 | 0 | 4 |
| Colembola | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Coleoptera | 11 | 13 | 30 | 5 |
| Coleoptera Larva | 16 | 3 | 28 | 3 |
| Dermaptera | 0 | 0 | 2 | 2 |
| Diplopoda | 0 | 0 | 0 | 3 |
| Dipluria | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Diptera | 0 | 0 | 3 | 0 |
| Diptera Larva | 3 | 24 | 5 | 2 |
| Formicidae | 118 | 221 | 868 | 273 |
| Gastropoda | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Hemiptera | 3 | 2 | 14 | 1 |
| Himenoptera | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hyrudinea | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Isópoda | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Isoptera | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Larva Outro | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Lepidoptera | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Miptera | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Mollusca | 0 | 3 | 0 | 3 |
| Ninfa Hemíptera | 0 | 0 | 2 | 0 |
| Ninfa Himenoptera | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ninfa Outros | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Oligochaeta | 63 | 25 | 6 | 0 |
| Outros | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Paupopoda | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pulpa Coleoptera | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Thysanoptera | 0 | 0 | 2 | 0 |
| Tricoptera | 0 | 0 | 3 | 0 |

Importante destacar a baixa riqueza (D_s') e equabilidade (H') (Tabela 5) observada para todas as áreas. Isso pode estar relacionado a pouco tempo de recuperação, as propriedades químicas e físicas dos solos e também ao método de coletado utilizado O método TSBF pode subestima a abundancia de organismos menores (por ex.

formigas, cupins, centopeias, aranhas) e maiores (p. ex. minhocas) (Baretta, 2007). Sendo assim se faz necessário à adoção de combinação de métodos de coleta, por exemplo, TSBF e pitfall.

Tabela 5 – Parâmetros estatísticos (média e desvio padrão) para índices de diversidades de Shannon-Wiener (H') e Simpson (Ds') para o inverno e verão para as áreas recuperadas.

| Parâmetros | H' inverno | H' verão | Ds' inverno | Ds' verão |
|-------------------|-------------------|-----------------|--------------------|------------------|
| Área A | | | | |
| Media | 0,76 | 0,69 | 0,52 | 0,63 |
| Área B | | | | |
| Media | 0,85 | 0,72 | 0,38 | 0,59 |
| Área C | | | | |
| Media | 0,74 | 0,74 | 0,48 | 0,58 |
| DP | 0,52 | 0,36 | 0,35 | 0,20 |
| Área D | | | | |
| Media | 0,69 | 0,65 | 0,59 | 0,64 |

Notas: Áreas A, B e C recuperadas localizadas em Lauro Müller e, área D em Siderópolis; H = Índice de Shannon-Wiener; Ds' = Índice de Simpson; DP = Desvio Padrão.

7 CONCLUSÃO

A presença de Al^{+3} nos solos indica que a quantidade de calcário utilizado não levou em consideração a acidez potencial existente (H+Al).

O alto teor de MO observada nas áreas é resultante da aplicação de turfa nas áreas A,B e C e não esta relacionada a MO humificada a qual interfere na agregação do solo, retenção de água e CTC do solo. O alto teor de MO no solo da área D pode estar relacionado com a grande quantidade de raízes (finas e grossas) na camada de solo avaliada.

A densidade do solo das áreas é baixa e isso se deve ao efeito da turfa e da presença de raízes. Para avaliação de presença de camadas compactadas se faz necessário à avaliação da densidade do solo em várias camadas (0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm).

A presença de formigas, cupins e minhocas pode indicar o início da reestruturação das funções ecológicas do solo. A adubação com cama de aves pode ter beneficiado no estabelecimento da fauna edáfica, por ser fonte de alimenta adicional à fauna.

Os resultados obtidos para propriedades químicas e físicas apontam para deficiências no processo de reconstrução topográfica, além de deficiências nos modelos de recuperação como uso argila compactada onde não há resíduo/rejeito de mineração e haverá plantio de arvores e o uso de turfa, calcário e cama de aves sem critérios técnicos que definam a quantidade ideal para cada área.

