

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
MESTRADO EM MANEJO DO SOLO**

**ARIANE ANDREOLA**

**AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM  
SOLO CONSTRUÍDO PÓS - MINERAÇÃO DE CARVÃO NO  
MUNICÍPIO DE LAURO MÜLLER, SC**

**LAGES – SC  
2011**

**ARIANE ANDREOLA**

**AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM  
SOLO CONSTRUÍDO PÓS - MINERAÇÃO DE CARVÃO NO  
MUNICÍPIO DE LAURO MÜLLER, SC**

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:** Prof. Dra. Mari Lucia Campos

**LAGES – SC**

**2011**

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária  
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14<sup>a</sup> Região  
(Biblioteca Setorial do CAV/UDESC)

Andreola, Ariane

Avaliação dos atributos químicos de um solo  
construído pós - mineração de carvão no município de  
Lauro Müller, SC / Ariane Andreola . – Lages, 2011.  
61p.

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

1. Indicadores de qualidade. 2. Carvão. 3. Solos construídos  
I.Título.

CDD – 631.4

**ARIANE ANDREOLA**

**AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM  
SOLO CONSTRUÍDO PÓS - MINERAÇÃO DE CARVÃO NO  
MUNICÍPIO DE LAURO MÜLLER, SC**

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.

Aprovada em: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Homologada em: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

**Banca Examinadora:**

---

**Orientador/presidente:** Dra. Mari Lucia Campos (UDESC/Lages - SC)

---

Dr. Luciano Colpo Gatiboni  
Coordenador Técnico do Curso de Mestrado  
em Ciência do Solo e Coordenador do  
Programa de Pós-Graduação em Ciências  
Agrárias – UDESC/Lages – SC

---

**Co-orientador/membro:** Dr. David Miquelluti (UDESC/Lages – SC)

---

**Membro:** Dra. Márcia Aparecida Simonete (Klabin/Lages - SC)

---

Dr. Cleimon Eduardo do Amaral Dias  
Diretor Geral do Centro de Ciências  
Agroveterinárias – UDESC/Lages - SC

Lages, Santa Catarina, 09 de fevereiro de 2011.

À Deus e a minha família que me proporcionaram esta conquista. Em especial a minha filha Isadora, que dentro do meu ventre me transmite sua paz e me faz sentir o mais sincero, puro e imenso AMOR. Dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, que me transmite a força necessária para enfrentar todos os obstáculos.

À minha família pelo apoio recebido e por terem dividido comigo todos os momentos nesse período, mesmo a distância. Agradeço a minha mãe Inês, pela ternura, amor e compreensão, a meu pai Reonildo, por ter me ensinado o verdadeiro significado da honestidade e da humildade e a minha irmã Kaciane, pela sabedoria e por ter me instruído a ser solidário com o próximo.

À meu marido Gilmar, por enfrentar do meu lado as barreiras diárias. Pelo amor, companheirismo e tranquilidade, sendo a base forte dos meus dias e por ter me dado o presente mais belo que alguém pode ganhar a graça de ser mãe.

À minha filha Isadora, a qual espero ansiosamente e que desde já me tornou uma pessoa melhor e despertou em mim o mais intenso, verdadeiro e incondicional amor, o qual jamais havia sentido antes.

À Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV) e ao Programa de Pós – Graduação em Ciências Agrárias – Manejo do Solo, pela oportunidade de realização do curso de graduação e de Pós-Graduação.

A Professora Dra. Mari Lucia Campos, pela confiança, apoio, orientação e ensinamentos. E principalmente por ter me estendido à mão em todas as fases dessa jornada.

Ao Programa de monitoria de Pós-graduação (PROMOP) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento e concessão da bolsa de estudos.

Ao meu amigo e comadre Luiz, pelo companheirismo nos estudos e apoio nos momentos difíceis.

À todos os amigos e colegas do mestrado pela ajuda prestada e por tornarem os dias cada vez mais alegres.

Aos bolsistas de iniciação científica do Laboratório de Levantamento e Análise Ambiental pelo auxílio nos experimentos e trabalhos de laboratório.

À todos os funcionários do CAV/UDESC, pelo convívio diário.

À todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a efetivação deste trabalho.

“Muitos se iludem com os aplausos e com a imagem dos fogos de artifício, sem levar em conta tudo que foi preciso ser feito para chegar até esse momento, puramente efêmero.” (Autor desconhecido)

## **RESUMO**

ANDREOLA, Ariane. Avaliação dos atributos químicos de um solo construído pós-mineração de carvão no município de Lauro Müller, SC. 2011. 71 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do solo). Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages.

As reservas brasileiras de carvão mineral totalizam 32 bilhões de toneladas de carvão "in situ", sendo que as maiores jazidas situam-se nos estados do RS e SC. A exploração do carvão é feita em minas subterrâneas e a céu aberto. Em Lauro Müller, SC, a exploração é realizada em minas a céu aberto, o que por sua vez, acarreta grandes impactos ambientais, pois alteram a estrutura do meio natural através da movimentação profunda das camadas do solo e subsolo e da disposição inadequada de rejeitos sólidos produzidos durante a lavra e o beneficiamento do carvão mineral, além de expressivos impactos sobre a água e o ar. As técnicas que vislumbram a recuperação das áreas degradadas, de maneira geral, são conduzidas de forma inadequada. Nesse contexto, os solos construídos após a mineração de carvão apresentam características influenciadas pela alta variabilidade provenientes dos materiais de origem e dos processos de construção dos solos. O objetivo deste trabalho incide em determinar indicadores de qualidade dos solos de quatro áreas construídas pós-mineração de carvão, que se localizam em Lauro Müller, SC. As áreas estudadas foram a Mina A2 (A2), que sofreu apenas a construção topográfica em 1996, com preenchimento da cava com mistura de rejeito e rochas, arenito, siltito e argilito, e finalmente com plantio de *Eucalyptus* spp.; a Mina A5 (A5), considerada modelo ideal de recuperação após mineração, foi construída em 2006 utilizando solum, regolito argiloso e rocha, e revegetada em 2009, com a adição de cama de aves, calcário e posteriormente plantio da gramínea *Brachiaria* spp.; o Campo Nativo (CN) que é uma área de campo aberto com cobertura de gramíneas e a Mata (MT) considerada como estando no estado mais próximo do natural. As amostras foram coletadas em sistema de gride em duas profundidades (0-20 e 20-40 cm) com espaçamento de 10 m. Os dados foram submetidos à análise multivariada, sendo encontrados quatro atributos que podem ser considerados como indicadores de qualidade dos solos, teor de Ca+Mg, pH em CaCl<sub>2</sub> e os teores de argila e silte dos solos, auxiliando na discriminação das áreas avaliadas.

Palavras chaves: Indicadores de qualidade. Carvão. Solos construídos.

## **ABSTRACT**

ANDREOLA, Ariane. Evaluation of Chemical Attributes of Abuilt Ground Post - coal Mining in the City of Lauro Müller, SC 2011. 71 f. Dissertation (Mestrado em Manejo do solo). Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages.

The Brazilian reserves of coal amounted to 32 billion tons of coal in situ, with the largest deposits are located in the states of RS and SC. Coal mining is done in underground and surface mines. Lauro Muller, SC, exploration is conducted in open pit mines, which in turn causes significant environmental impact, by altering the structure of the natural environment through the movement of the deep layers of soil and subsoil and the improper disposal of tailings solids produced during the mining and beneficiation of coal, and significant impacts on water and air. The techniques we envision the restoration of degraded areas, in general, are conducted improperly. In this context, the constructed soil after mining coal exhibit characteristics influenced by the high variability from the source materials and construction processes of soils. This study focuses on determining quality indicators of soil in four areas built after coal mining, which is located at Lauro Müller, SC. The areas studied were the Mina A2 (A2), which suffered only construction surveying in 1996, filling the pit with a mixture of tailings and rock, sandstone, siltstone and mudstone, and finally with *Eucalyptus spp*. Mina A5 ( A5), considered ideal model for rehabilitation after mining, was built in 2006 using Solum, regolith clay and rock, and replanted in 2009 with the addition of poultry litter, limestone and later planting of grasses *Brachiaria spp*, Native Field ( CN) which is an area of open field with grass cover and Forest (MT) considered as being in the state closer to natural. The samples were collected in the grid system at two depths (0-20 and 20-40 cm) with spacing of 10 m. Data were subjected to multivariate analysis, were found four attributes that can be considered as indicators of soil quality, content of Ca + Mg, pH in CaCl, the clay and silt soils, aiding in the breakdown of the assessed areas.

Keywords: Quality indicators. Coal. Soil built.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Estatísticas descritivas das variáveis analisadas na profundidade de 0-20 cm e 20-40 cm, da área de Mata (MT), em Lauro Müller, Santa Catarina.....	47
Tabela 2 -	Estatísticas descritivas das variáveis analisadas na profundidade de 0-20 cm e 20-40 cm, da área de Campo Nativo (CN), em Lauro Müller, Santa Catarina.....	48
Tabela 3 -	Estatísticas descritivas das variáveis analisadas na profundidade de 0-20 cm e 20-40 cm, da área da Mina A2 (Mina A2), em Lauro Müller, Santa Catarina. ....	48
Tabela 4 -	Estatísticas descritivas das variáveis analisadas na profundidade de 0-20 cm e 20-40 cm, da área da Mina A5 (A5), em Lauro Müller, Santa Catarina .....	49
Tabela 5 -	Valores de carbono orgânico (CO) e matéria orgânica (MO), das áreas construídas pós-mineração de carvão a céu aberto A2 e A5, Campo Nativo e Mata, em Lauro Müller, Santa Catarina. ....	51
Tabela 6 -	Coeficientes canônicos padronizados (CCP), coeficientes de correlação linear (r) e taxa de discriminação paralela (TDP) das variáveis estudadas em relação aos dois primeiros eixos canônicos na profundidade 0-20 cm..	53
Tabela 7 -	Coeficientes canônicos padronizados (CCP), coeficientes de correlação linear (r) e taxa de discriminação paralela (TDP) das variáveis estudadas em relação aos dois primeiros eixos canônicos na profundidade 20-40 cm.....	53

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Representação do contexto de hierarquização de algumas funções do solo, atributos a eles relacionados e alguns indicadores de qualidade do solo para produção vegetal.....	32
Figura 2 -	Localização da área de estudo.....	35
Figura 3 -	Localização da Bacia do Paraná (a) e da Bacia Carbonífera Catarinense (b). .....	36
Figura 4 -	Formação geológica da região de estudo. ....	36
Figura 5 -	Localização geral das áreas de estudo. ....	38
Figura 6 -	Sistema de amostragem em grade da área A2. ....	39
Figura 7 -	Aspecto da área A2 no momento da coleta de solo: (A) Superfície da A2 com fragmentos de rocha misturados com o rejeito da mineração de carvão e presença de sais brancos sobre os fragmentos de rocha evidenciando processo intenso de oxidação da pirita; (B) Presença de alguns espécimes de <i>Eucalyptus spp</i> .....	39
Figura 8 -	Sistema de amostragem em grade da área A5. ....	40
Figura 9 -	Aspecto da área A5 no momento da coleta de solo: (A) Superfície da A5 revegetada com Braquiária; (B) Solo da área A5 com presença de rejeito de carvão misturado com o solo. ....	41
Figura 10 -	Sistema de amostragem em grade do campo nativo. ....	41
Figura 11 -	Campo Nativo com cobertura arbustiva de gramíneas. ....	42
Figura 12 -	Área da Mata.....	42
Figura 13 -	Sistema de amostragem de pontos eqüidistantes a cada 10 m. ....	43

Figura 14 -	Médias dos valores das funções discriminantes um e dois para as diferentes áreas estudadas em relação às variáveis analisadas na profundidade de 0-20 cm.....	54
Figura 15 -	Médias dos valores das funções discriminantes um e dois para as diferentes áreas estudadas em relação às variáveis analisadas na profundidade de 20-40 cm.....	54

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
2.1	MINERAÇÃO DE CARVÃO <i>versus</i> IMPACTO AMBIENTAL .....	17
2.1.1	MINERAÇÃO DE CARVÃO .....	17
2.1.2	EXPLORAÇÃO DO CARVÃO MINERAL .....	19
2.1.3	IMPACTOS AMBIENTAIS DA MINERAÇÃO DE CARVÃO.....	21
2.2	A LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E A MINERAÇÃO DE CARVÃO .....	26
2.3	INDICADORES DE QUALIDADE DOS SOLOS .....	29
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>34</b>
3.1	LOCALIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS ESTUDADAS .....	34
3.2	SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS ESTUDADAS .....	37
3.2.1	MINA A2 (A2).....	38
3.2.2	MINA A5 (A5).....	40
3.2.3	CAMPO NATIVO (CN) .....	41
3.2.4	MATA (MT) .....	42
3.2.5	SISTEMA DE AMOSTRAGEM DO LOCAL DE ESTUDO.....	43
3.3	COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS DE SOLO .....	44
3.4	DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DOS SOLOS .....	44
3.5	DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DOS SOLOS .....	44
3.6	ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	45
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>46</b>
4.1	ANÁLISE DESCRIPTIVA (AD) .....	46
4.2	ANÁLISE DISCRIMINANTE CANÔNICA (ADC).....	52
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>58</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES GERAIS .....</b>	<b>59</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>61</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O setor mineiro como um todo, é considerado uma das bases da economia de diversos países, contribuindo de forma decisiva para o bem estar e a melhoria da qualidade de vida da população, sendo de suma importância para o desenvolvimento de uma sociedade equânime, desde que seja operado com responsabilidade social, respeitando os preceitos do desenvolvimento sustentável.

O Brasil tem forte relação com os processos de mineração, devido ao aproveitamento dos seus recursos minerais, que contribuem para a economia nacional, fazendo parte da ocupação territorial e da história do país.

Segundo Wagner et. al, (2002), o setor mineral, em 2000, representou 8,5% do PIB, ou seja US\$ 50,5 bilhões de dólares, gerou 500.000 empregos diretos e um saldo na balança comercial de US\$ 7,7 bilhões de dólares, além de ter tido um crescimento médio anual de 8,2% no período 1995/2000.

No caso específico da indústria carbonífera, a mineração de carvão e seus processos foram intensificados nos últimos anos, devido à expansão da economia nacional, isso proporcionou um complexo dinamismo econômico, produzindo marcas profundas nos ecossistemas regionais e, também, baixos índices de qualidade de vida e de qualidade ambiental nas regiões que desempenham essa atividade.

O uso do carvão constitui uma importante alternativa de fonte de energia em relação ao gás natural e ao petróleo. O Brasil produz carvão mineral do tipo energético, o qual teve um crescimento constante durante a década de 1990 atingindo 6,7.106 Mg, mas diminuiu para próximo de 5.106 Mg, em 2002, devido aos reservatórios das hidrelétricas brasileiras terem recuperado seu nível de segurança, o que reduziu a geração de termeletricidade a carvão mineral em 28 % no País (DNPM, 2005).

O crescimento médio da produção bruta brasileira de carvão mineral foi de aproximadamente 4%, entre 1995 e 2007. O estado de Santa Catarina foi responsável por praticamente 6% e o do Rio Grande do Sul por 2%, dessa produção (FUNGARO,2006).

O Rio Grande do Sul é atualmente o maior produtor do País, com 52% da produção, seguido de Santa Catarina com 46% e do Paraná com 1,5 % (DNPM, 2005).

As reservas de carvão mineral lavrável no Brasil em 2007, correspondente às reservas economicamente aproveitáveis, somaram cerca de 6,6 bilhões de toneladas, representando 1% da reserva mundial total. No entanto, se considerados os recursos praticamente inexplorados, ou seja, as reservas indicadas e inferidas, a potencialidade brasileira atingiria cerca de 17 bilhões de toneladas (DNPM/DIDEM, 2007).

De acordo com dados do DNPM, (2010), entre 1995 e 2007 as reservas de carvão mineral lavrável no Rio Grande do Sul, cresceram em média 17%, devido ao aumento no número de reservas consideradas na região. Já em Santa Catarina, as reservas reduziram, em média, 7% no mesmo período, pela intensa e desordenada exploração registrada no estado.

Considerando a disponibilidade dos recursos e as quantidades produzidas nos últimos anos, a exaustão das reservas de carvão mineral ocorrerá em 133 anos, enquanto as reservas de petróleo e gás natural ocorrerão em 42 e 60 anos, respectivamente (DNPM, 2010).

O processo de mineração de carvão, em Santa Catarina, pode ser realizado de duas maneiras distintas: a mineração subterrânea ou a mineração a céu aberto. Ultimamente, a mineração a céu aberto vem substituindo as tradicionais minerações subterrâneas, pois maquinários modernos e custos mais reduzidos removem cada vez maiores volumes de material em menor tempo. Nesse caso, é necessário remover o solo e os materiais subjacentes (rochas ou estéreis) que se encontram sobre o carvão e depositá-los em outro local até o término da exploração, para então recolocá-los ao lugar original (NETO, 2006).

Os problemas ambientais causados por esse tipo de processo giram em torno da disposição inadequada dos resíduos, causando contaminação de águas superficiais e subterrâneas, alterações na biosfera, pela geração de gases, poeiras e perda de solo fértil. Isso ocorre devido ao acúmulo e a mistura de rejeitos do carvão com o solo, desencadeando sérias restrições ao estabelecimento de plantas para reflorestamento e de gramíneas para pastagem em solos construídos topograficamente.

Sendo assim, levando-se em consideração o incremento econômico gerado pela atividade mineradora e avaliando-se o passivo ambiental causado pela mesma, é necessário gerar conhecimento e soluções específicas que possam ser utilizadas pelas empresas e órgãos

de fiscalização ambiental, no intuito de minimizar, de forma eficaz, os impactos ambientais causados pela mineração de carvão.

