



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AVALIAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO: UM ESTUDO DE CASO NA MINA DE CANDIOTA - RS

Acadêmica

ARIANE SOARES PRESTES

**CURSO DE
GESTÃO AMBIENTAL**

ARIANE SOARES PRESTES

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS
DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO: UM ESTUDO DE CASO NA
MINA DE CANDIOTA - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Gestão Ambiental, da Universidade Federal
do Pampa (UNIPAMPA, SG), como requisito
parcial para obtenção do grau de Gestor(a)
Ambiental

Orientador: Prof. Ms. André Carlos Cruz Copetti

São Gabriel, RS, Brasil 2013

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CAMPUS SÃO GABRIEL
CURSO DE GESTÃO AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS
DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO: UM ESTUDO DE CASO NA
MINA DE CANDIOTA - RS**

Trabalho de Conclusão de curso
Apresentado a Universidade Federal do
Pampa como requisito parcial na
obtenção do título de graduação em
gestão ambiental

Área de concentração: Manejo de Bacias
Hidrográficas

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 8 de maio de 2013
Banca Examinadora:

Prof. Ms. André Carlos Cruz Copetti
Orientador
Unipampa

Prof. Dr. Hamilton Munari Vogel
Unipampa

Prof. Dr. Rafael Cabral Cruz
Unipampa

Dedico este trabalho aos meus pais, Antônio Cláudio e Lucelaine.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Pampa e a todo corpo docente do curso de Gestão Ambiental por oportunizarem um ensino de qualidade.

À Companhia Riograndense de Mineração pela abertura para realizar este trabalho e em especial, às equipes do Departamento de Meio Ambiente e do Departamento de Tecnologia da mina de Candiota pelo empenho em disponibilizar os recursos necessários à elaboração deste estudo.

Ao Prof. Ms. André Carlos Cruz Copetti, por não medir esforços em acompanhar e contribuir de forma decisiva na concepção deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Rafael Cabral Cruz e a Betânia Brum, pelo auxílio com a parte estatística, que subsidiaram os resultados deste trabalho.

Aos colegas de curso e, em especial, ao Anderson, Alex, Anthony, Fernando, Raniéle e Márcio, pelo companheirismo e amizade de sempre.

À toda a minha família, da qual sinto um imenso orgulho, por sempre acreditar na minha força de vontade para a realização deste e de outros objetivos.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram ou simplesmente torceram para que esta etapa da vida fosse bem sucedida.

.

Quando os ventos de mudança sopram, umas pessoas levantam barreiras, outras constroem moinhos de vento.

Érico Veríssimo

RESUMO

A mineração é uma importante atividade econômica com interface direta no meio ambiente. Um dos principais impactos é a degradação do solo - a recuperação da área é o meio pelo qual esse impacto pode ser mitigado. Este estudo visa caracterizar a evolução do método empregado para recuperar as áreas degradadas pela mineração de carvão na Companhia Riograndense de Mineração (CRM), atrelando à legislação vigente. Objetivando gerar subsídios à interpretação de análises químicas cedidas pela empresa, foram caracterizados sete pontos de amostragem de solos impactados, submetidos a três diferentes métodos de recuperação: Método Precário (MP), Método Intermediário (MI) e Método Atual (MA) e com períodos em processos de recuperação também diferentes, em quatro sucessivos anos (2008, 2009, 2010 e 2011). Avaliou-se os diferentes métodos de recuperação de áreas mineradas, comparando dados químicos dos solos construídos versus solo sem interferências da atividade de mineração, que a partir do tratamento e submissão dos dados à análise de agrupamentos, e tendo como critério de recuperação a aproximação ao solo natural, pôde-se constatar que as áreas recuperadas pelo método precário estão estáticas, enquanto as demais apresentam melhorias com o passar dos anos. Conclui-se ainda, que o tempo de resposta da recuperação dos atributos químicos do solo foi muito menor quando empregou-se o método atual. A legislação ambiental foi o marco inicial na evolução percebida e, quando somadas ao aperfeiçoamento da solução técnica de recuperação, tornou, então, o método eficiente.

Palavras-chave: mineração de carvão, legislação ambiental, recuperação de solos.

ABSTRACT

Mining is an important economic activity, with direct interface to the environment. One of the main impacts is soil degradation, and the recovery of the area is the means by which this impact can be mitigated. This study aims to characterization of the evolution of the method used to recover this degraded areas by coal mining in the Company Riograndense Mining (CRM), linking to the existing legislation. Aiming to generate subsidies for interpretation of chemical analyzes supplied by the company, were characterized seven sampling of impacted soils under three different recovery methods: Precarious Method (MP), Intermediate Method (MI) and Current Method (MA) and periods in recovery also different in four successive years (2008, 2009, 2010 and 2011). We evaluated the different methods of recovery of mined areas, comparing chemical data of soil built versus soil without interference from mining activity, which from the treatment and submission of data to the cluster analysis, and taking as a criterion to recovery, the approach natural soil, it could be seen that the areas recovered by the method are static precarious, while other feature improvements over the years, it follows also that the response time of recovery of chemical soil was much lower when employed to the current method. Environmental legislation was the first milestone in the evolution perceived, and when coupled with the improvement of the technical solution recovery has, then the method efficient.

Keywords: coal mining, environmental legislation, soil recovery.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Método de mineração e recuperação da área minerada na CRM.	29
Figura 2 - Imagem aérea da área de mineração em Candiota – RS.....	32
Figura 3 - Localização da cidade de Candiota.....	33
Figura 4 - Ponto de amostragem de solo na Malha I.	39
Figura 5 - Local de amostragem de solo em área degradada na Malha II.	41
Figura 6 - Ponto de amostragem na primeira área recuperada na CRM	41
Figura 7 - Ponto de amostragem de solo em área recuperada há 7 anos (dias atuais, 2 anos em 2008).....	43
Figura 8 – Ponto de amostragem de solo em área recuperada há 10 anos (5 anos em 2008).....	43
Figura 9 - Ponto de amostragem de solo em área testemunha, ou seja, solo com características originais.....	43
Figura 10 – Ponto de amostragem em área recuperada há 15 anos (10 anos em 2008).....	43
Figura 11 – Ponto de amostragem em área recuperada há 10 anos (5 anos em 2008) situada na Malha VII.	44
Figura 12 – Dendograma para análises de dados químicos dos solos nas diferentes áreas no ano de 2008.....	47
Figura 13 – Dendograma Dendograma para análises de dados químicos dos solos nas diferentes áreas no ano de 2009.	49
Figura 14 - Dendograma para análises de dados químicos dos solos nas diferentes áreas no ano de 2010.....	51
Figura 15 - Dendograma para análises de dados químicos dos solos nas diferentes áreas no ano de 2011.....	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Pontos de amostragem de solo.....	35
Quadro 2 - Caracterização da Malha I.....	38
Quadro 3 - Caracterização da Malha II.....	39
Quadro 4 - Caracterização da Malha IV.....	41
Quadro 5 - Caracterização da Malha VII.....	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1	Importância da mineração.....	14
2.2	Impactos ambientais associados a mineração de carvão a céu aberto 16	
2.3	Impactos nas propriedades do solo.....	18
2.4	Legislação ambiental que rege a mineração.....	20
2.5	Recuperação de áreas mineradas e a gestão ambiental.....	25
3	OBJETIVOS.....	31
3.1	Objetivo geral.....	31
3.2	Objetivos específicos.....	31
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	32
4.1	Descrição da empresa.....	32
4.2	Identificação e caracterização das áreas estudadas em consonância com o método de recuperação empregado.....	34
4.3	Análises químicas dos solos.....	34
4.4	Análises estatísticas.....	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
5.1	Caracterização das áreas exploradas pela empresa.....	38
5.2	Avaliação dos métodos de recuperação de áreas mineradas.....	44
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
	APÊNDICES.....	63
	ANEXO.....	71

1 INTRODUÇÃO

A mineração é reconhecida como atividade econômica fundamental para o mundo moderno (SANCHÉZ, 2010), e no Brasil, conforme descrição de Barreto (2001), teve sua visão estratégica voltada para o desenvolvimento nacional, baseadas em políticas e legislações destinadas ao fomento e ao incentivo da exploração mineral.

A dimensão ambiental foi sendo incorporada sob uma perspectiva fragmentada, voltadas à proteção da saúde humana, como as condições do ambiente de trabalho e o controle de água potável.

Essa negligência inicial por parte das políticas e legislações nas questões de cunho ambiental acarretou à mineração, uma imagem de atividade altamente nociva ao meio ambiente. A atividade carbonífera desenvolvida no passado promoveu significativos impactos ao meio ambiente, minimizando as possibilidades de sua auto-regeneração (POLZ, 2008).

Mais adiante, a lei abrangeu uma visão holística do meio ambiente, preocupada com a poluição ambiental e com o desenvolvimento sustentável, objetivando equacionar desenvolvimento econômico e social com preservação do ecossistema (BARRETO, 2001).

A Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988) conferiu um tratamento especial à atividade de mineração no que tange ao seu relacionamento com o meio ambiente, aliada à sua importância socioeconômica (FERREIRA, 2007). De 1989 até os dias de hoje, acredita-se que houve muita evolução em termos de programas de recuperação de áreas degradadas, principalmente em grandes empresas de mineração (BARRETO, 2001).

Diante deste panorama, o estudo focou uma mineradora de carvão localizada na cidade de Candiota, atuante nesta atividade desde a década de 60, quando a legislação não tratava claramente sobre a responsabilização sobre os danos ambientais decorrentes da atividade.

No decorrer dos anos a Companhia Riograndense de Mineração – CRM buscou se adequar, recuperando as áreas degradadas, conforme exigência e aprovação do órgão ambiental.

Dentre os danos ambientais causados pela mineração a céu aberto, está a

drástica alteração das propriedades do solo, que é o componente vital de processos e ciclos ecológicos e um meio insubstituível para práticas econômicas como agricultura, silvicultura e pecuária.

A recuperação da área degradada pode ser definida como o conjunto de ações necessárias para que a área volte a estar apta para algum uso produtivo, em condições de equilíbrio ambiental (BRUM, 2000).

Este trabalho está estruturado na forma de um estudo de caso, elaborado, principalmente, a partir de dados secundários fornecidos pela empresa alvo.

Com este estudo será possível contribuir para um melhor entendimento dos fatores que encaminharam as áreas às condições que se encontram atualmente, demonstrando a importância de incorporar o planejamento e a gestão ambiental nos processos de recuperação de áreas mineradas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Importância da mineração

Para Nunes (2002), a mineração pode ser considerada, de forma genérica, a atividade de extração de minerais que possuam valor econômico. O autor ainda afirma que essa atividade foi vital para o desenvolvimento da humanidade e ainda não perdeu sua importância, visto que a produção depende totalmente da utilização de recursos minerais.

Da mesma forma, Sánchez (2010), conclui que esta atividade econômica é fundamental para o mundo moderno.

Segundo Barreto (2001), a mineração no Brasil remonta à época colonial, no século XVII, ocasionado pela descoberta do ouro, onde o país chegou a ser o primeiro grande produtor deste minério no mundo, caracterizando o primeiro ciclo mineral no Brasil. O segundo ciclo mineral começou a delinear-se após o fim da Segunda Guerra Mundial, onde, ainda conforme Barreto (2001), dentre as descobertas mais marcantes no século XX, estava o carvão mineral no Rio Grande do Sul.

O carvão mineral pode ser definido como um combustível fóssil sólido formado a partir da matéria orgânica de vegetais depositados em bacias sedimentares que por ação de pressão e temperatura, em ambiente sem contato com o ar. Decorrente de soterramento e atividade orogênica, os restos vegetais ao longo do tempo geológico se solidificam, perdem oxigênio e hidrogênio e se enriquecem em carbono, em um processo denominado carbonificação (DNPM, 2001).

É conhecido por ser o principal combustível para gerar energia no planeta, onde, cerca de 40% da geração de energia elétrica no mundo é feita com carvão (SANTUCCI, 2009), no entanto, conforme dados do Ministério de Minas e Energia – MME, no Brasil responde por cerca de 1,5% da matriz energética do país (MME, 2012).

Publicado anualmente pelo Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, o último sumário mineral traz que, no ranking de produção comercializada deste mineral fóssil no país, o estado do Rio Grande do Sul permanece como maior produtor, com 65% da produção total (DNPM, 2012).

O minério existente em Candiota-RS é pobre do ponto de vista energético e não admite beneficiamento nem transporte, em função do elevado teor de impurezas. Isto faz com que sua utilização na usina seja feita sem beneficiamento e bastante próximo à boca da mina (HOLANDA NETO, 2011).

Um fato importante que corrobora a importância desta mineração, é que, quando foram amplamente veiculadas as notícias sobre a liberação para a participação das usinas movidas a carvão nos leilões de energia do Governo Federal, haja vista que, segundo Colussi (2013), a medida irá beneficiar especialmente o estado do Rio Grande do Sul, que tem as maiores jazidas do país e grandes empreendimentos projetados, a decisão trouxe alento a investidores do setor energético.

Segundo Holanda Neto (2011), somente na jazida Candiota encontram-se 38% das reservas de todo o carvão do Brasil.

Neste contexto, nos próximos anos será necessário aumentar a produção de carvão para abastecer estes futuros empreendimentos, abrindo novos postos de trabalho também nas mineradoras já instaladas, movimentando a economia regional.

Em uma análise sobre a prática da mineração e a sua concepção perante a sociedade, Barreto (2001) afirma que:

“Existe, de uma maneira geral, a concepção de que o minerador só faz barulho, buraco e poeira, e extrai a riqueza deixando a pobreza. É complexa a compreensão dos benefícios da mineração, pois a percepção imediata da sociedade, em relação à atividade mineral, é basicamente dos seus aspectos negativos, causada, talvez, por práticas inadequadas ou mesmo predatórias de algumas minerações e pela forte repercussão de acidentes ambientais e de trabalho. Existe, ainda, uma certa dificuldade da sociedade em diferenciar as práticas corretas das inadequadas” (BARRETO, 2001, p. 177).

A postura do setor mineral vem mudando, em face ao cumprimento da legislação ambiental vigente e neste sentido, conforme mencionado por Brum (2000), a mineração tem o objetivo de melhorar sua imagem e desenvolver uma consciência de proteção ambiental nas últimas décadas, promovendo sistemas mais limpos e recuperando situações e passivos ambientais, postura, esta, evidenciada pelos numerosos trabalhos em congressos abordando o tema.

Para Ferreira (2007), o exercício da mineração, necessariamente, intervém na área de exploração onde se localiza o minério, o que provoca inúmeras transformações ao meio ambiente e caberá, justamente, aos dispositivos legais, regular a forma pela qual a atividade deverá se desenvolver, de modo a mitigar e

compensar as transformações ambientais produzidas, para que os benefícios socioeconômicos da atividade sejam alcançados com respeito ao meio ambiente.

No mesmo sentido, Oliveira Jr. (1992 apud Brum 2000), expõe que minerar é assegurar, economicamente, com mínima perturbação ambiental, justa remuneração e segurança, a máxima observância do princípio da conservação mineral a serviço do social.

2.2 Impactos ambientais associados a mineração de carvão a céu aberto

De acordo com Williams et al. (1990), a degradação de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas, e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico for alterado. A degradação ambiental ocorre quando há perda de adaptação às características físicas, químicas e biológicas inviabilizando o desenvolvimento sócio-econômico, e é inerente à atividade de mineração.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, em sua norma 13030 (ABNT, 1999), para fins elaboração de projetos de recuperação de áreas mineradas, define áreas degradadas como sendo: “áreas com diversos graus de alteração dos fatores bióticos e abióticos, causados pelas atividades de mineração”.

A mineração a céu aberto causa destruição completa da área da jazida e das áreas usadas para deposição de estéreis e bacias de rejeitos. Impactos estes, que provocam alterações sobre a água, o ar, o solo, o subsolo e a paisagem como um todo, desequilibrando a dinâmica dos processos ambientais, que serão sentidos por toda população, em virtude de as terras alteradas estarem modificadas para sempre (DIAS e GRIFFITH, 1998)

Ainda, segundo Dias e Assis (2011), reforçando e complementando as ideias anteriores, a mineração a céu aberto é uma atividade que gera impacto ambiental de grande intensidade, mas normalmente descrita como de extensão restrita, o que em função de características da geologia, relevo, hidrologia e clima local, o impacto dessa atividade pode se estender além da área efetiva de exploração.