REFERÊNCIAS

AÇÃO CIVIL PÚBLICA Nº 0000022-79.2010.404.7204/SC. Disponível em: <http://www2.prsc.mpf.gov.br/conteudo/servicos/noticiascom/ultimasnoticias/arg/Liminar_Mina101.pdf>. Acesso em: 19 set. 2012.

ALVES, M. V. Fauna do Solo Influenciada pelo Uso de Fertilizantes Minerais e Dejetos Suínos na Sucessão Aveia Milho, Sob Semeadura Direta. **Dissertação de Mestrado**. Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, 2007. 46 p. Disponível em:

<http://manejodosolo.cav.udesc.br/www17/messias_up/conteudos/737b04b11960546b17bdad9deb832056/file/Disserta%20Mauricio%20V%20Alves.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2013.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: a hand book of methods**. 2. ed. Wallingford: CAB International, 1993.

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 13, n. 4, 2009.

ANDREOLA, A. Avaliação dos Atributos Químicos de um Solo Construído Pós-Mineração de Carvão no Município de Lauro Müller, SC. **Dissertação de Mestrado**. Universidade do Estado de Santa Catarina, 2011. 61 p. Disponível em:

<http://manejodosolo.cav.udesc.br/www17/messias_up/conteudos/737b04b11960546b17bdad9deb832056/file/Dissertacao%20de%20Mestrado%20Ariane%20Andreola.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2013.

BARETTA, D.; MAFRA, A. L.; SANTOS, J. C. P.; AMARANTE, C. V. T. do; BERTOL, I. Análise multivariada da fauna edáfica em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Viçosa (MG), v. 41, p. 1675-1679, 2006.

BARETTA, DILMAR. Fauna do solo e outros atributos edáficos como indicadores da qualidade ambiental em áreas com *Araucaria angustifolia* no Estado de São Paulo. **Tese de Doutorado**. ESALQ, Piracicaba, 2007. 158p.

BITAR, O. Y. Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo. **Tese de Doutorado em Engenharia Mineral**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997. 184 p.

BRADSHAW, A. D. Adaptation on Plants to soils containing toxic metals - a test for conceit. In Origins and Development of Adaptation. **CIBA Foundation Symposium**, eds D. E. Vered and G. M. Collins, Pitman, London. p. 4-19, 1984. Disponível em:

<http://books.google.com.br/books?id=moJHjZ9qW_8C&pg=PA429&lpg=PA429&dq=BRADSHAW,+1984;+CAIRNS+JR,+1986&source=bl&ots=cCx8A6zV4J&sig=Y6oFfFzjDXII748-him89r6rY_A&hl=pt-PT&sa=X&ei=TCg-UZSaKoHF0gHs34D4BQ&ved=0CFIQ6AEwBg#v=onepage&q=BRADSHAW%2C%201984%3B%20CAIRNS%20JR%2C%201986&f=false>. Acesso em: 20 nov. 2012.

BRUYN, L.A.L. Ants as bioindicators of soil function in rural environments. Agriculture, Ecosystems and Environment. Agriculture, Ecosystems & Environment. v. 74, p. 425-441, 1999. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016788099900047X>>. Acesso em: 05 mai. 2013.

_____. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Perfil analítico do carvão**. 2.ed. Porto Alegre, 1987. 140 p. (Boletim, 6).

_____. Ministério Público Federal. Termo de Ajustamento de Conduta de 2000. Para que as empresas realizem projetos de mitigação dos danos ambientais provocados pela atividade de mineração. Disponível em:

< <http://www.mpf.gov.br/atuacao-do-mpf/acao-civil-publica/>> Acesso em: 05 jun. 2012.