Diante deste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar os atributos químicos e físicos do solo das áreas construídas topograficamente pós-mineração de carvão a céu aberto, em Santa Catarina. Isso possibilitará não só a identificação e caracterização das áreas de mineração, mas também a seleção e padronização de indicadores de qualidade que permitirão a escolha de medidas mitigatórias e o desenvolvimento de métodos mais avançados, na busca pela recuperação das áreas degradadas pela mineração de carvão, visando à melhoria da qualidade do meio ambiente.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 MINERAÇÃO DE CARVÃO *versus* IMPACTO AMBINETAL

#### 2.1.1 Mineração de Carvão

Nacionalmente, a descoberta do carvão mineral ocorreu no ano de 1795 e, a partir deste momento, pesquisadores estrangeiros desenvolveram trabalhos analíticos pioneiros sobre o carvão brasileiro, por meio do envio de amostras para o exterior (MÜLLER et al., 1987).

Em seguida, houve a descoberta no estado de Santa Catarina, em 1827, na localidade de Guatá, município de Lauro Müller sendo, inicialmente explorado por uma empresa inglesa que construiu uma ferrovia ligando Lauro Müller ao porto de Laguna. Como o carvão catarinense era considerado de baixa qualidade, sua exploração deixou de despertar interesse para os ingleses, obrigando o Governo Federal a repassar a concessão para indústrias cariocas (FRANCO & MARIMON, 2008).

No Rio Grande do Sul, o carvão foi descoberto em Arroio dos Ratos onde foi aberta uma mina que começou a produzir o mineral em 1855. A mineração de carvão nas localidades de Candiota e Hulha Negra, no sudoeste do estado, iniciou-se no ano de 1863, tendo como principal mercado as fábricas e as charqueadas da região. O carvão era garimpado em minas de encosta e às margens dos cursos de água (FRANCO & MARIMON, 2008).

O período anterior a 1<sup>a</sup> Guerra Mundial, não representou grande impulso para a mineração de carvão. Somente, após 1939 é que houve uma política voltada à extração de carvão nacional. O carvão assumiu posição de destaque no cenário nacional, em virtude de suas características metalúrgicas, após instalação da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) no ano de 1945. Em 1980 houve incremento significativo na pesquisa relacionada aos

diversos programas de desenvolvimento do Setor Carbonífero (MÜLLER et al., 1987). No início da década de 90 o setor foi desregulamentado por decreto federal, fato que ocasionou uma profunda crise. Com isso, em Santa Catarina, uma nova fase de desenvolvimento da atividade carbonífera no sul do Estado se avizinha com a implantação de um parque térmico na região (FRANCO & MARIMON, 2008).

As maiores jazidas de carvão mineral do País situam-se nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (FRANCO & MARIMON, 2008). As menores, no Paraná e São Paulo. As reservas brasileiras totalizam 32 bilhões de toneladas de carvão *"in situ"*. Deste total, o estado do Rio Grande do Sul possui 89,25% (28,8 bilhões de toneladas), Santa Catarina 10,41% (3,4 bilhões de toneladas), Paraná 0,32% (100 milhões de toneladas) e São Paulo 0,02% (FUNGARO & IZIDORO, 2006).

O carvão mineral é a maior fonte de energia não renovável no país, sendo classificado como um combustível fóssil sólido, formado a partir da matéria orgânica de vegetais depositados em bacias sedimentares. Por ação de pressão e temperatura em ambiente sem contato com o ar, em decorrência de soterramento e atividade orogênica, os restos vegetais ao longo do tempo geológico solidificam-se, perdem oxigênio e hidrogênio e enriquecem-se em carbono, em um processo denominado de carbonificação (LAUS, 2006). Quanto mais intensas a pressão e a temperatura a que a camada de matéria vegetal for submetida e quanto mais tempo durar o processo, mais alto será o grau de carbonificação e, consequentemente, maior a qualidade do carvão (CETEM, 2001).

Entre os recursos energéticos não renováveis, o carvão ocupa uma das colocações iniciais em abundância e perspectiva de vida útil, sendo em longo prazo, uma das mais importantes reservas energéticas mundiais (BORBA, 2001). Esses atributos devem-se ao fato de o carvão conter características como: abundância das reservas; ampla distribuição geográfica das mesmas; baixos custos e estabilidade nos preços (ANEEL, 2005).

Os carvões brasileiros classificam-se como betuminoso e sub-betuminoso, apresentando elevados teores de pirita ( $FeS_2$ ) e metais pesados. Os teores de cinza resultantes da queima são também elevados, na ordem de 50% (BORMA et al., 2003). A maior parte do carvão riograndense é do tipo betuminoso alto volátil C, enquanto o carvão catarinense é do tipo betuminoso alto volátil A, considerado de melhor qualidade (FRANCO & MARIMON, 2008).

O carbono é o principal elemento presente no carvão mineral, embora sejam encontradas em sua composição outras substâncias como o enxofre, nitrogênio, oxigênio e hidrogênio. O teor de carbono é importante porque ele determina a maturidade geológica

deste mineral, denominada *rank*, ou seja, o estágio de carbonificação atingido na seqüência evolutiva. A umidade, o poder calorífico, os teores de carbono e hidrogênio ou a fluorescência, são propriedades que permitem estimar o *rank*, uma vez que a elevação da carbonificação aumenta o poder refletor e reduz o hidrogênio e as matérias voláteis (DNPM, 2009).

O carvão é encontrado em regiões de clima frio ou temperado, onde os vegetais são carbonizados antes do apodrecimento, geralmente em zonas pantanosas ou em terrenos terciários. Sua distribuição espacial é vantajosa frente outros minerais fósseis energéticos, porque ele pode ser encontrado em todos os continentes (DNPM, 2009).

A produção de carvão brasileiro minerado em 1999 atingiu 10,3 milhões de toneladas e 13,8 milhões no ano 2000. No ano de 1999 o Brasil consumiu 16,2 milhões de toneladas de carvão, parte importada dos Estados Unidos (33%), Austrália (31%), África do Sul (9%) e Canadá (8%), ao custo de US\$ 600 milhões (DNPM, 2009).

Atualmente, 85% do carvão utilizado no Brasil é consumido na produção de termoelectricidade, 6% na indústria cimenteira, 4% na indústria de papel celulose e os restantes 5% nas indústrias de cerâmica, de alimentos e secagem de grãos (FRANCO & MARIMON, 2008).

Devido à necessidade da utilização do carvão, é inegável que, no mundo moderno, a mineração assuma contornos de importância decisiva para o desenvolvimento, pois se observa que os elementos extraídos da natureza estão direta ou indiretamente presentes em todos os produtos utilizados pelo homem (KOPEZINSKI, 2000).

### 2.1.2 Exploração do Carvão Mineral

A extração do carvão pode ser realizada de duas maneiras distintas: a mineração subterrânea ou a mineração a céu aberto. Tanto a mineração subterrânea quanto a mineração a céu aberto, trazem problemas ambientais, pois acarretam em modificações na estrutura do meio natural, através da disposição inadequada dos rejeitos, com contaminação de águas superficiais e subterrâneas, alterações na atmosfera ao redor das minas pela geração de gases e poeiras e perda de solo fértil (SANCHEZ & FORMOSO, 1990).

A mineração subterrânea implica em abertura de poços, planos inclinados, ou galerias de encosta, para extração do minério, transporte de materiais e de pessoal. O método de câmaras e pilares é o mais utilizado no Brasil e consiste na abertura de um eixo principal de transporte, que pode ser constituído de duas ou mais galerias paralelas e perpendiculares; a

este são traçados os painéis de produção, onde são abertas galerias de produção. Entre as fases de desenvolvimento são deixados pilares os quais são retirados parcialmente, na fase de recuo (DNPM, 1987).

Já a lavra a céu aberto é possível quando o carvão esta aflorado a superfície. Consiste nas operações de remoção da cobertura de material estéril e estocagem em separado do solo (horizontes pedogenéticos A, B e C), do saprófito e dos estéreis, compostos pelas camadas geológicas sobrejacentes ou intercaladas à camada de carvão (siltitos, argilitos e folhelhos carbonosos) (PINTO, 1997; KÄMPF et al., 2000), finalizando com a extração da camada descoberta de carvão.

Existem inúmeros métodos utilizados na exploração do carvão a céu aberto, o mais freqüentemente empregado, é o método “Strip Mining” (em faixas), com variações que dependem das diferentes maneiras de decapamento em função do equipamento utilizado. Normalmente a cobertura e o carvão são lavrados em seqüência de cortes. O estéril removido de um corte é depositado dentro do vazio do corte anterior. As máquinas utilizadas no decapamento são escavadeiras do tipo “Dragline”, “Shovel”, “Bucktwell” e ainda equipamentos rodoviários como o “Moto-Scrapers” utilizados quando o inerte da cobertura é de natureza argilosa (DNPM, 1987).

Após o processo de mineração a céu aberto, a recuperação de áreas mineradas envolve a reposição dos materiais estéreis e do saprófito na cava minerada e a cobertura destes com o solo retirado no início do processo, visando à reconstituição topográfica (GAIVIZZO et al., 2002). Essas camadas passam a ser denominadas de “solos construídos”, pois ocorrem mudanças nas características originais do solo e sobre os quais passam a atuar processos pedogenéticos (KÄMPF et al., 1997; CAMPOS et al., 2003).

No processo de reabilitação, são utilizados o solo e as litologias sobrejacentes às camadas de carvão para a construção topográfica da paisagem, devendo ser proporcionadas ao solo, assim construído, condições para o desenvolvimento da vegetação (PINTO, 1997). A operação de mineração tende a misturar material de várias partes da coluna geológica, determinando uma mistura do material ao acaso, esta é a razão do porque que as propriedades dos solos após mineração de carvão variam muito em escalas de distâncias menores do que o solo natural (SCHAFFER, 1980).

Para Pinto (1997), os serviços de reabilitação devem seguir etapas sucessivas ao andamento da lavra, com remoção inicial do solo vegetal no sentido do corte, e em seguida do regolito argiloso, armazenando-os em locais separados. Após a retirada do carvão, a cava deve ser preenchida com o resíduo piritoso e os fragmentos das rochas sobrejacentes,

recobrindo-os com parte do regolito argiloso proveniente do corte adjacente. A última camada depositada será o solo vegetal proveniente do estocado. Por fim deve ser feita a drenagem do terreno e semeadura de espécies vegetais para a fixação do solo.

Porém a reabilitação das áreas mineradas não é feita de forma correta, muitas vezes devido ao alto custo desse procedimento, o que acarreta além dos processos de exploração propriamente ditos, sérios danos aos recursos hídricos, ao ar, ao solo e subsolo, de ordem química, física, mineralógica e biológica (INDA, 2010).

Em virtude das deficiências relativas ao processo de construção, os solos das áreas de mineração apresentam sérias limitações para o desenvolvimento da vegetação de cobertura, influindo negativamente para a recuperação dessas áreas e de áreas adjacentes (QUINÓNES, 2008).

Para que a atividade mineral tenha sucesso, é necessário que haja um planejamento e aplicação adequada do processo de mineração, a partir do conhecimento efetivo da situação e adoção de novas tecnologias aplicáveis a casos específicos por equipes de profissionais habilitados e qualificados para o devido restabelecimento dessas áreas (POMPÉO et al., 2004).

### 2.1.3 Impactos Ambientais da Mineração de Carvão

A mineração é considerada uma das atividades humanas que mais contribui para a alteração da superfície terrestre, provocando expressivos impactos sobre a água, o ar, o solo, o subsolo e a paisagem como um todo. A degradação é um processo inerente à atividade de mineração e sua intensidade depende do volume explorado, do tipo de mineração e dos rejeitos produzidos (GRIFFITH, 1980).

A mineração não representa grande parcela em extensão, face aos demais agentes degradadores. A lavra é pontual, limitando-se a pequenas áreas, se comparada à agricultura, por exemplo. Entretanto seus efeitos são drásticos ao meio ambiente, por causar grande impacto, devido à movimentação profunda das camadas do solo e subsolo, retirada da vegetação e alteração do regime de escoamento da água com difusão de poluentes em meio aquoso (KOBAYAMA et al., 2001).

O processo de degradação dos recursos naturais no sul de Santa Catarina tornou-se alarmante e provavelmente irreversível, já que em algumas regiões a vegetação foi suprimida para extração do carvão mineral e expansão das áreas agrícolas e pecuárias, restando apenas formações secundárias, em diferentes estádios sucessionais (SANTOS, 1997).

A degradação ambiental provocada por todas as etapas envolvidas na extração de carvão atua negativamente, na qualidade do meio ambiente sob diversos aspectos. Os recursos hídricos, o solo, o subsolo e a qualidade do ar sofrem influência direta destas atividades, contribuindo intensamente para o desaparecimento da fauna e flora dos ecossistemas (BORTOT & ZIM-ALEXANDRE, 1995).

Os principais impactos ambientais da produção mineral têm como consequência, a liberação de gases e a introdução de substâncias perigosas na atmosfera e nos ambientes aquáticos e terrestres (MARTIN & LEAL, 2000). Além disso, pelo fato de os rejeitos serem normalmente depositados ao redor das áreas mineradas, expostos ao ar livre e sob a ação do clima, e estas áreas, na maioria das vezes, encontrarem-se perto do perímetro urbano, há a exposição de animais domésticos e seres humanos (FREITAS, 2006).

Por conseguinte, as atividades de extração causam também problemas como desmatamento; alteração da superfície topográfica e da paisagem; perda ou destruição de solos superficiais férteis; desestabilização de encostas e terrenos em geral; alteração de corpos de água e de níveis freáticos, contaminação dos lençóis freáticos e exposição de áreas aos fenômenos de dinâmica superficial, como erosão e assoreamento (KOPEZINSKI, 2000; CAROLA, 2002).

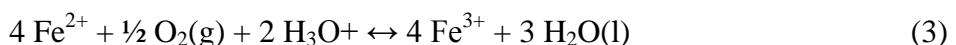
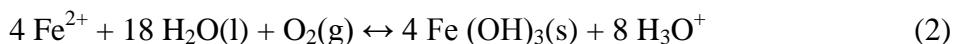
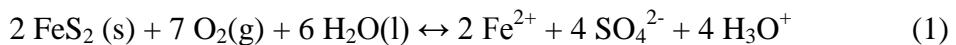
Na região carbonífera de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul a poluição hídrica causada pela drenagem ácida de mina (DAM) é provavelmente o impacto mais significativo das operações de mineração e beneficiamento do carvão mineral. Essa poluição decorre da infiltração da água da chuva sobre os rejeitos gerados nas atividades de lavra e beneficiamento, que alcançam os corpos hídricos superficiais e/ou subterrâneos. Essas águas adquirem baixos valores de pH (< 3), altos valores de ferro total, sulfato total e vários outros elementos tóxicos que impedem a sua utilização para qualquer uso e destroem a flora e a fauna aquáticas (ALEXANDRE & KREBS, 1995).

De acordo com Fungaro & Izidoro (2006) a DAM contém íons metálicos dissolvidos (Arsênio – As, Cádmio – Cd, Cobre - Cu, Níquel - Ni, Chumbo – Pb, Zinco - Zn, Alumínio - Al, Cromo – Cr, Manganês - Mn, Magnésio - Mg, entre outros.), em composições e concentrações que dependem de condições geológicas específicas. Esses íons encontram-se nas proximidades de minas ativas, em depósitos de rejeito e em minas desativadas, sendo que, ligeiramente excedem os padrões brasileiros de qualidade para águas superficiais.

Também há potencial de contaminação do solo e subsolo em áreas não cobertas por material estéril (não aproveitável na mineração) e por depósitos de rejeitos (que pode ser reaproveitado). Isso ocorre através da inundação de regiões não contaminadas com águas de

drenagens ácidas e pelo avanço da pluma de poluição, a partir das áreas já poluídas (CPRM, 2002).

Os passivos ambientais causados pela mineração de carvão são decorrentes em sua maioria, da oxidação da pirita, que é originada dos rejeitos carboníferos resultantes do processo de lavra e beneficiamento do carvão. A reação completa da oxidação da pirita pode ser vislumbrada nas equações abaixo:



Pela reação, após estar em contato com o oxigênio atmosférico e a água ocorre a liberação do  $\text{Fe}^{2+}$  em solução (Equação 1), que pode ser rapidamente oxidada a  $\text{Fe}^{3+}$  e precipitada na forma de hidróxidos (Equação 2). Depois de iniciada a reação 1, é desencadeado um ciclo onde o  $\text{Fe}^{2+}$  é oxidado a  $\text{Fe}^{3+}$  (Equação 3) e, subsequentemente, reduzido pela pirita (Equação 4), liberando  $\text{Fe}^{2+}$  e acidez adicional (LAUS et al., 2006).

Em  $\text{pH} \leq 3,0$  o Fe (III) oxida a pirita muito mais rapidamente que o Fe (II) pode ser oxidado pelo oxigênio. Em pH neutro a alcalino a razão de oxidação do Fe (II) aumenta rapidamente, enquanto o Fe (III) diminui devido a formação de óxido férrico. Portanto, inicialmente a pirita é oxidada pelo oxigênio e assim o pH diminui tornando mais solúvel o Fe (III), que age como agente oxidante (NORDSTROM apud CAMPOS, 2000).

A pirita pode reduzir Fe – férrico a ferroso mais rapidamente que o ferroso pode ser regenerado para férrico pelo oxigênio, o que resultaria na paralisação da reação, porém nesta fase ocorre a participação das bactérias *Thiobacillus ferrooxidans*, catalisando a reação e assim aumentando a razão de oxidação de 5 a 6 vezes em relação a magnitude inicial (NORDSTROM apud CAMPOS, 2000). A reação envolve tanto microorganismos autotróficos quanto heterotróficos, sendo que a oxidação de sulfetos em solos se dá muito mais rapidamente pela catálise do que pelas reações puramente inorgânicas (WALACE & WALACE 1992, NORDSTROM apud CAMPOS, 2000).

Três espécies de *Thiobacillus* comumente ocorrem nesses ambientes: *T. ferrooxidans*, o qual oxida o Fe (II) e pirita tão bem quanto o enxofre, *T. thioxidans*, que oxida apenas formas de enxofre e pirita, e ainda *T. acidophilus* que é um autotrófico facultativo que oxida

formas de enxofre, mas não o Fe (II). O pH ótimo de crescimento para as espécies de *Thiobacillus* se dá em torno de 2 a 3, embora sobrevivam em valores de pH mais elevados.

Um fator que acelera a oxidação química da pirita é a exposição do rejeito na superfície, porque o processo é aeróbico (MOSES et al., 1987). Desse modo, processos de construção de áreas mineradas a céu aberto que promovem expressiva contaminação das camadas superficiais com resíduos piritosos de carvão podem resultar em redução do pH.