A partir desta concepção, os impactos ambientais causados pela mineração, podem ser tanto intensos, quanto extensos.

Os autores Dias e Grifitti (1998) e Regensburger (2004), afirmam que em relação à intensidade, os impactos da mineração dependem de diversos fatores, e

destacam a topografia original, o volume total de material extraído, o método de lavra, a característica do material extraído e a relação quantidade de minério-rejeito-estéril. Já quanto à extensão, destacam-se a erosão de material superficial pela chuva, que acaba poluindo recursos hídricos, refletindo em toda a bacia hidrográfica onde a mina se insere.

Por este motivo, os prejuízos não são somente dos proprietários das áreas, pois os impactos atingem o ambiente circunvizinho.

Partindo para a mineração de carvão a céu aberto, Campos (2010), afirma que o principal problema associado aos estereis desta mineração, se deve ao fato de que, normalmente, com o carvão mineral ocorrem também depósitos de pirita e outros minerais sulfetados, e que esses minerais, quando expostos ao oxigênio e umidade, podem ser facilmente oxidados, gerando, entre outros produtos, ácido sulfúrico, e este é responsável pela chamada Drenagem Ácida de Mina (DAM).

Segundo Silva (2007, p. 4), “nas regiões carboníferas de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, a poluição hídrica causada pela drenagem ácida é provavelmente o impacto mais significativo das operações de mineração e beneficiamento do carvão mineral”.

A infiltração da água da chuva sobre os rejeitos gerados nas atividades de lavra e beneficiamento, podem alcançar 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 aquática (IBAMA, 2006 apud SILVA, 2007), o que caracteriza a extensão dos impactos.

Quanto ao momento de ocorrência, Franco (2011), afirma que os impactos ambientais da mineração de carvão ocorrem em dois momentos distintos. O primeiro é decorrente do rompimento das relações do ecossistema provocado pela remoção das camadas do carvão, causando alteração dos perfis topográficos, perdas da estrutura original do solo e da microfauna, já o segundo, decorre das operações de preenchimento das valas abertas, gerando alterações topográficas, aumento da densidade do solo, modificação da espessura das camadas, diminuição da proteção vegetal e suscetibilidade ao efeito do impacto das gotas da chuva sob o material.

As áreas impactadas que não passam por processo de recuperação se tornam passivo ambiental, que segundo Jacometo (2001 apud Barreto, 2001, p. 80), é definido como “o conjunto de dívidas reais ou potenciais que o homem, a empresa

ou a propriedade possui com relação à natureza por estar em desconformidade com a legislação ou procedimentos ambientais propostos”.

A mineração de carvão a céu aberto, geralmente abrange grande área, e para que os impactos não sejam irreversíveis, se faz necessário estabelecer um sistema rígido de recuperação da área depois de minerada (SILVA, 2007).

Da mesma forma, para Dias e Assis (2011), as ações de controle e de recuperação ambiental são fundamentais no sentido de minimizar esses impactos, decorrentes da atividade.

2.3 Impactos nas propriedades do solo

O solo é o componente fundamental dos ecossistemas terrestres e em um conceito amplamente conhecido na ciência do solo, é considerado o corpo natural da superfície terrestre, constituído de materiais minerais e orgânicos que resultam das interações dos fatores de formação (clima, organismos vivos, material de origem e relevo) através do tempo, contendo matéria viva e em parte modificada pela ação humana, capaz de sustentar plantas, de reter água, de armazenar e transformar resíduos e de suportar edificações (BECK et al., 2000).

Bissani et al. (2004) afirmam que na formação do solo, a partir de diferentes materiais de origem e em várias condições climáticas ocorrem diversos processos químicos, físicos e biológicos e que as combinações de alguns desses processos, sob variadas influências ambientais dão origem a solos com características químicas e físicas distintas, proporcionando diferentes condições para as plantas se desenvolverem.

Pinto et al. (2010) expõem outro conceito de solo, que posteriormente relacionam com a termodinâmica dos solos construídos, onde:

“o solo é um sistema de múltiplas fases, consistindo de numerosas fases sólidas (minerais e húmus), uma fase líquida (água ou solução do solo) e uma fase gasosa (ar do solo), onde, sobreposta a essa matriz existe uma fase “viva” (bactérias, fungos, protozoários, nematóides, etc.) organismos que estão continuamente degradando resíduos orgânicos e sintetizando muitos dos produtos nos seus próprios tecidos e liberando outros” (PINTO et al, 2010, p. 239).

Até aqui foram apresentados conceitos de solos pedogenéticos, cujos perfis são

formados ao longo de milhões de anos.

Uma série de atividades antrópicas modificam e degradam as propriedades (químicas, físicas e microbiológicas) dos solos. O grau de interferência antrópica dos solos que sofreram mineração a céu aberto, caracteriza os solos construídos, ou seja, com o perfil determinado pela ação do homem, onde a transformação exercida sobre o perfil do solo afeta o desempenho de suas funções básicas no ambiente (PINTO **et al.**, 2011).

“Devido aos processos de mineração e “construção” do solo, os solos construídos normalmente apresentam mistura de horizontes, fazendo com que os mesmos apresentem características muito diferentes daquelas anteriores à mineração” (LEAL, 2008, p. 2).

Em estudo sobre a gênese de solos construídos, Quiñones (2004) aponta que diferenças químicas entre os perfis de solos de diferentes idades originam-se, principalmente, da utilização de materiais geológicos e processos de construção distintos e não pelos processos pedogênicos.

As propriedades químicas do solo estão associadas à fertilidade e:

“Um solo fértil tem a capacidade de suprir às plantas nutrientes essenciais nas quantidades e proporções adequadas para seu desenvolvimento, e está condicionada também a um conjunto de fatores como o clima, a planta, e outras propriedades do solo, que não a química” (BISSANI **et al.** 2004, p.9).

Bissani (2004) ainda cita um exemplo, de que solos com condições desfavoráveis ao crescimento das raízes podem ser pouco produtivos, mesmo sendo férteis.

Segundo Franco (2010), o processo de lavra provocará grandes degradações químicas, físicas e biológicas nos solos de áreas mineradas e estas alterações afetam a estrutura do solo e a microbiota, com perda da vegetação.

Durante as práticas de extração do carvão e de recomposição da paisagem, há freqüentes misturas de horizontes com rejeitos de carvão somados à compactação causada pelo empilhamento das camadas de solo e pelo uso de máquinas e equipamentos pesados (HOLANDA NETO, 2011).

Dias e Assis (2011), apresentam como consequência de camadas compactadas ou adensadas no solo, a redução da permeabilidade, maior susceptibilidade à

erosão, redução na aeração, menor disponibilidade de água, menor taxa de difusão de nutrientes, menor crescimento de sistema radicular e conseqüentemente da parte aérea da vegetação.

Ocorre, também, a exposição de material piritoso às condições ambientais, cabendo dizer que as principais conseqüências desse processo é, em termos gerais, a degradação dos solos e a drenagem ácida de mina – DAM (FRANCO, 2010).

A DAM é comumente associada à qualidade dos corpos hídricos mas, também, provoca alterações químicas no solo. Após a reconstrução, a acidez presente pode ser atribuída à oxidação da pirita em seu processo de intemperização (CAMPOS, 2010).

Os estudos de Franco (2010) e Holanda Neto (2011), respectivamente sobre a erosão em entressulcos e os atributos microbiológicos dos solos construídos, em áreas da CRM, não fazem menção detalhada às alterações de ordem química nesses solos. Cabe enaltecer que o órgão ambiental fiscalizador da empresa exige, para o plano de monitoramento de solos, apenas as análises químicas, periódicas, das áreas degradadas pela mineração.

Segundo Campos (2010), a acidez afeta o crescimento vegetal devido à presença de metais pesados como alumínio, ferro, manganês, fixação de fósforo, altas concentrações de sais solúveis e redução da população edáfica de bactérias fixadoras de nitrogênio.

Conforme o exposto, e sabendo que o solo é um corpo natural organizado, onde suas propriedades interagem e que a alteração de uma única afeta as demais, que nos solos construídos essas alterações são drásticas para todas as propriedades, fica evidente a necessidade de haver um sistema rígido de recuperação do solo, visando dar condições de estabilidade e resiliência a este componente fundamental do ecossistema.

2.4 Legislação ambiental que rege a mineração

Compete privativamente à União legislar sobre jazidas, minas, outros recursos minerais e metalurgia (BRASIL, 1998). Entretanto, União, Estados e o Distrito Federal têm competência concorrente para legislar sobre meio ambiente e controle da poluição. Quanto a isso, Machado (2009) argumenta que há mais inter-relação do que exclusão entre essas competências, pois as jazidas e minas não existem

isoladamente e sua exploração tem efeitos no meio ambiente.

Deste modo, Ferreira (2007) afirma que, o fato da jazida encontrar-se inserida no meio ambiente e ligada aos demais elementos da natureza, gera a necessidade de intervenção nos fatores ambientais para que a exploração seja viabilizada, transformando a mineração em uma atividade econômica com interface direta com o meio ambiente.

A Carta Magna do Estado, em seu artigo 225 traz que:

“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL – 1988).

Analisando a estrutura do art. 225 da Constituição Federal, Derani (1997 p 256, apud. FERREIRA, 2007) descreve que pode se visualizar este artigo em três partes distintas: a primeira é a apresentação do direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado como um direito fundamental; a segunda, com a descrição do dever do Estado e da coletividade em defender e preservar o meio ambiente para as presentes e futuras gerações e; a terceira, com a prescrição de normas impositivas de conduta visando assegurar a efetividade da proteção ao meio ambiente.

Desta maneira, a proteção ambiental foi consagrada como princípio constitucional que orienta a atuação de toda e qualquer atividade econômica, exigindo uma nova postura do setor mineral, no sentido de conciliar seu modo de produção com a preservação do meio ambiente (FERREIRA, 2007).

Ainda no artigo 225 da Constituição Federal de 1988, em seu parágrafo 2º está descrito que: “aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei” (BRASIL, 1988).

A especificidade da mineração e a relevância de seus efeitos pós-operacionais justificam o tratamento dispensado pela Constituição a esta atividade econômica, sendo extremamente necessário acrescentar os contornos da sustentabilidade a este segmento (FERREIRA, 2007).

Todavia, segundo Barreto (2011), muitas áreas degradadas pela mineração que hoje podem apresentar riscos, antecedem esse dispositivo legal, caracterizando os passivos ambientais.

Segundo Alba (2010), a Constituição Federal estabeleceu as diretrizes políticas e jurídicas à atividade, todavia, não pormenorizou os atos necessários à administração da indústria mineral, transferindo essa tarefa às legislações infraconstitucionais.

As principais normas legais que disciplinam a atividade mineral são: Código de mineração; Decreto-Lei 227/67, alterado e complementado pelas leis 6.567/78, 7.805/89, 7.990/89, 8.001/90, 8.176/91, 9.314/96 e 9.827/99. Estas leis estabelecem os regimes para exploração e aproveitamento mineral, como: Autorização de Pesquisa, Concessão de Lavra, Licenciamento Mineral, Permissão de Lavra Garimpeira, Regime de Monopólio, Regime de extração Mineral, e os chamados Regimes Especiais.

Os órgãos governamentais responsáveis por disciplinar a atividade são, principalmente o Ministério de Minas e Energia – MME e o Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, que segundo MACHADO (2009) é uma autarquia vinculada a este ministério e deve cumprir toda a legislação federal ambiental e, também, levar em conta as legislações do estado e do município onde a jazida ou mina estiver inserida.

Esses regimes do direito minerário são extensos e não serão contemplados, pois a pretensão maior é compatibilizar alguns aspectos do direito minerário com os aspectos relevantes da legislação ambiental que se aplicam a este setor.

Ferreira (2007) destacou, no direito mineral, os princípios básicos da dualidade imobiliária, ou seja, a separação entre propriedade do solo e propriedade mineral e o princípio do domínio público federal sobre os recursos minerais que, segundo o autor, são fatores que estruturam o regime jurídico da mineração em nosso país. Sendo assim, mencionou também o caráter da legislação aplicada à mineração ser marcada por um regime jurídico direcionado para a facilitação ao aproveitamento econômico das jazidas (grifo do autor).

Com relação a esse princípio, é possível associar a afirmação de Barreto (2001), que aponta que a visão estratégica voltada para o desenvolvimento nacional teve por base inicialmente, políticas e legislações destinadas apenas ao fomento e ao incentivo da exploração mineral.

Alba (2010) trouxe que as legislações ambientais infraconstitucionais que incidem sobre a mineração são: o Código Florestal (Lei 4.771/65); a lei que dispõe sobre o Estatuto da Terra (Lei 4.504/64); a lei que dispõe sobre a discriminação de regiões para execução obrigatória de planos de proteção ao solo e de combate à

erosão (Lei 6.225/75); a Política Nacional do Meio Ambiente - PNMA (Lei 6.225/81); o Estatuto do Índio (Lei 6.001/73); a lei que disciplina a ação civil pública de responsabilização por danos ao meio ambiente (Lei 7.347/85); o Decreto 97.632/89 que dispõe sobre a regulamentação do artigo 2º da PNMA, inciso VIII e trata da apresentação de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD; a lei que institui o Plano Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/98); a lei de Crimes Ambientais (Lei 9.605/ 98); a lei que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC (Lei 9.985/00) e o Decreto 4.340/02 que a regulamenta.

Alba (2010), enquadrou o princípio da **Recuperação da Área Degradada** como sendo um princípio do próprio direito mineral, estabelecidos por documentos mandatários de maior relevância, como a constituição do país (grifo nosso).

Ferreira (2007) referiu-se à imposição do dever de recuperar a área degradada, como uma contrapartida oferecida pelo empreendedor minerário, resultante da manifestação de um princípio do direito ambiental, o princípio do poluidor-pagador, que é de natureza econômica e cuja incorporação é observada em virtude de impor ao agente econômico a internalização das externalidades negativas da atividade.

O Decreto 97632/89 dispõe sobre a apresentação de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD, por empreendimentos destinados à exploração de recursos minerais para submissão e aprovação do órgão ambiental competente. (BRASIL, 1989)

Partindo para outro princípio relevante do direito ambiental, Nunes (2002), mencionando o conceito de desenvolvimento sustentável, afirma que é um princípio que rege o direito e a política ambiental nacional e internacional e que, em sua essência, é de natureza conservacionista, por visar conciliar a exploração econômica com a manutenção de um meio ambiente sadio.

Ainda, sobre o princípio do desenvolvimento sustentável, Machado (2009, p. 684) assinalou que nas operações minerárias é de aplicar-se “o principio da exploração sustentável, pois, se há recursos não renováveis, os minerais são os típicos, de sorte que devem ser utilizados de forma a evitar o perigo de seu esgotamento futuro (...)”.

Machado (2009) afirma que propor diretrizes para a orientação da política mineral é tarefa do DNPM, e que estas diretrizes devem ter vistas a evitar o impedimento ou a impossibilidade do uso dos recursos minerais pelas gerações futuras.

Outro princípio encontrado na literatura referente às interfaces entre direito

minerário e direito ambiental, é o princípio da precaução.

Foram definidos na Política Nacional do Meio Ambiente, Lei 6938/81, em seu artigo 9º, incisos III e IV, os instrumentos: a avaliação de impactos ambientais e o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras (BRASIL, 1981), respectivamente, onde estes estão relacionados com o princípio da precaução. Machado (2009) afirma, em relação a avaliação dos impactos ambientais, que esta se tornou incontestável quanto a obrigação de prevenir ou evitar o dano ambiental quando o mesmo pudesse ser detectado anteriormente.

A Constituição Federal de 1988, em seu parágrafo primeiro, inciso IV, exige, na forma da lei, para a instalação de obra ou atividade potencialmente poluidora, Estudo Prévio de Impacto Ambiental, à que se dará publicidade (BRASIL, 1988).

Como visto anteriormente, a Lei 6938/81, artigo 9º, inciso IV, condiciona o licenciamento ambiental como um instrumento da PNMA, no caso da mineração de carvão que se enquadra em atividade efetivamente poluidora, é exigido o Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental EIA/RIMA, para passar por avaliação do órgão ambiental competente.

Segundo Ferreira (2007), se não for aprovado o EIA/RIMA ou não constatada solução técnica apropriada para recuperar a área degradada, não será aprovada a licença prévia do empreendimento, e conseqüentemente, não será outorgado o título minerário pelo DNPM e MME, não sendo lícito o desempenho da mineração.