CAIRNS, J. JÚNIOR. Ecological Consequence assessment: Effects of Bioengineered organismos. **Water Resoucers Bulletin**. n. 22, p. 171-182, 1986. Disponível em:

<http://books.google.com.br/books?id=moJHjZ9qW_8C&pg=PA429&lpg=PA429&dq=BRADSHAW,+1984;+C>

AIRNS+JR,+1986&source=bl&ots=cCx8A6zV4J&sig=Y6oFfFzjDXI1748-him89r6rY_A&hl=pt-PT&sa=X&ei=TCg-UZSaKoHF0gHs34D4BQ&ved=0CFIQ6AEwBg#v=onepage&q=BRADSHAW%2C%201984%3B%20CAIRNS%20JR%2C%201986&f=false>. Acesso em: 20 nov. 2012.

CAMPOS, M. L.; ALMEIDA, J. A., SOUZA, L. S. Avaliação de três áreas de solo construído após mineração de carvão a céu aberto em Lauro Müller, Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência e Sol**. n. 27, p. 1123-1137, 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000600017>>. Acesso em: 03 de ago. 2012.

CAMPOS, M. L.; ALMEIDA, J. A. de, SILVEIRA, C. B. da; GATIBONI, L. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; MIQUELLUTI, D. J. KLAUBERG FILHO, O.; SANTOS, J. C. Impactos no solo provocados pela mineração e depósito de rejeitos de carvão Mineral. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. Lages, v. 9, n. 2, p. 198-205, 2010.

CONFLITO Ambiental. Disponível em: <<http://www.conflitoambiental.icict.fiocruz.br/index.php?pag=ficha&cod=208>>. Acesso em: 19 set. 2012.

CORÁ, J. E.; ARAÚJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 1013-1021, 2004.

CORREIA, D. S. Fauna edáfica como indicadora de recuperação de áreas degradadas por mineração de carvão. **Dissertação de mestrado**. Universidade do Estado de Santa Catarina, 2010.60 p.

CORREIA, M.E.F. Relações entre a diversidade da fauna de solo e o processo decomposição e seus reflexos sobre a estabilidade dos ecossistemas. Seropédia. EMBRAPA Agrobiologia. 2002. 33p

COSTA, S.; ZOCHE, J. J. Fertilidade de solos construídos em áreas de mineração de carvão na região sul de Santa Catarina. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 33, n. 4, p. 665-664, 2009.

CHAER, G. M. & TÓLOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de Eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. Vol. 31, p. 1381-1396, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n6/16.pdf>> Acesso em: 19 set. 2012.

CRUZ, A. C. R.; PAULETTO, E. A.; FLORES, C. A.; SILVA, J. B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. In: Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2003. *Print version* ISSN 0100-0683. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. vol. 27, n. 6, Viçosa Nov./Dec. 2003.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis. American Society of Agronomy, n. 1, p. 545-566, 1965. **Apostila Método granulometria, 2011, p. 1. Disponível em:** <pt.scribd.com/doc/95560393/Apostila-Metodo-granulometria-2011-1>. Acesso em: 12 ago. 2012.

DECRETO N. 85.206 de 25 de setembro de 1980. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1980-1987/decreto-85206-25-setembro-1980-434622-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em: 12 ago. 2012

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Controle de poluição hídrica decorrente da atividade de mineração/programa de estudos de casos – **Diagnóstico da qualidade da água na Bacia do Rio Araranguá**. Relatório Final. 199 p, 1986.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. 2008. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=3601> Acesso em: 19 set. 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Diretoria de Planejamento e de Desenvolvimento da Mineração. Informe mineral, 2011. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=6950> Acesso em: 19 set. 2012

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. ARAÚJO, L. P. de O., 2012. Disponível em: <https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=7377> Acesso em: 06 abr. 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. CANO, T. M., 2013. Disponível em: <https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3970> Acesso em: 06 abr. 2013.

DEVELOPMENT Core Team (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Áustria. ISBN 3-900051-07-0. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 22 ago 2012.