A temperatura é outro fator que interfere nas reações da pirita no solo, pois afeta não só a atividade das bactérias do gênero *Thiobacillus spp*, quanto à razão de oxidação da pirita pelo oxigênio, sendo que um aumento de 10° C na temperatura duplica a velocidade da reação (NORDSTROM apud CAMPOS, 2000).

Com declínio do pH, há o comprometimento do crescimento vegetal devido a presença de metais pesados como Fe, Al e Mn, fixação de P e redução da população de bactérias fixadoras de N. Segundo Carson (1982), grande parte da acidez presente em solos com sulfato ácido é de natureza não trocável, ou seja Al complexado pela matéria orgânica, hidróxi - Al ou hidróxi - Fe associados com minerais de argila e H dissociado da matéria orgânica ou de argilominerais.

Como resultado da larga variação nos valores de pH presentes nestes solos, a zona de crescimento das raízes pode conter níveis tóxicos de Al, Cu, Ni, Zn, Mn, Fe, Al, e S e deficiência de Mo e B, o que dificulta o crescimento de plantas tornado as alternativas de revegetação limitadas (BARNHISEL et al. apud CAMPOS, 2000).

Em solos de minas, os sulfatos combinam-se com Ca, Mg e outros metais formando sais solúveis (BARNHISEL et al. apud CAMPOS, 2000), o que em solos intemperizados e lixiviados pode levar a deficiência destes cátions essenciais (DANIELS, 1996). Os níveis de bases trocáveis (Ca, Mg e K), proporcionados nas análises de solo em geral, não correlacionam-se com a absorção e desempenho da vegetação em solos que passaram por processos de mineração. Esse comportamento, aliado a alta variabilidade do tipo de rocha mãe e solubilidade de seus minerais, dificulta as recomendações de doses de fertilizantes (DANIELS, 1996).

Os baixos teores de fósforo podem dificultar a revegetação das áreas reconstruídas (GRUBE et al., 1982). A baixa disponibilidade desse elemento é devido a dois fatores: (1) os materiais geológicos são geralmente pobres em P-disponível e (2) os solos de mina intemperizam e oxidam tornando-se enriquecidos em óxidos de Fe, os quais adsorvem especificamente P da solução, tornando-o assim indisponível para as plantas (DANIELS, 1996). Os precipitados de fosfato de Fe e de Al altamente insolúveis ocorrem

predominantemente como produto final das reações de P - inorgânico durante a gênese do solo e também quando da aplicação de altas doses de fertilizantes a base de fósforo.

Os atributos físicos do solo mostram-se prejudicados pela à estrutura fraca, baixa permeabilidade da camada superficial à água e baixa capacidade de retenção de água devido ao encrostamento superficial (PICHTEL, 1994).

Os solos de minas, geralmente possuem alta densidade, baixa porosidade, baixa permeabilidade, grande quantidade de fragmentos de rochas e baixa capacidade de retenção de água. Mesmo após sofrerem as práticas correntes de reabilitação, mantêm características físicas adversas, devido ao tipo de material utilizado e ao tráfego de máquinas empregadas no processo de recobrimento do rejeito e nivelamento do terreno construído (BUSSLER et al., 1994).

Muitas propriedades dos solos de minas tais como a condutividade elétrica, a estrutura e o conteúdo de carbono na superfície podem levar mais de dez anos para aproximarem-se dos níveis encontrados em solos não minerados, enquanto outras propriedades como textura, cor do horizonte C, conteúdo de fragmentos e profundidade do solo até a rocha permanecem diferentes das do solo natural (SHAFER et al., 1980).

A mineralogia dos solos construídos é diversificada dos solos naturais, devido a formação de minerais que só se estabelecem em pH's ácidos. É o caso da jarosita, por exemplo, formada somente em ambientes com pH 2 a 4 e potencial redox, Eh> 400mV (van BREEMEN, 1982). Estes minerais têm sido observados como precipitados em águas de drenagem de minas, mas não são estáveis por mais do que uma estação do ano. A jarosita em solos com sulfato ácido é meta-estável e hidrolisa para ferrihidrita e/ou goethita (NORDSTROM & van BREEMEN apud CAMPOS, 2000), freqüentemente encontradas em rios e córregos.

Em muitos ambientes terrestres e aquáticos naturalmente acidificados, o Al e o Fe solúveis são controlados pela solubilidade da caulinita e dos óxidos de Fe (goethita ou Fe(OH)<sub>3</sub>) e de Al (gibbsita), entretanto, em condições de drenagem ácida em minas os níveis são controlados pelos sulfatos de Fe e Al ou pela schwertmannita {Fe<sub>8</sub>O<sub>8</sub>(OH)<sub>6</sub>SO<sub>4</sub>} (KARATHANASIS, 1988, van BREEMEN, 1982).

Em termos biológicos, os solos têm modificações que envolvem o aparecimento e desaparecimento de espécies diferentes da flora e fauna do solo. Algumas colônias de bactérias, como as do gênero *Thiobacillus* ocorrem em ambientes com pH ácido (caso das áreas de mineração) atuando no processo de oxidação da pirita. A fauna do solo, como

minhocas e demais microorganismos acabam por desaparecer pelo fato de não resistirem às condições precárias do solo.

No processo de mineração, ainda é possível citar impactos associados à geração de ruído e poeira, contaminação de solos pelos explosivos derivados da glicerina, derrame de óleos, graxas e solventes orgânicos, emissão de gases, descarte de plásticos, formação de lodos (precipitados) e rejeitos produtores de ácidos, poluição visual, alterações da biodiversidade, deposição e estocagem de rejeitos (em bacias/cavas), geração de radioatividade, e combustão espontânea (FRANCO & MARIMON, 2008).

Sintetizando, nas áreas de mineração os efeitos ambientais decorrentes de uma operação mal conduzida são cada dia mais evidentes e maiores sendo que, assumem dimensões graves, em alguns casos com consequências ecológicas irreversíveis, tais como a contaminação de suas principais bacias hidrográficas e a modificação e perda total da fertilidade de áreas agricultáveis, criando um passivo impagável na medida em que se torna impossível ou inviável a sua recuperação (CORRÊA, 2004).

## 2.2 A LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E A MINERAÇÃO DE CARVÃO

A crescente e estratégica importância sócio-econômica e política dos recursos naturais para o desenvolvimento do Brasil possibilitou, como contraponto, a necessidade de regulamentações normativas para a atividade de mineração, no sentido de atenuar e disciplinar os muitos conflitos inerentes que vão desde sua descoberta/exploração até o seu aproveitamento final (MILIOLI, 1999).

Para Castro (1998), o fundamento jurídico de reabilitar áreas degradadas repousa no dever de reparar o dano causado ao meio ambiente, cujos danos podem ter origem em atividades lícitas ou ilícitas. A obrigação de reabilitar área degradada se encontra regulamentada através do decreto 97.632, de 10 abril de 1989, porém, o tratamento legal dispensado pela legislação brasileira para a obrigação de reabilitar áreas degradadas é insuficiente e muitas vezes ineficaz.

No caso específico de Santa Catarina, as reservas de carvão mineral, concentram-se em uma área alongada no sentido Norte-Sul, situada entre os municípios de Araranguá e Lauro Müller, com aproximadamente 70 km de comprimento por 15-20 km de largura (DNPM, 1994). Nessas reservas, três bacias hidrográficas, são consideradas impactadas pela atividade mineradora de carvão: rio Araranguá, rio Tubarão e rio Urussanga. O volume total

de rejeito e estéril depositados nas áreas destas três bacias hidrográficas perfaz mais de 370 milhões de m<sup>3</sup> (rio Araranguá, 223 milhões de m<sup>3</sup>; rio Tubarão, 91 milhões de m<sup>3</sup>; rio Urussanga, 58 milhões de m<sup>3</sup>). A área comprometida corresponde a 4,7 milhões de hectares (rio Araranguá, 2,9 mil ha, rio Tubarão, 1,2 mil ha e rio Urussanga, 600 ha) (JICA, 1997).

Devido ao passivo ambiental causado na área, o Ministério Público Federal moveu uma ação pública (sentença nº 20.097, de 05.01.2000, proferida pela Justiça Federal). Esta sentença condenou solidariamente a União, o estado de Santa Catarina e as empresas mineradoras a promoverem a recuperação ambiental da área atingida pela atividade de extração de carvão no sul do estado. Em consequência disso, foi concebido o "Projeto para Recuperação Ambiental da Bacia Carbonífera Sul Catarinense" (PRAD) coordenado pelo Sindicato das Indústrias de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina - SIECESC, que é constituído por vários projetos que objetivam a recuperação dos recursos hídricos, solo, fauna e flora da referida bacia.

De acordo com a Lei 9.985, de 18 de julho de 2000 (Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC), a *recuperação* consiste na restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original. Para o MPF (2007) *área degradada* é aquela que teve alterada por ação antrópica alguma de suas características físicas, químicas e biológicas, alterando a estabilidade do ecossistema e afetando negativamente seu potencial sócio-econômico.

As etapas de reabilitação das áreas degradadas pela mineração, exigidas pela legislação tem sido observadas em vários projetos de mineração apresentados ao DNPM como o PRAD. Este plano sugere: (1) remoção do solo vegetal no sentido perpendicular ao corte, para estocagem em local pré - determinado; (2) retirada do regolito argiloso e camadas sobrejacentes ao carvão no sentido do espaço criado pelo corte para último recobrimento; (3) após retirada do carvão, preenchimento da cava com o “estéril” piritoso e o arenito; (4) recobrimento do “estéril” reposto com parte do regolito argiloso proveniente do corte adjacente; (5) reposição do solo vegetal previamente estocado sobre o corte já preenchido e recoberto; (6) conformação e drenagem do terreno; (7) plantio e/ou semeadura de espécies vegetais para fixação do solo (CASTRO, 1998).

Com a adoção dos PRAD's, os resultados já se fazem notar. Do total das áreas de mineração impactadas, treze delas já foram revegetadas, ou seja, aproximadamente 320 hectares, que por sua vez, estão sendo monitoradas pelo grupo técnico do SATC - Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina.

Segundo Milioli (1999), muito embora o disciplinamento jurídico da mineração date de muito cedo, foi somente após a promulgação da Constituição de 1988 que a atividade mineira passou a ser vista sob uma ótica nunca antes adotada em textos constitucionais brasileiros. Nos dias atuais, essas referências à mineração, inclusas em diversas leis, e até na Constituição, vêm demonstrar a importância que a problemática mineral atingiu perante o direito pátrio, justificando, ainda por isso, um tratamento sistematizado da matéria.

Uma ampla legislação com regulamentações e Resoluções do CONAMA, além dos instrumentos estaduais e municipais pertinentes, constitui o arcabouço legal complementar ao determinado na Constituição Federal de 1988.

Na região carbonífera catarinense, o MPF (2007), determinou critérios para a definição de usos futuros das áreas recuperadas. Aquelas áreas degradadas que são legalmente caracterizadas como de preservação permanente (APP), como as áreas ribeirinhas, devem ser recuperadas à sua condição ideal. “Nenhuma atividade econômica ou edificação pode ser desenvolvida nestas áreas, que devem ter sua função ambiental recomposta” (MPF, 2007). Uso futuro diverso para essas áreas somente poderá ser admitido com base na legislação vigente (Código Florestal e Resolução CONAMA 369/2006), que apenas autoriza corte de vegetação e intervenção em APP em caso de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental.

Para outras áreas degradadas, o MPF (2007) considera aceitável qualquer proposta de uso futuro, desde que respeite a legislação, sobretudo o Plano Diretor do Município, e que não comprometa o trabalho de impermeabilização do solo. Áreas cuja destinação seja de ordem econômica, tais como atividades de agricultura, pecuária, implantação de indústrias ou loteamentos, o MPF (2007) assinala que os futuros usuários devem ser informados das restrições incidentes, tais como cuidados com a impermeabilização ou restrições de gabarito, para aquelas áreas que foram mineradas em subsolo.

Para as áreas cuja destinação seja econômica, pelo menos 20% deve ser averbada como reserva legal. Entretanto a área de reserva legal pode ser compensada em outra propriedade dentro dos limites da bacia hidrográfica (FRANCO, 2008).

No caso de áreas destinadas à conservação da natureza o MPF (2007) ressalta a necessidade de criação de uma unidade de conservação, conforme a Lei nº 9985/2000 do Sistema Nacional de Unidade de Conservação – SNUC (IPAT/UNESC, 2005).

Entretanto, mesmo com a gama de leis e obrigações existentes, os diferentes processos de lavra utilizados pelas empresas mineradoras, aliados às dificuldades na fiscalização,

conduzem na prática a deficiências no processo de recuperação das áreas degradadas pela mineração de carvão, resultando em um enorme passivo ambiental (MILIOLI, 1999).

É preciso que antes da obtenção e aprovação do EIA/RIMA que por sua vez é o requisito básico para que a empresa de mineração possa pleitear o Licenciamento Ambiental do seu projeto de mineração, tenha-se consigo o plano de recuperação da área e garantias da empresa mineradora de que realmente este processo de recuperação será desempenhado e posteriormente monitorado de forma correta visando o desenvolvimento sustentável da região.

## 2.3 INDICADORES DE QUALIDADE DOS SOLOS

Atualmente, inúmeros são os fatores que podem levar a degradação dos solos, dentre eles o desmatamento seguido da queima dos resíduos vegetais, a superlotação de pastagens com baixa capacidade de suporte (superpastejo), a construção de barragens e estradas, além daqueles cujos impactos são mais pontuais, porém bastante severos como as atividades de mineração (BALIEIRO et al., 2004).

Independente do agente causador do impacto sobre o recurso (solo) observa-se em diversas regiões a redução significativa do poder de resiliência dos ecossistemas alterados devido, principalmente, à perda da camada superficial do solo (BALIEIRO et al., 2004).

O enfoque sobre a qualidade do solo vem despertando um crescente interesse, principalmente em países desenvolvidos onde, é enfatizado que a qualidade do solo é tão importante quanto à qualidade do ar e da água na determinação da qualidade global do ambiente em que vivemos (GOMES, 2010).

A qualidade do solo tem efeitos profundos na saúde e na produtividade de um determinado ecossistema e nos ambientes a ele relacionados. No entanto, difere do ar e da água, pois para os mesmos, já existem padrões concretos e bem definidos de qualidade.

O intento de definir e quantificar a qualidade do solo não é simples, em decorrência da complexidade dos fatores envolvidos e de não ser o solo consumido diretamente pelo homem e animais. A qualidade do solo é aceita, freqüentemente, como uma característica abstrata que depende, além de seus atributos intrínsecos, de fatores externos, como as práticas de uso e manejo, de interações com o ecossistema e das prioridades socioeconômicas e políticas (GOMES, 2010).

Avaliar a qualidade do solo assume grande importância nos programas de monitoramento de estudos de impactos ambientais, razão por que se faz necessário a adoção

de critérios que possam analisar, de forma correta, as condições atuais bem como as ideais dos compartimentos do agroecossistema (GOMES & FILIZOLA, 2006).

Para solucionar tal questão, estão sendo criados e difundidos, sistemas de avaliação quantitativos, baseados em uma combinação de propriedades do solo ou em indicadores de qualidade que melhor refletem as principais alterações em curso (PANIAGUA et al., 1999; DORAN & PARKIN, 1994; CHAER, 2001). Através do monitoramento das mudanças na qualidade do solo, pode-se determinar se um conjunto de práticas permite que o mesmo mantenha ou restaure determinadas funções ambientais. A avaliação quantitativa da qualidade do solo é fundamental na determinação da sustentabilidade dos sistemas de manejo utilizados.

Vale lembrar, que o conceito do que seja um solo com qualidade depende das prioridades previamente estabelecidas. Contudo, deve levar em consideração a sua funcionalidade múltipla para não comprometer, no futuro, o desempenho de algumas de suas funções. Assim, um determinado tipo de solo pode ser considerado com boa qualidade quando apresentar a capacidade, dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, de manter a produtividade e a biodiversidade vegetal e animal, melhorar a qualidade do ar e da água e contribuir para a habitação e a saúde humana (GOMES, 2010).

Cada solo tem suas propriedades intrínsecas (físicas, químicas e biológicas) e distintas, atuando cada qual de seu modo e em seu tempo. Além disso, existem inúmeras maneiras de se utilizar este recurso natural, sendo que, cada uma dessas maneiras agredem-no de formas diferentes. Nesse sentido, se torna necessário que haja uma avaliação completa e específica no momento da escolha de indicadores de qualidade devido à complexidade e diversidade do sistema solo (GOMES & FILIZOLA, 2006).

Os principais objetivos da existência dos grupos de indicadores de qualidade do solo são a de possibilitar a identificação de áreas com problemas utilizadas na produção, fazer estimativas realistas de produtividade, monitorar mudanças na qualidade ambiental e auxiliar agências governamentais a formular e avaliar políticas agrícolas de uso da terra (GOMES, 2010).

Dessa forma, para Balieiro, et al., (2004), alguns critérios gerais a respeito da escolha do conjunto de indicadores de qualidade tem sido definidos como:

- Devem integrar propriedades e processos químicos, físicos e biológicos e representar as propriedades e funções do solo que são mais difíceis de medir diretamente (sobreposição de indicadores pode ser necessária para assegurar uma interpretação mais robusta);

- A relevância ecológica e a variação natural dos indicadores devem ser bem conhecidas;
- Devem ser sensíveis a variações em longo prazo no manejo e no clima, mas resistentes a flutuações em curto prazo devido a mudanças climáticas ou ao desenvolvimento da cultura;
- ✓ Devem possibilitar sua medição acurada e precisa por meio de ampla variação de tipos e condições de solo;
- Devem ser de determinação simples e de baixo custo, para permitir que grande número de análises possa ser realizado.

A escolha de um método adequado para a análise de dados resultantes da análise dos indicadores é também fundamental para auxiliar na resposta às questões científicas em estudos de avaliação da qualidade do solo.

As duas principais estratégias que se adequam a esse critério são a (i) análise dos dados por meio de análises multivariadas (utilizadas no trabalho em questão) ou (ii) por meio de modelos para determinação de índices de qualidade do solo (TÓTOLA & CHAER, 2002).