Por outro lado, caso o EIA/RIMA e o PRAD sejam aprovados, as três modalidades de licenças (prévia, instalação e operação) serão outorgadas.

Cabe enaltecer a outra parte integrante do inciso IV, artigo 9º da PNMA, que inclui a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras, em relação a este trecho, Machado (2009) afirma que isto indica que a administração pública poderá intervir com periodicidade com vistas a controlar a atividade licenciada.

Também para empreendimentos existentes, licenciados anteriormente ao Decreto 97632/89, incluiu se um prazo de 180 (cento e oitenta) dias, a partir da data de sua publicação, exigindo a apresentação de um PRAD ao órgão ambiental competente (BRASIL, 1989).

A CRM, mineradora que opera no estado do Rio Grande do Sul, tem como órgão ambiental fiscalizador, a Fundação Estadual de Proteção Ambiental – FEPAM, órgão executor da política ambiental do estado.

A resolução 085/2004 do Conselho Estadual de Meio Ambiente – CONSEMA,

órgão consultivo e deliberativo do estado, trata em seu anexo VI sobre a expedição de licença de instalação para empreendimentos mineiros que necessitam de EIA/RIMA, onde um dos documentos necessários para o fornecimento desta licença é o Plano de Controle Ambiental – PCA, cuja expedição da licença está condicionada a sua aprovação pela FEPAM (CONSEMA, 2004).

As áreas mineradas pela CRM, anteriormente às atuais leis ambientais (Malhas I e II), não passaram, na época, por nenhum licenciamento ambiental, as atuais licenças ambientais prevêm apenas os trabalhos de recuperação ambiental. Outra área, a malha IV, já possuía decreto de lavra expedido pelo DNPM no advento das leis ambientais e teve sua licença expedida posteriormente através de um Plano de Controle Ambiental – PCA. A Malha VII, mais recente, teve EIA/RIMA realizado e aprovado, além de seu respectivo PCA (OSÓRIO, 2012).

A exigência de apresentação do PCA ao órgão ambiental competente foi estabelecida, ainda, pela Resolução CONAMA nº 009/90 para a concessão da Licença de Instalação -LI de atividade de extração mineral de todas as classes (CONAMA, 2009).

Em síntese, o PCA é um documento que contempla os itens elencados nos Termos de Referência para estudos ambientais fornecidos pelo órgão ambiental e deverá conter as informações obtidas a partir de levantamentos e estudos, visando o conhecimento e a avaliação dos efeitos ambientais resultantes da instalação e operação das atividades de extração mineral, bem como, a proposição de medidas mitigadoras e compensatórias (CONAMA, 2009).

A Lei de crimes ambientais estabelece, segundo Barreto (2001), que o não cumprimento destas exigências legais, sejam para pessoas físicas ou jurídicas, sujeitará os infratores às sanções penais e administrativas previstas nesta lei, independente da obrigação de reparar os danos causados, para condutas e atividades que sejam consideradas lesivas ao meio ambiente.

Conforme o exposto, a mineração está condicionada a posicionar-se ao atendimento de um amplo arcabouço legal, hoje já consolidado, e que norteia suas atividades para ser menos impactante possível.

2.5 Recuperação de áreas mineradas e a gestão ambiental

A recuperação de determinada área degradada por um empreendimento, neste caso a mineração, pode ser definida como o conjunto de ações necessárias para que a área volte a estar apta para algum uso produtivo em condições de equilíbrio ambiental (BRUM, 2000).

Como mencionado anteriormente, a degradação das áreas é inerente à atividade de mineração e a legislação obriga o empreendedor do setor mineral a recuperar o sítio degradado, através de um plano preestabelecido.

A Norma 13.030, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, fixa as diretrizes para elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas (PRAD) pelas atividades de mineração, visando a obtenção de subsídios técnicos que possibilitem a manutenção e/ou melhoria da qualidade ambiental, independente da fase de instalação do projeto. (ABNT, 1999)

Dias e Assis (2011), em seu artigo sobre restauração ecológica em áreas mineradas, apresentam as diferenças entre os conceitos de restauração e recuperação de áreas degradadas pela mineração e afirmam que estes estão relacionados com a abordagem adotada e com o produto final almejado.

O termo recuperação é amplamente utilizado, porém, na literatura pesquisada, encontraram-se vários desdobramentos destes conceitos e, para continuidade deste estudo optou-se por expor e, a partir disto, utilizar os conceitos da norma específica, que dá as diretrizes para tais finalidades, onde:

“**reabilitação**: Conjunto de procedimentos através dos quais se propicia o retorno da função produtiva da área ou dos processos naturais, visando adequação ao uso futuro; **recuperação**: Conjunto de procedimentos através dos quais é feita a recomposição da área degradada para o estabelecimento da função original do ecossistema; **restauração**: Conjunto de procedimentos através dos quais é feita a reposição das exatas condições ecológicas da área degradada pela mineração, de acordo com o planejamento estabelecido” (ABNT, NORMA 13030, grifo do autor).

Como o conceito de abandono não foi exposto anteriormente, cabe a afirmação de Bitar (1997, p. 31) onde “negligenciar ou abandonar a área pode levar tanto à recuperação espontânea do ambiente quanto à continuidade e intensificação do processo de degradação”.

Os fatores naturais, por si só, raramente são suficientes para permitir o rápido desenvolvimento do ecossistema e devem ser potencializados pelo aporte humano.

(CITADINI-ZANETTE, 2008)

Para Willians et al. (1990) recuperação significa que o sítio degradado voltará a uma forma e utilização de acordo com um plano preestabelecido para uso do solo. Implica que uma condição estável será obtida em conformidade com os valores ambientais estéticos e sociais da circunvizinhança.

Segundo Dias e Griffith (1998), restauração pode ser considerado o termo mais impróprio, pois faz referência ao retorno do estado original da área, antes da perturbação, englobando os aspectos relacionados com topografia, vegetação, fauna, solo, hidrologia, segundo os autores, em áreas mineradas é praticamente inatingível.

Neste contexto, apesar de o objetivo pretendido da empresa em estudo compreender um uso econômico (reabilitação), através do plano preestabelecido, este uso não conflita com os valores sociais, estéticos e ambientais da vizinhança (recuperação), pois a pecuária é cultural na região e uma aptidão do bioma onde a mina está inserida, pois segundo Citadini-Zanete (2008) as atividades de recuperação são sustentáveis quando compatibilizadas com os padrões locais de uso dos recursos naturais, estilo de vida locais, conhecimento e habilidades locais, bem como responder às demandas econômicas locais.

Portanto, o processo realizado na CRM será tratado como recuperação.

Para Bitar (1997, p. 32), "os procedimentos e atividades que envolvem a recuperação de áreas degradadas por mineração têm variado de acordo com cada caso ou experiência realizada". O autor ainda afirma que esses procedimentos, geralmente, partem da identificação e avaliação preliminar de uma área degradada e que compreendem o planejamento da recuperação, a execução do plano de recuperação elaborado e a realização do monitoramento e manutenção das medidas implementadas.

Segundo Willians et al. (1990), as atividades básicas ao planejamento da recuperação incluem: definir os objetivos, estabelecer o uso futuro da área e elaboração do plano de recuperação.

Sobre a gestão e planejamento do processo de recuperação de áreas degradadas (RAD), Sanchez (2010), afirma que **conhecimento** (saberes formais, informais, empíricos, científicos, técnicas, procedimentos, informações e pesquisas que fundamentem a RAD), **organização** (competência gerencial), **recursos humanos** (pessoal treinado e qualificado para operacionalizar as tarefas) e

recursos financeiros (dispor de montante suficiente e nos momentos apropriados) são os quatro componentes básicos para o sucesso de um programa de RAD (grifo nosso).

As técnicas utilizadas para assegurar o uso adequado do solo são numerosas, mas, geralmente, todas compreendem o desmatamento, remoção e estocagem do capeamento do solo, remodelagem final da área e revegetação (BRUM, 2000).

Bitar (1997), mencionando estudos desenvolvidos em vários países, afirmou que estes puderam revelar que os custos das medidas de recuperação são sensivelmente reduzidos quando, desde o início da lavra, estabelece-se um projeto de recuperação da área, em que alguns aspectos operacionais influentes podem ser ressaltados: remoção e armazenamento da cobertura vegetal e da camada superficial do solo; aterros; material de empréstimo; contenção de taludes, aplainamentos e acabamento final das frentes de lavra; reposição da camada de solo fértil e revegetação.

O método de mineração e de recuperação da área minerada que darão origem aos solos construídos na mina de Candiota podem ser ilustrados através da Figura 1 e são feitos a céu aberto com cortes sucessivos em sistemas de vaivém obedecendo a procedimentos técnicos, que em linhas gerais, de acordo com Santos (2006) apud Holanda Neto (2011), são os seguintes:

“a) retirada do solo superficial (horizonte A); b) retirada dos horizontes B e C (constituído de argila); c) perfuração e detonação do arenito; d) descobertura do carvão através de uma walking-drag-line; e) perfuração, detonação e extração do carvão do banco superior (BS) e do banco inferior (BI), com separação do argilito intermediário; f) recomposição topográfica, constituída pelos materiais de cobertura, com ou sem o aproveitamento de vazios para deposição de cinzas; g) deposição da “terra vegetal” sobre a área recomposta topograficamente; h) estabelecimento de práticas agronômicas de preparo, conservação e correção do solo; e i) plantio de espécies vegetais” (SANTOS, 2006 apud HOLANDA NETO, 2011, p. 21).

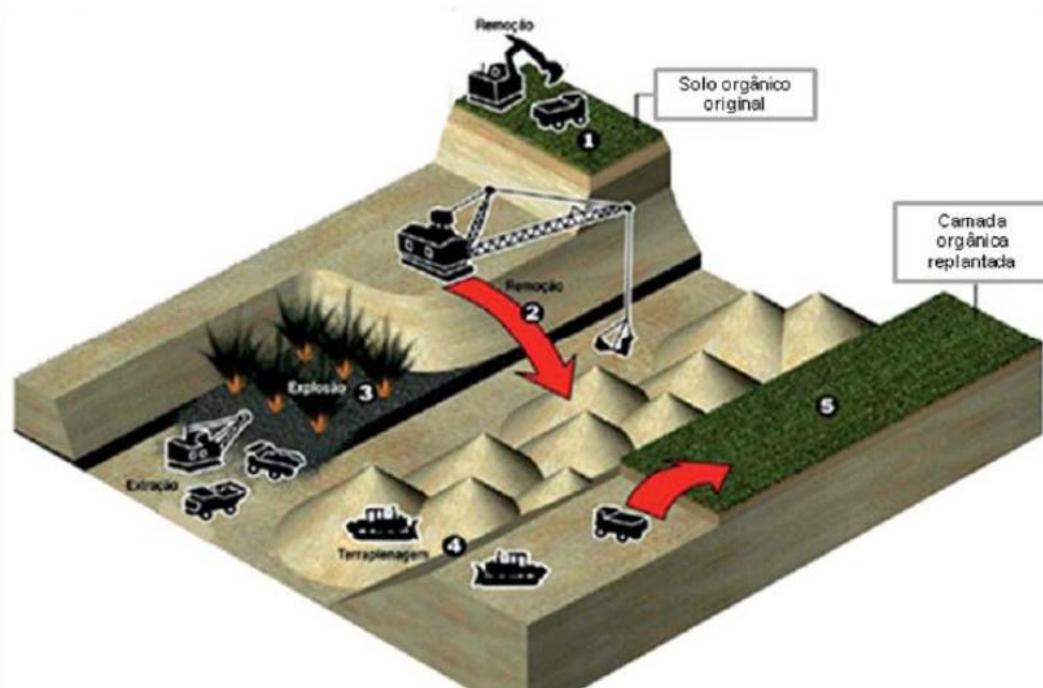


Figura 1 - Método de mineração e recuperação da área minerada na CRM.
 Fonte: HOLANDA NETO (2011), adaptado de SANTUCCI.

O detalhamento do método de reabilitação/recuperação das áreas mineradas pela CRM será contemplado na metodologia deste trabalho, precisamente no ANEXO I.

O armazenamento e retorno do solo orgânico são fundamentais no processo de revegetação, seu uso possibilita maior disponibilidade de nutrientes essenciais, melhoria das características físicas do substrato, além de conter a “memória” da vegetação nativa que poderá proporcionar meios de que ocorra a sucessão natural (DIAS e ASSIS, 2011).

Segundo as palavras de Bitar (1997), a temática de recuperação de áreas degradadas tem envolvido abordagens interdisciplinares, reunindo e integrando o conhecimento de diferentes campos do conhecimento humano (administração, agronomia, biologia, economia, engenharia, hidrologia, geografia, entre outros). A gestão ambiental, como formação, possui esse caráter interdisciplinar.

Em pesquisa realizada pelo Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2012), apontou que a gestão ambiental na indústria da mineração estava dando seus primeiros passos, na década de 90. Onde, aproximadamente a metade dos respondentes da referida pesquisa, declarou possuir políticas explicitando seus

compromissos com temas ambientais, estrutura organizacional dedicada, procedimentos para avaliar riscos, para controlar os impactos e o monitoramento de alguns indicadores e medidas para identificar e remediar passivos ambientais naquela época. Já no ano de 2011, 90% dos respondentes declarou possuir todos esses instrumentos de gestão (IBRAM, 2012).

Procurou-se incluir nesta revisão de literatura, pois como foi colocado, o tema proposto tem afinidades com a Gestão Ambiental, abordando os vieses econômico e social, as implicações ambientais e legais da atividade, tendo a recuperação da área como principal meio de mitigar os aspectos negativos.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Verificar a metodologia utilizada pela CRM para recuperação das áreas degradadas pela mineração de carvão a céu aberto, desde o início de suas atividades até os dias atuais, caracterizando sua evolução e atrelando a legislação ambiental em vigor.

3.2 Objetivos específicos

- a) Identificar e caracterizar as áreas exploradas pela CRM na Mina de Candiota – RS para fornecer subsídios à interpretação das análises químicas do solo;
- b) Avaliar os diferentes métodos de recuperação de áreas mineradas, examinando em conjunto, dados químicos dos solos construídos versus solo sem interferências das atividades de mineração;

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição da empresa

A Companhia Riograndense de Mineração - CRM está registrada no Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM - Processo nº. 802.767/70, com sede em Porto Alegre – RS e possui Unidades Mineiras em operação nos Municípios de Minas do Leão e Candiota, tendo como objeto, basicamente, a pesquisa, a lavra, o beneficiamento e a comercialização de carvão mineral e outros bens minerais (CRM, 2013).

Este estudo foi realizado na Mina de Candiota, que está inserida na maior jazida de carvão mineral do Brasil, e a CRM atua desde 1961 nesta atividade e possui direitos minerários sobre a jazida, com reservas lavráveis por muitas décadas (Figura 2).



Figura 2 - Imagem aérea da área de mineração em Candiota – RS.
Fonte: Acervo CRM.

O carvão existente em Candiota é classificado como sub-betuminoso,

aproveitável na geração termoelétrica de energia, pela Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica (Eletrobrás CGTEE).

Á área está localizada na região da Campanha do estado do Rio Grande do Sul, situada a 400 km da capital, Porto Alegre (Figura 3). As coordenadas são 31° 55' para latitude sul e 53° 67' para longitude oeste e a altitude é de 230m (FRANCO, 2010).

A região apresenta um clima subtropical úmido, tipo Cfa. A temperatura média anual é de 17,2°C, sendo a média do mês mais quente 24,2°C em fevereiro e a média do mês mais frio 12,2°C em julho (HOLANDA NETO, 2011).



Figura 3 - Localização da cidade de Candiota.

Fonte:Wikipédia

(https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:RioGrandedoSul_Municip_Candiota.svg)

4.2 Identificação e caracterização das áreas estudadas em consonância com o método de recuperação empregado

Para identificação das áreas, em uma nomenclatura amplamente utilizada pelos membros da empresa, denomina-se e delimita-se, também neste trabalho, as Malhas. Desde o início das atividades, foram mineradas quatro áreas: Malha I, Malha II, Malha IV e Malha VII, na respectiva ordem cronológica. O recurso utilizado é o mapa de vegetação, elaborado pelo departamento de tecnologia da CRM para execução deste estudo (ANEXO II).