DIAS, E. G. C. S.; SÁNCHEZ, L. E. Deficiências na implementação de projetos submetidos à avaliação de impacto ambiental no Estado de São Paulo. **Revista de Direito Ambiental**, n. 23, p. 163-204, 2001.

DUTRA, C.C. Impacto de Algodão Geneticamente Modificado Resistente a Insetos sobre a Entomofauna de Solo. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal da Grande Dourados. 2009. 54p. Disponível em: <http://www.ufgd.edu.br/tesesimplificado/tde_arquivos/2/TDE-2009-05-12T065237Z-70/Publico/CarlaCristinaDutra.pdf> Acesso em: 05 mai. 2013.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Ver. Atual. – Rio de Janeiro: Embrapa Produção de Informação, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

_____. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, v. Xxivi, 1999. 412 p.

_____. Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 2004. 1 CD-ROM.; mapa color. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; n. 46).

_____. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação; 2006. 306 p.

ENRIQUEZ, M. A. R. da S. Mineração e desenvolvimento sustentável – É possível conciliar? Revista Iberoamericana de Economía Ecológica Vol. 12: 51-66, 2009.

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e de Extensão Rural de Santa Catarina S.A. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura. Dados e Informações da Unidade de Planejamento Regional Litoral Sul Catarinense – UPR 8. Florianópolis, 2001.

ERNANI, P. R. Química do Solo e Disponibilidade de Nutrientes . 1. ed. Lages: UDESC 2008. 230 p.

FARIAS, C. E. G. **Mineração e meio ambiente no Brasil**. Relatório Preparado para o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Out. 2002. Disponível em: <http://www.cgee.org.br/arquivos/estudo011_02.pdf>. Acesso em: 10 ago.2012.

FRANCO, A. M. P. Universidade Federal de Pelotas. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Área de Concentração: Solos. **Caracterização física de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota - RS**. Pelotas, 2006.

GANJEGUNTE, G. K., WICK, A. F., STAHL, P. D., VANCE, G. F., 2009. Accumulation and composition of total organic carbon in reclaimed coal mine lands. *Land Degrad. Dev.* 20, p. 156–175.

GEE, G.W.; BAUDER, J. W. Particle size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of Soil Analysis**, 2. ed. Madison, Wisconsin USA: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986, p.383-411.

GENRO JUNIOR, S.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; ALBUQUERQUE, J.A. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho e produtividade de culturas cultivadas em sucessão e rotação. *Ciência Rural*, v.39, p.65-73, 2009. Disponível em: <http://www.ufpel.edu.br/cic/2011/anais/pdf/CA/CA_00468.pdf>. Acesso em: 28 set. 2012.

GOEDERT, W. J.; COREY, R. B.; SYERS, J. K. The effect on potassium equilibria in soils of Rio Grande do Sul. **Brazil Soil Science**, n.120, p.107-111, 1975.

GOMES, A DA S. Qualidade do solo: conceito, importância e indicadores da qualidade. **Revista Cultivar Hortaliças e Frutas**, Grupo Cultivar Artigos Técnicos, 2010.

GOMES, A. S. **Aspecto do Ofidismo na Construção da Usina Hidrelétrica Corumbá IV, Uma Avaliação Temporal (1996 a 2005)**. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2008. Disponível em: <<http://www.cpgss.ucg.br/ArquivosUpload/2/file/MCAS/Alexandre%20Santiago%20Gomes.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2013.

GONÇALVES, F. C. Universidade Federal de Pelotas. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Área de concentração: Solos. **Efeito de plantas de cobertura sobre os atributos físicos de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota - RS após três anos**. Pelotas, 2008.

GUEBERT, M. D.; GARDNER, T. W. Macropore flow on a reclaimed surface mine: infiltration and hillslope hydrology. **Geomorphology**. N. 39, p. 151-169, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n4/a02v32n4.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2012.