Com vista no que foi abordado, serão apresentados os principais grupos de indicadores de qualidade do solo e sua importância na avaliação e monitoramento do manejo e recuperação de solos degradados.

Segundo Gomes (2010), os indicadores podem ser classificados, em quatro grupos distintos:

- ✓ Indicadores visuais: podem ser obtidos a partir da interpretação de fotografias aéreas ou através de observações diretas, como a exposição do subsolo, mudança de cor do solo, escorramento superficial, resposta da planta, espécies de plantas daninhas predominantes, entre outras.
- ✓ Indicadores físicos: estão relacionados ao arranjoamento das partículas e do espaço poroso do solo, incluindo densidade, porosidade, estabilidade de agregados, textura, encrustamento superficial, compactação, condutividade hidráulica e capacidade de armazenagem de água disponível. Assumem importância por estabelecerem relações fundamentais com os processos hidrológicos, tais como *taxa de infiltração*, *escoamento superficial*, *drenagem* e *erosão*. Possuem também função essencial no suprimento e armazenamento de água, nutrientes e oxigênio no solo.
- ✓ Indicadores químicos: objeto de estudo do presente trabalho, apresentam relevância nos estudos, tanto agronômicos quanto ambientais, normalmente agrupados em quatro classes: a) aqueles que indicam os processos do solo ou de comportamento. Ex: pH,

carbono orgânico; b) aqueles que indicam a capacidade do solo de resistir à troca de cátions. ex: tipo de argila (1:1 ou 2:1), CTC, CTA, óxidos de ferro; óxidos de alumínio; c) aqueles que indicam as necessidades nutricionais das plantas. Ex: N, P, K, Ca, Mg e elementos traços (micronutrientes); d) aqueles que indicam contaminação ou poluição. Ex: Metais pesados, nitrato, fosfato, agrotóxicos.

- ✓ Indicadores biológicos: matéria orgânica, a diversidade de espécies, a massa microbiológica, o nível de respiração do solo, o que possibilita avaliar a atividade microbiológica.

Na figura abaixo pode ser visualizado um fluxograma dos principais indicadores de qualidade do solo:

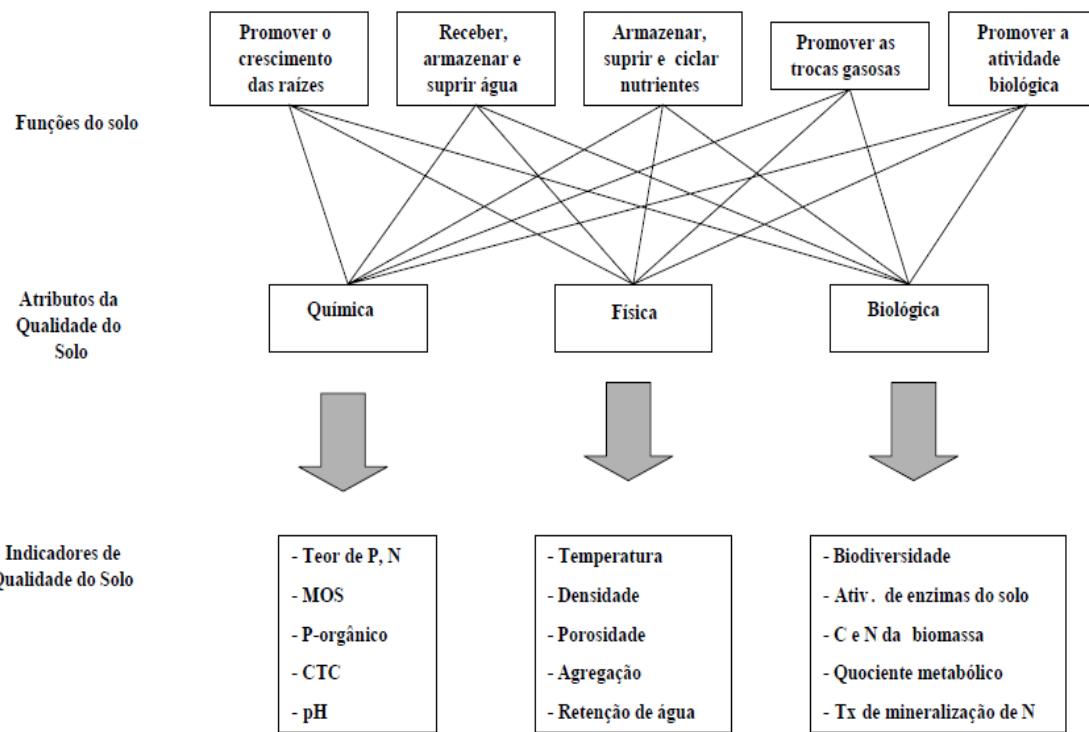


Figura 1 - Representação do contexto de hierarquização de algumas funções do solo, atributos a elas relacionados e alguns indicadores de qualidade do solo para a produção vegetal.

Fonte: Tótola & Chaer, 2002.

Em suma, os melhores indicadores da qualidade do solo são 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. Para serem utilizados com eficiência, necessitam de padrões ou valores críticos. Assim sendo, um bom indicador deve ser de fácil medida, responder às mudanças propostas, estar relacionado com

os requerimentos de qualidade do solo e ter um limite claro entre o que é e o que não é sustentável (GOMES, 2010).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 LOCALIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS ESTUDADAS**

O presente trabalho foi realizado no Distrito de Guatá, pertencente ao Município de Lauro Müller, Santa Catarina, que situa-se nas coordenadas 28°20' S e 49°20' W, integrante da Associação dos Municípios da Região Carbonífera – Amrec (Figura 2).

O município apresenta clima, segundo a classificação de Köeppen, do tipo mesotérmico úmido com verão quente (Cfa), precipitação e temperatura média anual de 1400 mm e 19°C, respectivamente (Santa Catarina, 1986).

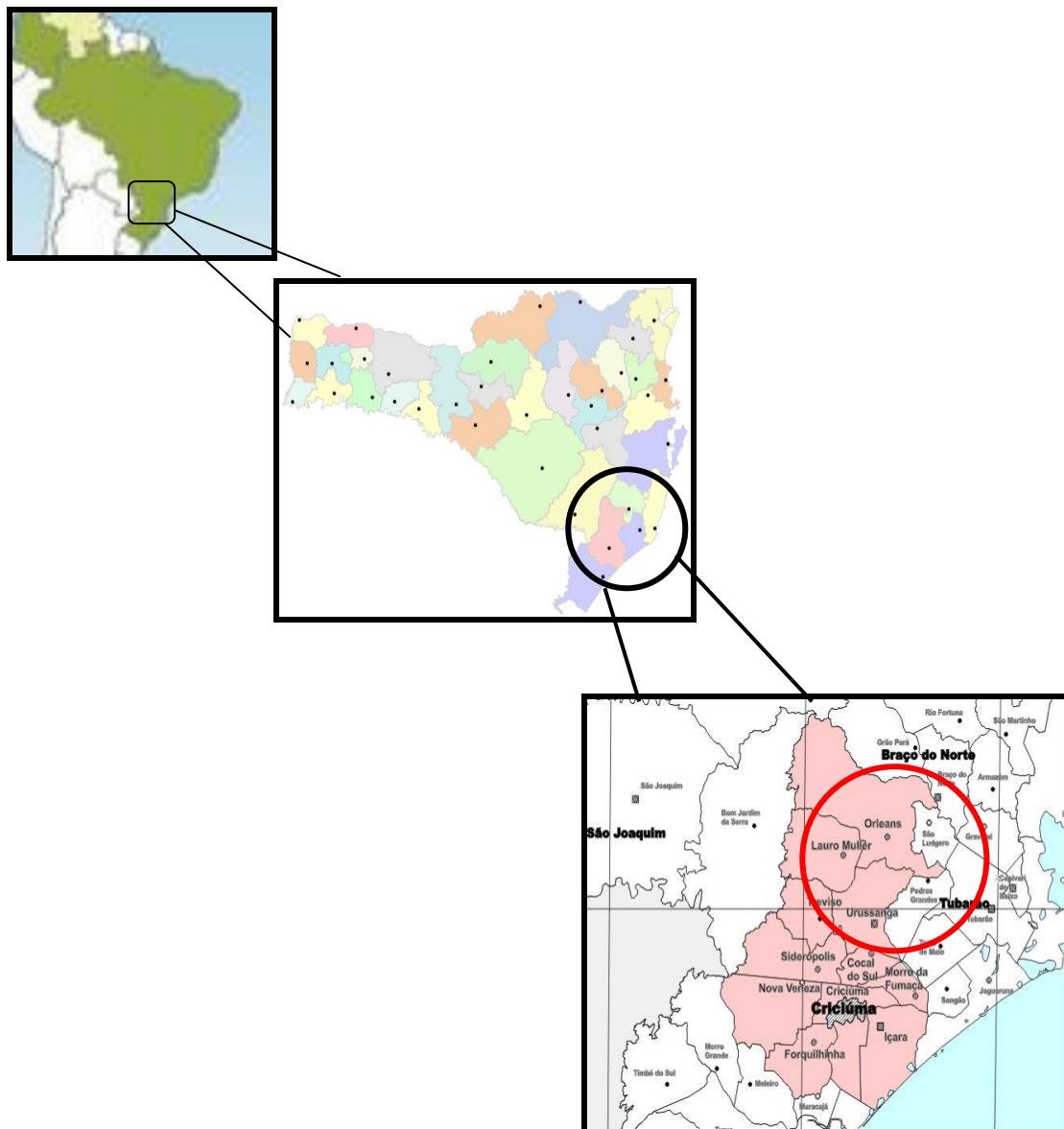


Figura 2 - Localização da área de estudo

Fonte: Adaptado de SANTA CATARINA (1986); BRASIL (1987).

As litologias verificadas na região constituem parte das formações gondwânicas da Bacia do Paraná, representadas localmente pelas Formações Palermo e Rio Bonito, camada minerada Barro Branco, figuras 3 e 4 (Brasil, 1987).

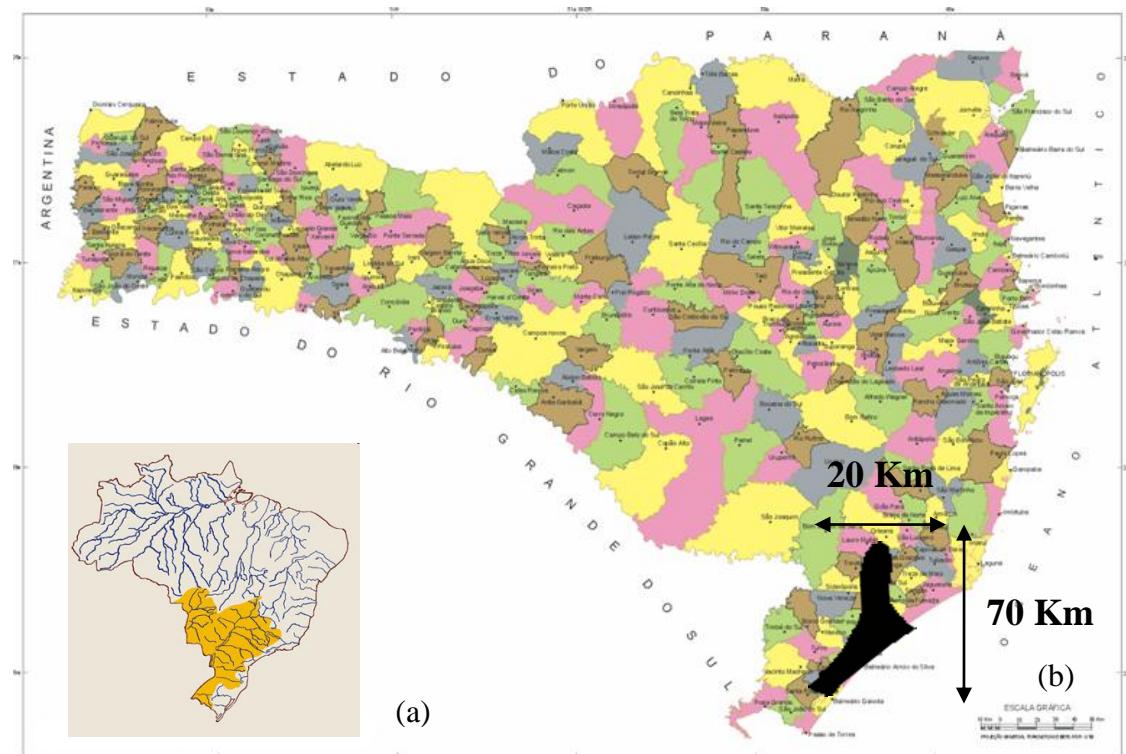


Figura 3 - Localização da Bacia do Paraná (a) e da Bacia Carbonífera Catarinense (b).

Fonte: Adaptado de SANTA CATARINA (1986); BRASIL (1987).

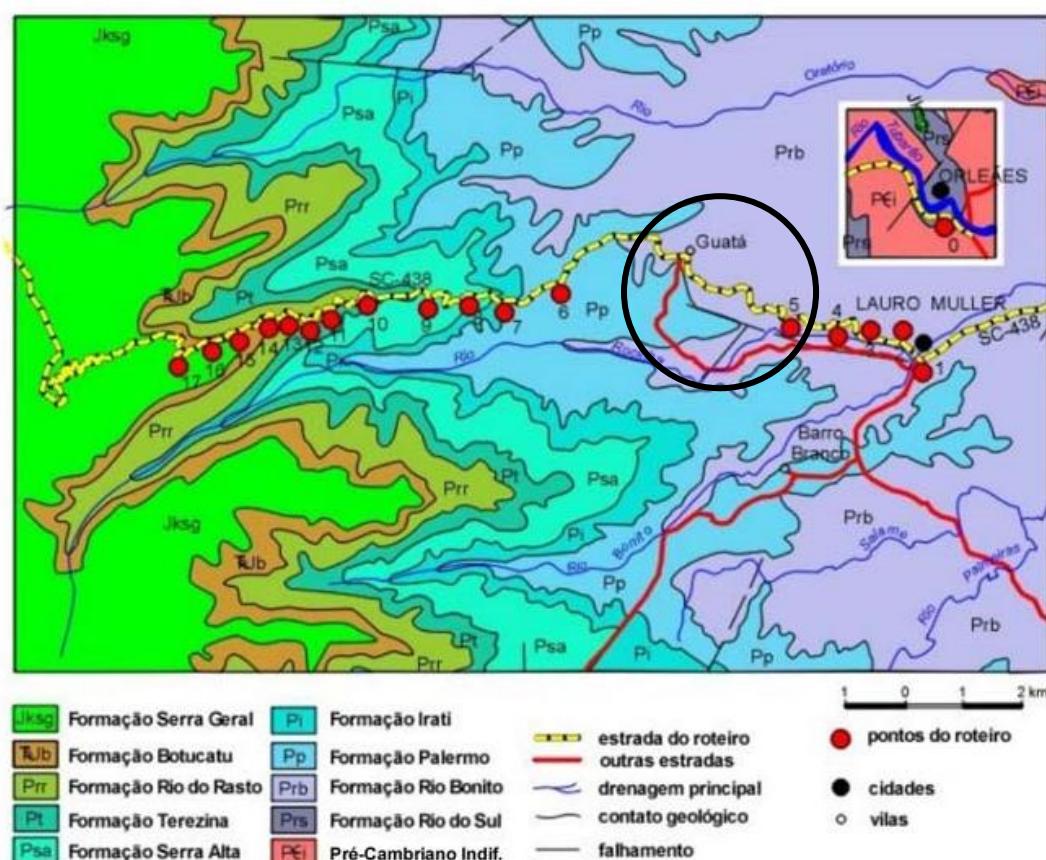


Figura 4 - Formação geológica da região de estudo.

Fonte: Castro, J.C.; Bortoluzzi, C.A.; Caruso Jr., F.; Krebs, A.S. (1994).

Campos (2000), analisou dois perfis de solos em áreas adjacentes às áreas mineradas no Município de Lauro Muller, SC e classificou-os como Alissolo Crômico Argilúvico (EMBRAPA, 1999), relatando sua correspondência ao anticamente denominado Podzólico Vermelho-Amarelo, álico, Tb, A moderado, textura média/argilosa. Com a nova classificação adotada pela EMBRAPA (2006), a classe de solo predominante na região é ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alítico.

Solos construídos são considerados como tipos de terreno EMBRAPA (2006), sendo que, não há na classificação Brasileira de solos a Classe Anthrosols (do grego *anthropos* = homem), que segundo FAO (1988) trata-se de solo fortemente modificado pelas atividades humanas.

### 3.2 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS ESTUDADAS

Foram selecionadas quatro áreas distintas, sendo que, duas delas são áreas de mineração de carvão a céu aberto, as quais sofreram processos diferentes de construção topográfica (Mina A2 e Mina A5). As demais são áreas pré-mineração de carvão, sendo uma delas denominada de Campo Nativo (CN), uma área de campo aberto e a outra chamada de Mata (MT), considerada uma área sem interferência antrópica. As mesmas podem ser visualizadas na Figura 5, com suas delimitações.



Figura 5 - Localização geral das áreas de estudo.

Fonte: Adaptado de Google Earth® 4.5.

As áreas mineradas (A2 e A5) são áreas onde os solos foram construídos, segundo diferentes processos. Esses solos são essencialmente antropogênicos devido ao tempo muito recente de construção. Assume-se, portanto, que os processos pedogênicos são rudimentares, não sendo possível ainda identificar a presença de horizontes genéticos. Por esse motivo, a amostragem dos solos foi feita em camadas, em diferentes profundidades (CAMPOS et al., 2003).

As coletas foram realizadas em março de 2009 (A2 e A5) e fevereiro de 2010 (CN e MT). As análises físico/químicas foram executadas nos Laboratórios de Solo do CAV/UDESC.