A caracterização das áreas e do método de recuperação empregado, se dá através da pesquisa a documentos e relatórios internos da empresa e dos Planos de controle Ambiental (PCA) das quatro áreas, que foram cedidos pelo Departamento de Meio Ambiente da empresa, com a autorização para utilização neste estudo de caso.

Durante o período de coleta de dados, foram realizados registros fotográficos nos pontos de amostragem de solos, para fornecer um apanhado geral das condições da vegetação, por estar está vinculada à qualidade do solo.

4.3 Análises químicas dos solos

Estas análises partem de dados secundários, ou seja, cedidos pela CRM para realização deste estudo e obtidos pela empresa por meio de contratação de laboratório especializado, seguindo a metodologia da Rede Oficial de Laboratório de Análises de Solo (ROLAS), nos anos de 2008, 2009, 2010, e 2011. Estes laudos são o meio pelo qual se realiza o monitoramento dos solos, previstos nas licenças ambientais da empresa e devem ser periodicamente submetidos ao órgão ambiental competente, neste caso, a FEPAM.

Os pontos de amostragem estão locados na planta baixa do empreendimento (Anexo II) e no campo, onde existe marcos fixos identificados para a realização da amostragem de solo nos seus entornos, com as devidas características, descritas no Quadro 1.

Quadro 1 - Pontos de amostragem de solo

Localização	Área	Características das glebas
Malha I	A	Seleção de um ponto mais representativo da área, cujo nivelamento topográfico foi realizado há aproximadamente 10 anos (dados atuais).
Malha II	B	Seleção de um ponto em área bastante degradada, cujo nivelamento topográfico foi realizado há aproximadamente 20 anos (dados atuais).
	C	Seleção de um ponto na primeira área recuperada pela empresa há aproximadamente 25 anos (dados atuais).
Malha IV	D	Seleção de um ponto em gleba que estava em processo de recuperação há dois anos (no ano de 2008), localizada no setor C
	E	Seleção de um ponto em gleba que estava em processo de recuperação há cinco anos (ano de 2008), localizada no setor B
	F	Seleção de um ponto em gleba que estava em processo de recuperação há dez anos (ano de 2008), localizada no setor A
	G	Seleção de um ponto branco, em gleba não explorada, sendo o solo típico da região, onde não houve contaminação pela deposição de material minerado, bem como a influência do escoamento superficial das águas pluviais oriundas de locais adjacentes contaminados.
Malha VII	H	Seleção de um ponto em gleba que estava em processo de recuperação há cinco anos (no ano de 2008).

Fonte: adaptado de documento interno CRM.

Os pontos de amostragem permaneceram os mesmos, logicamente, modificando o tempo que estas áreas estão em processo de recuperação, pois estas características foram escolhidas em 2008.

O conjunto de dados cedidos ao estudo contém análises do solo em oito áreas, nos anos de 2008, 2009, 2010 e 2011, onde foram computados valores dos

parâmetros, para as camadas de 0 cm a 5 cm e de 5 cm a 15 cm de solo coletado.

4.4 Análises estatísticas

Formaram-se, então, quatro matrizes de dados, para cada ano, com duas camadas para cada uma das oito áreas, perfazendo dezesseis objetos (apêndices I ao VIII).

Os parâmetros considerados mais representativos para o estudo foram profundidade, percentual de argila, pH em água, índice SMP, fósforo, potássio, matéria orgânica, alumínio, cálcio, magnésio, alumínio + hidrogênio, Capacidade de Troca de Cátions, enxofre e manganês para as duas profundidades (camada de 0cm a 5cm representada pelo número 1 e camada de 5cm a 15 cm representada pelo número 2, das oito áreas amostradas: A1 e A2, B1 e B2, C1 e C2, D1 e D2, E1 e E2, F1 e F2, G1 e G2 e H1 e H2.

Verificar as semelhanças entre esses objetos (áreas amostradas), que foram submetidos a três diferentes métodos de recuperação: inversão de horizontes (Método Precário - MP); espalhamento de solo orgânico sobre os estéreis aplainados (Método Intermediário – MI) e; espalhamento de solo orgânico sobre horizonte B reconstruído com argilitos ou arenitos (Método Atual - MA), e com tempo em processo de recuperação, também, diferentes, foi possibilitada através de análise estatística multivariada de agrupamentos (cluster analysis).

A caracterização das áreas estudadas (objetos) fornece subsídios teóricos para a análise, a tipologia dos objetos é definida por Hair Jr et al. (2004) como uma classificação conceitual baseada em uma ou mais características, que agrega observações reais criando uma taxonomia.

Devem-se utilizar vários métodos, comparando os resultados, para que a análise dos dados seja realizada pela técnica mais adequada (VICINI, 2005). Foram, então, realizadas essas comparações entre os métodos de agrupamentos: grupos pareados, ligação simples, método de Ward, todos realizados no software PAST (HAMMER e HARPER, 2004).

Segundo Vicini (2005, P. 17) “o maior coeficiente cofenético possui a capacidade de evidenciar melhor a estrutura dos dados, isto é, a existência de grupos”. O método que apresentou maior correlação cofenética para todos os anos amostrados

foi o Paired Groups ou grupos pareados.

Como o conjunto de dados contém variáveis medidas em diferentes unidades, e a medida de dissimilaridade escolhida foi a distância euclidiana (quanto maior, mais dissimilares são os objetos), que requer padronização dos dados, então aplicou-se a Row normalize length no software Past, que executa essa função, para poder rodar a técnica dos grupos pareados.

Aplicou-se também a função bootstrap, que através de 10000 aleatorizações de subamostras da matriz original, forneceu informações a cerca da certeza ou incerteza do padrão do grupo.

A partir dos dendogramas gerados por este software, foi possível fazer inferências a cerca das relações entre os objetos (áreas) e entender a dinâmica da recuperação dos atributos químicos dos solos construídos após a mineração de carvão em Candiota-RS

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização das áreas exploradas pela empresa

Para fins de facilitar o entendimento das peculiaridades de cada área foram preparados os quadros 2, 3, 4 e 5 que dispõem de informações a cerca da situação legal das áreas, do método de recuperação, área impactada e recuperada, bem como a situação atual.

Quadro 2 - Caracterização da Malha I

Licenças Ambientais	LO 6426/2008-DL abrange apenas os trabalhos de recuperação ambiental nesta área.
Método de Recuperação	Esta área foi minerada entre os anos de 1961 e 1974. A maneira como foi conduzida a mineração na época, caracterizada pela inversão dos horizontes do solo, formou um substrato nada favorável ao desenvolvimento vegetal. Os cones de material estéril ocupam quase toda a área impactada e em 2003 a empresa iniciou a recuperação topográfica, que compreende a atenuação destes cones de estéreis, empregando tratores de esteiras, que quebram as cristas dos cones, e este material preenche os intercones, com uma sutil nivelada no terreno, para posterior tentativa de revegetação, que se prolongam até os dias de hoje. Apontado neste estudo como Método Precário - MP.
Área impactada	65 hectares
Área recomposta topograficamente	59 hectares
Área revegetada	58 hectares
Estado Atual	A revegetação se deu através de plantios de eucaliptos diretamente sobre o material estéril, substrato pedregoso e ainda composto de argilitos, arenitos, folhelhos carbonosos e fragmentos de carvão, onde apenas esta espécie apresentou, mesmo que baixo, algum grau de desenvolvimento, devido a sua rusticidade e sua boa adaptação a solos ácidos e pobres em nutrientes, característicos desta área. Para análise de solo, esta área foi denominada área A.

Fonte: Dados primários

Na Malha I, há um único ponto de amostragem do solo representativo do estado atual da área, e o registro fotográfico (Figura 4), foi realizado em março de 2013.

Esta área sofreu recomposição topográfica em 2003, onde houve a tentativa de trazer a superfície o material de melhor qualidade, mesmo assim, manchas de carvão exposto e o baixo desenvolvimento da vegetação, até mesmo a mais rústica e mais adaptada à essas condições desfavoráveis, demonstram um nível extremo de degradação desses solos.



Figura 4 - Ponto de amostragem de solo na Malha I.
Fonte: dados primários

Quadro 3 - Caracterização da Malha II

Licenças Ambientais	A LO 6625/2008-DL, abrange apenas os trabalhos de recuperação ambiental da Malha II.
Método de Recuperação	<p>Esta área foi minerada entre os anos de 1975 e 1991, e conduzida da mesma forma que ocorreu na Malha I, em meados da década de 90 a empresa iniciou a recuperação topográfica, que compreende a atenuação destes cones de estéreis, empregando tratores de esteiras, que quebram as cristas dos cones, e este material preenche os intercones, com uma sutil nivelada no terreno, para posterior tentativa de revegetação, com plantios de manutenção que se prolongam até os dias de hoje. (MP)</p> <p>Em porção pouco representativa da área, onde é feita amostragem do solo (C1 e C2), houve a transferência de solo orgânico e plantio de gramíneas e acácias negras, no final da década de 80. Apontado neste estudo como Método Intermediário – MI.</p>

Continuação Quadro 3...

Área impactada	356 hectares
Área recomposta topograficamente	356 hectares
Área revegetada	356 hectares
Estado Atual	<p>A revegetação se deu através de plantios de eucaliptos diretamente sobre o material estéril, substrato acinzentado composto de uma mistura de argilitos, arenitos, folhelhos carbonosos e carvão, onde apenas esta espécie apresentou, mesmo que baixo, algum grau de desenvolvimento, devido a sua rusticidade e sua boa adaptação a solos ácidos e pobres em nutrientes, característicos desta área.</p> <p>Na pequena porção recuperada da área, apresenta uma melhoria visível na vegetação, bastante viçosa que existe no local. (Figura 6). Trata-se do ponto de amostragem aqui definido como área C.</p>

Fonte: Dados primários.

Na Malha II foram definidos dois pontos de amostragem de solos.

O primeiro, aqui representado pela letra B, em área drasticamente degradada (Figura 5), minerada no final da década de 90, onde praticamente em paralelo às atividades de lavra, foi realizada a recomposição topográfica, da mesma forma que a área representativa das condições da Malha I, eucaliptos foram a única alternativa viável, os plantios ocorreram há mais tempo, mas a declividade é mais acentuada nas “cordilheiras” deixadas pelos cones de estéreis.

O segundo, representado pela letra C, na primeira área onde houve o empenho em armazenar e realocar o solo orgânico e revegetar, há vegetação espontânea e houve plantio de acácia negra (Figura 6), a vegetação apresenta um viço considerável, no entanto, o Anexo II demonstra que esta área é mesmo pouco representativa, uma vez que não foi nem computada pelo levantamento realizado pelo departamento de topografia, evidente nas hachuras.



Figura 5 - Local de amostragem de solo em área degradada na Malha II



Figura 6 - Ponto de amostragem na primeira área recuperada na CRM

Fonte: Dados primários

Quadro 4 - Caracterização da Malha IV

Licenças Ambientais	<p>A Malha IV teve decreto de lavra emitido antes das atuais leis ambientais, mas foi minerada após, portanto não era obrigatória a apresentação de EIA/RIMA. Foi licenciada através de PCA. Essa área está sendo minerada e atualmente segue o estabelecido no PCA da Malha VI, mais minucioso.</p> <p>A LO 68222/2008-DL, atualmente abrange as operações de mineração a céu aberto, com recuperação concomitante e beneficiamento de carvão.</p>
Método de Recuperação	<p>Setores A e B: Não teve as áreas recuperadas, propriamente simultâneas ao avanço das atividades de lavra. Houve a recomposição topográfica dos estêreis refazendo o horizonte B e o espalhamento do solo orgânico, previamente retirado da frente de mineração. (MI)</p> <p>Setor C: Minerado mais recentemente, segue o atual modelo de reconstrução do solo, estabelecido no anexo II. Com recuperação concomitante que compreende a recomposição topográfica dos cones de estêreis, deposição do material de capeamento do solo (horizonte B, composto de arenito ou argilito, conforme disponibilidade) e posterior espalhamento do solo orgânico, de acordo com a fotografia aérea da figura 2. Neste estudo apontado como Método Atual (MA)</p>
Área impactada	554,44 hectares
Área recomposta topograficamente	460,94 hectares
Área revegetada	372,08 hectares, sendo: Plantação de Eucaliptos = 4,66 ha; Plantação de Gramíneas = 330,84 ha; Plantação de Acácias = 21,55 há; Plantação de Nativas = 5,03 há.

Continuação Quadro 3...

Estado Atual	Setor A e B: Nestes locais, a revegetação se deu através do plantio consorciado de gramíneas de crescimento rápido indicadas para cada época do ano, que recobrem a maior parte da área e também o aparecimento de espécies pioneiras contidas no banco de sementes do solo orgânico realocado (figura 10), no entanto, é possível perceber que em alguns pontos há solo sem cobertura vegetal, principalmente nos taludes de estrada.
	Setor C: A revegetação nos solos construídos ocorreu da mesma forma com que o setor A e B, mas neste local a vegetação encontra-se mais adensada.

Fonte: Dados primários.

Há, portanto, quatro pontos de amostragem de solo na Malha IV, as fotografias dos locais auxiliam na compreensão do estado atual destas áreas. Expressos nas Figuras 7, 8, 9 e 10.

A Figura 7, cujo registro fotográfico foi feito em março de 2013, trata-se da área recuperada há dois anos (2008) pelo método atual, que atualmente possui sete anos em processo de recuperação, a vegetação apresentou um bom desenvolvimento, ainda que com algumas falhas na cobertura do solo (Área D).

A Figura 8, cujo registro fotográfico foi feito em abril de 2013, em área recuperada pelo método intermediário com cinco anos em 2008, apresenta maior declividade e é possível se notar a erosão em sulcos, e vegetação predominantemente nativa no ano de 2013. Neste trabalho, está representada pela letra E.

A Figura 9 é o solo natural, que não sofreu nenhuma interferência da atividade de mineração, tendo a vegetação nativa típica da região de Candiota-RS, e o registro foi feito em abril de 2013, representado pela letra G.

A Figura 10 representa a área que foi recuperada pelo método intermediário há 15 anos (10 anos no primeiro ano de amostragem do solo), apresenta ainda assim, algumas falhas na cobertura do solo, esta área está representada pela letra F.



Figura 7 - Ponto de amostragem de solo em área recuperada há 7 anos (dias atuais, 2 anos em 2008)



Figura 8 – Ponto de amostragem de solo em área recuperada há 10 anos (5 anos em 2008)



Figura 9 - Ponto de amostragem de solo em área testemunha, ou seja, solo com características originais



Figura 10 – Ponto de amostragem em área recuperada há 15 anos (10 anos em 2008)

Fonte: Dados primários

Quadro 5 - Caracterização da Malha VII

Licenças Ambientais	A LO 6851/2008-DL: abrangendo as operações de mineração a céu aberto na malha VII, com recuperação concomitante, foi a única que teve o PCA elaborado com base no EIA/RIMA.
Método de Recuperação	Há a recomposição topográfica, alocação do arenito ou argilito para posterior espalhamento do solo orgânico, práticas agrônômicas e revegetação. A discriminação e justificativa da empresa para cada uma dessas etapas estão contidas no PCA, por ser extremamente pertinente ao estudo, foi compilado o trecho que trata deste assunto específico, conforme o Anexo I. (MA)
Área impactada	85,6 hectares

Continuação Quadro 5...

Área recomposta topograficamente	77,07 hectares
Área revegetada	61, 68 hectares, sendo: Plantação de Eucaliptos = 24,18 há; Plantação de Gramíneas = 27,45 há; Plantação de Acácias = 3,16 há; Plantação de Nativas = 2,57 ha.
Estado Atual	Logo após a construção do solo, foram implantadas gramíneas indicadas para a época do ano. Atualmente, a maior parte da área apresenta vegetação pioneira do banco de sementes, bastante robusta e recobrendo todo o solo, conforme figura 11.

A Figura 11 apresenta o estado atual da área recuperada pelo método atual, há dez anos e que possuía cinco anos no primeiro ano de amostragem, a vegetação apresenta-se adensada com predominância das espécies pioneiras do banco de sementes do solo orgânico.



Figura 11 – Ponto de amostragem em área recuperada há 10 anos (5 anos em 2008) situada na Malha VII.

Fonte: dados primários.