HENDRIX, P.F. et al. Soil Biota as component of sustainable agroecosystems. p. 637-654. In: Edwards et al (ed). Sustainable agricultural system. Soil and Water conservation, 1990.

HORBACH, R.; KUCK, L.; MARIMON, R. G.; MOREIRA, H. L.; FUCK, G. F.; MOREIRA, M. L. O.; MARISON, M. P. C.; PIRES, J. L.; VIVIAN, O.; MARINHO, D. A.; TEIXEIRA, W. Geologia. In: **Levantamento de recursos naturais**. n. 33, Porto Alegre: IBGE, 1986. p. 29-312.

HURLBERT, S.H. The non concept of species diversity: a critique and alternative parameters. **Ecology**. v. 52, n. 4, p. 577-586, 1971. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/bn/v8n3/v8n3a01.pdf>> Acesso em: 16 out. 2012.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração**: técnicas de revegetação. Brasília-DF: IBAMA/MINTER, 1990, 96 p.

INFORMAÇÃO TÉCNICA n. 003, de 2006. Descreve a falta de adequação das empresas e propõe uma padronização dos projetos de recuperação das áreas que já sofreram o processo de mineração, devendo contemplar áreas de depósitos de rejeitos, áreas mineradas a céu aberto e minas abandonadas. Disponível em: <https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/conteudo/levantamento_minas/mineracao_acp.htm>. Acesso em: 22 ago. 2012.

IRMLER, U. Climatic and litter fall effects on collembolan and oribatid mite species and communities in a beech wood based on a 7 years investigation. *European Journal of Soil Biology*, v.42 p.51-62, 2006.

KAGEYAMA, P. Y.; GANDARA, F. B. Recuperação de áreas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO-FILHO, H. F. (Eds.). **Matas ciliares**: conservação e recuperação. São Paulo: EDUSP, 2004. p. 249-269.

KÄMPF, A. N.; FERMINO, M. H. (Ed.). **Substratos para plantas**: a base da produção vegetal em recipientes. Porto Alegre: Gênese, 2000. p.139-145.

KAUL, P. F. T. Geologia. In: **Geografia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 2, Região Sul, 1990. p. 29-54.

LEI N.º 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.florestascertificadas.org.br/sites/default/files/Lei%20n%20C2%BA%206.938%20-%2081.PDF>>. Acesso em: 12 de ago. 2012.

LEI N.º 9.504 de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9605.htm>. Acesso em: 24 de jul. 2012.

LIMA, H. V. de; OLIVEIRA, T. S. de; OLIVEIRA, M. M. de; MEDONÇA, E. S. & LIMA, P. J. B. F. Indicadores de Qualidade do Solo em Sistemas de Cultivo Orgânico e Convencional no Semi-Árido Cearense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. V. 31, p. 1085-1098, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n5/a24v31n5.pdf>>. Acesso em 20 jan. 2013.

LUNARDI, A. N.; ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, J. A.; MAFRA, A. L.; MEDEIROS; J. C. & ALBERTON, A. Atributos Físicos do Solo em Área de Mineração de Carvão Influenciados pela Correção da Acidez, Adubação Orgânica e Revegetação. In: *Rev. Bras. Ci. Solo*. p. 1379-1388, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n4/a02v32n4.pdf>>. Acesso em 20 jan. 2013.

MAÇANEIRO, K. C. Efeito da calagem e da adubação orgânica no estabelecimento de gramíneas em áreas de solo construído após mineração de carvão a céu aberto em Lauro Müller, Santa Catarina. 2001. **Dissertação de Mestrado**. Universidade do Estado de Santa Catarina, 2001. 66p.

NETO, A. L. Métodos para Reabilitação de Solo Reconstruído Após Mineração de Carvão Lages – SC. **Dissertação de Mestrado**. Universidade do Estado de Santa Catarina. 2006. 71p.