### 3.2.1 Mina A2

A primeira área, denominada Mina A2 (A2-28°21'49.99"S, 49°27'23.96"W), é uma área plana, com um total de 7,0 ha (Figura 6), foi minerada durante o ano de 1995 com prévia remoção e estocagem do solum, do regolito argiloso e das camadas de rocha consolidada sobrejacentes ao carvão. Após a retirada do carvão, em 1996, deu-se início à recuperação da área, sendo a cava preenchida com a mistura de resíduo piritoso e o arenito e sobre estes foi depositado o regolito argiloso. Logo após, houve a revegetação com *Eucalyptus spp*, que até o

presente estudo encontra-se com idade aproximada de 15 anos. Apesar da tentativa de reabilitação da área, o solo construído na Mina A2, apresentava-se com degradação intensa, erosão hídrica, pouca cobertura vegetal, terreno pedregoso e compactado. As plantas de *Eucalyptus spp* apresentavam lesões indicativas de deficiência nutricional e doenças (Figura 7).

Nesta área, não ocorreram processos de correção de acidez ou da fertilidade do solo, como calagem ou adubação usualmente adotadas em processos de recuperação de áreas degradadas.



Figura 6 - Sistema de amostragem em grade da área A2.

Fonte: Adaptado de Google Earth 4.5®.

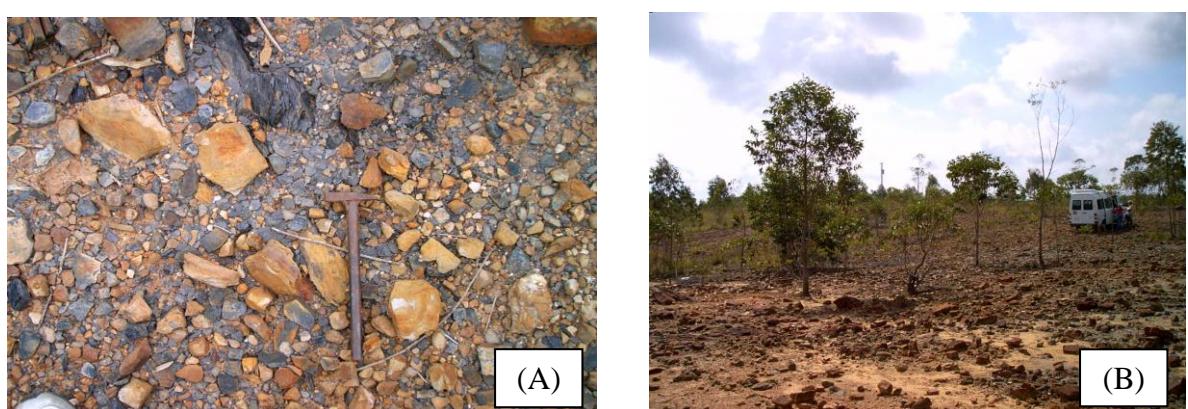


Figura 7 - Aspecto da área A2 no momento da coleta de solo: (A) Superfície da A2 com fragmentos de rocha misturados com o rejeito da mineração de carvão e presença de sais brancos sobre os fragmentos de rocha evidenciando processo intenso de oxidação da pirita; (B) Presença de alguns espécimes de *Eucalyptus spp*.

### 3.2.2 Mina A5

A segunda área, Mina A5 ( $28^{\circ}21'59.55"S$ ,  $49^{\circ}25'55.26"W$ ), tem um total de 5,0 ha, é considerada modelo ideal de recuperação após mineração, foi construída em 2006 utilizando sólum, regolito argiloso e rocha, e revegetada em 2009 (CAMPOS et al., 2003). De acordo com o PRAD (2005) (Plano de Recuperação de Áreas Degradadas) fornecido pela empresa mineradora, na mina A5 foi aplicado cama de aviário curtida (quantidade não informada) e calcário dolomítico ( $4.000 \text{ kg ha}^{-1}$ ), aplicados em superfície. Posteriormente, houve o plantio da gramínea *Brachiaria decumbens*. O sólum utilizado na construção dos solos da mina A5 é proveniente do decapeamento de outro local, (área de empréstimo). Cabe informar que, não foi realizada análise química do sólum utilizado para construção topográfica da área (Figuras 8 e 9).

No momento da coleta pode-se observar que a área estava coberta pela gramínea citada, de forma parcialmente homogenia, entretanto, o solo apresentava evidencias de inicio de erosão hídrica laminar e em sulco.



Figura 8 – Sistema de amostragem em grade da área A5.

Fonte: Adaptado de Google Earth 4.5®.

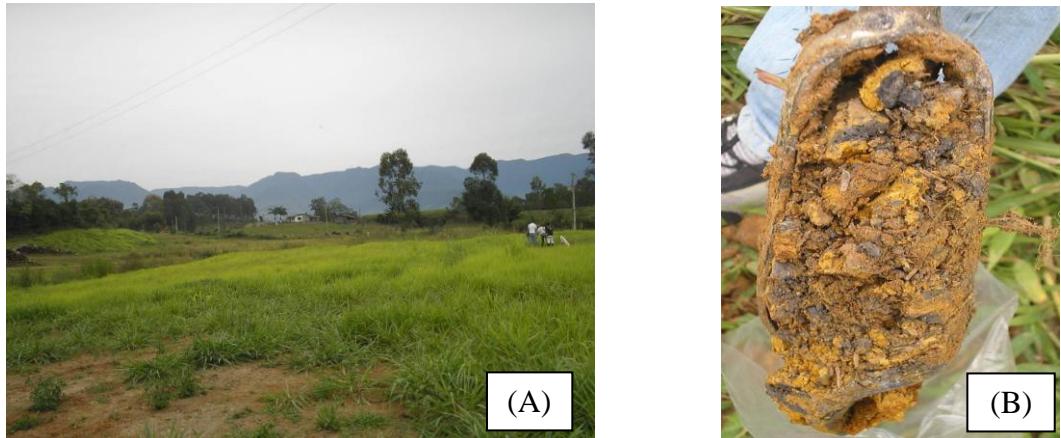


Figura 9 - Aspecto da área A5 no momento da coleta de solo: (A) Superfície da A5 revegetada com Braquiária; (B) Solo da área A5 com presença de rejeito de carvão misturado com o solo.

### 3.2.3 Campo Nativo (CN)

A terceira área denomina de Campo Nativo (CN) (CN- $28^{\circ}21'49.99''S$ ,  $9^{\circ}27'23.96''W$ ), tem aproximadamente 6,0 ha e declividade em torno de 5%. É uma área de campo aberto, localizada próxima as áreas de mineração, com cobertura de gramíneas de diversas espécies (Figuras 10 e 11).



Figura 10 – Sistema de amostragem em grade do campo nativo.

Fonte: Adaptado de Google Earth 4.5®.



Figura 11 - Campo Nativo com cobertura arbustiva de gramíneas.

### 3.2.4 Mata (MT)

A quarta área denominada de Mata (MT- $28^{\circ}21'70''S$ ,  $49^{\circ}27'38''W$ ), tem aproximadamente 4,0 ha e declividade em torno de 5%, é uma área de floresta fechada, com predomínio de árvores de diversas espécies. Esta localizada próxima às áreas de mineração, de carvão e agregada a área de Campo Nativo, com presença de matéria orgânica e cobertura vegetal. É a área que mais se aproxima do estado natural (Figura 12).

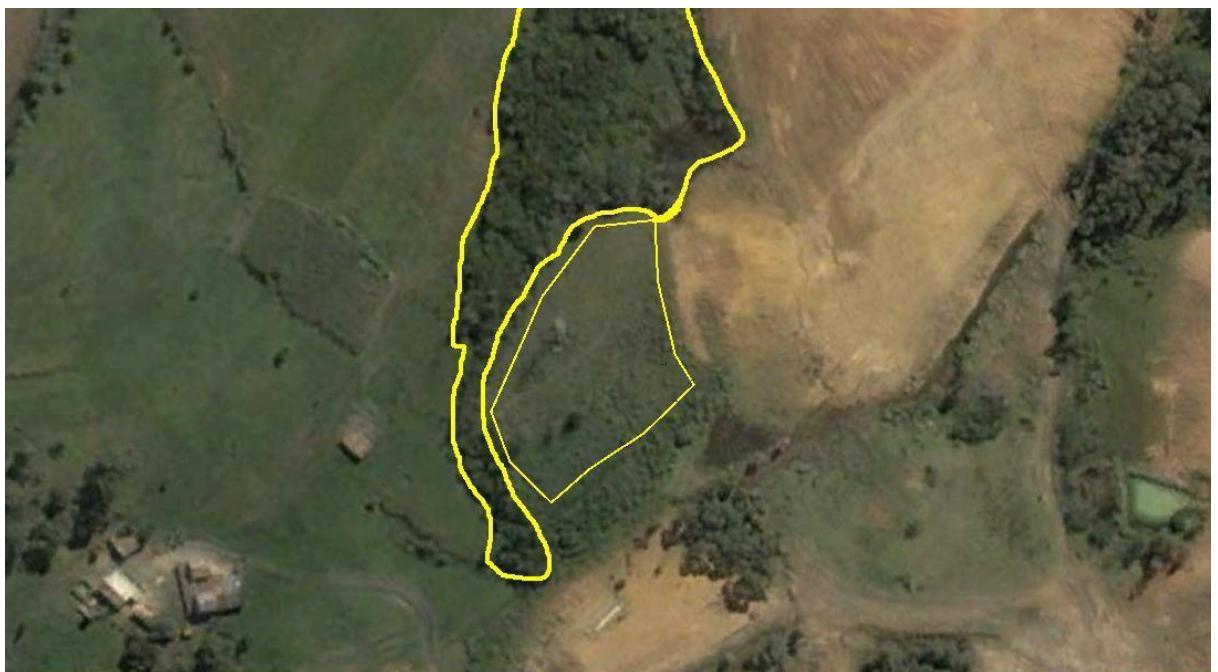


Figura 12 – Área da Mata.  
Fonte: Fonte: Adaptado de Google Earth 4.5®.

### 3.2.5 Sistema de Amostragem do Local de Estudo

As coletas foram realizadas em cada uma das áreas, em duas profundidades (0 – 20, e 20 – 40 cm) através de um sistema de grade de pontos eqüidistantes a cada 10 m de distância (Figura 13), lateral e longitudinalmente, totalizando, 38 pontos para mina A2, 53 pontos para mina A5 e 50 pontos para o campo nativo. Para a mata a coleta foi feita de forma aleatória, somando 18 pontos nas duas profundidades citadas.

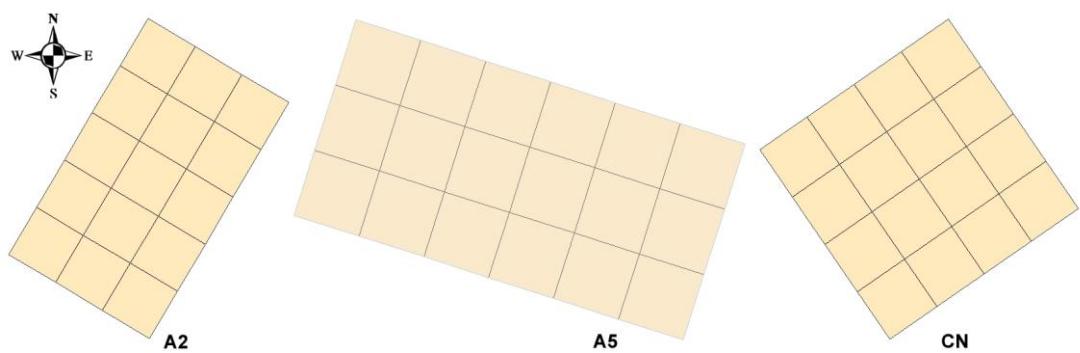


Figura 13 - Sistema de amostragem em grade de pontos eqüidistantes a cada 10 m.

Fonte: Adaptado de Spiazzi et al., 2010.

Para as Minas A2 e A5, em razão da construção do terreno e da falta de solo propriamente dito, há presença intensa de fragmentos de rochas (cascalho, matação, etc.), por isso, alguns pontos foram tomados em distâncias superiores ao planejado, mas realizou-se incremento das distâncias de 10 m aquele ponto faltante. Na área da Mina A2, não foi possível coletar na segunda profundidade em todos os pontos, pela presença intensa de fragmentos de rocha (cascalho, matação, etc.), compactação excessiva, além da variabilidade da profundidade do solo (5,0 – 30 cm). Portanto, nesta área existe também uma variabilidade devido à profundidade de coleta que será tratada no tópico resultados e discussões.

Para a coleta das amostras ao longo do gride, tanto de 0-20 cm como de 20-40 cm, foi utilizado um trado holandês, após a retirada da vegetação da superfície do solo, com exceção da área A2 onde, em alguns pontos, foi utilizada uma pá-de-corte para a coleta das amostras devido à compactação excessiva da área.

### 3.3 PREPARO DAS AMOSTRAS DE SOLO

Após coletadas, as amostras foram levadas para a Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Centro de Ciências Agroveterinarias – CAV, onde foram preparadas e submetidas às avaliações de ordem física no Laboratório de Física e Manejo do Solo, e as de ordem química no Laboratório de Levantamento e Análise Ambiental, em Lages, Santa Catarina.

As amostras foram armazenadas em recipientes de alumínio e colocadas para secar em estufa de 60° C, por 24 horas, até apresentarem ausência de umidade. Em seguida, foram destorreadas e moídas manualmente, passadas em peneira com abertura de malha de 2,00 mm, obtendo-se assim a terra fina seca ao ar (TFSA), utilizada nas análises de solo.

### 3.4 DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

O atributo físico determinado foi a distribuição das partículas do solo por tamanho, que foi realizado segundo o método descrito por Day (1965) e Gee e Bauder (1986), onde utilizou-se o correspondente a 30 g de TFSA, homogeneizada com 10 mL de água destilada e 70 mL hidróxido de sódio (NaOH). As amostras foram agitação a 150 rpm por 3 horas e a fração areia removida por tamisamento em peneira de 0,053 mm. As frações silte (0,002 a 0,053 mm) e argila (< 0,002 mm) foram separadas por sedimentação e posteriormente a argila foi medida pelo método do decímetro graduado. As frações argila e areia foram calculadas após pesagem e secagem em estufa a 105° C e o silte foi calculado por diferença, com o auxilio da planilha de cálculo do programa Microsoft Excel.

A interpretação e análise dos dados foi realizada pelo programa de classe textural adaptada para análise de granulometria do solo.

### 3.5 DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Os atributo químicos determinados foram Ca, Mg, Al, P, K trocáveis, pH em água, pH em cloreto de cálcio e carbono orgânico. Os conteúdos de Ca, Mg e Al trocáveis, foram extraídos com solução neutra de cloreto de potássio (KCl) 1 mol L<sup>-1</sup>. A determinação do Ca e Mg foi obtida através de espectrofotometria de absorção atômica e o Al por titulometria de neutralização com solução de NaOH e indicador fenolftaleína, com base (NaOH) padronizada

com solução de biftalato de potássio ( $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$  ou  $\text{C}_8\text{H}_5\text{KO}$ ) a 2 M, seguindo o método proposto por (TEDESCO et al., 1995). A determinação do P extraível, foi conseguida pelo Método Mehlich 1, com leitura da transmitância em colorímetro com comprimento de onda ajustado para 660 nm. (TEDESCO et al., 1995). Os teores de K foram extraídos com solução Mehlich 1 e quantificados por fotometria de chama, de acordo com a metodologia de (TEDESCO et al., 1995). O pH em água foi determinado conforme a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995), utilizando-se uma relação solo/solução de 1:1, e leitura por potenciometria. O pH em cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) foi determinado pelo método Embrapa (1997), na proporção solo/solução de 1:2,5, com posterior leitura no potenciômetro. O teor de carbono orgânico do solo foi determinado através do método de combustão de Walkley-Black modificado, por Tedesco et al. (1995). O peso das amostras do solo foi variável de 0,50 g a 3,00 g. O CO foi determinado em apenas 10 amostras de cada área, selecionadas de forma aleatória através de um sorteio.

### 3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As análises estatísticas foram efetuadas de acordo com o delineamento amostral utilizado. Inicialmente, os dados foram submetidos à análise exploratória, com o objetivo de se descrever as distribuições de freqüências das variáveis em cada área de estudo. A seguir procedeu-se à análise multivariada por meio de Análise Discriminante Canônica (ADC) (JOHNSON e WICHERN, 2002). Para atenderem as pressuposições teóricas implícitas dos testes, houve necessidade de se transformar a variável analisada somando-se uma unidade aos seus valores originais e obtendo-se a seguir a função logaritmo natural (transformação logarítmica), conforme sugerido pela análise descritiva dos dados. Todas as análises foram conduzidas usando-se o procedimento CANDISC do software SAS® (Statistical Analysis System, 2003) e também se utilizando o software R (R Development Core Team, 2008). Para todos os testes efetuados foi considerado o nível mínimo de significância de 5%.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE DESCRIPTIVA (AD)

As variáveis estudadas constituem-se nas quantidades de argila, silte, areia, K, P, Al, Ca+Mg, pH em água e em cloreto de cálcio e carbono orgânico, nas profundidades 0-20 cm e 20-40 cm.

Para uma melhor caracterização das áreas estudadas, será apresentada uma breve discussão dos resultados obtidos através da estatística descritiva. Ademais, a análise descritiva dos dados não foi considerada importante para a discriminação das áreas, porém foi fundamental para caracterização das mesmas.

Inicialmente, os maiores teores de Al trocável (média), foram diagnosticados na MT e no CN, tabelas 1 e 2, seguidos da A2 e A5, tabelas 3 e 4, nas duas profundidades avaliadas. Esses teores representam níveis tóxicos para o desenvolvimento de várias espécies vegetais, tanto para as áreas de solo natural como para as áreas que sofreram os processos de mineração e construção topográfica. Esses altos valores evidenciam a intemperização dos argilominerais devido à ação do ácido sulfúrico originado durante a oxidação da pirita e a consequente liberação dos cátions estruturais. Durante o processo de sulfurização o pH do solo pode chegar a valores inferiores a 3,0, o que pode promover mobilização do Al, o que também pode explicar os menores teores de Al trocável na área A2.

Para os solos naturais (CN e MT), os altos índices de Al trocável são perfeitamente compreensíveis, devido às características do material de origem, ou seja, esse solo apresenta um caráter alítico e V% >/igual a 50%.