5.2 Avaliação dos métodos de recuperação de áreas mineradas

Com a seleção dos parâmetros mais representativos ao estudo, nos quatro anos amostrados, formaram-se os conjuntos de dados contendo as matrizes originais e as matrizes de memória de cálculo, expressas nas tabelas em Apêndice (I a VIII).

A caracterização das áreas e do método de recuperação empregado, as fotografias nos pontos de amostragem e o mapa de vegetação e situação desses

pontos de amostragem, fornecem os subsídios teóricos para interpretar os dendogramas. Para esta modalidade de análise, chama-se a fundamentação anterior de tipologia dos objetos, que explicam o comportamento dos agrupamentos.

Partindo para a interpretação dos resultados obtidos através da análise de agrupamentos, expressas no dendograma obtido para o ano de 2008, conforme mostra a Figura 10, em 100 % das 10000 aleatorizações realizadas pela função bootstrap do software Past, houve a separação em dois grandes grupos. O primeiro representado pelas áreas E, F, B e A e o segundo pelas áreas D, C, G e H.

Quanto ao primeiro grande agrupamento, pode-se reafirmar que as áreas A e B não foram propriamente recuperadas (MP), são as áreas mais severamente degradadas dentre todas, conforme explicitado nas Figuras 4 e 5. As áreas E e F foram submetidas ao mesmo método de recuperação, que consistiu em espalhamento do solo orgânico sobre os estéreis compostos da mistura de materiais, inclusive fragmentos de carvão, que aqui foi apontado como método intermediário (MI). O tempo em processo de recuperação para as áreas E e F são, respectivamente, 5 e 10 anos, para a análise realizada em 2008. A função bootstrap demonstrou que este padrão de agrupamento ocorreu em 66% das aleatorizações.

Por estarem afastadas do critério utilizado para avaliar o nível de recuperação, que é solo natural, e agrupadas ao grupo onde as fotografias explicitaram a degradação, estas áreas, E (FIGURA 8) e F (FIGURA 10), muito provavelmente são as que encontram piores atributos químicos depois das áreas A e B.

O segundo grande agrupamento não pode ser explicado sucintamente, pois inclui diferentes áreas, submetidas a diferentes métodos, com solos construídos de diferentes idades e o solo natural.

Fazendo um resgate das características de cada ponto de amostragem, a área D, possuía em 2008, dois anos em processo de recuperação pelo método atual (MA) e está situada na Malha IV; a área C estava em processo de recuperação, pelo método intermediário (MI), há aproximadamente vinte anos; a área G é o solo natural, situado na Malha IV e; a área H, está localizada na Malha VII, recuperada pelo método atual (MA) com cinco anos de construção do solo e implantação da vegetação.

Traçando um corte, que é um critério de interpretação de dendogramas, no segundo grande salto, a uma distancia euclidiana de 0,5, haverá a formação de quatro grupos distintos.

Referente ao primeiro grupo visualizado (E e F), claramente este agrupamento se deve ao método de recuperação empregado.

Da mesma forma, evidencia-se essa relação para o segundo grupo.

A uma distância euclidiana de 0,5, a área D, recuperada pelo método atual não se assemelha a nenhuma outra área, estando neste ano isolada das demais, formando o terceiro grupo.

No quarto grupo, o gráfico de árvore ou dendograma, mostra o agrupamento da área mais antiga (C) recuperada pelo método intermediário com o solo natural (G) e com a ramificação deste grupo com o solo construído há cinco anos pelo método atual (H).

A maneira como as áreas foram agrupadas entre as diferentes camadas (A1 com A2 e assim sucessivamente), facilitam a interpretação do gráfico, mas é sabido que a camada superior (0 cm a 5 cm) apresenta melhores características químicas que a inferior, devido ao aporte gradativo de matéria orgânica e a intensidade da ciclagem de nutrientes.

Aplicando-se um traço entre a distância (dissimilaridade) de 0,25, onde ocorre os saltos de dissimilaridade entre E e F e também entre H com G e C. apenas as áreas severamente degradadas continuariam suficientemente semelhantes e agrupadas. Neste mesmo traço é possível visualizar a separação entre as profundidades na área recuperada há dois anos (D).

A diferença entre camadas é irrisória nas áreas A e B onde o substrato foi totalmente homogeneizado pela inversão de horizontes, mas é contraditório, pois o solo natural que deveria apresentar diferenças entre camadas pelo argumento da fertilidade ser maior na camada superior, apresentou o mesmo comportamento neste ano, dificultando a interpretação e atribuindo-se, talvez, em falhas na amostragem, pois nos anos seguintes a diferença entre camadas é saliente.

Nas áreas C e H a dissimilaridade entre camadas se justifica pela robustez da vegetação atuando no paulatino aporte e ciclagem de nutrientes. Já nas áreas E e F, pelo fato da camada de solo orgânico que recobre o estéril ser pouco espessa, em função do método de recuperação, é uma suposição plausível para esta situação.

Neste ano, a área C assemelhou-se mais a área G (solo natural), seguida pela área que foi recuperada pelo método atual há cinco anos, distinguindo-se, presumivelmente como as melhores áreas.

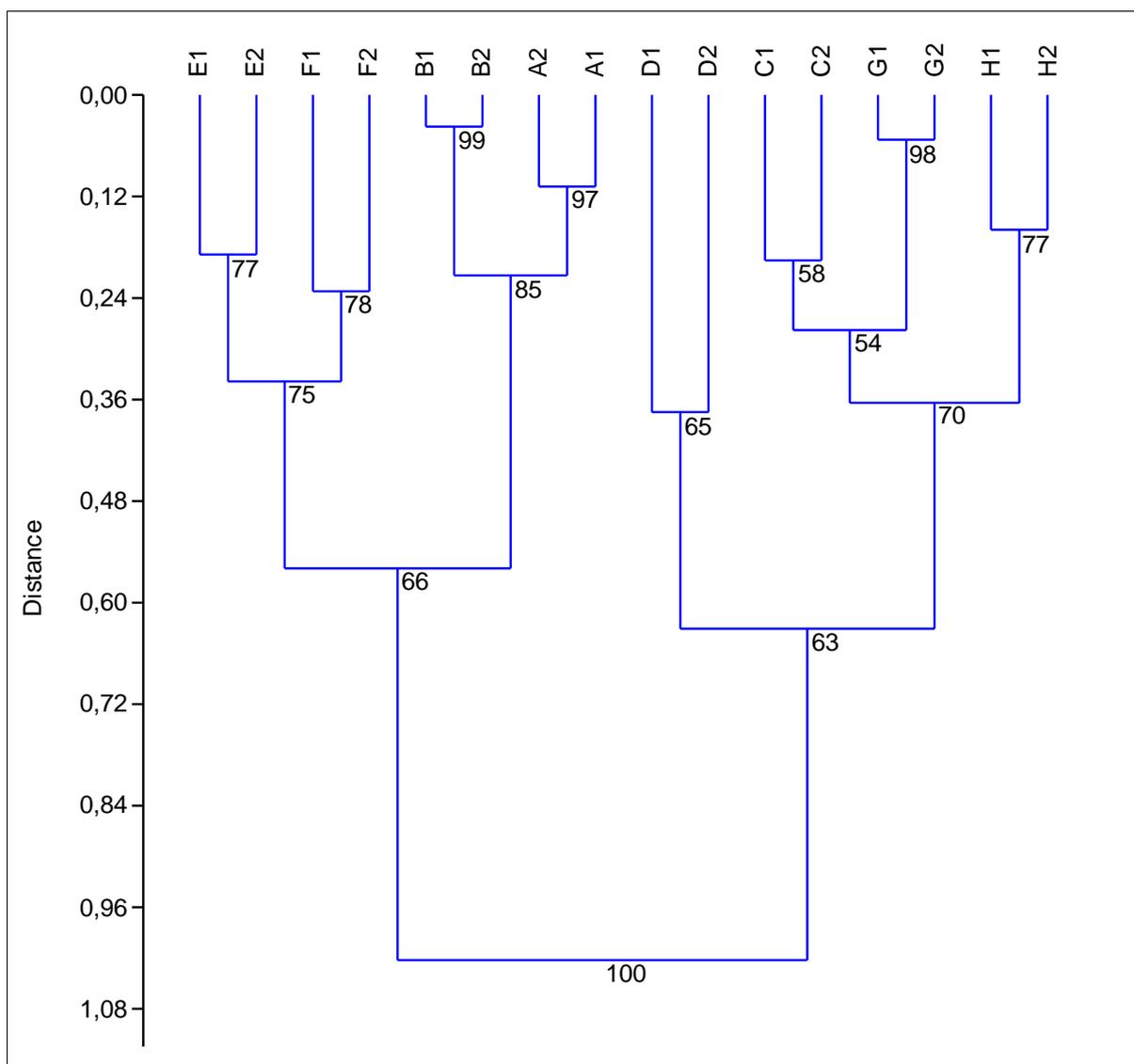


Figura 12 – Dendrograma para análises de dados químicos dos solos nas diferentes áreas no ano de 2008.

Fonte: dados primários.

No ano de 2009, conforme figura 13, a separação entre os dois grandes grupos, contendo as mesmas áreas, continua nítida.

No entanto, o mesmo traço à 0,5 de dissimilaridade no primeiro salto, já não mais isola a área D, recuperada pelo melhor método, agora há 3 anos, gerando uma ramificação no gráfico e aproximando-a com as áreas recuperadas pelo melhor método com 6 anos de recuperação (H), com a área com 21 anos de recuperação pelo método intermediário (C) e com o solo natural (G). As áreas E e F permanecem agrupadas em profundidades e se separam do grupo que contém as áreas A e B, categoricamente degradadas.

Nota-se que as áreas A e B não apresentam mudanças (o padrão se repetiu em

98% das aleatorizações), mas a função bootstrap demonstra que o padrão entre o agrupamento E e F não está nítido, pois 24% aumentam a incerteza a cerca do agrupamento.

Seguindo a dinâmica de interpretação do gráfico do ano anterior (figura 12), o segundo salto expressivo é traçado em 0,36 de distância euclidiana, reitera-se a tendência à dissimilaridade entre profundidades das áreas E, F e D, que é maior do que no ano anterior.

Neste mesmo índice, há a separação do agrupamento entre as áreas E e F. Separa a área D, recuperada há três anos das demais áreas a que estava agrupada no índice anterior. A área H, agora com 6 anos de recuperação pelo método atual, não mais se isola neste índice e aproxima-se do solo natural, o que para este critério elencado é um bom indicativo de recuperação.

Corroborando a afirmação de erro na amostragem do solo natural no ano de 2008, neste dendograma, a camada inferior se ramificou das demais e neste índice apareceu isolada, porém, só se repetiu em 20% das aleatorizações, o que gera dúvidas se esse agrupamento é obra do acaso ou é representativo da amostra.

O agrupamento entre C1 e G1, seguido do pequeno salto com C2 e e de um salto médio com H1 e H2, a nítida mudança entre E1/E2 e F1/F2 demonstram que apenas as áreas severamente degradadas permaneceram estáticas.

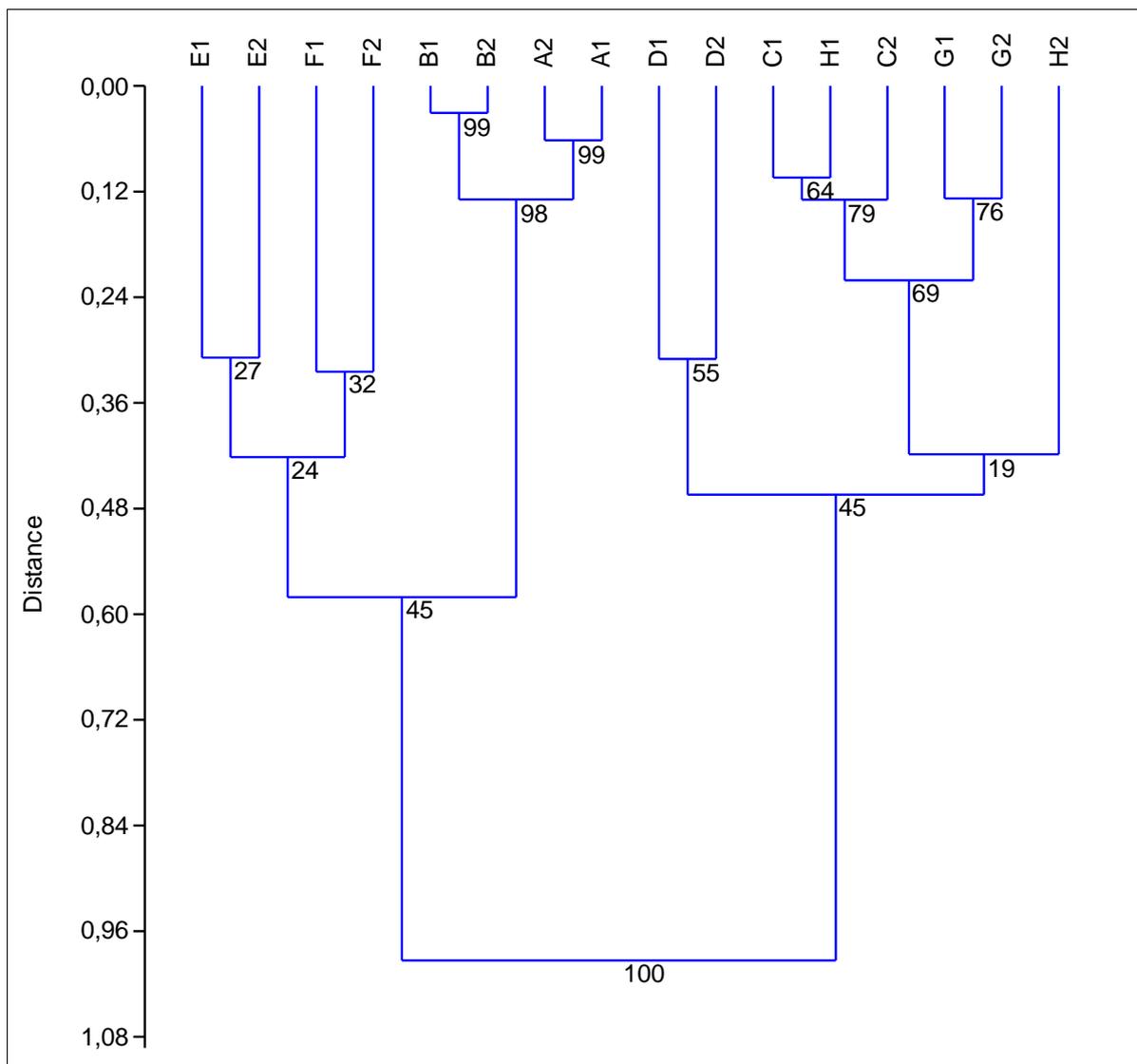


Figura 13 – Dendrograma para análises de dados químicos dos solos nas diferentes áreas no ano de 2009.

Fonte: dados primários.

O gráfico gerado para as análises no ano de 2010 (Figura 14) demonstra claramente o distanciamento das áreas E e F das áreas com severo grau de degradação. Neste ano, o corte no primeiro salto, a uma distância euclidiana de 0,6, divide em dois grupos o conjunto das diferentes áreas. O primeiro com as áreas recuperadas por diferentes métodos, e o solo natural e o segundo com as áreas A e B, degradadas.

O segundo traço, a uma distância euclidiana (0,4) no salto entre grupo composto das áreas E1, F1, H2, E2, F2 e o grupo que inclui as áreas C1, H1, D1, G2, C2, D2, e G1, separa novamente o gráfico em três grupos.

Há a inclusão da camada inferior (H2) da área recuperada agora há sete anos, no grupo que continha anteriormente apenas as áreas E e F (sete e doze anos, pelo

método intermediário, respectivamente) há fortes evidências de que as áreas E e F estão melhorando, e não a camada inferior da área H (sete anos pelo método atual) piorando. O bootstrap demonstrou que este padrão de agrupamento, 28 % das aleatorizações, não é nítido, e tende a se modificar.

A tendência anterior a dissimilaridades entre camadas se concretiza no ano de 2011.

Um novo corte na distância de 0,25 demonstra que em 81% das aleatorizações o grupo com área recuperada há vinte e dois anos (C), camada inferior do solo natural (G), camada superficial da área recuperada pelo melhor método há sete anos (H1), e agora neste ano, área recuperada pelo melhor método há quatro anos. Como o salto no agrupamento é muito pequeno, provavelmente estas estejam formando um único grupo, com um salto médio com a camada superficial do solo natural.