NETO, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, J. A. de. MAFRA, A. L.; MEDEIROS, J. C.; ALBERTON, A. Atributos físicos do solo em área de mineração de carvão influenciados pela correção da acidez, adubação orgânica e revegetação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 32, n. 4, p. 1379-1388, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n4/a02v32n4.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2012.

OLIVIERA, F. A. de.; CARMELLO, Q. A. C.; MASCARENHAS, H. A. A. Disponibilidade de potássio e suas relações com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa-de-vegetação. *Scientia Agricola*. v. 58, n. 2, p. 329-335, abr./jun. 2001.

PELÁEZ, R. O.; ALMEIDA, O.; SÁNCHEZ, L. E. Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação do desempenho. *Revista Árvore*. vol. 29, no.1, Viçosa, Jan./Fev. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n1/24234.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2012.

PETERSON, M. Produção de Sulfato Ferroso a partir da Pirita: Desenvolvimento Sustentável. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal de Santa Catarina, SC, 2008, 127 p.

PORTAL DA AÇÃO CIVIL PÚBLICA DO CARVÃO. Histórico da Mineração de Carvão no Estado de Santa Catarina, 2013. Disponível em: <https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/portal/conteudo_portal/conteudo.php?cat=36>. Acesso em: 24 set. 2012.

PITCHEL, J. R.; DICK, W. A.; SUTTON, P. Comparison amendments and management practices for long-term reclamation of abandoned mine lands. *Journal Environmental Quality*. v. 23, n. 1, p. 766-772, 1994.

PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. **Biologia da Conservação**. Londrina: Vida, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n1/24234.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2012.

PROTOCOLO de Intenções n.º 24 de 16 de dezembro de 2004. Disponível em:
<http://4ccr.pgr.mpf.gov.br/atuacao-do-mpf/recomendacoes/recomendacoes-2012/rec_21-2012_criokpg.pdf>
Acesso em: 23 out. 2012.

PROTOCOLO FATMA N.º 4.648 de 20 de novembro de 2009. Portal da Ação Civil Pública do Carvão.
Disponível em: <<https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/>>. Acesso em: 25 set. 2012.

REINERT, D. J. Recuperação de solos em sistemas agropastoris, curso sobre aspectos básicos de fertilidade e microbiologia do solo no sistema plantio direto. **Plantio Direto**, n. 4, p. 25-44, 1997.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. 343 p.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Energia, Minas e Comunicação do Estado do Rio Grande do Sul.
Disponível em: <<http://www.semc.rs.gov.br/>> Acesso em: 10 set. 2006.

RODRIGUES, R.; GANDOLFI, S. Conceitos tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. In:
RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H.R.(Eds.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2 ed. São Paulo:
Edusp, 2001. p. 235-247.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. Diretoria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos; AMREC, Associação de Municípios da Região Carbonífera; UNESC, Universidade do Extremo Sul Catarinense. **Plano básico de desenvolvimento ecológico-econômico, PBDEE**. Florianópolis, IOESC, 628 p. 1997.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado de Coordenação Geral e Planejamento. Subsecretaria de Estudos Geográficos e Estatísticos. **Atlas escolar de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro/IOESC, 1991.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

SEQUINATTO, L. Qualidade física do solo e rendimento de grãos num argissolo em processo de recuperação. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 158 p, 2010.

SHANNON, C.E.; WEAVER, W. The mathematical theory of communication. **Urbana**: University of Illinois Press, 1949. Disponível em:
<http://www.pgbiom.ufrpe.br/dissertacoes/2009/dissertacao_final_vanessa_kelly_dos_santos.pdf>. Acesso em: 34 set.2012.

SHRESTHA, R.K.; RATTAN, L. G. Changes in physical and chemical properties of soil after surface mining and reclamation. **Geoderma**. v. 3-4, n. 161, p. 168–176, 2011. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/geoderma>
Acesso em: 23 out. 2012.