Os valores médios expressados em ambas as áreas pelo pH em água e em cloreto de cálcio, são considerados baixos, segundo o Manual de Adubação e Calagem para RS/SC, 2004. O baixo valor apresentado pelas áreas de MT e CN (Tabelas 1 e 2), é semelhante aos solos construídos demonstrando que esses solos apresentam condições químicas inadequadas para o desenvolvimento vegetal (QUIÑONES, 2004).

Para QUÍÑONES (2004), a presença de íons Al e Fe, que são liberados, durante a dissociação dos minerais, que possivelmente estão presentes em quantidades consideráveis e estão substituindo os íons H adsorvidos às partículas do solo carregadas negativamente, desencadeiam o aumento na concentração e na atividade de íons H na solução do solo. Esse efeito adicionado aos íons H produzidos durante a oxidação da pirita (PINTO & KAMPF, 2002), tornam o pH do solo mais baixo.

Na profundidade de 20-40 cm, observou-se a tendência de decréscimo no valor médio de pH, em todas as áreas, o que demonstra que a oxidação da pirita em camadas mais profundas, deve-se à presença de oxigênio dissolvido na água que percola ao longo do perfil e a vazios formados entre fragmentos de rocha, favorecendo a difusão do oxigênio para o interior do perfil (CAMPOS, et.al., 2003).

Tabela 1 - Estatísticas descritivas das variáveis analisadas na profundidade de 0-20 cm e 20-40 cm, da área de Mata (MT), em Lauro Müller, Santa Catarina.

Variável	Média	Mediana	Des. Pad	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
				MT	0-20 cm		
Argila	32,2	31,0	6,5	23	42	0,51	-0,62
Silte	43,2	44,0	4,3	34	48	-1,18	1,3
Areia	24,6	25,0	4,1	18	32	0,2	0,1
Ca+Mg	0,4	0,3	0,2	0,0	0,8	1,3	2,6
P	2,0	1,9	0,2	1,6	2,4	0,6	0,4
K	88,9	75,5	31,4	66,0	159,5	1,8	2,7
Al	8,9	9,4	2,4	2,9	11,0	-2,0	4,8
pH água	4,8	4,9	0,1	4,7	5,1	0,8	1,9
pH CaCl <sub>2</sub>	3,8	3,8	0,1	3,6	4,3	2,2	6,1
			MT	20-40cm			
Argila	33,5	31,0	6,4	25	45	0,9	0,1
Silte	42,6	45,0	7,3	30	50	-1,3	0,4
Areia	23,5	23,0	2,8	20	28	0,4	-1,3
Ca+Mg	0,26	0,3	0,3	0,0	0,9	1,4	2,3
P	2,1	2,1	0,4	1,8	3,3	2,5	7,0
K	74,2	63,0	25,8	60,0	140,0	2,5	6,8
Al	9,9	10,5	1,7	6,1	11,8	-1,3	2,1
pH água	4,8	4,9	0,0	4,8	5,0	-1,2	2,2
pH CaCl <sub>2</sub>	3,7	3,8	0,2	3,1	4,1	-1,9	5,0

Valores de Argila, Silte e Areia em ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), Ca+Mg, K e Al em ( $\text{cmol}_c \cdot \text{Kg}^{-1}$ ), p ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ).

Tabela 2 - Estatísticas descritivas das variáveis analisadas na profundidade de 0-20 cm e 20-40 cm, da área de Campo Nativo (CN), em Lauro Müller, Santa Catarina.

Variável	Média	Mediana	Des. Pad	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
				CN	0-20 cm		
Argila	19,4	19,0	2,3	130,6	241,9	-0,5	1,5
Silte	63,3	63,0	3,1	578,3	708,0	0,6	0,3
Areia	17,2	17,0	2,1	139,4	217,4	0,7	0,4
Ca+Mg	0,5	0,6	0,2	0,0	1,0	0,0	-0,9
P	0,7	0,7	0,4	0,0	1,7	0,8	0,6
K	74,7	71,5	24,4	0,1	0,4	3,4	14,5
Al	7,2	7,6	2,4	0,6	11,5	-0,6	1,4
pH água	4,8	4,8	0,1	4,4	5,5	1,9	6,8
pH CaCl <sub>2</sub>	4,0	4,0	0,2	3,8	5,0	3,3	12,9
				CN	20-40cm		
Argila	20,2	20,0	1,7	171,0	244,	0,24	0,4
Silte	61,6	62,0	4,8	407,9	666,4	-3,3	14,5
Areia	17,9	17,0	4,4	148,7	377,4	4,2	19,4
Ca+Mg	0,4	0,5	0,3	0,0	1,1	0,3	-0,9
P	0,5	0,4	0,3	0,0	1,6	0,8	0,6
K	61,9	58,5	10,0	0,1	0,2	1,2	1,2
Al	8,1	7,6	1,6	5,4	12,6	1,0	0,9
pH água	4,7	4,8	0,1	4,1	5,0	-2,1	6,9
pH CaCl <sub>2</sub>	3,9	4,0	0,2	3,4	4,3	-1,4	4,0

Valores de Argila, Silte e Areia em ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), Ca+Mg, K e Al em ( $\text{cmol}_c \cdot \text{Kg}^{-1}$ ), p (mg. $\text{kg}^{-1}$ ).

Tabela 3 - Estatísticas descritivas das variáveis analisadas na profundidade de 0-20 cm e 20-40 cm, da área da Mina A2 (Mina A2), em Lauro Müller, Santa Catarina.

Variável	Média	Mediana	Des. Pad	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
				Mina A2	0-20 cm		
Argila	25,8	25,5	6,0	182,4	438,3	1,1	2,0
Silte	18,9	18,0	4,1	135,6	300,3	1,2	1,2
Areia	54,9	56,5	8,4	261,3	646,9	-2,0	5,1
Ca+Mg	0,1	0,1	0,2	0,0	0,8	1,8	3,2
P	0,8	0,7	0,6	0,0	2,7	1,9	4,4
K	62,7	61,5	9,8	0,1	0,2	0,3	0,6
Al	6,7	6,3	1,8	3,9	10,5	0,8	-0,2
pH água	4,0	4,1	0,2	3,4	4,4	-0,3	-0,7
pH CaCl <sub>2</sub>	3,2	3,2	0,2	2,6	3,6	-0,1	-0,5
				Mina A2	20-40cm		
Argila	26,4	27,5	6,2	193,6	428,0	1,3	2,7
Silte	18,4	17,0	4,5	136,0	299,7	1,5	2,0
Areia	55,1	56,5	9,2	272,2	640,3	-2,3	6,9
Ca+Mg	0,1	0,1	0,2	0,0	0,7	2,9	9,5
P	0,9	0,7	0,8	0,2	3,7	3,2	11,3
K	62,6	66,0	13,7	0,0	0,2	-1,0	0,9
Al	7,1	6,7	2,2	4,0	12,9-	1,2	2,2
pH água	4,1	4,2	0,2	3,5	4,4	-1,1	0,7
pH CaCl <sub>2</sub>	3,3	3,3	0,2	2,8	3,6	-0,7	-0,1

Valores de Argila, Silte e Areia em ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), Ca+Mg, K e Al em ( $\text{cmol}_c \cdot \text{Kg}^{-1}$ ), p (mg. $\text{kg}^{-1}$ ).

Tabela 4 - Estatísticas descritivas das variáveis analisadas na profundidade de 0-20 cm e 20-40 cm, da área da Mina A5 (Mina A5), em Lauro Müller, Santa Catarina.

Variável	Média	Mediana	Des. Pad	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
			Mina A5	0-20 cm			
Argila	44,0	45,0	8,3	258,5	605,2	-0,3	2,0
Silte	26,0	26,0	10,6	116,9	490,9	0,8	1,2
Areia	29,6	26,0	9,1	232,8	516,5	0,7	5,1
Ca+Mg	9,3	6,4	15,6	0,0	13,06	4,7	3,2
P	9,5	1,6	19,2	0,0	87,4	3,3	4,4
K	110,3	91,5	41,4	0,1	0,5	1,2	0,6
Al	5,6	5,5	2,7	0,0	8,3	0,5	-0,2
pH água	5,0	4,8	0,6	4,1	6,6	1,0	-0,7
pH CaCl <sub>2</sub>	4,4	4,1	0,7	3,8	6,9	2,4	-0,5
			Mina A5	20-40cm			
Argila	39,2	39,5	9,5	164,6	534,9	-0,5	0,0
Silte	33,7	33,0	13,2	142,2	749,4	1,3	3,0
Areia	26,7	26,5	9,6	80,0	517,4	0,2	1,2
Ca+Mg	5,5	5,3	3,8	0,1	13,4	0,3	-0,6
P	4,2	0,6	9,2	0,0	40,5	3,1	10,1
K	92,5	91,7	14,7	0,1	0,3	0,3	-0,4
Al	5,6	6,1	2,9	0,0	14,0	-0,2	-0,1
pH água	4,6	4,6	0,6	3,5	6,4	1,2	1,8
pH CaCl <sub>2</sub>	4,0	3,9	0,6	3,2	6,1	2,2	5,6

Valores de Argila, Silte e Areia em ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), Ca+Mg, K e Al em ( $\text{cmol}_{\text{c}} \cdot \text{Kg}^{-1}$ ), p (mg. $\text{kg}^{-1}$ ).

Para os teores de P e K, a área A5 contempla os maiores teores desses elementos, seguidos MT, A2 e CN (para P na profundidade de 20-40 cm); MT, CN e A2 (para K na profundidade de 0-20 cm) e MT, A2 e CN (para K na profundidade de 20-40 cm). Porém, segundo o Manual de Adubação e Calagem para SC/RS, esses valores são considerados baixos. A baixa concentração de P em todas as áreas pode ser explicada em parte, pelo material de origem do solo que é derivado de misturas de diferentes horizontes mais suas camadas subjacentes, originadas de rochas sedimentares, principalmente arenito que é pobre em P (SPIAZZI et al., 2010).

Neto, et al., (2008) e Costa & Zocche (2009) estudaram a mesma região e encontraram valores muito baixos de P e uma alta variabilidade do mesmo. Como os solos construídos são essencialmente antropogênicos e seus processos pedogênicos muitas vezes são, ainda, incipientes (Campos et al., 2003), os teores de fósforo nas áreas estudadas podem ser baixos devido à sua remoção. Os solos de mina intemperizam e oxidam tornando-se enriquecidos em óxidos de Fe, os quais adsorvem especificamente P da solução, tornando-o assim indisponível para as plantas (Daniels, 1996). Vale ressaltar, que os teores de P para o CN também são considerados baixos, evidenciando que a região naturalmente possui deficiências deste elemento. Os maiores valores de P constatados na área A5, comparativamente às áreas CN,

MT e A2, são resultado da condução dos processos de construção do solo, da prática de calagem e a adubação com cama de aves (Tabela 4).

Santos et al. (2004), também encontraram valores de P considerados baixos e muito baixos em experimento realizado na área de mineração de carvão de Candiota, no Rio Grande do Sul, mesmo após adição de N, P, K e calagem, o mesmo ocorrendo com Ceconi et al. (2005) após adição de 200 kg ha<sup>-1</sup> de NPK fórmula 5-20-10.

Quanto aos teores de K, os mesmos são considerados altos, em todas as áreas avaliadas. Para área A5, isso pode ser explicado devido a adição de calcário e cama de aves, que elevaram o pH do solo ocorrendo a criação de cargas negativas e com isso a adsorção de K pode ter sido aumentada. Outro efeito a ser considerado é o deslocamento do K da fase sólida para a solução através da ação de massas, principalmente através da adição de Ca e Mg do calcário e da cama de aves. Este efeito pode favorecer a perda de K por lixiviação, no entanto, isso pode não ter ocorrido ou ocorreu com baixa intensidade, já que os teores de K no solo foram altos (NETO, 2006).

Já para as demais áreas, esse alto teor é devido à presença de minerais ricos em K (jarosita) nos solos estudados, que se imtemperizam com maior rapidez devido ao processo de oxidação da pirita. Entretanto, Campos (2000), procedeu análise de difratometria de raio-x das frações areia, silte e argila de solos construídos pós-mineração e não encontrou o mineral jarosita.

Os teores de carbono orgânico (CO) apresentaram valores médios para os solos construídos topograficamente de 3,49% (A5) e 2,04% (A2), como pode ser observado na tabela 5. Esses teores mostram-se de forma discrepante, quando comparados com as demais características avaliadas, podendo estar relacionada à alternância de camadas com folhelhos carbonosos ou contendo rejeito de carvão com camadas menos carbonosas, utilizadas para o preenchimento da cava de mineração (QUIÑONES, 2004).

Tabela 5 - Valores de carbono orgânico (CO) e matéria orgânica (MO), das áreas construídas pós -mineração de carvão a céu aberto A2 e A5, Campo Nativo e Mata, em Lauro Müller, Santa Catarina.

Área	Variável	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Curtose
A5	CO	3,4	2,0	12,	0,7	3,3
	MO	6,0	3,4	21,	1,3	3,3
A2	CO	2,0	1,9	3,6	0,7	-0,7
	MO	3,5	3,3	6,2	1,3	-0,7
MT	CO	6,5	6,4	4,7	4,7	-1,8
	MO	11,2	11,1	14,3	8,1	-1,8
CN	CO	6,9	6,9	9,0	3,3	-0,1
	MO	12,0	11,9	15,4	5,7	-0,1

Os teores de matéria orgânica (MO) também apresentaram valores médios muito altos em se tratando de áreas de mineração de carvão (Tabela 5), pelo fato da ocorrência de perturbação iminente, causada nas áreas, devido à mistura da coluna geológica com o rejeito piritoso no processo de construção empregado. Ademais, os rejeitos carboníferos são naturalmente pobres em matéria orgânica (MO) e desprovidos de N por constituírem-se basicamente de rocha intemperizada e fragmentos de carvão (DANIELS, 1996).

Não obstante, em regiões de clima quente, os teores de MO no solo geralmente não são altos, e com a mistura de horizontes nos solos construídos, estes teores são ainda mais diluídos.

Esses altos valores podem estar ligados ao método de determinação utilizado, que por sua vez se mostra inadequado para tal, pela não ocorrência da separação do carbono do solo propriamente dito e do carbono de fragmentos de carvão presentes nos solos construídos.

Também, os dados de MO constantes desse estudo são antagônicos aos encontrados por Neto (2006), que foi de  $7,4 \text{ g kg}^{-1}$  e por Campos (2000) na Mina do Apertado, que foi de  $3,2 \text{ g kg}^{-1}$  (na camada de 0 - 20 cm) e muito menor que o observado no perfil do solo pré-mineração ( $26,6 \text{ g kg}^{-1}$  na camada de 0 a 20 cm), encontrado pelo mesmo autor.

Para as áreas consideradas naturais os valores médios de CO e MO mostraram-se congruentes, ainda que os teores diagnosticados sejam considerados baixos para um desempenho vegetativo satisfatório quando se faz a comparação com solos utilizados para plantios de espécies anuais e perenes.

É importante ressaltar que nos solos construídos, embora existam pequenas camadas superficiais de MO em decomposição, estas aparentemente não contribuem com o enriquecimento das camadas superficiais e subsuperficiais destes solos (QUIÑONES, 2004).

#### 4.2 ANÁLISE DISCRIMINANTE CANÔNICA (ADC)

Considerando que a quantidade de funções discriminantes canônicas (FDC) em uma análise é determinada pelo menor valor, de acordo com o número de grupos (áreas) analisados menos um e o número de variáveis estudadas (JOHNSON e WICHERN, 2002), obtiveram-se três FDC. A contribuição das variáveis consideradas no estudo para discriminação das áreas estudadas é dada pelos valores dos coeficientes canônicos padronizados (CCP), coeficientes de correlação linear ( $r$ ) e taxa de discriminação paralela (TDP).

O valor do CCP indica a influência relativa de cada variável para a separação das áreas, na presença das demais variáveis, ou seja, é uma medida do comportamento multivariado, enquanto o valor de  $r$  representa a influência individual de cada variável independente das demais, quer dizer uma visão univariada (HAIR Jr. et al, 2005). A TDP é o resultado do produto entre o valor do CCP e o valor de  $r$ . Valores positivos e mais altos da TDP indicam maior peso na separação das áreas enquanto valores negativos indicam a presença de uma variável supressora que não expressa a diferença entre as áreas.

Embora as três FDC tenham sido significativas ( $p < 0,05$ ), foram consideradas apenas as duas primeiras uma vez que elas explicam a maior parte da variância total, representando 59,70% ( $FDC_1$ ) e 37,20% ( $FDC_2$ ) da variação total para a profundidade 0-20 cm e 56,57% ( $FDC_1$ ) e 35,29% ( $FDC_2$ ) da variação total para a profundidade 20-40 cm (Tabelas 6 e 7). A  $FDC_1$  apresentou um coeficiente de correlação canônica de 0,95 para a primeira profundidade (0-20 cm) e 0,91 para a segunda (20-40 cm), o que é um indicativo do alto grau de associação entre as variáveis estudadas e as características diferenciais das áreas.

No caso da primeira profundidade (0-20 cm), as variáveis com maior peso na  $FDC_1$  foram os valores de pH em cloreto de cálcio e as quantidades de Ca+Mg indicando serem estes os atributos mais importantes para a separação das áreas, enquanto que na  $FDC_2$  o maior peso foi apresentado pela quantidade de silte (Tabela 6). Isto indica que maiores valores da primeira função canônica estão associadas, principalmente, a maiores quantidades de cálcio mais magnésio e valores de pH em cloreto de cálcio. No caso da segunda profundidade, o atributo com maior contribuição para discriminação foi o teor de silte.

Na segunda profundidade avaliada (20-40 cm), as variáveis que apresentaram maior peso na  $FDC_1$  foram os teores de cálcio mais magnésio e o teor de argila sendo que, como ocorreu na primeira profundidade, na  $FDC_2$  o maior peso foi dado pela quantidade de silte dos solos (Tabela 7).

Tabela 6 – Coeficientes canônicos padronizados (CCP), coeficientes de correlação linear (r) e taxa de discriminação paralela (TDP) das variáveis estudadas em relação aos dois primeiros eixos canônicos na profundidade 0-20 cm.