As camadas superficiais da área E e F (sete e doze anos, respectivamente) permanecem agrupadas, isola-se a camada inferior da área H (recuperada há sete anos pelo melhor método), desagrupa as camadas inferiores das áreas E e F, bem como demonstra que o agrupamento entre as camadas superiores e depois as inferiores são desfeitos.

Há uma dissimilaridade pequena, ou seja, estas áreas permanecem semelhantes, apenas as camadas superficiais das áreas C (vinte e três anos pelo método intermediário) e H (sete anos pelo método atual), formaram o agrupamento.

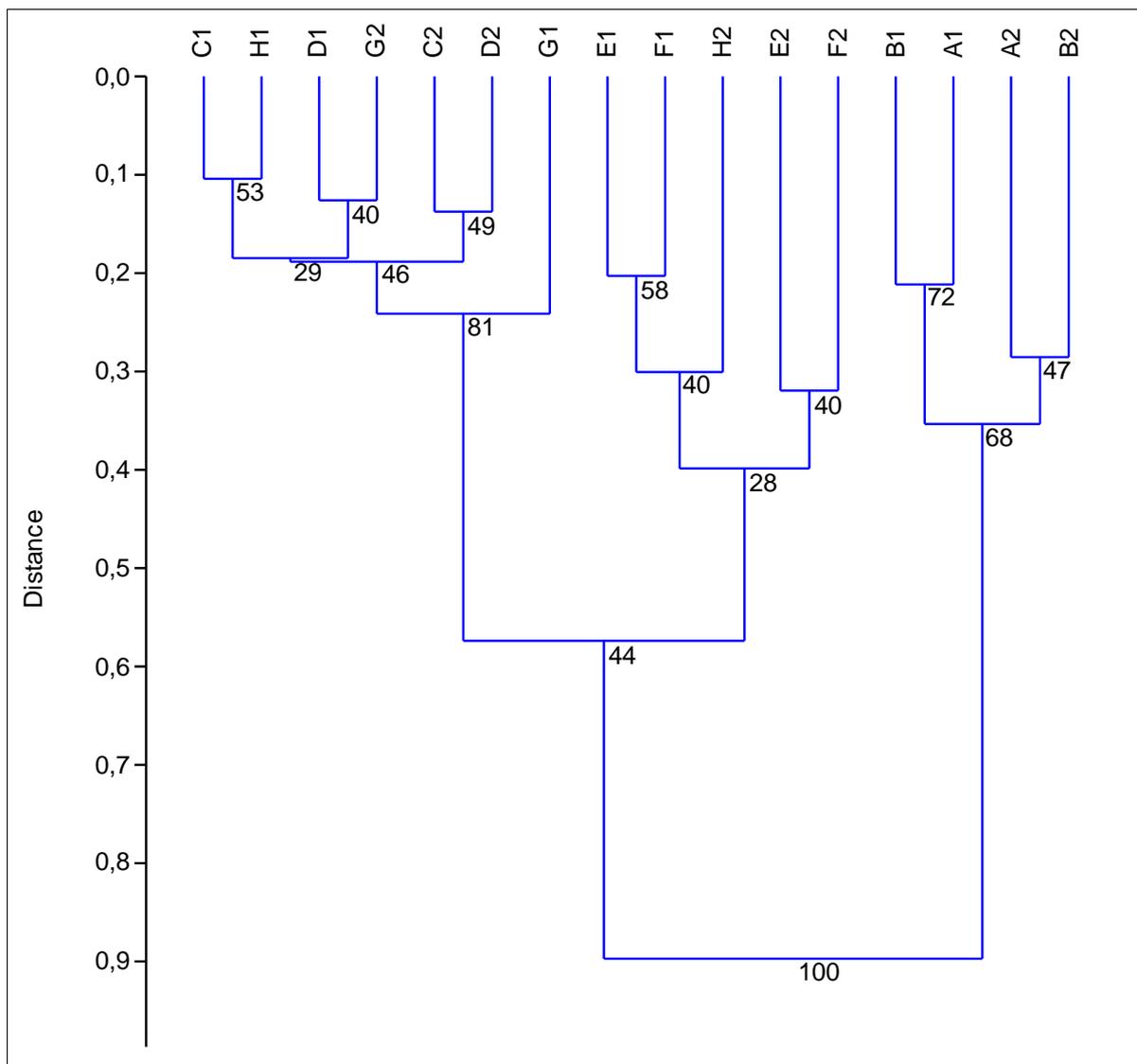


Figura 14 - Dendrograma para análises de dados químicos dos solos nas diferentes áreas no ano de 2010.

Fonte: dados secundários.

Em 2011, para 100% das aleatorizações realizadas pelo bootstrap evidenciou a dissimilaridade entre as áreas degradadas e as áreas que apresentam diversos níveis de recuperação (Figura 15).

Com um traço na distância euclidiana de 0,40, todas as áreas que apresentam método intermediário, método atual e solo natural se agrupam, exceto, a única retardatária, camada de 5c m a 15 cm da área E (método intermediário, agora há oito anos) que se desprende do agrupamento.

As áreas A e B voltam a agrupar-se entre camadas, no entanto a distância euclidiana é maior que em 2008 e 2009.

Com um corte a 0,25 de distância euclidiana, as áreas C1 e G1 (C é a camada

superficial da área construída pelo método intermediário, há 24 anos e G é a camada superficial do solo natural) repetindo o padrão dos anos 2008 (C1 com C2 agrupadas a G1 com G2) e 2009 (C1 com G1, ramificado a um pequeno salto com C2).

Com este mesmo corte, as camadas subsuperficiais das áreas C e G permanecem agrupadas, com um salto médio em relação a camada subsuperficial da área H (recuperada há oito anos), onde 25% não torna nítido este agrupamento.

Aliás, toda a distribuição no agrupamento entre áreas C2, G2, H2, D1, F2, F1 e D2, não está nítido, a função bootstrap só encontrou este padrão em 4% das 10000 aleatorizações, e outro salto médio em relação as áreas C1 e G1, fazem supor que este seja um agrupamento único, onde apenas as camadas superficiais de C (24 anos, método intermediário) e G (solo natural) apresentam certeza no padrão de agrupamento (80%).

H1 se isola, estando mais distante das áreas recuperadas, o que, fazendo um resgate nas tabelas de análises de solo pode ser atribuído ao maior teor de enxofre neste ano, segundo os funcionários da empresa, qualquer fragmento de carvão que exista na amostra do solo, seja ele representativo da área ou não, elevam este teor, e como todos os outros parâmetros estão, até melhores que o solo natural, (pH, SMP, P, K, Ca, Mg, Al+H) em um apanhado geral, este teor pode estar dando a diferença estatística apontada no gráfico, aproximando a camada superficial da área recuperada pelo melhor método há oito anos, da camada superficial da área recuperada, também há oito anos, mas pelo método intermediário.

A diferença entre camadas em B1/B2 é menor que A1/A2, a recomposição topográfica e os plantios de eucaliptos foram realizados mais tarde em A (conforme Quadro 2), mas a Figura 4 não demonstra que possa ser aporte de matéria orgânica, e sim fruto de uma nova inversão dos horizontes.

Pode-se notar facilmente, analisando as tabelas dos anos amostrados, que o teor de matéria orgânica é alto para as áreas A e B, mas a metodologia ROLAS, mede o teor de carbono, e não de carbono orgânico, como há resquícios de carvão na composição do substrato atribui-se a esta condição. A matéria orgânica, largamente utilizada como um indicador de qualidade dos solos não pode ser isoladamente analisada.

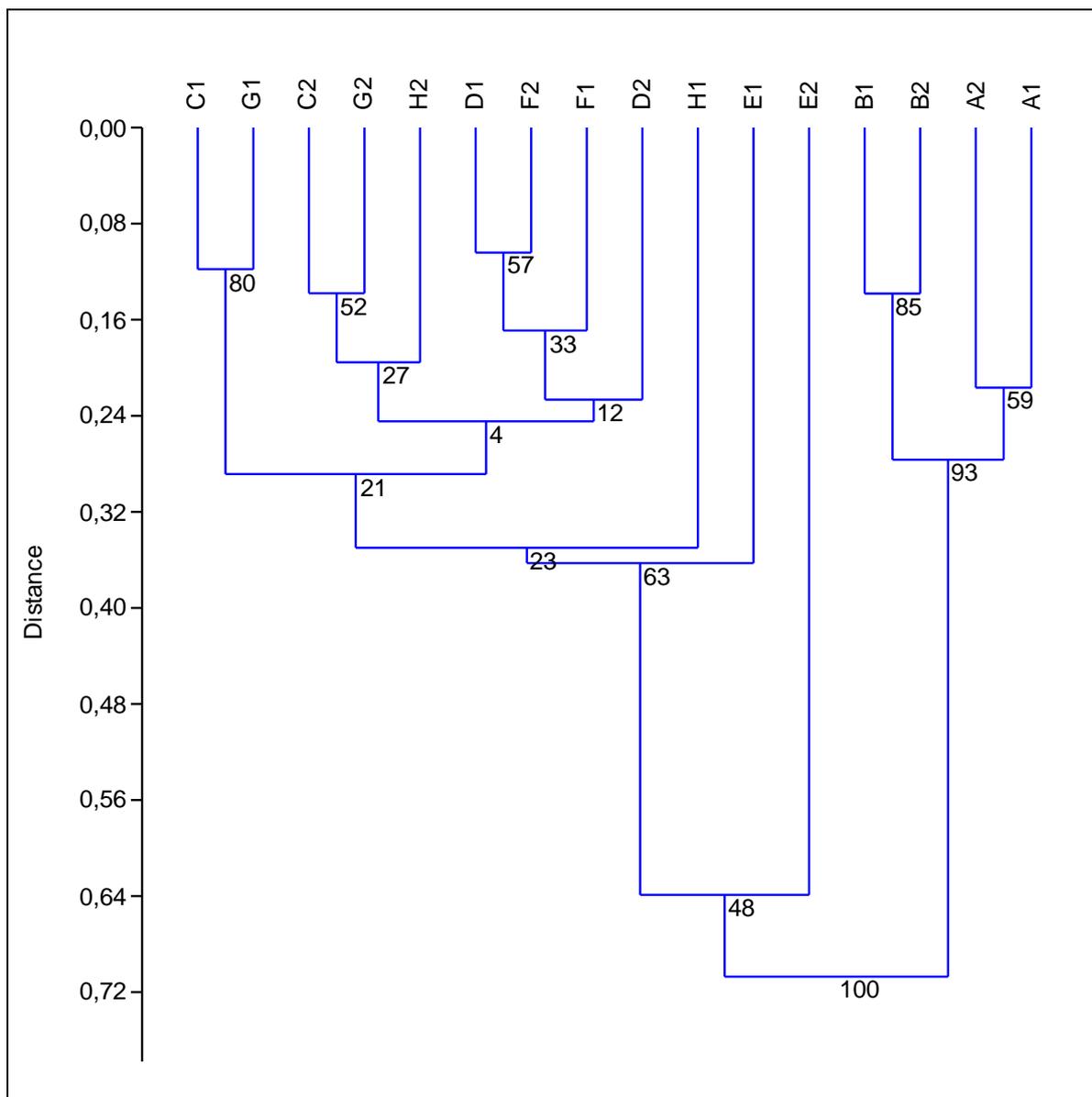


Figura 15 - Dendrograma para análises de dados químicos dos solos nas diferentes áreas no ano de 2011.

Fonte: dados primários.

Conforme o exposto é importante reiterar alguns pontos cruciais da revisão de literatura, comparando com a atividade da empresa.

Polz (2008) afirmou que a atividade carbonífera desenvolvida no passado promoveu significativos impactos ao meio ambiente, minimizando as possibilidades de sua auto-regeneração, torna-se contundente essa afirmação quando se analisa as duas áreas A e B, situadas nas Malhas I e II respectivamente, que foram mineradas antes das exigências legais.

No período de coleta de dados para realização deste estudo de caso, a empresa estava dando início a um projeto piloto de reabilitação definitiva na Malha II, com

vistas a estender para toda área considerada passivo ambiental, mineradas anteriormente às leis ambientais. Não puderam ser contempladas neste trabalho, pois não existem dados concretos a respeito, mas que, preliminarmente, pode-se afirmar que consistem em estabelecer um substrato menos inóspito ao crescimento vegetal, do que o existente atualmente, composto basicamente de argila retirada das frentes de lavra e devidamente adubada, que permita o estabelecimento de gramíneas e minimize os problemas erosivos e a contaminação por pirita. Os custos internalizados pela empresa para reabilitar o solo nestas áreas de passivo são altos e duradouros, mas são essenciais para devolver as funções do solo que é um componente vital do ecossistema.

Sánchez (2010) mencionou que o sucesso de um programa de recuperação de áreas degradadas está fundamentado em conhecimento prévio, recursos humanos, recursos organizacionais e recursos financeiros, embora as imposições legais tenham ocorrido no final da década de 80 e tenham sido o carro chefe das melhorias percebidas, a empresa não possuía os saberes, funcionários preparados nem uma política ambiental fundamentada pra tornar a recuperação efetiva. A área C situada na malha II e as áreas E e F, situadas na Malha IV, que não foi licenciada através de EIA/RIMA, onde o PCA previa o método que foi por muito tempo utilizado, caracterizaram o nível intermediário, que parece ser efetivo somente em um médio período de tempo.

Atualmente, a empresa vem buscando estruturar seu departamento de meio ambiente, treinando funcionários ou contratando terceirizados para e finalidade da “regeneração” (termo mais utilizado na empresa). Há um planejamento prévio e um maior comprometimento da cúpula da empresa.

Para Barreto (2011) é importante divulgar os bons exemplos de conduta das empresas de mineração e aprender com os erros, estudando-os e analisando-os. Neste estudo de caso, demonstrou-se que a CRM possui áreas que se enquadram nessas duas facetas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização das Malhas, por si só, já trariam informações relevantes sobre o estado das áreas, no entanto as análises corroboraram estatisticamente, com base nos atributos químicos do solo as peculiaridades percebidas.

Em síntese, no ano 2008, as áreas que mais se aproximavam do solo natural (G) eram: a que possuía mais tempo em processo de recuperação pelo método intermediário (C), seguida da que possuía cinco anos pelo método atual (H). A área recuperada há dois anos pelo método atual (D) se ramificava destas, consideradas as melhores áreas.

As áreas em processo de recuperação pelo método intermediário há dez (F) e cinco anos (E), estavam mais próximas das áreas que não foram recuperadas por nenhum método aceitável (A e B) e se apresentam visivelmente degradadas.

Já, no ano de 2009, as áreas E e F, demonstrado pelo bootstrap, foram apresentando menos certeza do padrão do agrupamento, tendendo a se diferenciar e se distanciar das áreas mais degradadas. A área recuperada pelo melhor método, há dois anos em 2008 (D), já no ano de 2009 (com três anos), apresentou menor dissimilaridade em relação às melhores áreas.

No ano de 2010, a área D (com quatro anos em 2010), veio a formar agrupamento com as melhores áreas. Já as áreas E e F (há sete e doze anos recuperadas pelo método intermediário), concretizando a tendência anterior, se agruparam, embora com uma ramificação e distância considerável, também com as melhores áreas.

Em 2011 formou um grande agrupamento entre todas as áreas que apresentam níveis de recuperação. Como o esperado, as áreas degradadas se mantiveram bastante diferentes das áreas resilientes, exceto, a camada inferior da área recuperada pelo método intermediário há oito anos (cujas camadas de solo orgânico é pouco espessa e pode ter contato com os estereis da mineração).

Diante deste cenário, fica claro que o tempo é um fator importante no processo de recuperação das áreas pós mineração, mas não só o tempo. Notou-se que em quatro anos, uma área recuperada pelo método atual aproximou-se do solo natural, enquanto uma área recuperada pelo método intermediário só entrou para o rol das áreas recuperadas, ainda sem se aproximar do solo natural, com treze anos em

processo de recuperação.

O tempo de resposta no processo de recuperação é muito menor quando se emprega o melhor método.

Fica evidente a importância de se planejar a recuperação da área antes que o dano aconteça, aperfeiçoar técnicas e procedimentos.