SILVA, F. J. B. da. Conflitos de uso em Área de Proteção Ambiental: água, mineração e agricultura. Florianópolis, 2001. **Tese** (Doutorado Interdisciplinar em Ciências Humanas). UFSC, 2001.

SILVA, L. D.; BORTOLUZZI, C. A. (Ed). Mapa geológico do estado de Santa Catarina – escala 1:500.000; texto explicativo. Florianópolis: DNPM/11º Distrito/Secretaria. Ciência de Tecnologia, Minas e Energia, 1987. 215 p.

SILVA, M. A. S. **Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil**. Projeto de mapeamento Geológico/metalogenético sistemático. Criciúma, Folha SH.22-X-B. Estado de Santa Catarina. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM: serviço geológico do Brasil, 2000.

SILVA, W. L. & CAMPANER, V. P. **Processos físico-químicos em drenagem ácida de mina em mineração de carvão no sul do Brasil**. Química Nova vol.32, n.º.1. São Paulo, 2009. Disponível em:
<<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422009000100028>>. Acesso em: 23 out. 2012.

SILVANO, J. Avaliação de Metais na água, no sedimento e nos peixes da Lagoa Azul, formada por lavra de Mineração e Carvão a céu aberto, Siderópolis-SC. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, 2003.

SON, E.H. Measurement of diversity. **Nature**. n. 163, p. 688, 1949. Disponível em: <http://www.pgbiom.ufrpe.br/dissertacoes/2009/dissertacao_final_vanessa_kelly_dos_santos.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2012.

SINDICATO da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina. 2001. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/geocoturismo/coluna_white/carvaomineral.html>. Acesso em: 09 jun. 2012.

SINNETT, D., POOLE, J., HUTCHINGS, T.R., 2008. A comparison of cultivation techniques for success ful tree establishment on compacted soil. **Forestry**. n. 81, p. 663–679, 2008.

SPIAZZI, F. R. Análise Geoestatística de Atributos Químicos e Físicos do Solo em Áreas Construídas após Mineração de Carvão no Município de Lauro Müller, SC. **Dissertação de Mestrado**. Universidade do Estado de Santa Catarina, 2011. 97 p.

STHAL, P. D., PERRYMAN, B .L.; SHARMASARKAR, S.; MUNN, L. C. Stockpiling vs. exposure to traffic: Best management of topsoil on in-situ uranium wellfields. **Restoration Ecology**. n. 10, p. 129-137, 2002. Disponível em: <<http://www.asmr.us/Publications/Conference%20Proceedings/2006%20Billings/0695-Stahl-WY.pdf>> Acesso em: 26 set. 2012.

STATISTICAL Analysis Sistem. Institute Inc© 2003 SAS Ver. 9.1 .3 SAS Institute Inc.: Cary, NC, USA.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H.; DICKEY, D. A. **Principles and procedures of statistics – a biomerical approach**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, USA, 1997. 667 p.

TEIXEIRA, M. B.; COURA NETO, A. B.; PASTORE, U.; RANGEL FILHO, A. L. R. As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos – Estudo fitogeográfico. In: **Levantamento de recursos naturais**. n. 33. Porto Alegre: IBGE, 1986.

TÓTHMÉRÉSZ, B. 1995. Comparison of different methods for diversity ordering. *J. Veg. Sci.* v. 6. n. 2, p. 283-290. 1995. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/bn/v8n3/v8n3a01.pdf>> Acesso em: 21 nov. 2012.

VELOSO, H. P.; GOES FILHO, L. **Fitogeografia brasileira**: classificação fisionômico ecológica da vegetação neotropical. *Bol. Téc. Proj. RADAMBRASIL*, série vegetação, v. 1, p. 1-80, 1982.

VIGÂNICO, E. M. Produção de sulfato ferroso a partir de rejeitos do carvão. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, 2009.

WIENER, W.; SHANNON, C.E. (1949). **The Mathematical Theory of Communication Urban**. University of Illinois Press, 1949. 125 p.