<b>Variáveis</b>	<b>FDC 1</b>			<b>FDC 2</b>		
	<b>r</b>	<b>CCP</b>	<b>TDP</b>	<b>r</b>	<b>CCP</b>	<b>TDP</b>
Argila	0.6597	0.8195	0.5406	-0.5879	-0.6078	0.3573
Silte	0.0303	0.9074	0.0275	0.9746	2.0283	1.9769
Alumínio	-0.2567	-0.0461	0.0118	0.1676	0.2413	0.0404
Potássio	0.6424	0.1647	0.1058	-0.0644	0.0779	-0.0050
Fósforo	0.4526	0.6472	0.2929	-0.2287	-0.3574	0.0817
pH água	0.6851	-0.8399	-0.5755	0.3422	0.4191	0.1434
pH CaCl	0.7682	1.7013	1.3069	0.3088	0.3048	0.0941
Ca+Mg	0.8438	1.9111	1.6126	-0.2482	-0.0097	0.0024
Autovalores		10,45			6,51	
% Var Acum.		59,70			37,20	

Tabela 7 – Coeficientes canônicos padronizados (CCP), coeficientes de correlação linear (r) e taxa de discriminação paralela (TDP) das variáveis estudadas em relação aos dois primeiros eixos canônicos na profundidade 20-40 cm.

<b>Variáveis</b>	<b>FDC 1</b>			<b>FDC 2</b>		
	<b>r</b>	<b>CCP</b>	<b>TDP</b>	<b>r</b>	<b>CCP</b>	<b>TDP</b>
Argila	0.7920	1.0250	0.8118	0.0589	0.8240	0.0485
Silte	-0.5139	-0.3476	0.1786	0.8056	1.9705	1.5874
Alumínio	-0.4879	-0.6565	0.3203	0.0052	0.3211	0.0017
Potássio	0.7006	0.1786	0.1251	0.2750	0.0150	0.0041
Fósforo	0.3020	0.4362	0.1317	0.0442	0.0197	0.0009
pH água	-0.0853	-0.6469	0.0552	0.5545	0.3454	0.1915
pH CaCl	0.1241	0.0374	0.0046	0.6220	0.2167	0.1348
Ca+Mg	0.7897	1.3361	1.0551	0.3668	0.6366	0.2335
Autovalores		6,50			4,05	
% Var Acum.		56,57			35,29	

Houve diferenças significativas entre todas as áreas estudadas de acordo com a estatística lambda de Wilks ( $p < 0,0001$ ) e com a distância generalizada de Mahalanobis ( $p < 0,0001$ ). As maiores distâncias multivariadas, nas duas profundidades, ocorreram entre a área da Mina A2 e área da Mina A5, enquanto que as menores foram observadas entre as áreas de Campo Nativo e Mata (Figuras 14 e 15).

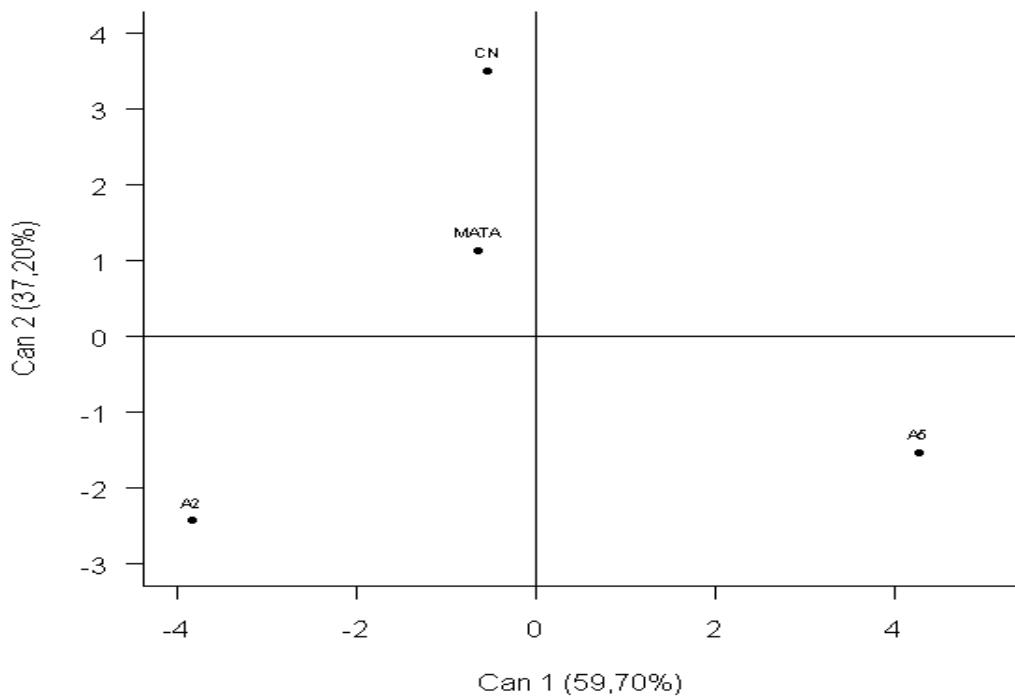


Figura 14 – Médias dos valores das funções discriminantes um e dois para as diferentes áreas estudadas em relação às variáveis analisadas na profundidade de 0-20 cm.

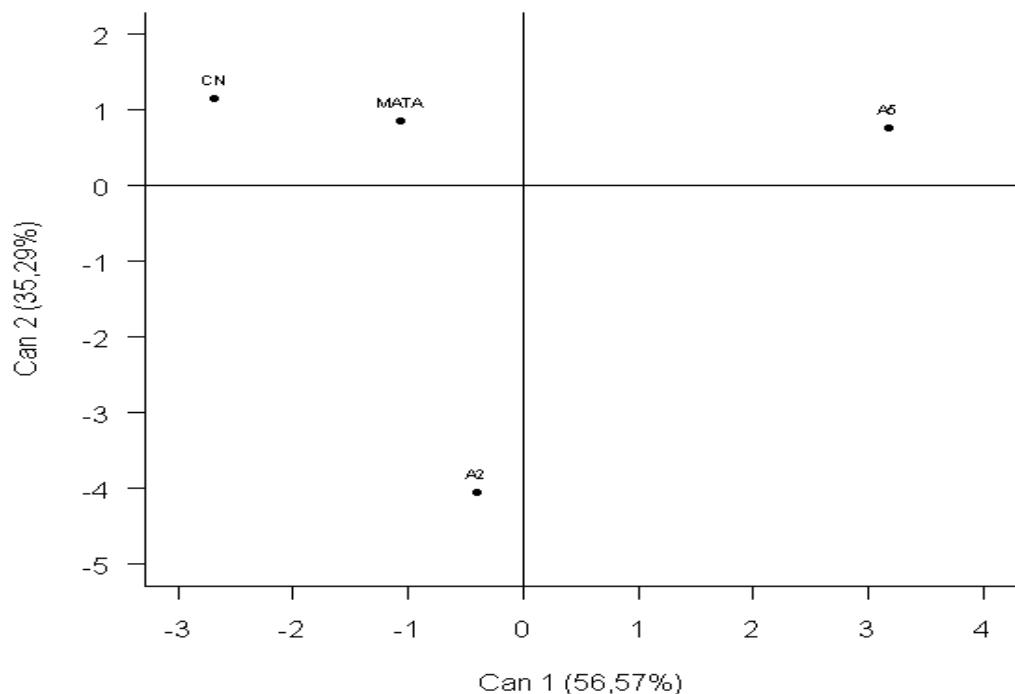


Figura 15 – Medias dos valores das funções discriminantes um e dois para as diferentes áreas estudadas em relação as variáveis analisadas na profundidade de 20-40 cm.

Os maiores valores de pH em cloreto de cálcio e de cálcio mais magnésio na área A5, provavelmente, devem-se a aplicação de calcário dolomítico e de cama de aves durante o processo de construção da área, os quais elevam o pH do solo e aumentaram a quantidade de bases trocáveis, principalmente cálcio e magnésio.

Andreola, et al (2010), constataram na área A5, valores elevados da fração argila, (valores médios de 440 g Kg<sup>-1</sup> e 394 g Kg<sup>-1</sup> para as profundidades 0-20 cm e 20-40 respectivamente) e baixos teores de silte (inferiores a 350 g kg<sup>-1</sup>). Esses resultados podem ser explicados pelo processo de construção adotado que trouxe material proveniente de outro local (não informado), que poderia conter maior quantidade da fração argila em sua composição.

Na área A2, a deficiência de cátions básicos em solos construídos após mineração de carvão, reflete a intensa intemperização dos minerais e as consequentes perdas desses elementos por lixiviação (PITCHET al., 1994). Portanto, os menores valores de cálcio e magnésio, devem-se ao maior tempo de exposição das camadas contendo pirita a condições oxidantes (sulfurização) o que favorece a dissolução de silicatos e a lixiviação de cátions (Ca, Mg e Na) acompanhados do ânion sulfato (CAMPOS et al., 2003), bem como a neogênese de fases minerais contendo K e Na (KÄMPF et al., 1997).

O menor teor de silte do solo desta área é devido à reconstrução topográfica que englobou a mistura de resíduos de carvão piritoso com material da coluna geológica apresentando maiores teores médios da fração areia, alcançando valores em torno de 550 g.Kg<sup>-1</sup>, tabela 6 (ANDREOLA et al., 2010).

Os menores valores de pH, constatados, são consequência do intenso processo de oxidação da pirita, decorrente da grande exposição de resíduos de carvão piritoso, por longo tempo, na camada superficial do solo, tabela 6. Nesta área observou-se, baixos valores de pH em cloreto de cálcio (Tabela 6), o que indica que o processo de oxidação da pirita em certos locais também foi intenso, graças à mistura localizada de resíduos piritosos com o material de cobertura (CAMPOS, et.al., 2003).

Segundo Ribeiro et al (2008), no mesmo local, observaram o maior valor médio de potencial de acidificação, da ordem de 112 t ha<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>, o que indica que o processo de oxidação da pirita também foi intenso e recente.

O CN e a MT, são as áreas que mais se assemelham em grande parte dos dados analisados. Os baixos valores de cálcio mais magnésio e pH em cloreto de cálcio (Tabela 7), demonstram que os solos pré-mineração são naturalmente pobres quimicamente. O solo

característico da região é um Argissolo Vermelho-Amarelo, com caráter alítico, ou seja, é um solo fortemente dessaturado, apresentando teores de Al extraível maior ou igual a 4 cmol<sub>c</sub> Kg<sup>-1</sup>, atividade de argila > 20 cmol<sub>c</sub> Kg<sup>-1</sup> de argila, saturação por bases menor que 50% (distrófico) e/ou V% maior ou igual a 50%, além de apresentar argila de atividade alta (> ou igual a 27 cmol<sub>c</sub> Kg<sup>-1</sup> de argila) (IBGE 2007).

Para a propriedade física analisada (granulometria), a fração silte apresentou maiores teores na área de CN e da MT, com valores acima de 600 g kg<sup>-1</sup>, o que caracteriza um solo siltoso. O solo dos perfis, em questão, são derivados de siltitos, com alguma contribuição de arenitos, presentes na formação que lhes deu origem, o que explicaria este comportamento. Nas áreas A2 e A5, as quantidades médias da fração silte são inferiores a 350 g kg<sup>-1</sup>. Existe uma nítida diferença entre o CN e MT e as áreas A2 e A5, que é explicada pelo fato de que não há solo propriamente dito nas áreas A2 e A5 (Figuras 14 e 15). Esses locais passaram pelo processo de mineração e posterior reconstrução do terreno com reposição de material proveniente de outro local e mistura de partes da coluna geológica (ANDREOLA, et. al., 2010).

Segundo Schafer (1980), o entendimento da gênese de solos de minas é freqüentemente complicado pela extrema heterogeneidade dos solos resultante dos processos de mineração em superfície, que determinam a mistura de várias partes da coluna geológica.

Na segunda profundidade, os valores de cálcio mais magnésio são mais baixos (Tabela 7), em comparação a primeira profundidade, pelo fato da aplicação do calcário e cama de aves ter sido efetuada em superfície, sem incorporação, o que dificulta a descida do material corretivo devido a baixa solubilidade do calcário e da cama de aves. Além disso, a compactação do solo pode ser um indicativo da baixa concentração desses elementos no solo.

Em relação aos teores de argila, foi encontrada uma maior quantidade dessa fração na área A5, destacando valores médios em torno de 440 g Kg<sup>-1</sup> e 394 g Kg<sup>-1</sup> para as profundidades 0-20 cm e 20-40 cm respectivamente, fato este que pode ser explicado pelo processo de construção adotado na área, dito como ideal para recuperação de áreas degradadas pela mineração de carvão, para os solos da região.

A área A2, além de apresentar solo de origem quimicamente pobre, ter sido minerada e posteriormente construída, tem sua condição qualitativa agravada pela inibição de alguns processos naturais no solo devido à alta acidificação ocasionada pelo rejeito piritoso. Por exemplo, a ausência de atividade microbiana e a baixa taxa de mineralização da matéria orgânica e a consequente deficiência na ciclagem dos nutrientes, o que pode limitar a disponibilidade de vários nutrientes, dentre eles o cálcio e o magnésio, essenciais para o

crescimento dos vegetais (SCHJONNING, 2004).

Além disso, nas áreas A2 e também no CN e MT, pode-se averiguar, nas duas profundidades analisadas, baixos teores de bases trocáveis, o que pode ser explicados pelo fato de que na primeira profundidade os solos apresentam carga líquida negativa, como a maioria dos solos brasileiros, e na segunda profundidade os solos têm carga líquida positiva, fazendo com que não seja possível a retenção de bases trocáveis na fase sólida do solo, deixando-as na solução do solo sujeitas a lixiviação.

Em suma, com a presente pesquisa foi possível constatar a grande variabilidade existente nos solos estudados, sendo necessários estudos mais detalhados sobre o assunto, para que haja um maior conhecimento de importantes atributos químicos e físicos.

Dessa maneira, os dados basilares das propriedades químicas e físicas dos solos construídos e os principais indicadores de qualidade desses solos estão contidos neste trabalho e podem ser utilizados como ponto de partida para estudos mais específicos, que indiquem quais os métodos práticos mais adequados para a real recuperação dos solos construídos após mineração de carvão.

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo, indicam que as propriedades químicas e físicas determinadas, quantidade de Ca+Mg, pH em CaCl<sub>2</sub>, teores de argila e silte, podem ser utilizados como indicadores de qualidade para a mitigação e o monitoramento de danos ambientais visando a manutenção da saúde humana e animal e a preservação do meio ambiente.

As características químicas e físicas do solo da área A2 foram influenciadas, negativamente pela mistura da coluna geológica com o rejeito piritoso, pelo processo de oxidação da pirita e pelo tempo de atuação desse processo.

A área A5 foi a que apresentou os melhores resultados dos atributos químicos e físicos, resultado do plano de reabilitação que parece ter sido seguido de forma correta.

As áreas CN e MT, consideradas sem interferência antrópica, são naturalmente pobres quimicamente e tem suas propriedades físicas de má qualidade dificultando o crescimento de espécies vegetais.

Constatou-se a alta variabilidade e heterogeneidade das propriedades dos solos construídos pós-mineração na região carbonífera de Lauro Müller, o que dificulta a caracterização dos mesmos e compromete a recuperação satisfatória dos solos construídos.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível se constatar deficiências referentes ao procedimento de construção topográfica empregada nas áreas pós-mineração, o que demonstra que os solos apresentam sérias limitações ao desenvolvimento dos processos de recuperação das áreas degradadas, influindo negativamente para a reabilitação dessas áreas e de áreas adjacentes.

Constatou-se, a presença de quatro atributos dos solos que podem ser considerados como indicadores de qualidade, os teores de Ca+Mg, pH em CaCl<sub>2</sub>, teores da fração argila e silte, contribuindo assim, para determinação de métodos adequados na análise dos solos e no desenvolvimento e monitoramento da reabilitação das áreas mineradas.

Para uma avaliação mais eficaz das características dos solos da região carbonífera catarinense é necessário que haja maiores informações referentes aos atributos químicos e físicos dos solos, como por exemplo, potencial de acidificação, teores de H+Al, metais pesados, entre outros, possibilitando uma análise mais profunda e bem estruturada das reais condições dos solos minerados da região.

Os frutos dessa pesquisa científica corroboram a necessidade do desenvolvimento ou adaptação de metodologias específicas para avaliar as características dos solos construídos topograficamente, promovendo a criação de novos trabalhos para testar, comparar e avaliar diferentes métodos de análise na determinação de diversos aspectos químicos, físicos, biológicos e morfológicos tentando identificar as análises mais adequadas para avaliação concreta destes solos.

A mineração brasileira está submetida a inúmeras regulamentações, onde há o envolvimento dos três níveis do poder estatal que possuem atribuições com relação à mineração e o meio ambiente. A legislação ambiental atual é extensa, avançada e conflitante,

criando dificuldades na sua aplicação, necessitando de uma compatibilização, pois a sua aplicabilidade e eficácia deixam a desejar.

Visando o adequado planejamento e implantação da atividade mineradora, é importante destacar a necessidade do estabelecimento de maiores vínculos institucionais entre empresas mineradoras e os centros de pesquisa, com o objetivo de formar um grupo multidisciplinar de profissionais para a aquisição de propostas amplas e eficazes, que contemplem todos os problemas desenvolvidos nas áreas mineradoras da região carbonífera de Santa Catarina.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLA, A., SPIAZZI, F.R., CAMPOS, K.A., CALMINATTI, R., GERBER, J.M., MIQUELLUTI, D.J., CAMPOS, M.L. Variabilidade espacial do teor de argila em solos reconstruídos pós-mineração de carvão a céu aberto em Santa Catarina. In **XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. Guarapari – ES, Brasil, 13 a 17 de setembro de 2010.** CD-ROM.

ATLAS de energia elétrica do Brasil. **Agência Nacional de Energia Elétrica.** 2. ed. - Brasília: ANEEL, 2005. 243 p. : il. Disponível em:  
[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/08-Carvao\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/08-Carvao(2).pdf). Acesso em: 20 nov. 2010.