A legislação impôs o dever às mineradoras, de recuperar as áreas degradadas pelas suas atividades, e um parágrafo na constituição foi, em um primeiro momento, válido para que a empresa melhorasse o meio pelo qual recuperar as áreas. No entanto, a melhoria efetiva, só se deu com o estudo prévio. Quando foi elaborado o plano de controle ambiental para a Malha VII, com base em diagnósticos ambientais e planejamento das medidas mitigadoras dos impactos, é que o método se tornou eficiente.

A matéria não se esgota neste estudo, existem outros campos a serem explorados na temática ambiental. Existem pesquisadores atuantes na CRM e certamente a produção científica é bem aceita pela empresa.

Espera-se que esta abordagem tenha oferecido contribuições sobre a relação entre a legislação ambiental e os processos de recuperação das áreas mineradas na CRM, possibilitando a realização de novas pesquisas na empresa, e também abrindo campos para atuação da gestão ambiental, dada a importância do tema estudado.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1999.** Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração. **NBR 13030:1999.**

ALBA, J. M. F. **Recuperação de áreas mineradas.** 2. Ed. Ver. – Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2010. 326 p.

BARRETO, M. L. **Mineração e Desenvolvimento Sustentável: Desafios para o Brasil.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. 216 p.

BECK, F.L. et al. **Projeto pedagógico de ensino de graduação. Departamento de Solos,** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. 26p. (Boletim Técnico, 6).

BISSANI, C. A. et al. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas.** Porto Alegre: Genesis, 2004.

BITAR, O. Y. **Avaliação da recuperação das áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo.** 1997. 185 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997.

BRASIL, 1964. **Lei 4.504 - Dispõe sobre o Estatuto da Terra, e dá outras providências.** Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4504.htm> Acesso em: 20 abr. 2013.

_____, 1964. **Lei 4.771 – Institui o Código Florestal.** Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4771.htm> Acesso em: 20 abr. 2013.

_____, 1967. **Decreto-Lei 227 - Código de Mineração.** Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del0227.htm>. Acesso em: 20 abr. 2013.

_____, 1973. **Lei 6.001 - Dispõe sobre o Estatuto do Índio.** Brasília. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6001.htm> Acesso em: 20 abr. 2013.

_____, 1975. **Lei 6.225 - Dispõe sobre discriminação, pelo Ministério da Agricultura, de regiões para execução obrigatória de planos de proteção ao solo e de combate à erosão e dá outras providências.** Brasília. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/128433/lei-6225-75>> Acesso em: 20 abr. 2013

_____, 1975. **Lei 7. 347 - Disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio-ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico e dá outras providências.** Brasília. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7347orig.htm> Acesso em: 20 abr. 2013.

_____, 1978. **Lei 6.567 - Dispõe sobre regime especial para exploração e o aproveitamento das substâncias minerais que especifica e dá outras providências.** Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6567.htm> Acesso em: 20 abr. 2013.

_____, 1981.. **Lei nº 6.938 - Política Nacional de Meio Ambiente.** Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm> Acesso em: 26 abr. 2013.

_____, 1988. **Constituição da República Federativa do Brasil:** promulgada em 5 de outubro de 1988. Brasília.

_____, 1989. **Decreto 97.632 - Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências.** Brasília. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/114332/decreto-97632-89>> Acesso em: 26 abr. 2013.

_____, 1989. **Lei 7.805 - Altera o Decreto-Lei nº 227, cria o regime de permissão de lavra garimpeira, extingue o regime de matrícula, e dá outras providências.** Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L7805.htm> Acesso em: 20 abr. 2013.

_____, 1989. **Lei 7.990 - Institui, para os Estados, Distrito Federal e Municípios, compensação financeira pelo resultado da exploração de petróleo ou gás natural, de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica, de recursos minerais em seus respectivos territórios, plataformas continental, mar territorial ou zona econômica exclusiva, e dá outras providências.** Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7990.htm> Acesso em: 20 abr. 2013.

_____, 1990. **Lei 8.001 - Define os percentuais da distribuição da compensação financeira de que trata a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989, e dá outras providências.** Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8001.htm> Acesso em: 20 abr. 2013.

_____, 1991. **Lei 8.176 - Define crimes contra a ordem econômica e cria o Sistema de Estoques de Combustíveis.** Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8176.htm> Acesso em: 20 abr. 2013.

_____, 1996. **Lei 9.314 - Altera dispositivos do Decreto-lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, e dá outras providências.** Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9314.htm> Acesso em: 20 abr. 2013.

_____, 1998. **Lei 9.433 - Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.** Brasília. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/l9433.htm> Acesso em: 20 abr. 2013.

_____, 1998. **Lei 9.605 - Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras**

providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9605.htm> Acesso em: 20 abr. 2013.

_____, 1999. **Lei 9.827 - Acrescenta parágrafo único ao art. 2º do Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, com a redação dada pela Lei nº 9.314, de 14 de novembro de 1996.** Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9827.htm> Acesso em: 20 abr. 2013.

_____, 2000. **Lei 9.985 - Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.** Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm> Acesso em: 20 abr. 2013.

_____, 2002. **Decreto 4.340 - Regulamenta artigos da Lei nº 9.985 e dá outras providências.** Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4340.htm> Acesso em: 20 abr. 2013.

BRUM, I. A. S. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração** / Irineu Antônio Schadach de Brum. 2000. 22 f. Monografia (Curso de especialização em Gerenciamento e tecnologias ambientais na indústria)-Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2000.

CAMPOS, M. L. et al. **Impactos no solo provocados pela mineração e depósito de rejeitos de carvão mineral.** 2010. Disponível em: <http://rca.cav.udesc.br/rca_2010_2/10Campos.pdf> Acesso em: 9 abr. 2013.

CITADINI-ZANETE, V. **Recuperação de áreas mineradas com espécies fontes de produtos florestais não-madeiráveis: oportunidades socioeconômicas e ambientais para a região carbonífera, sul de Santa Catarina, Brasil.** 2008. In: In: Carvão Brasileiro: Tecnologia e Meio Ambiente/Eds. Paulo Sergio Moreira Soares, Maria Dionísia Costa dos Santos, Mario Valente Possa. CDD – Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008.

COLUSSI, J. Autorização de uso de carvão para energia destrava projetos de R\$ 10 bilhões. **Zero Hora**, Rio Grande do Sul, 19 mar. 2013. Disponível em: <<http://zerohora.clicrbs.com.br/rs/economia/noticia/2013/03/autorizacao-de-uso-de-carvao-para-energia-destrava-projetos-de-r-10-bilhoes-4079513.html>> Acesso em: 30 mar. 2013.

CONAMA, 1990. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 9, de 6 de dezembro de 1990.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=106>> Acesso em 26 abr. 2013.

CONSEMA, 2004. Conselho Estadual de Meio Ambiente. **Resolução CONSEMA nº 085 de 17 de dezembro de 2004.** Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/consema/Res085-04.pdf>> Acesso em: 26 abr. 2013.

CRM – **Companhia Riograndense de mineração.** Disponível em: <<http://www.crm.rs.gov.br/>>. Acesso em: 31 mar. 2013.

DIAS, L. E. ; ASSIS, I. R. . **Restauração Ecológica em Áreas Degradadas pela Mineração..** In: Luiz Mauro Barbosa. (Org.). IV Simpósio de Restauração Ecológica. IV Simpósio de Restauração Ecológica. 1ed.São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2011, v. 1, p. 79-88.

DIAS, L. E.; GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. **Recuperação de áreas degradadas.** Viçosa: UFV, 1998, p. 1-7.

DNPM, 2001. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Balanço Mineral: Carvão Mineral.** 2001. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/carvao.pdf>> Acesso em: 20 abr. 2013.

_____, 2012. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral: Carvão Mineral.** 2012. Disponível em: <https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=7377> Acesso em: 20 abr. 2013.

FERREIRA, G. L. B. V. **O dever de recuperar a área degradada e a compatibilidade entre desenvolvimento econômico e meio ambiente na exploração dos recursos minerais.** Manaus (AM): UEA, 2006. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Direito Ambiental, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2007.

FRANCO, A. M. P. **Erosão em entressulcos e qualidade física de solos construídos após mineração de carvão.** 2010. 108 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

HAIR JR, J. F et al. **Análise multivariada de dados.** Tradução: Adonai Schlup Sant'ana e Anselmo Chaves Neto, - 5. Ed. – Porto Alegre: Bookman, 2005.

HAMER, O. & HARPER, D. A. T. 2004. **PAST. PAleontological Statistics, versão 1.20.** Disponível em: <http://folk.uio.no/ohammer/past>. Acesso em: 29 abr. 2013.

HOLANDA NETO, Manoel Ribeiro. **Atributos microbiológicos de um solo construído vegetado com gramíneas após mineração de carvão em Candiota/RS.** 2011. 96p. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração: Solos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. **Gestão para a sustentabilidade na mineração: 20 anos de história.** 2012. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00002130.pdf>> Acesso em: 10 abr. 2013.

KLEIN, A. S. **Áreas degradadas pela mineração de carvão no Sul de Santa Catarina: vegetação versus substrato.** 2006. 85p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, SC.

LEAL, O. A. et al. **Estoques de matéria orgânica de um solo construído após a mineração de carvão com diferentes idades de implantação de gramíneas.** 2008. In: III Congresso Brasileiro de Carvão Mineral, Gramado – RS. 2008. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/rede_carvao/Sess%C3%B5es_B4_B5_B6/B4_ARTIGO_04.pdf> Acesso em: 24 abr 2013.

LIMA, H. M; FLORES, J. C. C; COSTA, F. L. **Plano de recuperação de áreas degradadas versus plano de fechamento de mina: um estudo comparativo.** In: Rev. Esc. Minas [online]. 006, vol.59, n.4. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672006000400008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 26 abr. 2013

MACHADO, P. A. L. **Direito Ambiental Brasileiro** / Paulo Affonso Leme Machado Revista ATUALIZADA E REVISADA – 17ª EDIÇÃO, 2009.

MME, 2012. Ministério de Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional.** 2012. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2012.pdf> Acesso em: 30 abr. 2013.

NUNES. P. H. F. **Mineração, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável : Aspectos Jurídicos e Sócio-Econômicos**, 2002, 155 p. Disponível em: <http://www.estig.ipbeja.pt/~ac_direito/Mineracao.pdf> Acesso em: 2 abr. 2013.

OSÓRIO, R. G. **Carvão no mundo e na CRM** / Rui Giacomoni Osório – Porto Alegre : Companhia Rio-grandense de Artes Gráfica (CORAG), 2012, 128 p.

PINTO, L. F. S; FERNANDES, F.F; PAULETTO, E. A. **Recuperação de solos degradados pela mineração:** Da teoria termodinâmica à prática nas áreas regeneradas da mina de carvão de Candiota, RS. Brasília, DF, 2010. In. Recuperação de áreas mineradas / editor técnico, José Maria Filippini Alba . – 2. Ed. Ver. – Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2010. 326 p.

POLZ, J. A. **Recuperação de áreas impactadas pela mineração de carvão a céu aberto em Santa Catarina: gestão de rejeitos e revegetação.** 2008. In: Carvão Brasileiro: Tecnologia e Meio Ambiente/Eds. Paulo Sergio Moreira Soares, Maria Dionísia Costa dos Santos, Mario Valente Possa. CDD – Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008.

QUIÑONES, O. R. G. **Caracterização e gênese de solos construídos após mineração de carvão na mina Boa Vista, município de Minas do Leão, RS.** 2004.60f. Dissertação (Mestrado em ciência do solo). Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, RS.

REGENSBURGER, B. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração de argila através da regularização topográfica, da adição de insumos e serrapilheira, e de atratores da fauna.** 2004. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SANCHÉZ, L. E. **Planejamento e gestão do processo de recuperação de áreas degradadas**. 2010. Brasília, DF. In. Recuperação de áreas mineradas / editor técnico, José Maria Filippini Alba. – 2. Ed. Ver. – Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2010. 326 p.

SANTUCCI, J. O papel do carvão mineral na geração de energia. In: **Carvão mineral: responsável por 40% da eletricidade mundial**. Porto Alegre, RS. CREARS, 2009, 38p.

SILVA, J. P. S. **Impactos ambientais causados por mineração**. In: Revista Espaço da Sophia – N° 08 – 2007. Disponível em: <<http://www.registro.unesp.br/museu/basededados/arquivos/00000429.pdf>> Acesso em: 10 abr. 2013.

VICINI. L. **Análise multivariada da teoria à prática** / Lorena Vicini ; orientador Adriano Mendonça Souza. – Santa Maria : UFSM, CCNE, 2005. 215 p. :Il.

WILLIAMS, D. D.et al. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília: MINTER/Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais – IBAMA. 1990. 96p

APÊNDICES

Apêndice I – Tabela de análises do solo no ano 2008

Áreas	PROF	Argila	pH	SMP	P	K	MO	Al	Ca	Mg	Al+H	CTC	S	Mn
	cm	%	-	-	mg.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	%	Cmol _c .dm ⁻³	mg.dm ⁻³	mg.dm ⁻³				
A1	5	30.0	3.0	3.8	2.1	43.0	4.9	8.0	0.5	0.2	54.5	55.3	319.0	4.0
A2	15	25.0	3.0	3.6	2.4	42.0	4.4	6.7	0.2	0.1	68.6	69.0	274.0	2.0
B1	5	36.0	2.6	3.5	5.0	60.0	8.2	11.3	1.1	0.6	77.0	78.8	1219.0	13.0
B2	15	29.0	2.7	3.8	5.8	54.0	5.4	8.5	2.9	1.5	54.5	59.1	732.0	13.0
C1	5	35.0	5.3	5.7	4.1	205.0	3.7	0.4	5.3	3.0	6.2	15.2	19.0	96.0
C2	15	36.0	5.1	5.9	3.8	155.0	2.9	0.6	1.9	0.9	4.9	8.2	13.0	42.0
D1	5	29.0	4.7	5.5	4.7	84.0	3.0	2.1	1.7	1.1	7.7	10.9	20.0	102.0
D2	15	33.0	4.4	5.1	3.9	54.0	2.1	2.7	1.7	1.0	12.3	15.2	22.0	43.0
E1	5	40.0	4.3	5.2	5.0	74.0	1.9	3.1	3.9	1.8	10.9	16.9	104.0	23.0
E2	15	39.0	4.5	5.6	4.5	48.0	1.6	2.7	1.6	1.2	6.9	16.9	69.0	21.0
F1	5	30.0	4.0	4.3	4.4	63.0	2.7	5.2	1.5	0.7	30.7	33.2	110.0	64.0
F2	15	29.0	4.0	4.5	3.8	47.0	2.4	5.0	1.5	0.7	24.4	26.8	132.0	45.0
G1	5	19.0	5.5	6.2	3.0	291.0	3.1	0.0	1.9	1.2	3.5	7.4	11.0	36.0
G2	15	19.0	5.3	6.2	2.7	232.0	2.6	0.4	1.8	1.0	3.5	6.9	9.3	25.0
H1	5	36.0	5.8	6.2	2.1	116.0	2.0	0.0	3.5	3.1	3.5	10.4	26.0	7.0
H2	15	36.0	5.2	6.0	2.1	90.0	2.0	0.8	3.5	2.7	4.4	10.8	30.0	6.0

Apêndice II – Tabela com valores transformados a partir dos dados submetidos à padronização (2008)

Área	PROF.	Argila	pH	SMP	P	K	MO	Al	Ca	Mg	Al+H	CTC	S	Mn
A1	0.015	0.090	0.009	0.011	0.006	0.129	0.015	0.024	0.002	0.001	0.164	0.166	0.959	0.012
A2	0.051	0.085	0.010	0.012	0.008	0.142	0.015	0.023	0.001	0.000	0.232	0.234	0.928	0.007
B1	0.004	0.029	0.002	0.003	0.004	0.049	0.007	0.009	0.001	0.000	0.063	0.064	0.994	0.011
B2	0.020	0.039	0.004	0.005	0.008	0.073	0.007	0.011	0.004	0.002	0.074	0.080	0.990	0.018
C1	0.022	0.152	0.023	0.025	0.018	0.888	0.016	0.002	0.023	0.013	0.027	0.066	0.082	0.416
C2	0.090	0.216	0.031	0.035	0.023	0.932	0.017	0.004	0.011	0.005	0.029	0.049	0.078	0.253
D1	0.036	0.210	0.034	0.040	0.034	0.609	0.022	0.015	0.012	0.008	0.056	0.079	0.145	0.740
D2	0.179	0.394	0.053	0.061	0.047	0.644	0.025	0.032	0.020	0.012	0.147	0.181	0.263	0.513
E1	0.036	0.291	0.031	0.038	0.036	0.538	0.014	0.023	0.028	0.013	0.079	0.123	0.755	0.167
E2	0.153	0.397	0.046	0.057	0.046	0.488	0.016	0.027	0.016	0.012	0.070	0.172	0.702	0.214
F1	0.033	0.197	0.026	0.028	0.029	0.413	0.018	0.034	0.010	0.005	0.201	0.218	0.722	0.420
F2	0.097	0.187	0.026	0.029	0.024	0.303	0.015	0.032	0.010	0.005	0.157	0.173	0.850	0.290
G1	0.017	0.065	0.019	0.021	0.010	0.989	0.011	0.000	0.006	0.004	0.012	0.025	0.037	0.122
G2	0.064	0.081	0.023	0.026	0.011	0.987	0.011	0.002	0.008	0.004	0.015	0.029	0.040	0.106
H1	0.040	0.287	0.046	0.049	0.017	0.925	0.016	0.000	0.028	0.025	0.028	0.083	0.207	0.056
H2	0.144	0.347	0.050	0.058	0.020	0.867	0.019	0.008	0.034	0.026	0.042	0.104	0.289	0.058