ALEXANDRE, N.Z.; KREBS, A.S.J. **Qualidade das Águas Superficiais do Município de Criciúma, SC.** Porto Alegre: CPRM, 1995. 1 v. Programa de Informações Básicas para Gestão Territorial de Santa Catarina – PROGESC. (Série Recursos Hídricos, v.6).

BALIEIRO, F.C de. **Qualidade do Solo em Áreas Degradadas.** Seropédica: UFRRJ: 2004.  
 29 p.

BARBOSA, L.A.D.; SOBRAL, L.G.S.; ALCOVER-NETO, A.; da SILVA, P.F.R. Caracterização tecnológica de rejeitos da indústria carbonífera visando seu aproveitamento sustentado. In: Encontro nacional de tratamento de minérios e metalurgia, Recife, Pernambuco. **Anais eletrônicos: Centro de Tecnologia Mineral – CETEM.** 2000. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2002-046-00.pdf>. Acesso em: 30 set. 2010.

BARNHISEL, R. I.; POWELL, J.L.; AKIN, G.W. & EBELHAR, M.W. Characteristics and reclamation of acid sulfate mine spoil. In : KITTRICK, J. A.; FANNING, D. S. & HOSSNER, L. R., eds. Acid sulfate weathering. **Madison, Soil Science Society America,** 1982. p.37-56.

BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. Madison, *American Society of Agronomy*, 1986. p. 363-375. (Agronomy, Monogr., 9).

BORBA, R. F. Carvão Mineral. **Balanço Mineral Brasileiro**, Porto Alegre, out, 2001. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br.htm>>. Acesso em: 21 set. 2010.

BORMA, L. De S. et al. Utilização de cinza no contexto da reabilitação de áreas de mineração de carvão. **Contribuição Técnica elaborada para o V Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, Porto Alegre - RS, maio 2003**. Disponível em <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2003-025-00.pdf>>. Acesso em 18 de abr. 2010.

BORTOT, A.; ZIM-ALEXANDRE. Programa de proteção e melhoria da qualidade ambiental da bacia do rio Tubarão e complexo lagunar. **Rev. Tecnol. Ambiente**, Criciúma, v. 1, n. 1, p. 55-74, 1995.

**BP Statistical Review of World Energy**. Disponível em: <<http://www.bp.com>> Acesso em: 21 set. de 2010.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado, 1988. 292 p.

BRASIL. Decreto nº 97632, de 10/04/1989; Dispõe sobre a regulamentação do artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, (áreas degradadas).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 369/2006. **Coleção de leis [do] Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>> Acesso em: 21 set. 2010.

BUSSLER, B.H. et al. Properties of Mine Soil Reclaimed for Forest Hard Use. **Soil Sci. Soc. Am. J., Madison**, v. 48, p. 178-184, 1984.

CAMPOS, M. L.; ALMEIDA, J. A., SOUZA, L. S. 92003). 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.** 27, 1123-1137. 2003.

CAMPOS, M.L. Caracterização de três áreas de solo reconstruído após mineração de carvão a céu aberto em Lauro Müller, Santa Catarina. 2000. 62 p. (**Dissertação de Mestrado em Agronomia**) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia-CAV/ UDESC, Lages, SC.

CAROLA, C. R. **Dos subterrâneos da história:** as trabalhadoras das minas de carvão de Santa Catarina (1937-1964). Florianópolis. Editora da UFSC, 2002.

CARSON, C.D., FANNING, D.S., DIXON, J.B., Altisols and Ultisols with acid sulfate weathering features in Texas. In : KITTRICK, J. A.; FANNING, D. S. & HOSSNER, L. R., eds. Acid sulfate weathering. **Madison, Soil Science Society America**, 1982. p. 109–126.

CASTRO, J.C.; BORTOLUZZI, C.A.; CARUSO Jr., F.; KREBS, A. S. Coluna White: Estratigrafia da Bacia do Paraná no Sul do Estado de Santa Catarina - Brasil. Florianópolis : **Secretaria de Estado de Tecnologia, Energia e Meio Ambiente, 1994. 1 v. ( Série Textos Básicos de Geologia e Recursos Minerais de Santa Catarina, 4).**

CASTRO, J.P.C. Reabilitação de áreas degradadas – aspectos legais. In: **Dias, L.E.& Mello, J.W.V., eds. Recuperação de áreas degradadas Viçosa, Folha de Viçosa Ltda**, 1998. p.9-15, 251p.

CECONI, D.E.; POLETTI, I.; LOVATO, T.; SCHUMACHER, M.V. & MARTINS, F.B. Caracterização química e densidade do solo em área degradada pela mineração de carvão. In: **XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2005, Recife. Solos. Sustentabilidade e qualidade ambiental**, 2005.

CETEM. Centro de Tecnologia Mineral. **Projeto Conceitual para Recuperação da Bacia Carbonífera Sul Catarinense.**, CAMED, SIECESC, 2001. Disponível em: <<http://www.siecesc.com.br>>. Acesso em 15 jan. 2011.

CHAER, G.M. **Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos.** Viçosa- UFV, 2001, 89p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Recomendações de Abubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** 3 ed. Passo Fundo: SBCS – Núcleo Regional Sul, 1994.223p.

CORRÊA, J. Atividade Minerária no Sul de Santa Catarina: impactos ambientais decorrentes da exploração do carvão. **Revista de Direitos Difusos, ano V, vol.25. São Paulo: ADCOAS/APRODAB/IBAP, 2004. p.35507-3522.**

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

CPRM: Serviço Geológico do Brasil. **Relatório Temático do GEO-Brasil.** Perspectivas do Meio Ambiente para o Brasil: Uso do Subsolo. Agosto, 2002.31p.

DANIELS, W.L. Manipulating the chemical properties of soil and mining wastes. In: ALVAREZ V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F., eds. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado.** Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Universidade Federal de Viçosa, 1996. p. 869 – 897.

DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: **BLACK, C.A.** Methods of soil analysis. American Society of Agronomy, 1: 545-566, 1965.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. and STAWART, B.A. (Eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment.** Madison, Soil Science Society of America, 1994. 3-21. (specialpublication, 35).

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

. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Informativo anual da indústria carbonífera.** Brasília, 1994. 265 p.

. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Informativo anual da indústria carbonífera.** Brasília, 2005.

. Ministério do Meio Ambiente. **Diretrizes ambientais para o setor mineral.** Brasília, DF, 2007. 56p.

DNPM. **Departamento Nacional de Produção Mineral.** CANO, T.M. Carvão Mineral, 2009. Disponível em:<[https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra\\_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3970](https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3970)> Acesso em: 10 jan. 2011.

DNPM. **Departamento Nacional de Produção Mineral.** **PERFIL BRASIL,** 2010. Disponível em: <[https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra\\_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3967](https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3967)> Acesso em: 15 jan. de 2011.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo.** 2 ed. Rio de Janeiro, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Brasília: Serviço de Produção de Informação, 1999. 412 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2 ed. Brasília, 2006. 306 p.

FAO/UNESCO. Soil Map of the World. Revised Legend. **World Resources Report 60.** FAO. Rome. Reprinted as Technical Paper 20, *ISRIC*. Wageningen, 1988.

FRANCO, V.A.C., MARIMON, C.M.P. **Tecnologias de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração de Carvão e Usos Futuros do Solo Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.** Departamento de Geografia da UDESC, 2008.

FREITAS, T. P. de. Avaliação dos efeitos de Mikania glomerata sprengel e Mikania laevigata schultz bip. ex baker (asteraceae) no processo inflamatório induzido pela exposição aguda ao carvão mineral. 2006. 48 f. **Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais)** – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

FUNGARO, D.A. & IZIDORO, J de C. Remediação de Drenagem Ácida de Mina Usando Zeólitas Sintetizadas a partir de Cinzas Leves de Carvão. **Rev. Química. Nova**, Vol. 29, N°. 4, 735-740, 2006.

GAIVIZZO, L.H.B., VIDOR, C., JOSÉ, M., TEDESCO, M.J., MEURER, E. Potencial Poluidor de Rejeitos Carboníferos. I - Caracterização Química da Água de Lixiviação. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.32, n.5, p.771-780, ISSN 0103-8478, 2002.

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.

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

GOMES, M.A.F., FILIZOLA, H.F. Indicadores Físicos e Químicos de Qualidade de Solo de Interesse Agrícola. Jaguariúna: **EMBRAPA Meio Ambiente** 2006.

GRIFFITH, J. J. **Recuperação conservacionista da superfície de áreas mineradas: uma revisão de literatura.** Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, UFV, 1980. 106p.

GRUBE, W. E.; SMITH, R.M.; AMMONS J.T. Mineralogical Alterations That Affect Pedogenesis in Minesoils from Bituminous Coal Overburdens. In : KITTRICK, J. A.; FANNING, D. S. & HOSSNER, L. R., eds. Acid sulfate weathering. **Madison, Soil Science Society America**, 1982, p. 209-224.

HAIR Jr., J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. **Análise multivariada de dados.** 5 ed. Bookman : São Paulo, SP, 2005, 593 p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manuais Técnicos em Geociências – **Manual Técnico de Pedologia.** N.4. 2. Ed. Rio de Janeiro, 2007, 316p.

INDA, A.V., QUINÓNES, O.R.G., GIASSON, E., BISSANI, C.A., DICK, D.P., NASCIMENTO, P.C. DO. Atributos químicos relacionados ao processo de sulfurização em solos construídos após mineração de carvão. **Rev. Ciência Rural, Santa Maria,** v.40, n.5, p.1060-1067, mai, 2010, ISSN 0103-8478.

INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS E TECNOLÓGICAS/UNIVERSIDADE DO EXTREMO-SUL CATARINENSE - IPAT/UNESC. **Projeto de Reabilitação Ambiental de Áreas Degradadas pela atividade extractiva de carvão mineral:** Campo Malha II Oeste, Siderópolis – Santa Catarina. Criciúma, 2005.

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY. **JICA Interim report for the feasibility study on recuperation of mined-out areas in the South Region of Santa Catarina in the Federative Republic of Brazil.** Japão, 1997.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis.** 5. Prentice Hall : New Jersey, USA, 2002, 767 p.

KÄMPF, N., SCHNEIDER, P., GIASSON, E. Propriedades pedogênese e classificação de solos construídos em áreas de mineração na Bacia Carbonífera do Baixo Jacuí. **R. Bras. Ci. Solo,** v.21, p.79-88, 1997.

KÄMPF, N. et al. Solos construídos em áreas de mineração da Bacia Carbonífera. **In: Centro de Ecologia – UFRGS.** Carvão e meio ambiente. Porto Alegre: UFRGS, 2000. Cap.17, p.596-640.

KARATHANASIS, A.D.; EVANGELOU, V.P. & THOMPSON, Y.L. Aluminum and iron equilibria in soil solutions and surface waters of acid mine watersheds. **J. Environ. Qual.,** 17: 534-543, 1988.

KOBIYAMA, M.; MINELLA, J. P. G.; FABRIS, R. Áreas degradadas e sua recuperação. In: Recuperação de Áreas degradadas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, n. 22, p. 10-17, 2001.

KOPEZINSKI, I. **Mineração X meio ambiente**: considerações legais, principais impactos ambientais e seus processos modificadores. Porto Alegre: Editora da Universidade. 2000.

LAUS, R., LARANJEIRA, M.C.M., MARTINS, A.O, E FÁVERE, V.T. Microesferas de Quitosana Reticuladas com Tripolifosfato Utilizadas para Remoção da Acidez, Ferro(III) e Manganês(II) de Águas Contaminadas pela Mineração de Carvão. **Química. Nova**, Vol. 29, No. 1, 34-39, 2006.

MARTIN, J. G.; LEAL, C. A. A virtude da Moderação: Uma Orientação de política Nacional para o Carvão no Sul do Brasil. In: HUFF, Geraldo, F. **Carvão e Meio Ambiente**. Porto Alegre: UFRGS, 2000.

MILIOLO, G., ALEXANDRE, Z.N., CITADINI-ZANETTE, V., POMPEO, M. O SUL DO ESTADO DE SANTA CATARINA. Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, Criciúma, Santa Catarina. Universidade de São Paulo, USP - IB - Depto de Ecologia, São Paulo, SP, 1999. (**Tese de Doutorado**).

MPF. MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL. **Critérios para recuperação ou reabilitação de áreas degradadas pela mineração de carvão**. Criciúma, 2007.

MOSES, C.O.; NORDSTROM, D.K.; HERMAN, J. S. & MILLS, A.L. Aqueous pyrite oxidation by dissolved oxygen and by ferric iron. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.51, p.1561-1571, 1987.

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

NETO, L.A., ALBUQUERQUE, A.J., ALMEIDA, A. DE J., MAFRA, L.A., MEDEIROS, C.J., ALBERTON, A. Atributos Físicos do Solo em Área de Mineração de Carvão Influenciados pela Correção da Acidez, Adubação Orgânica e Revegetação. Parte da Dissertação do primeiro autor, apresentada à Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 1379-1388, 2008.

NORDSTROM, D.K. Aqueous pyrite oxidation and the consequent formation of secondary iron mineral. In : KITTRICK, J. A.; FANNING, D. S. & HOSSNER, L. R., eds. **Acid sulfate**

**weathering.** Madison, Soil Science Society America, 1982. p.37-56.

PANIAGUA, A., KAMMERBAUER, J., AVEDILLO, M., ANDREWS, A.M. Relationship of the characteristics to vegetation successions on a sequence of degraded and rehabilitated soils of Honduras. **Agriculture Ecosystems and Environment**, 72: 215-225, 1999.

PINTO, L.F.S. Potencial de acidificação e de neutralização dos materiais geológicos para a composição do solo construído em áreas de mineração de carvão. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1997. 186p. (**Tese de Doutorado**).

PINTO, L.F.S. & KÄMPF, N. Contaminação dos Solos Construídos. In: TEIXEIRA, E. C. (Coord.). **Meio Ambiente e Carvão: impactos da exploração e utilização**. Porto Alegre, RS: FEPAM, 2002. P. 69-92.

PITCHEL, J.R.; DICK, W.A.; SUTTON, P. Comparison amendments and management practices for long-term reclamation of abandoned mine lands. **J. Environ. Qual.**, 23:766-772, 1994.

POMPÊO, M. L. M.; MOSCHINI-CARLOS, V.; ALEXANDRE, N. Z.; SANTO, E. (2004). Qualidade da água em região alterada pela mineração de carvão na microbacia do rio Fiorita (Siderópolis, Estado de Santa Catarina, Brasil). **ActaScientiarum. Biological Sciences**. 26, (2), 125-136.

QUINÓNES, G.R.O., JUNIOR, I.V.A., GIASSON, E., BISSANI, A.C., DICK, P.D. Características de Solos Construídos Após Mineração de Carvão Relacionadas ao Processo de Construção e à Composição do Material Utilizado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre, RS, Brasil. **Rev. Ciência Rural, Santa Maria**, v.38, n.6, p.1564-1571, set, 2008 ISSN 0103-8478.

R. DEVELOPMENT CORE TEAM (2008). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Sub-chefia de estatística, geografia e informática. **IBGE**, 1986.

SANTOS, R. Produção de serapilheira e decomposição foliar em um remanescente de Mata Atlântica, Orleans, Santa Catarina. 1997. 78f. **Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola e do Ambiente)**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

SANTOS, N.M.L.dos; ÁVILA, M.S.V.; PINTO, L.F.S.; PAULETTO,E.A. & NUNES, M.C. Caracterização química de solos construídos na área de mineração de carvão de Candiota, Lages, SC, 2004. In RS. **FERTBIO, 2004.**

SANCHEZ, J.C.D. & FORMOSO, M.L.L. Utilização do carvão e meio ambiente. Porto Alegre: **CIENTEC**, 1990. 34p.

SAS Institute Inc® 2003 **SAS Ver. 9.1 . 3** SAS Institute Inc.: Cary, NC, USA. Lic. UDESC.

SCHAFFER, W.M. et al. Minesoil genesis and morphology in a spoil chronosequence in Montana. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p.802-807, 1980.

SCHJONNING, P.; ELMHOLT, S.; CHRISTENSEN, B. T. Managing soil quality, challenges in modern agriculture. In: **CONDRON, L. M. Phosphorus – surplus and deficiency**. London, Cabi Publishing, 2004. p.69-85.

**Sindicato da Industria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina.** Disponível em:<<http://www.siecesc.com.br/>>. Acesso em: setembro de 2010.

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação. **Lei 9.983 de 14 de julho de 2000**, Altera o Decreto-Lei nº 2.848, de 7 de dezembro de 1940 – Código Penal.

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação. **Lei 9985 de 18 de julho de 2000**, Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza.

SPIAZZI, F.R., DORS, P.; HUGEN, C ; MIQUELLUTI, D.J. & CAMPOS, M.L. Análise Descritiva de Atributos Químicos do Solo em Áreas Construídas Após Mineração de Carvão em Lauro Muller, SC. . In **XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. Guarapari – ES, Brasil, 13 a 17 de setembro de 2010. CD-ROM.**

SPIAZZI, F.R.; MIQUELLUTI, D.J.; CAMPOS, M.L.; DORS, P.; HUGEN, C. Análise geoestatística de P em áreas reconstruídas após mineração de carvão em Lauro Muller, SC. In **VIII Reunião Sul - brasileira de Ciência do Solo. Santa Maria – RS, Brasil, 24 a 26 de novembro de 2010. CD-ROM.**

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C. & BISSANI, C.A. Análise de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (**Boletim Técnico, 5**).

TÓTOLA, M.R., CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. **Tópicos Avançados em Ciência do Solo**, 2: 195-276, 2002.

van BREEMEN, N. Genesis, morphology, and classification of acid sulfate soil in coast plains. In : KITTRICK, J. A.; FANNING, D. S. & HOSSNER, L. R., eds. Acid sulfate weathering. **Madison, Soil Science Society America**, 1982. p.37-56.

WAGNER, A. et. alli. A eleição presidencial e a mineração. **Gazeta Mercantil** 20 de setembro de 2002. p.

WALLACE, A., WALLACE, G. A. **Factors influencing oxidation of iron pirite in soil.** **Journal of Plant Nutrition.** v.15. p. 1579-1582, 1992.

**World Coal Institute.** Disponível em:< <http://www.worldcoal.org>. > Acesso em: 12 set. 2010.