Apêndice III – Tabela de análises do solo no ano 2009

Áreas	PROF	Argila	pH	SMP	P	K	MO	Al	Ca	Mg	Al+H	CTC	S	Mn
	cm	%	-	-	mg.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	%	Cmol _c .dm ⁻³	mg.dm ⁻³	mg.dm ⁻³				
A1	5	26	3.2	3.6	0.5	35.0	4.6	8.1	0.2	0.1	68.6	69.1	246.0	9.0
A2	15	26	3.1	3.6	0.8	41.0	4.7	9.5	0.3	0.1	68.6	69.1	286.0	4.0
B1	5	29	3.0	3.5	1.1	34.0	7.8	10.9	1.0	0.3	77.0	78.4	424.0	12.0
B2	15	26	2.9	3.5	0.8	34.0	6.8	9.8	2.0	0.7	77.0	79.8	459.0	9.0
C1	5	29	4.7	5.8	2.4	132.0	3.2	1.0	4.4	2.0	5.5	12.3	16.0	18.0
C2	15	30	5.0	5.5	1.7	108.0	2.4	1.2	5.1	2.4	7.7	15.5	20.0	13.0
D1	5	22	4.6	5.4	3.9	154.0	3.4	2.1	2.8	1.6	8.7	13.7	16.0	102.0
D2	15	25	4.5	5.2	2.1	66.0	2.4	2.5	2.0	0.8	10.9	14.0	22.0	44.0
E1	5	39	4.6	5.2	2.4	69.0	1.5	3.0	1.6	1.4	10.9	14.1	67.0	18.0
E2	15	39	4.5	5.3	3.3	39.0	1.6	2.9	1.7	1.3	9.7	12.9	73.0	25.0
F1	5	24	4.1	4.6	2.3	49.0	3.3	4.7	1.3	0.6	21.8	23.9	80.0	61.0
F2	15	22	4.0	4.6	2.4	33.0	2.2	4.7	1.8	1.0	21.8	24.7	115.0	43.0
G1	5	17	5.1	5.9	9.8	206.0	3.0	0.4	2.9	1.4	4.9	9.8	14.0	46.0
G2	15	18	5.0	6.1	3.3	116.0	1.9	0.7	1.5	0.7	3.9	6.4	6.6	25.0
H1	5	40	5.5	6.0	1.7	132.0	1.6	0.0	4.1	3.0	4.4	11.8	21.0	10.0
H2	15	34	5.2	5.9	1.6	60.0	1.8	0.4	3.6	2.6	4.9	11.3	27.0	12.0

Apêndice IV – Tabela com valores transformados a partir dos dados submetidos à padronização (2009)

Área	PROF.	Argila	pH	SMP	P	K	MO	Al	Ca	Mg	Al+H	CTC	S	Mn
A1	0.019	0.097	0.012	0.013	0.002	0.130	0.017	0.030	0.001	0.000	0.255	0.257	0.916	0.034
A2	0.049	0.085	0.010	0.012	0.003	0.134	0.015	0.031	0.001	0.000	0.224	0.225	0.933	0.013
B1	0.011	0.066	0.007	0.008	0.002	0.077	0.018	0.025	0.002	0.001	0.175	0.178	0.962	0.027
B2	0.032	0.055	0.006	0.007	0.002	0.072	0.014	0.021	0.004	0.001	0.162	0.168	0.967	0.019
C1	0.036	0.210	0.034	0.042	0.017	0.954	0.023	0.007	0.032	0.014	0.040	0.089	0.116	0.130
C2	0.128	0.256	0.043	0.047	0.014	0.921	0.020	0.010	0.043	0.020	0.066	0.132	0.171	0.111
D1	0.027	0.117	0.025	0.029	0.021	0.820	0.018	0.011	0.015	0.009	0.046	0.073	0.085	0.543
D2	0.168	0.279	0.050	0.058	0.023	0.737	0.027	0.028	0.022	0.009	0.122	0.156	0.246	0.492
E1	0.047	0.364	0.043	0.048	0.022	0.643	0.014	0.028	0.015	0.013	0.102	0.131	0.625	0.168
E2	0.153	0.399	0.046	0.054	0.034	0.399	0.016	0.030	0.017	0.013	0.099	0.132	0.747	0.256
F1	0.042	0.201	0.034	0.039	0.019	0.411	0.028	0.039	0.011	0.005	0.183	0.200	0.670	0.511
F2	0.112	0.164	0.030	0.034	0.018	0.246	0.016	0.035	0.013	0.007	0.162	0.184	0.856	0.320
G1	0.023	0.080	0.024	0.028	0.046	0.967	0.014	0.002	0.014	0.007	0.023	0.046	0.066	0.216
G2	0.123	0.148	0.041	0.050	0.027	0.953	0.016	0.006	0.012	0.006	0.032	0.053	0.054	0.205
H1	0.035	0.284	0.039	0.043	0.012	0.937	0.011	0.000	0.029	0.021	0.031	0.084	0.149	0.071
H2	0.192	0.436	0.067	0.076	0.020	0.769	0.023	0.005	0.046	0.033	0.063	0.145	0.346	0.154

Apêndice V – Tabela de análises do solo no ano 2010

Áreas	PROF	Argila	pH	SMP	P	K	MO	Al	Ca	Mg	Al+H	CTC	S	Mn
	cm	%	-	-	mg.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	%	Cmol _c .dm ⁻³	mg.dm ⁻³	mg.dm ⁻³				
A1	5	25	2.5	3.7	7.9	19.0	4.0	6.9	0.2	0.2	61.2	61.7	41.0	0.1
A2	15	25	2.6	3.8	3.8	18.0	4.7	5.6	0.2	0.2	54.5	55.0	71.6	0.5
B1	5	38	2.7	3.7	7.1	40.0	5.9	7.0	1.6	0.7	61.2	63.6	54.6	2.2
B2	15	32	2.8	3.9	5.4	51.0	5.6	6.6	1.9	0.7	48.6	51.4	91.0	6.4
C1	5	29	4.8	5.2	4.6	144.0	3.7	1.0	3.5	1.4	10.9	16.2	7.3	9.6
C2	15	35	4.8	4.9	1.4	114.0	2.9	1.8	3.1	1.1	15.4	20.0	9.4	8.0
D1	5	22	5.0	5.3	4.6	157.0	4.0	0.7	2.9	1.3	9.7	14.4	10.9	35.7
D2	15	27	4.7	5.1	0.7	104.0	3.2	1.6	1.9	0.8	12.3	15.3	14.9	20.0
E1	5	31	4.5	4.9	1.4	77.0	2.0	1.9	1.8	1.0	15.4	18.5	41.0	18.3
E2	15	33	4.3	4.7	3.8	50.0	2.0	3.0	1.4	0.9	19.4	21.9	62.2	18.9
F1	5	28	4.1	4.5	7.1	69.0	4.1	3.5	1.4	0.9	24.4	26.9	42.8	29.7
F2	15	35	4.4	4.5	0.7	42.0	4.3	3.4	1.7	0.7	24.4	26.9	32.1	20.0
G1	5	17	5.4	6.0	7.1	324.0	4.2	0.1	2.8	1.2	4.4	9.2	13.5	24.4
G2	15	20	5.1	5.8	4.6	107.0	2.6	0.4	2.1	1.0	5.5	8.9	8.2	19.0
H1	5	32	6.5	6.6	8.8	125.0	2.7	0.0	6.2	3.1	2.2	11.9	10.4	4.2
H2	15	33	5.5	5.9	4.6	73.0	2.3	0.2	4.4	2.3	4.9	11.8	25.3	15.4

Apêndice V – Tabela com valores transformados a partir dos dados submetidos à padronização (2010)

Área	PROF	Argila	pH	SMP	P	K	MO	Al	Ca	Mg	Al+H	CTC	S	Mn
A1	0.049	0.245	0.025	0.036	0.077	0.186	0.039	0.068	0.002	0.002	0.600	0.605	0.402	0.001
A2	0.135	0.224	0.023	0.034	0.034	0.162	0.042	0.050	0.002	0.002	0.489	0.494	0.643	0.004
B1	0.042	0.321	0.023	0.031	0.060	0.338	0.050	0.059	0.014	0.006	0.517	0.537	0.461	0.019
B2	0.114	0.243	0.021	0.030	0.041	0.387	0.043	0.050	0.014	0.005	0.369	0.391	0.691	0.049
C1	0.034	0.194	0.032	0.035	0.031	0.966	0.025	0.007	0.023	0.009	0.073	0.109	0.049	0.064
C2	0.121	0.283	0.039	0.040	0.011	0.921	0.023	0.015	0.025	0.009	0.124	0.162	0.076	0.065
D1	0.030	0.134	0.030	0.032	0.028	0.956	0.024	0.004	0.018	0.008	0.059	0.088	0.066	0.217
D2	0.132	0.238	0.041	0.045	0.006	0.918	0.028	0.014	0.017	0.007	0.109	0.135	0.131	0.176
E1	0.051	0.317	0.046	0.050	0.014	0.787	0.020	0.019	0.018	0.010	0.157	0.189	0.419	0.187
E2	0.158	0.348	0.045	0.050	0.040	0.528	0.021	0.032	0.015	0.009	0.205	0.231	0.657	0.199
F1	0.051	0.284	0.042	0.046	0.072	0.699	0.042	0.035	0.014	0.009	0.247	0.273	0.434	0.301
F2	0.193	0.450	0.057	0.058	0.009	0.540	0.055	0.044	0.022	0.009	0.314	0.346	0.413	0.257
G1	0.015	0.052	0.017	0.018	0.022	0.994	0.013	0.000	0.009	0.004	0.013	0.028	0.041	0.075
G2	0.133	0.177	0.045	0.051	0.041	0.949	0.023	0.004	0.019	0.009	0.049	0.079	0.073	0.169
H1	0.038	0.244	0.050	0.050	0.067	0.954	0.021	0.000	0.047	0.024	0.017	0.091	0.079	0.032
H2	0.170	0.374	0.062	0.067	0.052	0.826	0.026	0.002	0.050	0.026	0.055	0.134	0.286	0.174

Apêndice VII – Tabela de análises do solo no ano 2011

Áreas	PROF	Argila	pH	SMP	P	K	MO	Al	Ca	Mg	Al+H	CTC	S	Mn
	cm	%	-	-	mg.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	%	Cmol _c .dm ⁻³	mg.dm ⁻³	mg.dm ⁻³				
A1	5	31	3	3.8	2.4	43	3.4	6.4	0.8	0.8	54.5	56.3	7.6	10.2
A2	15	34	3.1	3.8	1.6	42.0	3.5	6.6	1.1	0.8	54.5	56.6	26.4	6.8
B1	5	36	3.0	3.7	2.4	89.0	5.9	6.9	3.0	1.6	61.2	66.1	39.9	10.2
B2	15	31	2.9	3.7	1.6	71.0	5.1	6.3	4.5	1.6	61.2	67.6	36.4	11.5
C1	5	31	4.3	4.8	3.2	160.0	3.2	1.7	2.8	2.2	17.3	22.7	12.0	88.4
C2	15	32	4.4	4.7	5.7	130.0	2.6	2.4	2.0	1.8	19.4	23.6	47.4	46.3
D1	5	37	4.2	4.5	6.5	113.0	2.2	2.9	2.6	2.3	24.4	29.7	12.1	37.4
D2	15	36	4.2	4.5	5.7	82.0	2.4	2.3	2.5	1.6	24.4	28.8	25.6	29.7
E1	5	31	4.5	4.9	1.4	77.0	2.0	4.5	4.9	1.0	15.4	18.5	41.0	18.3
E2	15	33	4.3	4.7	3.8	50.0	2.0	4.3	4.7	0.9	19.4	21.9	62.2	18.9
F1	5	34	4.2	4.5	5.7	127.0	3.0	3.0	4.0	1.9	24.4	30.7	15.2	61.6
F2	15	35	4.4	4.7	4.8	103.0	2.9	1.6	5.4	1.2	19.4	26.3	13.7	30.2
G1	5	20	5.0	5.6	4.8	166.0	3.4	0.3	4.7	2.4	6.9	14.5	14.2	76.3
G2	15	23	5.0	5.1	4.0	142.0	3.0	0.0	3.7	1.5	12.3	17.9	34.9	45.9
H1	5	34	5.7	5.8	7.3	186.0	2.2	0.4	7.0	4.3	5.5	17.3	41.1	13.6
H2	15	38	4.7	5.4	3.0	136.0	2.1	0.4	6.3	3.6	8.7	19.0	18.1	35.3

Apêndice VIII – Tabela com valores transformados a partir dos dados submetidos à padronização (2011)

Área	PROF.	Argila	pH	SMP	P	K	MO	Al	Ca	Mg	Al+H	CTC	S	Mn
A1	0.052	0.323	0.031	0.040	0.025	0.448	0.035	0.067	0.008	0.008	0.568	0.586	0.079	0.106
A2	0.149	0.338	0.031	0.038	0.016	0.417	0.035	0.066	0.011	0.008	0.541	0.562	0.262	0.068
B1	0.036	0.260	0.022	0.027	0.017	0.643	0.043	0.050	0.022	0.012	0.442	0.477	0.288	0.074
B2	0.118	0.244	0.023	0.029	0.013	0.559	0.040	0.050	0.035	0.013	0.482	0.533	0.287	0.091
C1	0.027	0.165	0.023	0.025	0.017	0.850	0.017	0.009	0.015	0.012	0.092	0.121	0.064	0.470
C2	0.098	0.208	0.029	0.031	0.037	0.847	0.017	0.016	0.013	0.012	0.126	0.154	0.309	0.302
D1	0.038	0.281	0.032	0.034	0.049	0.859	0.017	0.022	0.020	0.017	0.186	0.226	0.092	0.284
D2	0.141	0.339	0.040	0.042	0.054	0.771	0.023	0.022	0.024	0.015	0.230	0.271	0.241	0.279
E1	0.051	0.316	0.046	0.050	0.014	0.786	0.020	0.046	0.050	0.010	0.157	0.189	0.418	0.187
E2	0.158	0.348	0.045	0.050	0.040	0.527	0.021	0.045	0.050	0.009	0.205	0.231	0.656	0.199
F1	0.033	0.224	0.028	0.030	0.038	0.838	0.020	0.020	0.026	0.013	0.161	0.203	0.100	0.406
F2	0.125	0.292	0.037	0.039	0.040	0.860	0.024	0.013	0.045	0.010	0.162	0.220	0.114	0.252
G1	0.027	0.108	0.027	0.030	0.026	0.895	0.018	0.002	0.025	0.013	0.037	0.078	0.077	0.411
G2	0.095	0.146	0.032	0.032	0.025	0.902	0.019	0.000	0.023	0.010	0.078	0.114	0.222	0.291
H1	0.026	0.174	0.029	0.030	0.037	0.952	0.011	0.002	0.036	0.022	0.028	0.089	0.210	0.070
H2	0.100	0.255	0.031	0.036	0.020	0.911	0.014	0.003	0.042	0.024	0.058	0.127	0.121	0.236

ANEXO

Anexo I – Detalhamento do atual método de recuperação das áreas mineradas
na CRM

Anexo II - Planta de situação das áreas regeneradas